

Quentin Schorpp, Anna Lena Müller, Stefan Schrader, Jens Dauber

Agrarökologisches Potential der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) aus Sicht biologischer Vielfalt

Agro-ecological potential of the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) from a biodiversity perspective

412

Zusammenfassung

Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) ist eine alternative Bioenergiepflanze, die in wesentlichen Punkten zu einer umweltschonenden Nutzung von Erneuerbaren Energien beitragen könnte. Die Vorzüge der Durchwachsenen Silphie liegen insbesondere in ihren Blüheigenschaften und dem mehrjährigen Anbau ohne Bodenbearbeitung, wovon Organismengruppen profitieren können, die besondere Funktionen im Agrarökosystem wie z.B. Bestäubung oder Bodenfruchtbarkeit steuern.

Aktuell stützt sich die Erzeugung von Biomasse in Deutschland auf Anbausysteme, die aus agrarökologischer Sicht eine Bedrohung für die Biodiversität und für Ökosystemfunktionen darstellen. Die Dringlichkeit, dieser Entwicklung entgegenzusteuern, wird insbesondere bei Betrachtung des Flächenbedarfs für eine substanzielle Energieerzeugung deutlich.

Inwiefern der Anbau der Durchwachsenen Silphie die Erwartungen an eine nachhaltige Biomassenutzung erfüllt, wurde im Rahmen einer umfangreichen Erhebung von blütenbesuchenden Insekten (Bienen und Schwebfliegen) einschließlich einer Pollen- und Nektarquantifizierung sowie Bodentier-Gemeinschaften (Regenwürmer, Collembolen und Nematoden) einschließlich ihrer funktionellen

Gruppen in Beständen praxisnaher Bewirtschaftung untersucht.

Es zeigte sich, dass die Durchwachsene Silphie als Biomassepflanze über das nötige agrarökologische Potential verfügt, um die aktuelle negative Entwicklung der Biodiversität insbesondere in Regionen mit hohem Maisanteil in Monokultur abzufedern. Dieses agrarökologische Potential lässt sich jedoch nur ausschöpfen, wenn agronomische Voraussetzungen wie z.B. ein später Erntetermin und Standzeiten von mindestens fünf Jahren erfüllt sind. Unter diesen Voraussetzungen ist der Landschaftskontext zu berücksichtigen. So sind semi-natürliche Habitate als Nist- und Larvalhabitate in der Umgebung nötig, um den Lebenszyklen wildlebender Bestäubergