

Lukas Schütz, Niels Lettow, Silke Dachbrodt-Saaydeh

Vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahmen im Ackerbau und ihre Eignung zur Förderung von Arthropoden

Preventive measures of crop protection in arable crops
– a synthesis with a focus on arthropod conservation

545

Zusammenfassung

Nutzarthropoden und deren Förderung sind Teil des Konzeptes des integrierten Pflanzenschutzes. Sie sind von einer Vielzahl pflanzenbaulicher Verfahren betroffen, auch von denen, die eine vorbeugende Wirkung gegenüber Schadorganismen haben. Die Möglichkeiten der Förderung von Arthropoden in Fruchtfolgen, durch Zwischenfrüchte und Untersaaten, Bodenbearbeitungsverfahren, Stickstoffdüngung, Aussaatzeitpunkte sowie Aussaatdichten in den Hauptkulturen des Ackerbaus (Getreide, Winterraps und Mais), wurden anhand einer Literaturrecherche untersucht. Das Vorhandensein von struktureller Diversität auf der Bodenoberfläche sowie eine kleinräumige Verteilung der Anbauflächen und die Störungsintensität durch die Bodenbearbeitung sind wichtige Elemente für die Förderung von Nutzarthropoden. Je höher die Strukturvielfalt auf dem Feld durch Ernterückstände oder Mulch, desto mehr Lebensräume entstehen. Eine kleinräumige Verteilung der Fruchtfolge in der Landschaft ermöglicht es Arthropoden bei Störungen auf benachbarte Flächen auszuweichen. Eine wichtige Ergänzung bilden nützlingsfördernde Maßnahmen. Damit Arthropodengesellschaften in der Agrarlandschaft überleben und die Ökosystemleistung von Nutzarthropoden auch abgerufen werden können, müssen die Bedingungen auf dem Feld entsprechend angepasst werden.

Stichwörter: Integrierter Pflanzenschutz, Arthropodenförderung, Insektenförderung, Raps, Getreide, Mais, Ökosystemleistungen, Fruchtfolge, Bodenbearbeitung

Abstract

Beneficial arthropods and their promotion are part of the concept of integrated pest management (IPM). Numerous agricultural practices effect beneficial arthropods, also those which are applied as preventive plant protection measures. In a literature review we searched for effects of measures, such as crop rotation, cover crops and under sowing, soil cultivation, Nitrogen fertilization, adapted sowing dates and crop densities on the promotion of arthropods or their conservation. Structural diversity as well as the intensity of disturbance by soil cultivation are important elements for the enhancement of beneficial arthropods. Increased structural diversity through management provide hiding places and habitats for arthropods. A small-scale diversified crop rotation in the landscape allows arthropods to migrate to adjacent fields in case of disturbance by cultural measures. In-field measures for biodiversity offer food and hiding places. The conditions in the field need to be adapted to ensure that arthropods can survive in the agricultural landscapes.

Key words: Integrated plant protection, insect conservation, winter oilseed rape, cereals, maize, ecosystem services, crop rotation, soil cultivation

Einleitung

In Deutschland wurde in den letzten 30 Jahren ein Rückgang von Insektenpopulationen festgestellt, mit besonde-

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Lukas Schütz, Julius Kühn-Institut (JKI) – Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 8, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: lukas.schuetz@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

1. November 2020

rer Ausprägung in Agrarlandschaften (BALZER et al., 2017) sowie auch in Schutzgebieten (HALLMANN et al., 2017). Als mögliche Einflussfaktoren werden unter anderem die Intensivierung der Landwirtschaft und eine zunehmend homogene Landschaftsstruktur diskutiert (BALZER et al., 2017). Mit dem integrierten Pflanzenschutz wird seit langem in einem ganzheitlichen Ansatz versucht, Pflanzenschutzmittel nur dann und in dem Maße anzuwenden, welches tatsächlich für die Kontrolle der Schadorganismen erforderlich ist. Das Konzept des integrierten Pflanzenschutzes baut auf vorbeugenden Maßnahmen auf, dafür werden biologische, physikalische und chemische Verfahren zur Bekämpfung von Schadorganismen kombiniert, um die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nichtzielorganismen zu reduzieren. Das Monitoring, die Ermittlung der Befallshäufigkeit oder -stärke, sowie Applikationen von Pflanzenschutzmitteln, basierend auf dem Schadschwellenprinzip, sind für die Einhaltung des notwendigen Maßes von essentieller Bedeutung, verhindern unnötige Anwendungen und reduzieren damit die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nichtzielarthropoden sowie die Umwelt.

Nützlinge und Nichtzielorganismen werden nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes durch die Auswahl von möglichst zielartenspezifischen Pflanzenschutzmitteln mit den geringsten Nebenwirkungen geschont. Empfohlen werden weiterhin der Schutz und die Förderung wichtiger Nutzarthropoden, z. B. durch Schaffung oder Nutzung ökologischer Infrastrukturen innerhalb und außerhalb der Produktionsflächen sowie geeignete Pflanzenschutzmaßnahmen. Als Nutzarthropoden bezeichnen wir natürliche Gegenspieler von Schadinsekten, Arthropoden mit granivorer Ernährung sowie Bestäuber und Destruenten. Im Folgenden wird Arthropodenförderung als Förderung von Nutzarthropoden sowie indifferenter Arthropodenarten definiert.

Die Förderung einer heterogenen Landschaft mit einer kleinräumigen Verteilung von naturnahen Habitaten und Feldern ist eine der wichtigsten Maßnahmen für den Arthropodenschutz in Agrarlandschaften. Die Arthropodenförderung im Feld kann die ökologische Infrastruktur außerhalb des Feldes nicht ersetzen, weil viele Arthropoden nicht ganzjährig im Feld leben, sondern einen Teil ihres Entwicklungszyklus außerhalb der Produktionsflächen durchlaufen (BIANCHI et al., 2006; CHAPLIN-KRAMER et al., 2011; THIES et al., 2003). Bisher ist über die artspezifische Förderung von Arthropoden im Feld wenig bekannt. Vor diesem Hintergrund ist es umso bedeutender zu verstehen, wie sich pflanzenbauliche Maßnahmen auf Nutzarthropoden und indifferente Arthropodenarten, und damit die biologische Selbstregulation von Schadinsekten, auswirken. Die konsequente Anwendung vorbeugender Maßnahmen im Sinne der Prävention des Schaderegerbefalls ist ein möglicher Ansatz. Jedoch beeinträchtigen auch die Fruchtfolge oder mechanische Verfahren wie die Bodenbearbeitung, die Bestandteil der landwirtschaftlichen Praxis sind, das Überleben von Arthropodenpopulationen. Sie reduzieren einerseits bewusst

Schadorganismen sowie andererseits ebenfalls Nutzarthropoden und Nichtzielarthropoden.

In diesem Übersichtsartikel wird dargestellt und analysiert, wie vorbeugende Verfahren des integrierten Pflanzenschutzes mit möglichst geringen Nebenwirkungen auf Nützlingspopulationen im Ackerbau zur Arthropodenförderung beitragen und diese angewendet werden können. Dabei liegt der Fokus auf bewährten Maßnahmen oder Maßnahmen, die für die landwirtschaftliche Praxis mit geringen Anpassungen verbunden sind.

Methoden

Eine umfassende Literaturrecherche zum Einfluss vorbeugender Pflanzenschutzmaßnahmen auf Nutzarthropoden, Schadinsekten sowie indifferente Arthropodenarten erfolgte in den Literaturdatenbanken „Web of Science“ sowie „Google Scholar“.

In die Auswertung gingen Quellen aus begutachteten wissenschaftlichen Zeitschriften sowie „grauer Literatur“.

Außerdem konnte auf bestehende Sammlungen vorbeugender Pflanzenschutzmaßnahmen zurückgegriffen werden (Datenbank ALPS (SEIDEL & SCHNABEL, 2015), Erfahrungen aus dem Modellvorhaben integrierter Pflanzenschutz (HELBIG et al., 2018; HELBIG et al., 2017; PETERS et al., 2014)).

Welche Arthropoden leben im Feld?

Verschiedene Arthropodengesellschaften besiedeln ackerbaulich genutzte Flächen. Sie werden anhand ihrer vorwiegenden Ernährung in saprophage, herbivore, räuberische/carnivore, parasitoide Arthropoden sowie bestäubende Insekten unterschieden.

Saprophage Arthropoden zersetzen organische Substanzen im Boden und tragen durch Mineralisierung dieser zur Bodenfruchtbarkeit bei. Sie durchlaufen mehrheitlich ihren gesamten Lebenszyklus auf der Produktionsfläche.

Herbivore Arthropoden sind häufig Schädlinge an den Kulturpflanzen. Viele Schadinsekten überdauern im Boden und/oder wandern im Frühjahr in die Produktionsfläche ein. Dort vermehren sich die Schadinsekten stark, teilweise mit mehreren Generationen pro Vegetationsperiode. Jedoch tragen einige Arten dieser Gruppe, insbesondere Laufkäfer, mit ihrer granivoren Ernährung auch zur Dezimierung von Unkräutern bei.

Räuberische Arthropoden und Parasitoide ernähren sich im Larvalstadium und/oder auch als Imago von anderen Arthropoden oder Mollusken und fungieren als natürliche Feinde der Schadinsekten und somit als Nützlinge in der Landwirtschaft. Zu dieser Gruppe zählen Laufkäfer, parasitoide Wespen, Kurzflügelkäfer, Spinnen, Schwebfliegen, Marienkäfer, Netzflügler (Florfliegen), räuberische Gallmücken, räuberische Fliegen (Raubfliegen, Dungfliegen, Raupenfliegen) sowie Langbein- und

Tanzfliegen. Als Imago ernähren sich räuberische Arthropoden und Parasitoide oft von Pollen und Nektar.

Anderen bestäubenden Insekten dienen Pollen und Nektar als Hauptnahrung. Bestäubende Insekten nutzen die Produktionsfläche, auf der sie die Bestäubung der Kulturpflanzen in unterschiedlichem Grad sichern, nur für die Nahrungssuche während ihre Reproduktionshabitate außerhalb liegen.

Relevante Nutzarthropoden sind nach ihrer Bindung an die Produktionsfläche als Lebensraum und ihrer Mobilität in Tab. 1 gelistet. Auf Weizen-, Zuckerrüben- oder Rapsfeldern lassen sich unterschiedliche Arthropodenarten feststellen, wobei ein kleiner Teil Pflanzenschädlinge sind, ein größerer Teil Nützlinge, aber die Mehrheit der Arten indifferent, also weder Schädling noch Nützling, ist (KÜHNE et al., 2012).

Die Artenzusammensetzung der Insektenfauna hängt stark von Art und Qualität der umgebenden naturnahen Flächen ab (MADEIRA et al., 2016; SCHMIDT, 2004). Schwebfliegen, zum Beispiel, sind in ihrer Artenzusammensetzung im Acker wesentlich von der Verfügbarkeit bestimmter Larvalhabitate wie Totholz, Baumsäften, tierischen Ausscheidungen oder Blattlauskolonien abhängig (BASTIAN, 1996; SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007). Da die meisten Schwebfliegenarten mehrere Generationen im Jahr ausbilden, sind die späteren Generationen in der Lage, weitere Generationen im Feld auszubilden (RUPPERT, 1993; WEISS & STETTNER, 1991 In: SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007). Besonders zu Beginn der Vegetationsperiode sind viele Schwebfliegenarten auf blühende Ackerwildkräuter in der Kultur sowie am Feldrand oder in Hecken angewiesen, weil die Ernährung mit eiweißrei-

chen Pollen eine wichtige Grundlage für die Reproduktion bildet. Eine autochthone Artenzusammensetzung gibt es auf dem Feld demnach nicht. Erst bei mehrjährigen Kulturen wie Luzerne dominieren Wiesen besiedelnde Arten (BASTIAN, 1996 In: SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007).

Die meisten Arthropodenarten besiedeln das Feld nach jeder Bestellung neu und müssen sich je nach Spezialisierungsgrad auf eine neu entstandene räumliche Anordnung der Kulturen verteilen.

Ursprünglich stammen viele Arten aus der Litoralfauna und sind durch die dortigen Bedingungen des Trockenfallens und Überflutens gut an die Störungen in der Kulturlandschaft angepasst (SCHINDLER & WITTMANN, 2011). Ein Beispiel dafür sind Laufkäfergemeinschaften, die in Abhängigkeit von der Kultur zwar Unterschiede aufweisen (WACHMANN et al., 1995), sich in ihrer Diversität regional jedoch nur geringfügig auf den Äckern in Deutschland unterscheiden (HEYDEMANN, 1997; WACHMANN et al., 1995 In: SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007). Bei Getreideläufkäfern als Schädlinge im Getreide wird das Ausbreitungsvermögen beispielsweise durch die Ressourcenverfügbarkeit in den Herkunftshabitaten beeinflusst. So können Wanderbewegungen von Laufkäfern durch Nahrungsempässe auf Ackerflächen ausgelöst werden (KNAUST, 1991 In: SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007). Auch die Besiedlung von Rapsschlägen durch Parasitoide und Schädlinge kann durch naheliegende Vorjahresschläge begünstigt werden (HOKKANEN et al., 1988).

Der neue Lebensraum wird besonders von Generalisten bzw. ausbreitungsstarken Arten mit hoher Reproduktionsrate besiedelt, die sich an diese Veränderungen im

Tab. 1. Bedeutung der Produktionsfläche als Lebensraum für Nutzarthropoden (KÜHNE et al., 2012; STEINBORN & MEYER, 1994, angepasst)

| Gruppe | Auf der Produktionsfläche | | Mobilität |
|---|---------------------------|--|-------------|
| | Kompletter Lebenszyklus | Nahrungsquellen (a = Arthropoden, b = Pollen/Nektar, c = organische Substanz) | |
| Laufkäfer | artabhängig | a | artabhängig |
| Parasitoide | ja | a,b | gering |
| Kurzflügelkäfer | nein | a | gering |
| Spinnen | nein | a | hoch |
| Schwebfliegen | ja* | a,b | hoch |
| Marienkäfer | nein | a | hoch |
| Netzflügler (Florfliegen) | nein | a,b | gering |
| Räuberische Gallmücken | ja | a | hoch |
| Räuberische Fliegen (Raub-, Dung-, Raupenfliegen) | nein | a | hoch |
| Langbein- und Tanzfliegen | ja | a | hoch |
| Bienen und Bestäuber | nein | b | hoch |
| Destruenten | ja | c | gering |

* keine Überwinterung, aber spätere Generationen schließen gesamten Zyklus auf dem Schlag ab

Lebensraums gut anpassen können (CLAVEL et al., 2011; SCHWERDTFEGGER, 1978; VASSEUR et al., 2013), wozu auch die Schadinsekten zählen. Die Besiedlung kann von den Feldrändern oder aus der Luft erfolgen. Es ist zu erwarten, dass Arten mit geringer Mobilität durch die Fruchtfolge stark eingeschränkt werden, ein Effekt, den der integrierte Pflanzenschutz nutzt. Stärker spezialisierte Arthropoden sind aufgrund ihrer Anforderungen an den Lebensraum für Reproduktion und Ernährung an den Feldrändern zu erwarten, da dort die Diversität der Pflanzenarten, Vegetationsstruktur und -dichte größer ist und somit vielfältige ökologische Nischen vorhanden sind.

Die Eignung pflanzenbaulicher Maßnahmen mit vorbeugender Wirkung im Pflanzenschutz im Hinblick auf den Schutz und die Förderung von Arthropoden

Vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahmen sind im Ackerbau umfassend erforscht und erprobt. Ihre Wirkung wird für die Kontrolle von bestimmten Pflanzenkrankheiten, Schadinsekten und Unkräutern angewendet, oder sie können zur Reduzierung des Befalls durch verschiedene Schaderreger aufgrund von indirekten, unspezifischen Wirkungen beitragen. Einen Überblick über Maßnahmen zur Kontrolle von Schadinsekten und Unkrautpopulationen vorbeugend gibt Tab. 2. Auf die Darstellung der Wirkung vorbeugender Pflanzenschutzmaßnahmen auf Pflanzenkrankheiten wird an dieser Stelle verzichtet, jedoch an anderer Stelle diskutiert.

Zu den vorbeugenden Wirkungen zählen allelopathische Effekte auf Unkräuter durch die Fruchtfolge oder den Anbau von Zwischenfruchtkulturen sowie die interspezifische Konkurrenz der Zwischenfrüchte. Aufgrund ihrer vorbeugenden und breiten Wirkung sowie ihres Nutzens für die Pflanzenernährung und die Bodenerhaltung werden diese Maßnahmen häufig unabhängig vom Auftreten von Schadorganismen, aber teilweise auch gezielt, beispielsweise zur Unkrautkontrolle durchgeführt. Ihre Bedeutung im Anbausystem insgesamt sowie die mögliche Reduzierung von wirtschaftlichen Schäden durch Schadorganismen ist von vielen Faktoren abhängig. Die Wirkungen dieser Maßnahmen auf Arthropoden sind im Einzelnen nur wenig erforscht, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Wirkungsweise und in der Förderung bzw. Schonung von Arthropoden.

In den folgenden Abschnitten werden insbesondere Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau, Verfahren der Bodenbearbeitung, Düngung, Aussattermine sowie Aussaatdichten diskutiert, da aufgrund ihrer direkten mechanischen oder indirekten zeitlichen Interventionen Auswirkungen auf die Arthropodenfauna zu erwarten sind.

Diverse Fruchtfolgen

Vielfältige Fruchtfolgen und Anbaupausen sind wichtige Elemente im integrierten Pflanzenschutz. Fruchtfolgen dienen neben ihrer positiven Wirkung auf Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit auch der phytosanitären

Kontrolle, um Reproduktionszyklen von Schadinsekten und Pathogenen zu unterbrechen. Ein Wechsel zwischen Blatt- und Halmfrüchten sowie Winter- und Sommerungen wird z. B. genutzt um Unkräuter und Ungräser zurückzudrängen. Die Auswirkungen von Fruchtfolgen auf die Arthropodenförderung waren mit ihrer räumlichen sowie zeitlichen Dimension Gegenstand verschiedener Untersuchungen. Dabei wurden Aspekte wie die räumliche Anordnung, die zeitliche Abfolge und die Auswirkungen der verschiedenen Kulturen, der Bedeckungsgrad sowie das Vorhandensein von Nahrungsquellen unterschiedlicher Organismengruppen untersucht. Besonders wichtig für die Arthropodenförderung ist die Frage, ob eine Fruchtfolge Effekte auf die Zusammensetzung der Arthropodengesellschaften hat oder ob nur einzelne Kulturen einen positiven Einfluss haben.

In einem Langzeit-Fruchtfolgeversuch bei Göttingen konnten MEYER et al. (2019) in einer einjährigen Probenahme zeigen, dass die Kulturart einen signifikanten Einfluss auf die Diversität von Laufkäfern und Webspinnen hat. Im Vergleich der verschiedenen Fruchtarten wiesen Winterraps sowie Körnererbsen die höchste Arthropodendiversität sowie Aktivitätsdichte auf, Zuckerrüben hingegen die geringste. Dies wird für die Laufkäfer durch eine höhere strukturelle Diversität in diesen Kulturen und einem schnelleren Kronenschluss begründet (KOCH et al., 2018; SCHERBER et al., 2019). Neben saisonalen Schwankungen zeigten insbesondere die Vorfrüchte, und damit die Fruchtfolge, einen signifikanten Einfluss auf die Arthropodendiversität sowie Aktivitätsdichte. Die Effekte der Vorfrucht ließen sich bis zu zwei Jahre zurückverfolgen. Sie waren bei Iso- und Diplopoden größer als durch die Hauptfrucht, was durch ihre zersetzende Ernährungsweise, Langlebigkeit und ihren kleinen Bewegungsradius begründet werden kann (MEYER et al., 2019).

SCHINDLER & WITTMANN (2011) konnten ebenfalls Effekte der Fruchtfolge auf die Arthropodendiversität feststellen. Dabei verglichen sie Flächen, die seit 5 Jahren durch die Agrarumwelt- und Klimamaßnahme „Vielfältige Fruchtfolgen“ gefördert wurden, mit Referenzflächen. Für die Artenzusammensetzung, Aktivitätsdichte oder Diversität der Laufkäfer- und Spinnenzönosen konnte kein Unterschied festgestellt werden. Durch die Integration von Leguminosen in die Fruchtfolgen konnte jedoch eine positive Wirkung auf die Aktivitätsdichten von Tagfaltern und Hummeln sowie Artenzahlen von Bienen festgestellt werden.

Eine überwiegende Herbstsaat in Fruchtfolgen kann negativ auf die Arthropodendiversität wirken, weil einerseits die vorteilhafte strukturelle Vielfalt auf dem Feld gestört wird, die Lebensraum und Überwinterungsverstecke bietet. Andererseits bilden sich im Frühjahr schnell dichte Bestände, die die Bewegung der Insekten behindern und ein ungünstiges Mikroklima für wärme-liebende Arten schaffen. Bei Laufkäfern beeinflusst die Wahl des Aussaatzeitpunktes sowie die damit einhergehende Bodenbearbeitung die Artenzusammensetzung (SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007). Laufkäferarten lassen

Tab. 2. Wirkung vorbeugender Verfahren auf Schadinsekten und Unkräuter sowie Ungräser für die Kulturen Getreide, Winter- raps und Mais (+ bedeutet betreffender Schadorganismus wird zurückgedrängt; – bedeutet betreffender Schadorganismus wird gefördert)

| Verfahren | Schad- organismen | Getreide | Winterraps | Mais |
|--|-------------------------------|---|--|---|
| Vielfältige Fruchtfolge | Unkräuter/ Ungräser | Ackerfuchsschwanz (<i>Alopecurus myosuroides</i>) (+), Windhalm (<i>Apera spica-venti</i>) (+) | Ausfallgetreide (+), Breitblättrige Unkräuter wie z. B. Klette (<i>Arctium</i> spp.) (+) | Unkräuter (Amaranth, Hirse, Franzosenkraut) (+) |
| | Schad- insekten | Sattelmücke (<i>Haplodiplosus equestris</i>) (+), Gallmücken (Cecidomyi- idae) (+), Getreidelaufkäfer (<i>Zabrus tenebrioides</i>)(+), Blattläuse (+), Fritfliege (<i>Oscinella frit</i>) (+) | Kohlschotenmücke (<i>Dasineura brassicae</i>) (+) | Maiswurzelbohrer (<i>Diabro- tica virgifera</i>) (+) |
| Anbaupausen | Schad- insekten | | Großer Rapserrdfloh (<i>Psylliodes chrysocephalus</i>) (+), Großer Raps- stängelrüssler (<i>Ceutorhynchus na- pi</i>) (+), kleine Kohlfliede (<i>Delia brassicae</i>) (+), Rapsglanzkäfer (<i>Brassicogethes aeneus</i>) (+) | Maiswurzelbohrer (<i>Diabro- tica virgifera</i>) (+), Maiszünsler (<i>Ostrinia nubilalis</i>) (+) |
| Zwischen- fruchte* | Unkräuter/ Ungräser | Unkräuter und Ungräser (+), Ackerkratzdistel (<i>Cirsium arvense</i>) (+), Quecke (<i>Elymus repens</i>) (+) | Unkräuter und Ungräser (+) | Unkräuter und Ungräser (+) |
| Konservie- rende Boden- bearbeitung | Unkräuter/ Ungräser | Ackerstiefmütterchen (<i>Viola arvensis</i>) (+), Taubnessel- (<i>Lamium</i> spp.) und Ehrenpreis-Arten (<i>Veronica</i> spp.) (+), Ausfallgetreide (-), Acker-Winde (<i>Convolvulus arvensis</i>) (-); besonders in getreidebetonten Fruchtfolgen: Klettenlabkraut (<i>Galium aparine</i>) (-), Kornblume (<i>Cyanus segetum</i>) (-), Kamille (<i>Matricaria</i> spp.) (-), Windhalm (<i>Apera spica-venti</i>) (-), Ackerfuchsschwanz (<i>Alopecurus myosuroides</i>) (-), Trespens-Arten (<i>Bromus</i> spp.) (-) | Ackerstiefmütterchen (<i>Viola arvensis</i>) (+), Taubnessel- (<i>Lamium</i> spp.) und Ehrenpreis-Arten (<i>Veronica</i> spp.) (+), Ausfallraps (-), Acker-Winde (<i>Convolvulus arven- sis</i>) (-) | Ackerstiefmütterchen (<i>Viola arvensis</i>) (+), Taubnessel- (<i>Lamium</i> spp.) und Ehren- preis-Arten (<i>Veronica</i> spp.) (+), Acker-Winde (<i>Convolvulus arvensis</i>) (-) |
| | Schad- insekten | | Großer Rapsstängelrüssler (<i>Ceuto- rhynchus napi</i>) (+), gefleckter Kohltriebrüssler (<i>Ceutorhynchus pallidactylus</i>) (+) | |
| Wendende Bodenbear- beitung | Mollusken | | Ackerschnecken (-) | |
| | Unkraut | Wurzelunkräuter (+), Ungräser wie Taube Tresse (<i>Bromus sterilis</i>) (+), Windhalm (<i>Apera spica-venti</i>) (+) | Ausfallgetreide (+), Breitblättrige Unkräuter wie z. B. Kletten (<i>Arctium</i> spp.) (+) | |
| Aussaatzstär- ke | Schad- insekten und Mollusken | | Großer Rapserrdfloh (<i>Psylliodes chrysocephalus</i>) (+), Schnecken (+), kleine Kohlfliede (<i>Delia brassicae</i>) (+) | Maiszünsler (<i>Ostrinia nubila- lis</i>) (+) |
| | Unkraut | Ackerfuchsschwanz (<i>Alopecurus myosuroides</i>) (+) | Unkräuter und Ungräser (+) | Unkräuter und Ungräser (+) |
| Aussaatzzeit- punkt | Schad- insekten | | Großer Rapserrdfloh (<i>Psylliodes chrysocephalus</i>) (+) | |
| | Unkraut | Unkraut (+) | Unkraut (+) | Unkraut (+) |
| | Schad- insekten | Blattläuse (+), Fritfliege (<i>Oscinella frit</i>) (+) | kleine Kohlfliede (<i>Delia brassicae</i>) (+) | Fritfliege (<i>Oscinella frit</i>) (+) |

* Wirkung abhängig von der Art der Zwischenfrucht

sich in Herbstbrüter, ca. ein Drittel der Arten auf Äckern, (HEYDEMANN, 1997) und Frühjahrbrüter unterscheiden.

Von der Bodenbearbeitung sind besonders die späten Larvenstadien betroffen, also bei Wintersaaten die

Herbstbrüter (BASEDOW, 1987; BLAB, 1993; FALTINAT, 1991 In: SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007; PURVIS & FADL, 2002). Arten mit mehreren Brutzyklen im Jahr werden in geringerem Umfang beeinträchtigt (SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007). Demzufolge beeinflussen der Fruchtwechsel sowie die Koinzidenz der Arbeitsschritte mit den sensiblen Lebensstadien die verschiedenen Arten in unterschiedlichem Maße (VASSEUR et al., 2013).

Fruchtfolgen haben neben ihrer zeitlichen Aufstellung auch eine räumliche Wirkung in der Landschaft mit der sie zu einer diversen Landschaft beitragen. Es ist zu erwarten, dass besonders die mobilen Arten von einer heterogenen Landschaft, unabhängig von ihrer ökologischen Infrastruktur, profitieren. Besonderes Augenmerk gilt dabei der gleichmäßigen Verteilung von blühenden Pflanzen wie Raps oder Leguminosen, da diese wichtige, wenn auch zeitlich begrenzte, Nahrung für Bestäuber und viele Nützlinge bieten. RUSCH et al. (2013) nutzten Fruchtfolgen mit einem Anteil von 2-jährigem Klee-Grasgemenge als Indikator für eine diversere Fruchtfolge in der Landschaft. Dabei stellte sich die Heterogenität der Landschaft in Radien von 0,5–1 km als größerer Einflussfaktor auf die Parasitierungsraten von Blattläusen in Sommergerste heraus als die Diversität der Fruchtfolge. Letztere beeinflusst insbesondere die schlagbezogene Stabilität der natürlichen Schädlingregulation. Eine wichtige Rolle nehmen das Klee-Grasgemenge oder auch grasbewachsene Feldränder (BAILLOD, 2017) als Nahrungsressource ein. Mit dem Klee-Gras erhöhte sich die Variabilität der natürlichen Kontrolle, was auf einen Verdünnungseffekt hinweist (BAILLOD, 2017; ZHAO et al., 2013). Diese erwies sich stabiler und resultierte damit in einer höheren biologischen Kontrolle in der Fruchtfolge aus Wintertraps, Winterweizen und Winterweizen. Die Ergebnisse weisen auf positive Effekte für die biologische Kontrolle durch die Nutzung von Ressourcen im Schlag und durch die Heterogenität der Landschaften hin (BAILLOD, 2017; RUSCH et al., 2013), was auf einen Wechsel der Nützlinge zwischen den Habitattypen schließen lässt.

THORBEC & BILDE (2004) schlagen zum Schutz von Nutzarthropoden im Feld eine räumliche Mischung von Kulturen aus Winter- und Sommerfrüchten sowie Gräsern vor, um die Agrarlandschaft durch zeitlich variierende Bestände zu diversifizieren und zusätzliche Übergangsrefugien zu schaffen. Eine kleinräumige Verteilung von Kulturen mit unterschiedlichen Managementzeitpunkten bietet für auf dem Feld lebende Arthropoden die Möglichkeit bei einer Störung durch Bewirtschaftung auf diese benachbarten Refugien auszuweichen.

In der Fruchtfolge scheint also die Diversität oder Länge der Fruchtfolge auf Arthropodengesellschaften weniger Einfluss auszuüben als die kleinräumige Diversität der Kulturen. Die räumliche Verteilung der Kulturen (in der Fruchtfolge) fungiert als Baustein für die Schaffung günstiger Bodenbedingungen sowie als Voraussetzung für die oberirdische Besiedlung durch die Arthropoden, die somit Störungen auf den Schlägen ausweichen können und stabile Populationen ausbilden bzw. erhal-

ten können. Vorteilhaft sind außerdem eine Erhöhung des Anteils blühender Kulturen als Nahrung, Kulturen die eine Bodenbedeckung gewährleisten oder perennierende Kulturen wie Grasland.

Zwischenfrüchte und Untersaaten

Zwischenfrüchte tragen zur ganzjährigen Bedeckung des Bodens bei. Sie dienen der Anreicherung des Bodens mit organischer Substanz, zur Gründüngung und dem Humusaufbau, welcher Lebensraum für Antagonisten von bodenbürtigen Pathogenen bietet (LARKIN, 2015). Zusätzlich können sie der Vermeidung von Bodenerosion im Winter, der Stickstoffanreicherung des Bodens durch Schmetterlingsblütler sowie der Verbesserung der Bodenstruktur dienen. Des Weiteren dienen sie gleichzeitig dazu, die Verunkrautung aus der Vorfrucht durch Konkurrenz oder Allelopathie zu unterdrücken (KUNZ et al., 2016). Dabei werden die Arten so gewählt, dass eine Unkrautproblematik für die Folgekultur vermieden wird und eine Eignung als Zwischenwirt für Pathogene oder Schaderreger ausgeschlossen ist. Schnellwüchsige Arten werden bevorzugt, Leguminosen sind je nach Nutzungszweck unterschiedlich gut geeignet, um Unkräuter zurückzudrängen bzw. müssen nach Etablierung gemäht werden (GEBHARD et al., 2013). Durch den Anbau von Zwischenfrüchten, wird das Auftreten typischer Fruchtfolgekrankheiten oder Schaderreger durch die Förderung des Bodenlebens und Antagonisten reduziert. Im Zuckerrübenanbau können z. B. Nematoden durch resistente Ölrettich- oder Gelbsensorten zurückgedrängt werden.

Zwischenfrüchte können nach der Hauptfrucht oder auch bereits als Untersaat mit der Hauptfrucht, wie Weidelgras, Bastardweidelgras oder Kleearten, gesät werden und die Konkurrenzverhältnisse der Haupt- und Zwischenfrucht durch die Auswahl der Arten und die Aussaatzeitpunkte entsprechend abgestimmt werden (BLE, 2018).

Winter- oder Sommerzwischenfrüchte unterscheiden sich durch ihre Aussaattermine im Sommer und das Absterben in den Wintermonaten oder die Herbstsaat mit einem Aufwuchs im Frühjahr, welcher der Futternutzung dienen kann.

Die Eignung von Zwischenfrüchten als Habitat für Arthropoden ist in der Literatur belegt, jedoch ist die Artenvielfalt in Zwischenfrüchten nicht sehr hoch und hat einen Schwerpunkt auf phytophage Arten (ROBEL & XIONG, 2001 In: BLANCO-CANQUI et al., 2015; BUGG, 1995). Für viele Arten bedeutet die kurze Vegetationszeit der Zwischenfrüchte, dass oftmals kein kompletter Entwicklungszyklus möglich ist, wie z. B. bei Heuschrecken (ZAHN, 2019). Für andere Arten mit bestimmten Ansprüchen fehlen die nötigen Strukturen auf den Flächen mit Zwischenfrüchten wie z. B. ausreichend hohe Vegetation für Webspinnen, um ihre Netze aufzuhängen (NYFFELER, 1998; ZAHN, 2019). Es sind Langzeiteffekte durch den Anbau von Zwischenfrüchten wie ein verbesserter Humusgehalt im Boden zu erwarten. Diese wirken positiv auf die Bodenfauna allgemein (AXELSEN & KRISTENSEN, 2000; LARKIN, 2015) und somit auch auf epigäische, räu-

berisch lebende Arten, wie z. B. Laufkäfer und Spinnen (HEIMBACH et al., 1997; TISCHLER, 1965). Viele Laufkäferarten sind hygrophil und bevorzugen stark bewachsene Flächen, auf denen außerdem ein größeres Beutespektrum auftritt (LUCK, 1989). So stellten CARMONA & LANDIS (1999) in der Rotklee-Zwischenfrucht einer Mais-Soja Fruchtfolge eine leicht erhöhte Aktivität von Laufkäfern fest. In der Hauptfrucht hingegen konnte kein Folgeeffekt auf Laufkäfer festgestellt werden.

Folgeeffekte auf die Hauptfrucht sind weniger erforscht. LUNDGREN & FERGEN (2011) haben in den U.S.A. den Einfluss des Grases *Elymus trachycaulus* als Winterzwischenfrucht auf die Population des Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera*) in der Hauptfrucht Mais untersucht. Mit der Zwischenfrucht entwickelte sich eine größere Population von natürlichen Feinden (u. a. Araneae, Carabidae, Coccinellidae), die die Population von *Diabrotica virgifera* und damit die Schäden an den Maiswurzeln reduzierten. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass die Zwischenfrüchte die Entwicklung der Larvenstadien des Maiswurzelbohrers negativ beeinflussen (BRANSON & ORTMAN, 1967a, 1967b, 1970; CLARK & HIBBARD, 2004; ELLSBURY et al., 2005; JOHNSON et al., 1984; MOESER & VIDAL, 2009; WILSON & HIBBARD, 2004).

Zwischenfrüchte sind Bestandteil der EU-Agrarförderung und als ökologische Vorrangfläche anerkannt. Aus naturschutzfachlicher Sicht wird der Nutzen für die Artenvielfalt jedoch als gering eingeschätzt (NITSCH et al., 2017; ZAHN, 2019), u. a. weil der Maximalanteil eines Mischungspartners bis zu 60 % beträgt, d. h. eine Mischung aus nur zwei Arten bestehen kann. SCHINDLER & SCHUMACHER (2007) befürworten den Anbau blühender Zwischenfrüchte für die Verbesserung des Nahrungsangebotes in Ackerbaugebieten, allerdings nur bei frühzeitiger Aussaat, die eine rechtzeitige Blüte sicherstellt. Grundsätzlich bieten die Vielfalt und Kultivierungsverfahren der Zwischenfrüchte Potentiale für die Arthropodenförderung, jedoch besteht weiterer Forschungsbedarf, um diese Annahme zu validieren.

Bodenbearbeitung, mechanische Unkrautbekämpfung und Mulchverfahren

Die Bodenbearbeitung im Ackerbau ist wohl der größte Eingriff in den Lebensraum von Arthropoden und aus diesem Grund wichtiger Bestandteil des integrierten Pflanzenschutzes. Durch die wendende Bodenbearbeitung werden z. B. persistente Wurzelunkräuter bekämpft, außerdem werden mit mikrobiellen Schaderregern befallene Pflanzenreste in tiefere Bodenschichten befördert, wo sie von Destruenten zersetzt werden. Die konservierende Bodenbearbeitung ist ebenfalls vorteilhaft für den Pflanzenschutz aufgrund der Förderung des Bodenlebens und der Antagonisten von bodenbürtigen Pathogenen. Durch die reduzierte Bodenbearbeitung wird einerseits die Unkrautbekämpfung erleichtert, da die Unkrautsamen nicht, wie bei wendender Bodenbearbeitung, in tieferen Bodenschichten konserviert werden (LEHMANN, 2012). Andererseits nehmen manche Unkräuter, wie die Ackerwinde, und besonders in getreidebetonten Frucht-

folgen Klettenlabkraut, Kornblume, Kamille und Windhalm zu (PALLUTT et al., 2006). Unbekannt ist, inwieweit die verschiedenen Verfahren der Bodenbearbeitung (Mulchsaat, Streifenfrässaat oder Direktsaat) einen direkten Beitrag zur Arthropodenförderung leisten können oder sich als schonender erweisen. Die maßgeblichen Faktoren sowie die Unkrautbekämpfung vor der Saat werden nachfolgend diskutiert.

Schon durch Striegeln können hohe Mortalitäten bei Arthropoden ausgelöst werden (bei 2 cm Tiefe Mortalität Spinnen 37 %; bei 8 cm Tiefe Mortalität Spinnen 25 % und Laufkäfer 51 % (THORBEC & BILDE, 2004). Ob die Gesamtzahl oder die Diversität der Arthropoden durch den Wechsel von wendender Bodenbearbeitung auf konservierende Bodenbearbeitung steigt und welche Funktionen sie im Anbausystem einnehmen können, ist sowohl taxon- als auch standortabhängig, z. B. von der Bodenart. Zahlreiche Studien zum Einfluss der Bodenbearbeitung und der Standorte auf verschiedene Laufkäferarten kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. In europäischen Studien wurden Zunahmen (HOLLAND, 2004; ANDERSEN, 1999; HOLLAND & REYNOLDS, 2003; KENDALL et al., 1995; PURVIS & FADL, 1996), Abnahmen (ANDERSEN, 1999; HOLLAND & REYNOLDS, 2003) oder auch keine Effekte (HOLLAND & REYNOLDS, 2003; HUUSELA-VEISTOLA, 1996) festgestellt. Laufkäferarten weisen verschiedene Präferenzen für bestimmte Bodenbearbeitungssysteme auf. In Studien fanden sich von 47 Arten 21 Arten auf gepflügten Feldern, 21 Arten auf Feldern mit konservierender Bodenbearbeitung und 6 Arten zeigten keine Präferenz, was auf eine Änderung der Artenzusammensetzung, abhängig von den Anpassungen der Arten, hinweist (HOLLAND, 2004; HOLLAND & LUFF, 2000). Hingegen konnte in Studien, die Bodenphotoelektoren verwendeten, nachgewiesen werden, dass viele Laufkäferarten durch das Pflügen beeinträchtigt werden (HOLLAND & REYNOLDS, 2003; PURVIS & FADL, 1996). KREUTER & NITZSCHE (2005) fanden, dass im Besonderen Laufkäferarten der Gattung *Carabus* als effektive Gegenspieler von Schnecken und bodenaktiven Insektenlarven im pfluglosen Verfahren stark erhöhte Aktivitätsdichten aufwiesen, obwohl die Artenzahl in der gepflügten Variante höher war.

Wie bereits für die Wahl von Sommer- oder Winterfrüchten beschrieben, hat die fruchtartsspezifische Bodenbearbeitung im Frühjahr oder Herbst Einfluss auf die Selektion von Laufkäfern. Laufkäferarten mit mehreren Brutzyklen pro Jahr und solche, die im Frühjahr mit ihrer Brutphase beginnen sind davon weniger betroffen.

THORBEC & BILDE (2004) haben bei ökologischer Bewirtschaftung die Effekte verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf die direkte Mortalität von generalistischen Prädatoren untersucht. Sie fanden heraus, dass für den Rückgang der Populationen neben der Mortalität zusätzlich Abwanderungen aufgrund der Störungen durch die Bodenbearbeitung verantwortlich waren, auch wenn einige Flächen später wieder besiedelt wurden. Die direkte Mortalität wurde auf 25–60 % geschätzt, hinzu kam die Abwanderung von 40–90 % der Populationen bis drei Wochen nach der Maßnahme. KLADIVKO (2001)

schlussfolgert, dass besonders große Arten aufgrund des veränderten Nahrungsangebots durch die physikalischen Veränderungen und Vergrabung der Erntesteine beeinträchtigt werden. Auch KREUTER & NITZSCHE (2005) konnten in Feldversuchen zeigen, dass die konservierenden Verfahren signifikant positiv auf größere Laufkäfer- und Spinnenarten wirken, so fördert Direktsaat vorwiegend große Laufkäfer (genus *Carabus*) (BURMEISTER et al., 2016).

Für Webspinnen und Wolfsspinnen wurde die höchste Artenvielfalt auf den Direktsaatflächen, geringfügig vor Mulchsaatflächen und deutlich vor der gepflügten Variante festgestellt (KREUTER & NITZSCHE, 2005). Für Spinnen sind Erntestoppeln von Sommerfrüchten wichtige Überwinterungshabitate, die beim Mulchen zerstört werden ebenso wie die Saatbettbereitung Wohnröhren und Schlupfwinkel der Spinnen zerstört (HEIMBACH et al., 1997). Aufgrund des höheren Strukturreichtums könnten aber Spinnen auch von konservierender Bodenbearbeitung im Vergleich zu gepflügten Feldern profitieren (RYPSTRA et al., 1999).

Kurzflügelkäfer kommen zwar häufig in Feldern vor, überwintern jedoch nicht als Larven im Feld. ANDERSEN (1999) fand eine größere Zahl von Individuen zweier Arten in Feldern nach konservierender Bodenbearbeitung (*Philonthus cognatus* Stephens, *Tachinus signatus* Grav.), während *Aloconota gregaria* Er. stärker auf gepflügten Flächen gefunden wurde. Das Vorkommen von *P. cognatus* korrelierte zusätzlich mit dem Unkrautvorkommen. Hingegen konnten HOLLAND & REYNOLDS (2003) keinen Effekt des Pflügens auf das Vorkommen von Kurzflügelkäfern feststellen.

Schlupfwespen werden stark durch Bodenbearbeitung beeinträchtigt. KLINGENBERG & ULBER (1994) haben dazu verschiedene Bodenbearbeitungen nach der Rapsernte untersucht. In der Direktsaat-Variante konnten sie im Frühjahr 478 Individuen/m² feststellen, aber in der gepflügten Variante nur 137 Individuen/m². Ohne Stoppelbearbeitung stieg der Wert auf 262 Individuen/m². Auch Sägewespen (Symphyta) überwintern als Puppen im Feld (HOLLAND, 2004) und werden somit durch das Pflügen beeinträchtigt. Für echte Blattwespen (Symphyta: Tenthredinidae) wurde eine um 50 % erhöhte Mortalität auf gepflügten Feldern im Vergleich zu Grasland festgestellt (BARKER et al., 1999), somit wird auch deren Vorkommen durch das Pflügen reduziert. TAMBURINI et al. (2016) haben in Weizen- und Gerstenfeldern den Effekt von Landschaftskomplexität und Bodenbearbeitung (konservierende gegenüber wendender Bodenbearbeitung) auf Blattlausprädatoren und deren Prädation bzw. Parasitierung getestet. Die Prädation von Blattläusen war 16 % höher in Feldern mit konservierender Bodenbearbeitung ebenso wie ihre Parasitierung. Auf den gepflügten Feldern waren Parasitierung und Prädation von Blattläusen erhöht, wenn ein hoher Anteil an naturnahen Habitaten vorhanden war. TAMBURINI et al. (2016) schließen daraus, dass die konservierende Bodenbearbeitung durch eine Verbesserung der lokalen Habitatqualität auf dem Feld fehlende naturnahe Habitate kompensieren

kann. HOLLAND (2004) betont den Wert von organischem Material auf der Bodenoberfläche für viele Organismen. Besonders saprophytische Arten und Destruenten können so gefördert werden und als Beute für räuberische Arthropoden dienen (HOLLAND, 2004; SCHINDLER & WITTMANN, 2011). Durch den Pflugverzicht werden Hundertfüßler und Collembolen stark gefördert (KREUTER & SCHMIDT, 2007). Laufkäfer ernähren sich auch von Springschwänzen, wahrscheinlich zu größeren Teilen, wenn es an anderer Nahrung auf dem Feld mangelt (BILDE et al., 2000). Nach einer Mulchsaat mit flacher Lockerung konnten höhere Individuenzahlen an Destruenten gefunden werden als nach einer Direktsaat (LÜBKE-AL HUSSEIN et al., 2008). Obwohl mit der Direktsaat ein höherer Unkrautdeckungsgrad einhergeht, kann sich dieser positiv auf Insekten auswirken. Bestimmte Laufkäferarten und Wolfsspinnen sowie andere räuberische Insekten werden gefördert (ANDERSEN & ELTUN, 2000; ANDERSEN, 1999), die mit der Verteilung des Unkrauts assoziiert waren (HOLLAND et al., 1999, 2004). Direktsaat wird als günstigste Alternative für Spinnen sowie für andere epi- und endogäische Taxa diskutiert (HEIMBACH et al., 1997; SCHINDLER & WITTMANN, 2011). Auch für Bienen könnten Äcker dann ein Nisthabitat sein, wobei diese zusätzlich von lückigen Kulturpflanzenbeständen profitieren (SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007).

Einen Mittelweg zur Direktsaat bietet die Streifenfrässaat, bei der nur ein Streifen für die Aussaat gelockert wird. Jedoch waren die Unterschiede der Streifenfrässaat zu wendender Bodenbearbeitung im Einfluss auf generalistische Prädatoren im Gemüsebau (HUMMEL et al., 2002) und Zuckerrübenanbau (WENNINGER et al., 2020) gering.

Das Mulchen der organischen Substanz wirkt sich negativ auf Arthropoden aus. Da alle überwinternden Arthropoden durch das Mulchen betroffen sind, ist keine Selektivität auf Nutz- oder Schadarthropoden zu erwarten. Die Wirkung ist erwünscht, wenn durch das Mulchen auf den Stoppeln überwinternde Schadinsekten bekämpft werden, z. B. zur Kontrolle des Maiszünslers mit Mortalitätsraten von 85 % (SCHAAFSSMA et al., 1996).

Anwendung ausgewogener Düngeverfahren

Zum Einfluss des Stickstoffgehaltes der Pflanzen auf herbivore Insekten gibt es zahlreiche Untersuchungen. Herbivore Insekten werden von Pflanzen mit höherem Stickstoffgehalt und einem hohen C/N Verhältnis angezogen, da diese Stickstoff als wichtigsten Faktor für ihre Entwicklung benötigen (SOUTHWOOD, 1973; AWMACK & LEATHER, 2002). Viele Studien belegen die starke Beziehung zwischen Stickstoffdüngung und der Vermehrung von Blattläusen (DUFFIELD et al., 1997; HASKEN & POEHLING, 1995; HONEK, 1991). FREIER et al. (2007) konnten, trotz Insektizidanwendung, deutlich höhere Zahlen von Blattläusen auf Weizenfeldern fruchtbarer Böden (Magdeburger Börde, Sachsen-Anhalt) im Vergleich zu dem weniger fruchtbaren Standort (Fläming, Brandenburg) ohne Insektizidanwendungen feststellen. Hingegen waren die Prädatoreinheiten, als Maß für die Fähigkeit der Vertilgung von

Blattläusen (FREIER et al., 1998) natürlicher Gegenspieler auf dem fruchtbaren und dem weniger fruchtbaren Standort ähnlich hoch. Die Ergebnisse deuten an, dass der unterschiedliche Blattlausbefall beider Standorte unabhängig vom Potential der Prädatoren war, statistisch konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen Bodenfruchtbarkeit und der Anwendung von Insektiziden aufgezeigt werden. Ebenso sind gegenteilige Effekte bekannt, so können Pflanzen, bei höherer Stickstoffdüngung den Schaden durch Schadinsekten, hier Mais und *Chilo partellus*, besser kompensieren (MGOO et al., 2006). Analog zu der Stickstoffdüngung steigt auch der Stickstoffgehalt in den herbivoren Insekten. Damit erhöht sich ihre Attraktivität für Prädatoren, wenngleich sie sich in den dichteren Beständen besser verstecken können (AWMACK & LEATHER, 2002). Insgesamt sind diese tritrophischen Beziehungen komplex und ihre Auswirkungen nicht eindeutig zu beantworten (AWMACK & LEATHER, 2002).

In naturnahen Habitaten sind die Auswirkungen von Stickstoffeinträgen auf die Insektendiversität gut untersucht. Durch stärkeres Pflanzenwachstum verschwinden besonnte Bodenbereiche zum Nisten, die Zusammensetzung der Nahrungspflanzen verändert sich und beeinträchtigt die Entwicklung von Schmetterlingen (FEEST et al., 2014). Außerdem verändert sich der Nektargehalt der Blüten (VIK et al., 2012) und erhöht die Blütenanzahl, z. B. bei Kürbis (LAU & STEPHENSON, 1993), und damit die Attraktivität für bestäubende Insekten. Die Effekte der Bestandesdichte im Ackerbau auf Arthropoden sind nicht im Detail untersucht. Möglicherweise reduziert sich die Mobilität von Arthropodenarten im dichteren Bestand, kleinere Arthropoden wären hierbei bevorteilt.

Aussaatzstärke und Aussattermine

Neben den Auswirkungen von Bodenbearbeitungsverfahren und deren Terminierung in der Fruchtfolge sind Effekte von unterschiedlichen Aussatterminen sowie Aussaatdichten zu erwarten. Die Wahl des richtigen Aussaatfensters erlaubt die Etablierung der Kultur bevor oder nachdem bestimmte Schadinsekten auftreten z. B. Fritfliege bei Mais und Sommergetreide, Blattläuse als Virusvektoren des „Barley yellow dwarf virus“ (BYDV) in Winterweizen und Wintergerste (PÖHLING et al., 2007) oder bevor Unkräuter, wie z. B. Windhalm oder Ackerfuchsschwanz im Getreide, auflaufen. Höhere Aussaatdichten stärken die Konkurrenz gegenüber Unkräutern oder Ausfallgetreide oder können z. B. im Winterraps Schäden durch den Rapsdflor oder die Kohlflyge kompensieren. Die daraus resultierende höhere Bestandesdichte, mit ihren für den integrierten Pflanzenschutz förderlichen Effekten, verändert das Mikroklima im Bestand hin zu konstanteren Temperaturen. Dies lässt bis auf anfängliche Unterschiede ähnliche Effekte wie bei der erhöhten Bestandesdichte durch die Stickstoffdüngung erwarten.

Nützlingsfördernde Maßnahmen

Nützlingsfördernde Maßnahmen wie Blühstreifen oder „Beetle Banks“ (BOLLER et al., 2004; MACLEOD et al.,

2004) sind intensiv untersucht worden. Blühstreifen erbringen positive Effekte auf Arthropoden durch ihr Blütenangebot (HAALAND et al., 2011), ihre Vegetationsstruktur (FRANK & KÜNZLE, 2006) und auch einzelne Pflanzenarten können wichtig sein, da Arthropodenarten von ihnen abhängen wie z. B. der Malven-Dickkopffalter (*Carcharodus alceae*) von Malven oder der Schwalbenschwanz (*Papilio machaon*) von Doldenblütlern (WERMEILLE & CARRON, 2005). „Beetle Banks“ hingegen können gezielt das Vorkommen von räuberischen Laufkäfern, Kurzflügelkäfern und Spinnen fördern (MACLEOD et al., 2004). Diese Maßnahmen finden in der landwirtschaftlichen Praxis bisher nur geringe Akzeptanz, da der Beitrag der Nützlinge zum Ertrag schwer zu berechnen ist. Der Nutzen aus der Kombination von Einflussfaktoren wie z. B. annualer Populationschwankungen, Schlaggrößen, dem Auftreten von Schadinsekten oder dem Bedarf an Bestäubung lässt sich nur schwer darstellen. Aufgrund ihrer biodiversitätsfördernden Eigenschaften werden Blühstreifen in Agrarumweltprogrammen und durch andere Förderer finanziell unterstützt und sind weit verbreitet. Stärker integriert in die Produktion und mit weniger Flächenverlust verbunden sind die Einsaat des Vorgezogenes mit kleinkörnigen Leguminosen oder der Mischbau von Getreide mit Leindotter oder Körnerleguminosen (DIERAUER et al., 2017; PAULSEN & SCHOCHOW, 2007). Diese Maßnahmen sind gleichfalls in der Lage, Arthropoden zu fördern und Nahrungs- und Rückzugshabitate auf der Produktionsfläche zu bieten, auch wenn weitere Forschung nötig ist. Hingegen hängen andere biodiversitätsfördernde Maßnahmen wie Lichtäcker oder die Reduzierung der Saatkichte von Getreide (Anbaukonzept „Weite Reihe“) zur Förderung von Agrarvögeln, als Bestandteil von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), in ihrer Wirkung und Förderung der Arthropoden vom gleichzeitigen Vorkommen insbesondere breitblättriger Arten der Segetalflora ab (SMITH et al., 2009). Durch Mikrobühstreifen können in Reihenkulturen wie Mais Arthropoden gefördert werden (GLEMNITZ et al., 2018; VON REDWITZ et al., 2019). Dabei ist es insbesondere wichtig zu erforschen, welche Pflanzenarten am besten geeignet sind, Arthropodenarten zu fördern ohne dabei eine Konkurrenz für die Kultur darzustellen.

Der Erfolg nützlingsfördernder Maßnahmen ist, wie oben beschrieben, insbesondere von den Vegetationsstrukturen oder der Dauerhaftigkeit der Blühstreifen abhängig. In ungünstigen Situationen können Blühstreifen im Feld als ökologische Falle eine gegenteilige Wirkung bewirken. Die Arthropodenpopulationen werden reduziert, wenn Arthropoden angelockt werden, sich etablieren, aber durch nachfolgendes Pflügen während der Überwinterung gestört oder vernichtet werden (GANSER et al., 2019).

Nützlingsfördernde Maßnahmen sind insbesondere dann förderlich, wenn sie Habitate miteinander verbinden (MARSHALL & MOONEN, 2002). Dies können brachliegende Flächen oder Streifen mit natürlicher Regeneration oder auch angelegte Bereiche wie Blühstreifen sein. Wenn möglich sollten die Maßnahmen länger als eine

Saisonen bestehen sowie in unterschiedlichem Alter vorhanden sein, da dann die größten Effekte für die Biodiversität und die Überwinterung zu erwarten sind (GANSER et al., 2019, HAALAND et al., 2011). Außerdem steigt mit dem Alter das Verhältnis von natürlichen Feinden und Beute und damit die biologische Kontrollfunktion (DENYS & TSCHARNTKE, 2001; THIES & TSCHARNTKE, 1999). Es ist wichtig, erwiesenermaßen fördernde Maßnahmen durch finanzielle Förderung und durch gezielte Biodiversitätsberatung auszubauen, um ihre Wirkung durch eine dauerhafte Integration in die Landschaft langfristig zu nutzen und die Vernetzung von naturnahen Habitaten zu erhöhen.

Diskussion

Landwirtschaftliche Produktionsflächen als Lebensraum von Arthropodengesellschaften werden trotz aller Anstrengungen immer häufigen Störungen ausgesetzt sein. Die Ergebnisse dieser Literaturrecherche zeigen, dass es im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes durchaus Verfahren gibt, die die Lebensbedingungen für Nutzarthropoden und indifferente Arthropodenarten auf der Produktionsfläche verbessern (Tab. 3) können. Hierbei stehen nicht einzelne Arten mit ihrer Leistung in den natürlichen Regelmechanismen oder ihre individuelle Förderung im Vordergrund. Die vielfach unspezifischen Wirkungen der Verfahren, die in viele Einzelfaktoren unterteilt werden könnten, erschweren es, artspezifische Unterschiede für diese Faktoren zu identifizieren. Für die Förderung von Arthropoden ist es bedeutsam, die Störungen in sensiblen Phasen möglichst zu minimieren oder zu vermeiden.

Die Intensität der Störung durch die Bodenbearbeitung hängt von vielen Faktoren ab, wie der Häufigkeit der Überfahrten, der Art der Bodenbearbeitung (wendende/konservierende), dem Gewicht der Maschinen sowie der eingesetzten Technik (Pflug, Grubber, Egge, Drilltechnik etc.) und vom Zeitpunkt der Bodenbearbeitung ab. Die Effekte auf Arthropoden auf dem Feld hängen maßgeblich vom Entwicklungsstadium der Arten zum Zeitpunkt der Störung ab. Jede Reduktion der Intensität hat positive Effekte auf die Arthropoden außer bei Arten, die sich wie z. B. einige Laufkäferarten an die wendende Bodenbearbeitung im Frühling oder Herbst angepasst haben. Die Notwendigkeit einzelner Verfahren hängt dabei auch vom Bodentyp, Niederschlag, der Fruchtfolge, dem Unkrautvorkommen oder dem Vorkommen anderer Schaderreger ab und kann nicht auf allen Standorten der Arthropodenförderung angepasst werden. Synergien lassen sich durch die Kombination einer weiten Fruchtfolge und einer daraus resultierenden reduzierten Bodenbearbeitung gewinnen. So kommen PALLUTT et al. (2006) zu dem Ergebnis, dass im Unkrautmanagement der Einfluss der nichtwendenden Bodenbearbeitung in starkem Maße von der Fruchtfolge abhängt. Der Einfluss von Störungen auf Ökosysteme wird schon lange untersucht und beschrieben (CONNELL, 1978; SVENS-

SON et al., 2009). Die höchste Diversität wird bei einem mittleren Grad an Störungen erwartet. Auf Ackerflächen treten innerhalb der Vegetationsperiode vielfältige Störungen auf, welche auch die Zusammensetzung der Arthropodenarten beeinflussen hin zu stressresistenteren Taxa mit kleineren Körpergrößen, größerer Mobilität und reduzierter ökologischer Spezialisierung (WONG et al., 2019). Dennoch wird abhängig von der Arthropodenart, dem Grad und der Art der Störung die Diversität unterschiedlich beeinflusst (BRUGGISSER et al., 2010).

Förderlich für die Diversität scheinen auch die Strukturvielfalt und die Anzahl der Nutzarthropoden und indifferenter Arten auf der Produktionsfläche zu sein. Der Effekt zwischen Artenvielfalt und Habitatdiversität sowie der damit verbundenen Nischenanzahl ist dabei schon lange bekannt (WHITTAKER, 1972). Die Strukturvielfalt und damit einhergehend die Habitatdiversität und Nischenanzahl kann durch Strukturreichtum auf Feldebene durch organische Überreste nach Mulch- oder Direktsaat oder den Anbau von Zwischenfrüchten erhöht werden. Dadurch entstehen mehr Rückzugsmöglichkeiten für Arthropoden und das Nahrungsangebot für Detritivoren wird erhöht. In Colorado, U.S.A., konnten MELMAN et al. (2019) bereits nach 2,5 Jahren positive Effekte von pflugloser Bodenbearbeitung und Belassen der Ernterückstände auf die bodenbiologische Aktivität feststellen.

Die Kulturverfahren können auch kombiniert werden, so bedeuten Untersaaten eine Erhöhung der Strukturvielfalt auf dem Schlag, gleichzeitig entfällt die Aussaat der Zwischenfrucht nach der Ernte und reduziert damit die Störung des Bodens.

Besonders in homogenen Landschaften und auf großen Schlägen sind nützlingsfördernde Maßnahmen im Feld wichtige Elemente für die Arthropodenförderung und bieten Nahrungs- bzw. Rückzugshabitats. Von diesen Flächen können Arthropoden schneller wieder die Kulturen besiedeln (TSCHARNTKE et al., 2008). Weitere Faktoren existieren, die selektiv nur einzelne Gruppen von Arthropoden beeinflussen wie beispielsweise der Anbau von Sommer- oder Winterfrüchten oder Veränderungen des Mikroklimas. So profitieren von blühenden Früchten und Zwischenfrüchten hauptsächlich fliegende Arthropoden, die auf Nektar und Pollen als Nahrungsquelle angewiesen sind. Eine noch nicht vollständig beantwortete Frage ist, ob es ein optimales Niveau der Stickstoffdüngung für die Pflanzenproduktion und die biologische Kontrolle gibt. Hinweise deuten auf eine Reduktion des Verhältnisses von Schädlingen und Nützlingen durch Stickstoffdüngung hin (CHEN et al., 2010; ZHAO et al., 2015).

Obwohl viele Studien zu komplexen Wechselwirkungen im Agrarökosystem durchgeführt wurden, dominierten bestimmte Forschungsschwerpunkte, andererseits bestehen noch Lücken in der Forschung. In der Literatur sind insbesondere Studien zu Nutz- und Schädarthropoden zu finden, in der Gruppe der Nutzarthropoden auf Ackerflächen besonders Untersuchungen zu Laufkäfern und Spinnen hinsichtlich ihrer Biologie, ihres

Tab. 3. Effekte vorbeugender Pflanzenschutzverfahren auf Arthropoden (Einfluss der einzelnen Quellen auf das Verfahren)

| Verfahren | Effekt auf Arthropoden | Einfluss (+/-) | Quelle |
|--|--|----------------|--|
| Vielfältige Fruchtfolge | Effekt der Fruchtfolge bzw. Vorfrucht auf die Aktivitätsdichte von Destruenten (Iso- und Diplopoden) und in geringerem Maße auf die Aktivitätsdichte und Diversität von Laufkäfern | + | (MEYER et al., 2019) |
| | Einfluss der Kulturart auf Diversität von Laufkäfern und Webspinnen in Wintererbsen und Körnererbsen | - | (MEYER et al., 2019) |
| | Positiver Einfluss blühender Kulturarten (Körnerleguminosen, Klee gras) auf Aktivitätsdichten von Tagfaltern, Hummeln sowie Artenzahlen von Bienen | - | (SCHINDLER & WITTMANN, 2011) |
| | Höhere Dichten vieler Arten der Collembola, Gamasida, Coleoptera, Aphidina sowie der Diversität von Diplopoda in Sommerweizen als in Mais; aber höhere Dichten von Oribatida in Mais als in Sommerweizen | - | (SCHEUNEMANN et al., 2015) |
| | Negativer Einfluss von Wintersaaten auf wärmeliebende Arten; Wintersaat beeinträchtigt auch Laufkäferarten (ein Drittel der Arten brüten im Herbst) | +/- | (HEYDEMANN, 1997; SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007) |
| Zwischenfrüchte | Förderung von phytophagen Arten | + | (ROBEL & XIONG, 2001 IN: BLANCO-CANQUI et al., 2015; BUGG, 1995) |
| | Die Vegetationszeit von Zwischenfrüchten ist zu kurz für den Abschluss des Entwicklungszyklusses bestimmter Arten (z. B. Heuschrecken) | - | (ZAHN, 2019) |
| | Eine Winterzwischenfrucht des Grases <i>Elymus trachycaulus</i> fördert natürliche Feinde (u. a. Araneae, Carabidae, Coccinellidae) des Maiswurzelbohrers (<i>Diabrotica virgifera</i>) | + | (LUNDGREN & FERGEN, 2011) |
| | Förderung von Destruenten durch erhöhtes Streuaufkommen | + | (LARKIN, 2015) |
| | Förderung von Collembolen und Milben durch Winterzwischenfrucht | + | (AXELSEN & KRISTENSEN, 2000) |
| Bodenbearbeitung | Artabhängige Reaktion von Laufkäfern auf wendende oder konservierende Bodenbearbeitung | +/- | (HOLLAND, 2004; HOLLAND & LUFF, 2000) |
| | Bodenbearbeitung und mechanische Unkrautbekämpfung reduziert Populationen von Laufkäfern und Spinnen und verursacht Abwanderungen. Kurzflügelkäfer sind nicht beeinträchtigt | - | (THORBEC & BILDE, 2004) |
| | Förderung von Laufkäferarten und Diversität der Gattung <i>Carabus</i> (Gegenspieler von Schnecken, bodenaktiven Insektenlarven) durch pfluglosen Anbau | + | (KREUTER & NITZSCHE, 2005) (BURMEISTER et al., 2016) |
| | Erhöhung der Diversität von Spinnen bei Direktsaat > konservierende Bodenbearbeitung > wendende Bodenbearbeitung | +/- | (KREUTER & NITZSCHE, 2005; RYPSTRA et al., 1999) |
| Konservierende Bodenbearbeitung | Besonders große Arten werden durch pfluglosen Anbau gefördert | + | (KLADIVKO, 2001); (KREUTER & NITZSCHE, 2005) |
| | Förderung von Destruenten (u. a. Hundertfüßler und Collembolen) durch pfluglosen Anbau | + | (KREUTER & SCHMIDT, 2007; LÜBKE-AL HUSSEIN et al., 2008) |
| | Höheres Unkraut aufkommen nach Direktsaat fördert bestimmte Laufkäferarten und Wolfsspinnen sowie andere räuberische Insekten | + | (ANDERSEN, 1999) |
| Wendende Bodenbearbeitung | Erhöhte Prädation und Parasitierung von Blattläusen in Feldern mit konservierender Bodenbearbeitung | + | (TAMBURINI et al., 2016) |
| | Starke Beeinträchtigung der Abundanzen von Schlupfwespen und Sägewespen durch wendende Bodenbearbeitung im Vergleich zu Direktsaat | - | (KLINGENBERG & ULBER, 1994; BARKER et al., 1999) |
| Mulchen | Mulchen von Ernterückständen reduziert gleichermaßen überwinternde Schad- und Nutzarthropoden | - | (HEIMBACH et al., 1997; SCHAAFSSMA et al., 1996) |

Tab. 3. Fortsetzung

| Verfahren | Effekt auf Arthropoden | Einfluss (+/-) | Quelle |
|-------------------------------------|--|----------------|--|
| Ausgewogene Düngung | Effekte auf Nutzarthropoden auf der Anbaufläche nicht eindeutig. Zunahme von Blattläusen belegt, gleichzeitig steigt Attraktivität der Blattläuse für Prädatoren | +/- | (AWMACK & LEATHER, 2002; FREIER et al., 2007) |
| Nützlingsfördernde Maßnahmen | Blühstreifen fördern Arthropoden u. a. durch ihr Blütenangebot sowie ihre Vegetationsstruktur und dienen als Rückzugshabitat | + | u. a. (FRANK & KÜNZLE, 2006; HAALAND et al., 2011) |
| | „Beetle Banks“ fördern das Vorkommen von räuberischen Laufkäfer, Kurzflügelkäfer und Spinnen | + | u. a. (MACLEOD et al., 2004) |

Vorkommens sowie ihrer Funktion. Weniger umfangreiche Studien liegen zu den räuberischen Gallmücken, räuberischen Fliegen (Raubfliegen, Dungfliegen, Raupenfliegen) sowie Langbein- und Tanzfliegen vor. Die indifferenten Arthropodenarten sind am wenigsten erforscht, obwohl auch sie eine wichtige Rolle für die Stabilität des Agrarökosystems spielen. Viele der vorliegenden Studien untersuchten insbesondere den Zusammenhang von Nutz- und Schadarthropoden im speziellen Kontext der landwirtschaftlichen Produktion und der Kontrolle von tierischen Schädlingen in räumlich oder zeitlich sehr begrenztem Umfang. Diese zum Teil sehr spezifischen Fragestellungen und Studien liefern wertvolle Informationen zu Interaktionen. Eine ganzheitliche Diskussion der multiplen Interaktionen in Raum und Zeit in enger Vernetzung mit der landwirtschaftlichen Kulturführung erfordert längere Beobachtungszeiträume und komplexe räumliche Betrachtungen.

Zielkonflikte mit dem integrierten Pflanzenschutz

In den vorangegangenen Abschnitten wurden verschiedene Maßnahmen und Einflussfaktoren eingehend diskutiert. Ackerbauliche Verfahren haben durchaus positive Effekte für die Förderung von Nutzarthropoden und indifferenten Arten oder können dahingehend angepasst werden. Gleichmaßen können sie aber zu Problemen mit Schaderregern und damit zu Konflikten mit dem Pflanzenschutz führen. Zum Beispiel ist ein höherer Anteil organischer Substanz und von Ernterückständen nach reduzierter Bodenbearbeitung einerseits förderlich für die Arthropoden, kann andererseits aber phytosanitäre Nachteile als Träger von Sporen pilzlicher Pathogene zur Folge haben (HOLLAND, 2004; LARKIN, 2015). In Anbausystemen mit konservierender Bodenbearbeitung nehmen Probleme mit verschiedenen pathogenen und tierischen Krankheitserregern (DTR, Ährenfusariosen, Schnecken- und Mäuseplagen, die Verbreitung bodenbürtiger Viren und Schadinsekten) zu, ebenso wie das Aufkommen bestimmter Ungräser oder der verstärkte Durchwuchs von Vorfrüchten (KREUTER & SCHMIDT, 2007). Mais birgt zum Beispiel aufgrund des hohen Anteils von Stängelüberresten nach der Ernte ein erhöhtes Infektionspotential mit Ährenfusariosen und Refugium für

den Maiszünsler in sich. Damit ist er weniger geeignet für Direktsaatverfahren und sollte grundsätzlich aber besonders bei pfluglosem Anbau gemulcht werden. Ähnlich verhält es sich bei Weizen-Weizen-Fruchtfolgen (PALLUTT et al., 2006). Ein gezieltes Monitoring von Schaderregern und Schadinsekten muss immer und besonders bei der Entscheidung für konservierende Bodenbearbeitung oder eine wendende Bodenbearbeitung durchgeführt werden. Bei der Direktsaat kann es vermehrt zu einem hohen Besatz mit Feldmäusen kommen, die eine tiefe Bodenbearbeitung nötig machen. Eine Beeinträchtigung der Arthropoden ist in Abhängigkeit von den vorkommenden Arten und dem Zeitpunkt der Bodenbearbeitung auch hier nicht auszuschließen. Die Effekte für die Arthropodenförderung (Tab. 3) sind also mit den Effekten für den Pflanzenschutz (Tab. 2) abzuwägen.

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung werden im konventionellen Anbau neben mechanischen Verfahren auch Herbizide angewendet, um konkurrenzstarke Unkräuter abzutöten, die durch die geringere Bodenbearbeitung nicht ausreichend bekämpft werden können. Zu den Auswirkungen von Herbiziden auf Arthropoden gibt es eine große Anzahl von Studien, die sowohl direkte als auch indirekte Effekte belegen (EVANS et al., 2010). Indirekte Einflüsse sind dokumentiert durch die Einschränkungen des Nahrungsangebotes, insbesondere für herbivore Arten, sowie die Zerstörung von Habitaten für bestimmte Entwicklungsstadien (BIGLER & ALBAJES, 2011; PROSSER et al., 2016).

Durch konkurrenzstarke abfrierende Zwischenfrüchte können diese Pflanzenschutzanwendungen eingespart werden (OSIPITAN et al., 2018). Aufgrund des kurzen Zeitfensters zur Einarbeitung der Zwischenfrüchte im Frühjahr streben Betriebe an diesen Schritt im Herbst durchzuführen. Lösungen müssen gefunden werden, um die Einarbeitung im Frühjahr attraktiver zu machen und so den Arthropoden das Überwintern auf den Flächen zu ermöglichen.

Fazit und Forschungsbedarf

Maßnahmen zur Förderung und Schonung von Arthropoden und der integrierte Pflanzenschutz haben das gemeinsame Ziel, Nutzarthropoden zu fördern. Die pflanzenbaulichen Maßnahmen unterscheiden zwischen

Nutz- und anderen Arthropodenarten, je nachdem welche Entwicklungsstadien betroffen sind. Damit natürliche Feinde zur Kontrolle der tierischen Schaderreger eine wesentliche Rolle übernehmen können, bedarf es geeigneter Anbausysteme, die diese Leistungen abrufen. Solche Anbausysteme sollten auf der Produktionsfläche:

- i die Störungen des Bodens durch mehr Direktsaat und weniger wendende bzw. tiefe Bodenbearbeitungen soweit wie möglich reduzieren
- ii Strukturen schaffen durch (in absteigender Reihenfolge): überwinterte Stoppeln > Zwischenfrüchte > Mulch (aus Stoppeln oder Zwischenfrüchten)
- iii alle Möglichkeiten nutzen, um die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren.

Die konsequente Anwendung der Prinzipien des integrierten Unkrautmanagements (BUHLER, 2002) bzw. von Schadschwellen bei Unkräutern (soweit vorhanden), eine fokussierte Bekämpfung von Problemunkräutern sowie nützlingsfördernde Maßnahmen auf dem Schlag verbessern die Lebensbedingungen für Nutzarthropoden und indifferente Arten. Herbivore Insekten können dort als Beutepopulationen von Nützlingen erhalten werden und das biologische Kontrollpotential in Feldern erhöhen (NORRIS & KOGAN, 2005). Trotz zahlreicher Studien, die einen positiven Effekt großer landschaftlicher Heterogenität auf die Biodiversität feststellen konnten, sind Effekte einer heterogenen, kleinräumigen Verteilung von Fruchtfolgegliedern in der Landschaft im Zusammenhang mit der Betrachtung der Arthropodengesellschaften kaum untersucht. Vielfältige Fruchtfolgen mit Zwischenfrüchten gehen dabei einher mit einer höheren Diversität an Vegetationsdichten, Vegetationshöhen, Ackerbegleitflora und unterschiedlichen Blühphänologien in der Landschaft. Dabei sind weitere Studien notwendig, die die Wahl der Zwischenfrüchte, die Artenzusammensetzung im Zusammenhang mit den Entwicklungszyklen und ihrer möglichen Wirkung als ökologische Fallen für bestimmte Arten untersuchen.

Der zeitliche Einfluss der Fruchtfolgen auf die Arthropoden ist stark abhängig von der jeweiligen Kultur, den vorkommenden Arthropodenarten sowie der Habitatstruktur in der Landschaft. Es gilt eine optimale Balance zwischen der Führung der Kulturpflanzenbestände beginnend bei der Fruchtarten- und Zwischenfruchtauswahl, der Wahl und Terminierung der Bodenbearbeitung, Aussaat als auch Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen und der Förderung von Nutzarthropoden zu finden. Aus Sicht der landwirtschaftlichen Praxis sollte es Ziel sein, stabile Arthropodengesellschaften zu etablieren, die eine Funktion in der biologischen Kontrolle von Schaderregern erfüllen können.

Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur

- ANDERSEN, A., R. ELTUN, 2000: Long-term developments in the carabid and staphylinid (Col., Carabidae and Staphylinidae) fauna during conversion from conventional to biological farming. *Journal of Applied Entomology*, **124** (1), 51–56, DOI: 10.1046/j.1439-0418.2000.00438.x.
- ANDERSEN, A., 1999: Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II. Pests and beneficial insects. *Crop Protection*, **18** (10), 651–657, DOI: 10.1016/S0261-2194(99)00071-X.
- AWMACK, C.S., S.R. LEATHER, 2002: Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, **47**, 817–844, DOI: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151107.
- AXELSEN, J.A., K.T. KRISTENSEN, 2000: Collembola and mites in plots fertilised with different types of green manure. *Pedobiologia*, **44** (5), 556–566, DOI: 10.1078/S0031-4056(04)70071-2.
- BAILLOD, A.B., 2017: Landscape-scale interactions of spatial and temporal cropland heterogeneity drive biological control of cereal aphids. *Journal of Applied Ecology*, **54**, 1804–1813, DOI: 10.1111/1365-2664.12910.
- BALZER, S., A. BENZLER, R. DRÖSCHMEISTER, G. ELLWANGER, P. FINCK, S. HEINZE, A. HERBERG, M. KLEIN, A. KRÜß, D. METZING, R. PETERMANN, V. SCHERFOSE, B. SCHWEPPE-KRAFT, A. SYMANK, C. STRAUß, K. ULLRICH, M. VISCHER-LEOPOLD, 2017: Agrar-Report 2017 – Biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft. Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz.
- BARKER, A.M., N.J. BROWN, C.J.M. REYNOLDS, 1999: Do host-plant requirements and mortality from soil cultivation determine the distribution of graminivorous sawflies on farmland? *Journal of Applied Ecology*, **36** (2), 271–282, DOI: 10.1046/j.1365-2664.1999.00394.x.
- BASEDOW, T., 1987: Der Einfluss gesteigerter Bewirtschaftungsintensität im Ackerbau auf die Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae). Mitteilungen Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, **235**, 1–123.
- BASTIAN, O., 1996: Schwebfliegen. Wittenberg, A. Ziemsen Verlag.
- BIANCHI, F.J.J.A., C.J.H. BOOL, T. TSCHARNTKE, 2006: Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **273** (1595), 1715–1727, DOI: 10.1098/rspb.2006.3530.
- BIGLER, F., R. ALBAJES, 2011: Indirect effects of genetically modified herbicide tolerant crops on biodiversity and ecosystem services: The biological control example. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, **6**, 79–84, DOI: 10.1007/s00003-011-0688-1.
- BILDE, T., J.A. AXELSEN, S. TOFT, 2000: The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. *Journal of Applied Ecology*, **37** (4), 672–683, DOI: 10.1046/j.1365-2664.2000.00527.x.
- BLAB, J., 1993: Grundlagen des Biotopschutzes für Tiere. Greven, Kilda-Verlag.
- BLANCO-CANQUI, H., T.M. SHAVER, J.L. LINDQUIST, C.A. SHAPIRO, R.W. ELMORE, C.A. FRANCIS, G.W. HERGERT, 2015: Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, **107** (6), 2449–2474, DOI: 10.2134/agronj15.0086.
- BLE, 2018: Zwischen- und Zweitfrüchte im Pflanzenbau (W. Henke & V. Bräutigam, Eds.) (2nd ed.). Bonn, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.
- BOLLER, E.F., F. HÄNI, H.-M. POEHLING, 2004: Ecological infrastructures: Ideabook on functional biodiversity and the farm level – Temperate zones of Europe (1st ed.). LBL, Eschikon, Schweiz.
- BRANSON, T.F., E.E. ORTMAN, 1967a: Fertility of western corn rootworm reared as larvae on alternate hosts. *Journal of Economic Entomology*, **60**, 595.
- BRANSON, T.F., E.E. ORTMAN, 1967b: Host range of larvae of the western corn rootworm. *Journal of Economic Entomology*, **60**, 201–203.
- BRANSON, T.F., E.E. ORTMAN, 1970: The host range of larvae of the western corn rootworm: further studies. *Journal of Economic Entomology*, **63**, 800–803.
- BRUGGISSER, O.T., M.H. SCHMIDT-ENTLING, S. BACHER, 2010: Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels. *Biological Conservation*, **143** (6), 1521–1528, DOI: 10.1016/j.biocon.2010.03.034.
- BUGG, R.L., 1995: Cover crops and control of arthropod pests of agriculture. *Pest Control*, **157**, 164–165.
- BUHLER, D.D., 2002: 50th Anniversary-Invited Article: Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science*, **50** (3), 273–280, DOI: 10.1614/0043-1745(2002)050[0273:AIAAOF]2.0.CO;2.

- BURMEISTER, J., T. KREUTHER, R. WALTER, 2016: Der Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die Laufkäferfauna eines Feldversuches in Bayern. *Angewandte Carabidologie*, **11**, 21–30. ISSN: 2190-7862.
- CARMONA, D.M., D.A. LANDIS, 1999: Influence of refuge habitats and cover crops on seasonal activity-density of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in field crops. *Environmental Entomology*, **28** (6), 1145–1153, DOI: 10.1093/ee/28.6.1145.
- CHAPLIN-KRAMER, R., M.E. O'ROURKE, E.J. BLITZER, C. KREMEN, 2011: A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, **14** (9), 922–932, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x.
- CHEN, Y., D.M. OLSON, J.R. RUBERSON, 2010: Effects of nitrogen fertilization on tritrophic interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, **4** (2), 81–94, DOI: 10.1007/s11829-010-9092-5.
- CLARK, T.L., B.E. HIBBARD, 2004: Comparison of nonmaize hosts to support western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) larval biology. *Environmental Entomology*, **33** (3), 681–689, DOI: 10.1603/0046-225x-33.3.681.
- CLAVEL, J., R. JULLIARD, V. DEVICTOR, 2011: Worldwide decline of specialist species: Toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment*, **9** (4), 222–228, DOI: 10.1890/080216.
- CONNELL, J.H., 1978: Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*, **199**, 1302–1310.
- DENYS, C., T. TSCHARNTKE, 2001: Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia*, **130** (2), 315–324, DOI: 10.1007/s004420100796.
- DIERAUER, H., M. CLERC, D. BÖHLER, M. KLAISS, D. HEGGLIN, 2017: Erfolgreicher Anbau von Körnerleguminosen in Mischkultur mit Getreide (1st ed.). *Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick*.
- DUFFIELD, S.J., R.J. BRYSON, J.E.B. YOUNG, R. SYLVESTER-BRADLEY, R.K. SCOTT, 1997: The influence of nitrogen fertiliser on the population development of the cereal aphids *Sitobion avenae* (F.) and *Metopolophium dirhodum* (Wlk.) on field grown winter wheat. *Annals of Applied Biology*, **130** (1), 13–26, DOI: 10.1111/j.1744-7348.1997.tb05779.x.
- ELLSBURY, M.M., K.R. BANKEN, S.A. CLAY, F. FORCELLA, 2005: Interactions among western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae), yellow foxtail, and corn. *Environmental Entomology*, **34** (3), 627–634, DOI: 10.1603/0046-225x-34.3.627.
- EVANS, S.C., E.M. SHAW, A.L. RYPSTRA, 2010: Exposure to a glyphosate-based herbicide affects agrobiont predatory arthropod behaviour and long-term survival. *Ecotoxicology*, **19** (7), 1249–1257, DOI: 10.1007/s10646-010-0509-9.
- FALTINAT, C., 1991: Ökologische Untersuchungen der Carabidenfauna auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und Randstrukturen des Versuchsgutes "Wiesengut" bei Hennef (NRW). *Dissertation, Universität Bonn*.
- FEEST, A., C. VAN SWAAY, A. VAN HINSBERG, 2014: Nitrogen deposition and the reduction of butterfly biodiversity quality in the Netherlands. *Ecological Indicators*, **39**, 115–119, DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.12.008.
- FRANK, T., I. KÜNZLE, 2006: Effect of early succession in wildflower areas on bug assemblages (Insecta: Heteroptera). *European Journal of Entomology*, **103** (1), 61–70, DOI: 10.14411/eje.2006.011.
- FREIER, B., H. TRILTSCH, M. MÖWES, V. RAPPAPORT, 1998: Predator units - an approach to evaluate coccinellids within the aphid predator community. *IOBC/WPRS Bulletin*, **21** (9), 103–111.
- FREIER, B., H. TRILTSCH, M. MÖWES, E. MOLL, 2007: The potential of predators in natural control of aphids in wheat: Results of a ten-year field study in two German landscapes. *BioControl*, **52** (6), 775–788, DOI: 10.1007/s10526-007-9081-5.
- GANSER, D., E. KNOP, M. ALBRECHT, 2019: Sown wildflower strips as overwintering habitat for arthropods: Effective measure or ecological trap? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **275**, 123–131, DOI: 10.1016/j.agee.2019.02.010.
- GEBHARD, C.A., L. BÜCHI, F. LIEBISCH, S. SINAJ, H. RAMSEIER, R. CHARLES, 2013: Beurteilung von Leguminosen als Gründüngungspflanzen: Stickstoff und Begleitflora. *Agrarforschung Schweiz*, **4** (9), 384–393.
- GLEMNITZ, M., C. REDWITZ, G. BERGER, J. HOFFMAN, 2018: Mais mit Mikro-Blühstreifen ökologisch aufwerten. *Mais*, **45** (2), 84–88.
- HAALAND, C., R.E. NAISBIT, L.F. BERSIER, 2011: Sown wildflower strips for insect conservation: A review. *Insect Conservation and Diversity*, **4** (1), 60–80, DOI: 10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x.
- HALLMANN, C.A., M. SORG, E. JONGEJANS, H. SIEPEL, N. HOFLAND, H. SCHWAN, W. STENMANS, A. MÜLLER, H. SUMSER, T. HÖRREN, D. GOULSON, H. DE KROON, 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, **12** (10), e0185809, DOI: 10.1371/journal.pone.0185809.
- HASKEN, K.H., H.M. POEHLING, 1995: Effects of different intensities of fertilisers and pesticides on aphids and aphid predators in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **52** (1), 45–50, DOI: 10.1016/0167-8809(94)09008-U.
- HEIMBACH, U., B. KNOLLE, A. SOKOLOWSKI, V. GARBE, 1997: Einfluß von Direktsaat-/Mulchverfahren auf räuberische Arthropoden in und auf dem Boden. In G. Krasel, W. Pestemer, & G. Bartels (Eds.), *Strategien zum Bodenschutz in der pflanzlichen Produktion, Pflanzenschutzkolloquium (Vol. 328, pp. 145–154)*. *Mitteilungen Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, DOI: 0067-5849.
- HELBIG, J., M. PAAP, A. GUMMERT, B. SCHLAGE, J. SELLMANN, F. SUHL, L. PRAMSCHÜFER, H. STOSIUS, A. HERZER, G. EBERHARDT, H. KEHLENBECK, 2018: Modell- und Demonstrationsvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“ Teilprojekt „Koordination“, Ergänzung zum Zwischenbericht 2017/18. FKZ 2810MD001, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow. 1–138.
- HELBIG, J., M. PAAP, A. GUMMERT, B. SCHLAGE, J. SELLMANN, F. SUHL, L. PRAMSCHÜFER, H. STOSIUS, A. HERZER, H. KEHLENBECK, 2017: Modell- und Demonstrationsvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“ Teilprojekt „Koordination“, Ergänzung zum Zwischenbericht 2016/17. FKZ 2810MD001, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow. 1–99.
- HEYDEMANN, B., 1997: *Neuer Biologischer Atlas - Ökologie für Schleswig-Holstein und Hamburg*. Neumünster (Wachholtz).
- HOKKANEN, H., G.B. HUSBERG, M. SÖDERBLOM, 1988: Natural enemy conservation for integrated control of the rapeseed blossom beetle *Meligethes aeneus* F. *Annales Agriculturae Fenniae*, **27**, 281–293.
- HOLLAND, J.M., 2004: The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **103** (1), 1–25, DOI: 10.1016/j.agee.2003.12.018.
- HOLLAND, J.M., M.L. LUFF, 2000: The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Integrated Pest Management Reviews*, **5** (2), 109–129, DOI: 10.1023/A:1009619309424.
- HOLLAND, J.M., J.N. PERRY, L. WINDER, 1999: The within-field spatial and temporal distribution of arthropods in winter wheat. *Bulletin of Entomological Research*, **89** (6), 499–513, DOI: 10.1017/s0007485399000656.
- HOLLAND, J.M., C.J.M. REYNOLDS, 2003: The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia*, **47** (2), 181–191, DOI: 10.1078/0031-4056-00181.
- HOLLAND, J.M., L. WINDER, C. WOOLLEY, C.J. ALEXANDER, J.N. PERRY, 2004: The spatial dynamics of crop and ground active predatory arthropods and their aphid prey in winter wheat. *Bulletin of Entomological Research*, **94** (5), 419–431, DOI: 10.1079/ber2004323.
- HONEK, A., 1991: Nitrogen fertilization and abundance of the cereal aphids *Metopolophium dirhodum* and *Sitobion avenae* (Homoptera, Aphididae). *Journal of Plant Diseases and Protection*, **98**, 655–660.
- HUMMEL, R.L., J.F. WALGENBACH, G.D. HOYT, G.G. KENNEDY, 2002: Effects of vegetable production system on epigeal arthropod populations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **93** (1–3), 177–188, DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00346-2.
- HUUSELA-VEISTOLA, E., 1996: Effects of pesticide use and cultivation techniques on ground beetles (Col., Carabidae) in cereal fields. *Annales Zoologici Fennici*, **33** (1), 197–205.
- JOHNSON, T.B., F.T. TURPIN, M.K. BERGMAN, 1984: Effect of foxtail infestation on corn rootworm larvae (Coleoptera: Chrysomelidae) under two corn-planting dates. *Environmental Entomology*, **13**, 1245–1248.
- KENDALL, D.A., N.E. CHINN, D.M. GLEN, C.W. WILTSHIRE, L. WINSTONE, C. TIDBOALD, 1995: Effects of soil management on cereal pests and their natural enemies. In D. M. Glen, M. P. Greaves, & H. M. Anderson (Eds.), *Ecology and Integrated Farming Systems* (pp. 83–102). London, Wiley.
- KLADIVKO, E.J., 2001: Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*, **61** (1–2), 61–76, DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00179-9.
- KLINGENBERG, A., B. ULBER, 1994: Untersuchungen zum Auftreten der *Tersilochinae* (Hym., Ichneumonidae) als Larvalparasitoide einiger Rapsschädlinge im Raum Göttingen 1990 und 1991 und zu deren Schlupfabundanz nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung. *Journal of Applied Entomology*, **117** (1–5), 287–299, DOI: 10.1111/j.1439-0418.1994.tb00737.x.
- KNAUST, J., 1991: Untersuchungen zum Wanderverhalten von Laufkäfern in Feldkulturen (Col., Carabidae). *Decheniana*, **144**, 120–128.

- KOCH, H.J., K. TRIMPLER, A. JACOBS, N. STOCKFISCH, 2018: Crop rotational effects on yield formation in current sugar beet production – Results from a farm survey and field trials. *Frontiers in Plant Science*, **9** (March), 1–11, DOI: 10.3389/fpls.2018.00231.
- KREUTER, T., O. NITZSCHE, 2005: Biodiversität sächsischer Ackerflächen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, **10** (9), 1–98.
- KREUTER, T., W. SCHMIDT, 2007: Selbstregulation im pfluglosen Ackerbau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, **10**, 1–67.
- KÜHNE, S., B. FREIER, B. FRIEDRICH, 2012: Nützlingle in Feld und Flur (3rd ed.). Bonn, AID infodienst.
- KUNZ, C., D.J. STURM, D. VARNHOLT, F. WALKER, R. GERHARDS, 2016: Allelopathic effects and weed suppressive ability of cover crops. *Plant, Soil and Environment*, **62** (2), 60–66, DOI: 10.17221/612/2015-PSE.
- LARKIN, R.P., 2015: Soil health paradigms and implications for disease management. *Annual Review of Phytopathology*, **53** (1), 199–221, DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120357.
- LAU, T.-C., A.G. STEPHENSON, 1993: Effects of soil nitrogen on pollen production, pollen grain size, and pollen performance in *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *American Journal of Botany*, **80** (7), 763–768, DOI: 10.1002/j.1537-2197.1993.tb15292.x.
- LEHMANN, E., 2012: Beiträge zur Weizenproduktion: Nachhaltige Bodenbearbeitung zur Winterweizen unter den Bedingungen Mecklenburg-Vorpommerns – Ergebnisse aus langjährigen Versuchen der LFA. C. Gienapp, P. Sanftleben, H.-J. Jennerich, & H. Heilmann (Eds.). Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei (Vol. 47). Gülzow, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei.
- LÜBKE-AL HUSSEIN, M., T. KREUTER, I.A. AL HUSSEIN, H. GÜNTHER, 2008: Untersuchungen zum Einfluss konservierender Bodenbearbeitungsverfahren auf die Zusammensetzung der Bodenmesofauna unter Verwendung der Litter-Bag-Methode. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie., **16** (1999), 491–494.
- LUCK, E., 1989: Untersuchungen der Carabiden- und Staphylinidenfauna auf verschiedenen bewirtschafteten Flächen eines konventionell geführten landwirtschaftlichen Betriebes bei Bonn. Dissertation, Universität Bonn.
- LUNDGREN, J.G., J.K. FERGEN, 2011: The effects of a winter cover crop on *Diabrotica virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) populations and beneficial arthropod communities in no-till maize. *Environmental Entomology*, **39** (6), 1816–1828, DOI: 10.1603/en10041.
- MACLEOD, A., S.D. WRATTEN, N.W. SOTHERTON, M.B. THOMAS, 2004: “Beetle banks” as refuges for beneficial arthropods in farmland: Long-term changes in predator communities and habitat. *Agricultural and Forest Entomology*, **6** (2), 147–154, DOI: 10.1111/j.1461-9563.2004.00215.x.
- MADEIRA, F., T. TSCHARNIKE, Z. ELEK, U.G. KORMANN, X. PONS, V. RÖSCH, F. SAMU, C. SCHERBER, P. BATÁRY, 2016: Spillover of arthropods from cropland to protected calcareous grassland – the neighbouring habitat matters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **235**, 127–133, DOI: 10.1016/j.agee.2016.10.012.
- MARSHALL, E.J.P., A.C. MOONEN, 2002: Field margins in northern Europe: Their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **89** (1–2), 5–21, DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00315-2.
- MELMAN, D.A., C. KELLY, J. SCHNEEKLOTH, F. CALDERÓN, S.J. FONTE, 2019: Tillage and residue management drive rapid changes in soil macrofauna communities and soil properties in a semiarid cropping system of Eastern Colorado. *Applied Soil Ecology*, **143**, 98–106, DOI: 10.1016/j.apsoil.2019.05.022.
- MEYER, M., D. OTT, P. GÖTZE, H.J. KOCH, C. SCHERBER, 2019: Crop identity and memory effects on aboveground arthropods in a long-term crop rotation experiment. *Ecology and Evolution*, **9** (12), 7307–7323, DOI: 10.1002/ece3.5302.
- MGOO, V.H., R.H. MAKUNDI, B. PALLANGYO, F. SCHULTHESS, N. JIANG, C.O. OMWEGA, 2006: Yield loss due to the stemborer *Chilo partellus* (Lepidoptera: Crambidae) at different nitrogen application rates to maize. *Annales de la Société Entomologique de France*, **42** (3–4), 487–494, DOI: 10.1080/00379271.2006.10697483.
- MOESER, J., S. VIDAL, 2009: Response of larvae of invasive maize pest *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) to Carbon/Nitrogen ratio and phytoester content of European maize varieties. *Journal of Economic Entomology*, **97** (4), 1335–1341, DOI: 10.1603/0022-0493-97.4.1335.
- NITSCH, H., N. RÖDER, R. OPPERMANN, S. BAUM, J. SCHRAMEK, 2017: BfN-Skripten 472: Naturschutzfachliche Ausgestaltung von Ökologischen Vorrangflächen. Bonn, DOI: 10.19217/skr472.
- NORRIS, R.F., M. KOGAN, 2005: Ecology of interactions between weeds and arthropods. *Annual Review of Entomology*, **50** (1), 479–503, DOI: 10.1146/annurev.ento.49.061802.123218.
- NYFFELER, M., 1998: Stress im grünen Gras. Einfluss der Bewirtschaftung auf Wiesenspinnen. *Ornis*, **5**, 4–9.
- OSPITAN, O.A., J.A. DILLE, Y. ASSEFA, S.Z. KNEZEVIC, 2018: Cover crop for early season weed suppression in crops: Systematic review and meta-analysis. *Agronomy Journal*, **110** (6), 2211–2221, DOI: 10.2134/agronj2017.12.0752.
- PALLUTT, B., A. GÜNTHER, H. KREYE, 2006: Verunkrautung und Herbizidanwendung im Vergleich von wendender und nichtwendender Bodenbearbeitung. In Workshop “Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz im Ackerbau” 2005.11.23–24 Kleinmachnow (pp. 26–32). Julius Kühn-Institut, Bundesinstitut für Kulturpflanzen, DOI: 10.1515/9783111675954.185.
- PAULSEN, H.M., M. SCHOCHOW, 2007: Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau: Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. FKZ 03OE113. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für ökologischen Landbau, Trenthorst. 1–139.
- PETERS, M., A. GUMMERT, B. FREIER, B. SCHLAGE, J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, A. HERZER, J. SALTZMANN, A. SCHOBER, I. SCHNABEL, 2014: Modell- und Demonstrationsvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“ Teilprojekt „Koordination“, Ergänzung zum Zwischenbericht 2013/14. FKZ 2810MD001, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow. 1–104.
- PÖHLING, H.-M., B. FREIER, A.M. KLÜKEN, 2007: IPM Case Studies: Grain. In H. F. van Emden & R. Harrington (Eds.), *Aphids as Crop Pests* (pp. 597–612). CAB International, DOI: 10.1079/9781780647098.0173.
- PROSSER, R.S., J.C. ANDERSON, M.L. HANSON, K.R. SOLOMON, P.K. SIBLEY, 2016: Indirect effects of herbicides on biota in terrestrial edge-of-field habitats: A critical review of the literature. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **232**, 59–72, DOI: 10.1016/j.agee.2016.07.009.
- PURVIS, G., A. FADL, 1996: Emergence of Carabidae (Coleoptera) from pupation: A technique for studying the “productivity” of carabid habitats. *Annales Zoologici Fennici*, **33** (1), 215–223.
- PURVIS, GORDON, A. FADL, 2002: The influence of cropping rotations and soil cultivation practice on the population ecology of carabids (Coleoptera: Carabidae) in arable land. *Pedobiologia*, **46** (5), 452–474, DOI: 10.1078/0031-4056-00152.
- ROBEL, R.J., C. XIONG, 2001: Vegetation structure and invertebrate biomass of conventional and sustainable sorghum fields in Kansas. *Prairie Naturalist*, **33**, 1–9.
- RUPPERT, V., 1993: Einfluss blütenreicher Feldrandstrukturen auf die Dichte blütenbesuchender Nutzinsekten insbesondere der Syrphinae (Diptera: Syrphidae). Bern, Verlag Paul Haupt.
- RUSCH, A., R. BOMMARCO, M. JONSSON, H.G. SMITH, B. EKBOM, 2013: Flow and stability of natural pest control services depend on complexity and crop rotation at the landscape scale. *Journal of Applied Ecology*, **50** (2), 345–354, DOI: 10.1111/1365-2664.12055.
- RYPSTRA, A.L., P.E. CARTER, R.A. BALFOUR, S.D. MARSHALL, P.E. CARTER, 1999: Architectural features of agricultural habitats and their impact on the spider inhabitants. *Journal of Arachnology*, **27**, 371–377.
- SCHAAPFMA, A.W., F. MELOCHE, R.E. PITBLADO, 1996: Effect of mowing corn stalks and tillage on overwintering mortality of European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) in field corn. *Journal of Economic Entomology*, **89** (6), 1587–1592, DOI: 10.1093/jee/89.6.1587.
- SCHERBER, C., H. REININGHAUS, J. BRANDMEIER, G. EVERWAND, V. GAGIC, T. GREIWE, U.G. KORMANN, M. MEYER, S. NAGELSDIEK, V. RÖSCH, S. SOBEK-SWANT, C. THIES, D. OTT, 2019: Insektenvielfalt und ökologische Prozesse in Agrar- und Waldlandschaften. *Natur und Landschaft*, **6** (7), DOI: 10.17433/6.2019.50153699.245-254.
- SCHNEUNEMANN, N., M. MARAUN, S. SCHEU, O. BUTENSCHOEN, 2015: The role of shoot residues vs. crop species for soil arthropod diversity and abundance of arable systems. *Soil Biology and Biochemistry*, **81**, 81–88, DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.11.006.
- SCHINDLER, M., W. SCHUMACHER, 2007: Auswirkungen des Anbaus vielfältiger Fruchtfolgen auf wirbellose Tiere in der Agrarlandschaft (Literaturstudie). Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, **147**, 1–50.
- SCHINDLER, M., D. WITTMANN, 2011: Auswirkungen des Anbaus vielfältiger Fruchtfolgen auf wirbellose Tiere in der Agrarlandschaft – Feldstudien an Blütenbesuchern und Bodenarthropoden – Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, **167**, 1–75.
- SCHMIDT, M.H., 2004: Spinnen in Agrarlandschaften und die biologische Kontrolle von Getreideblattläusen. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.

- SCHWERDTFEGGER, F., 1978: Lehrbuch der Tierökologie. Hamburg and Berlin, Paul Parey.
- SEIDEL, P., M. SCHNABEL, 2015: ALPS: Online-Datenbank Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz. URL: <http://alps.julius-kuehn.de/>. Accessed 18 May 2020.
- SMITH, B., J.M. HOLLAND, N. JONES, S. MOREBY, A.J. MORRIS, S. SOUTHWAY, 2009: Enhancing invertebrate food resources for skylarks in cereal ecosystems: How useful are in-crop agri-environment scheme management options? *Journal of Applied Ecology*, **46** (3), 692–702, DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01638.x.
- SOUTHWOOD, T.R.E., 1973: The insect/plant relationship – an evolutionary perspective. In F. V. Emden (Ed.), *Insect-Plant Relationship* (6th ed., pp. 3–30). Oxford, Blackwell.
- STEINBORN, H.-A., H. MEYER, 1994: Einfluß alternativer und konventioneller Landwirtschaft auf die Prädatorenfauna in Agrarökosystemen Schleswig-Holsteins (Araneida, Coleoptera: Carabidae, Diptera: Dolichopodidae, Empididae, Hybotidae, Microphoridae). *Faunistische-Ökologische Mitteilungen*, **6**, 409–438.
- SVENSSON, J.R., M. LINDEGARTH, H. PAVIA, 2009: Equal rates of disturbance cause different patterns of diversity. *Ecology*, **90** (2), 496–505, DOI: 10.1890/07-1628.1.
- TAMBURINI, G., S. DE SIMONE, M. SIGURA, F. BOSCUCCI, L. MARINI, 2016: Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control. *Journal of Applied Ecology*, **53** (1), 233–241, DOI: 10.1111/1365-2664.12544.
- THIES, C., I. STEFFAN-DEWENTER, T. TSCHARNTKE, 2003: Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *Oikos*, **101**, 18–25.
- THIES, C., T. TSCHARNTKE, 1999: Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science*, **285** (5429), 893–895, DOI: 10.1126/science.285.5429.893.
- THORBEC, P., T. BILDE, 2004: Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *Journal of Applied Ecology*, **41** (3), 526–538.
- TISCHLER, W., 1965: *Agrarökologie*. Jena, Gustav Fischer Verlag Jena GmbH.
- TSCHARNTKE, T., R. BOMMARCO, Y. CLOUGH, T.O. CRIST, D. KLEIJN, T.A. RAND, J.M. TYLIANAKIS, S. VAN NOUHUYS, S. VIDAL, 2008: Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale" [Biol. Control 43 (2007) 294–309]. *Biological Control*, **45** (2), 238–253, DOI: 10.1016/S1049-9644(08)00082-0.
- VASSEUR, C., A. JOANNON, S. AVIRON, F. BUREL, J.M. MEYNARD, J. BAUDRY, 2013: The cropping systems mosaic: How does the hidden heterogeneity of agricultural landscapes drive arthropod populations? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **166**, 3–14. DOI: 10.1016/j.agee.2012.08.013.
- VIK, E., M. MÄND, R. KARISE, P. LÄÄNISTE, I.H. WILLIAMS, A. LUIK, 2012: The impact of foliar fertilization on the number of bees (Apoidea) on spring oilseed rape. *ŽEMDIRBYSTĖ*, **99** (1), 41–46.
- VON REDWITZ, C., M. GLEMNITZ, J. HOFFMANN, R. BROSE, G. VERCH, D. BARKUSKY, C. SAURE, G. BERGER, S. BELLINGRATH-KIMURA, 2019: Microsegregation in maize cropping - a chance to improve farmland biodiversity. *Gesunde Pflanzen*, **71** (2), 87–102, DOI: 10.1007/s10343-019-00457-7.
- WACHMANN, E., R. PLATEN, D. BARNDT, 1995: *Laufkäfer: Beobachtung, Lebensweise*. Augsburg, Naturbuch Verlag.
- WEISS, E., C. STETTNER, 1991: Unkräuter in der Agrarlandschaft locken blütenbesuchende Nutzinsekten an. Bern, Haupt.
- WENNINGER, E.J., J.R. VOGT, J. LOJEWSKI, O.T. NEHER, D.W. MORISHITA, K.E. DAKU, 2020: Effects of strip tillage in sugar beet on density and richness of predatory arthropods. *Environmental Entomology*, **49** (1), 33–48, DOI: 10.1093/ee/nvz135.
- WERMEILLE, E., G. CARRON, 2005: Value of fallows for the Mallow Skipper (*Carcharodus alceae*) and some other butterfly species. *Revue Suisse d'Agriculture*, **37**, 175–182.
- WHITTAKER, R.H., 1972: Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, **21** (2–3), 213–251, DOI: 10.2307/1218190.
- WILSON, T.A., B.E. HIBBARD, 2004: Host suitability of nonmaize agroecosystem grasses for the western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, **33** (4), 1102–1108, DOI: 10.1603/0046-225x-33.4.1102.
- WONG, M.K.L., B. GUÉNARD, O.T. LEWIS, 2019: Trait-based ecology of terrestrial arthropods. *Biological Reviews*, **94** (3), 999–1022, DOI: 10.1111/brv.12488.
- ZAHN, A., 2019: Arthropoden auf ökologischen Vorrangflächen mit Zwischenfrüchten – Schmale Kost für Insektenfresser? *Anliegen Natur*, **41** (1), 25–32.
- ZHAO, Z., C. HUI, D. H. HE, B.L. LI, 2015: Effects of agricultural intensification on ability of natural enemies to control aphids. *Scientific Reports*, **5**, 8024, DOI: 10.1038/srep08024.
- ZHAO, Z., C. HUI, F. OUYANG, J. LIU, X. GUAN, 2013: Effects of inter-annual landscape change on interactions between cereal aphids and their natural enemies. *Basic and Applied Ecology*, **14**, 472–479, DOI: 10.1016/j.baae.2013.06.002.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).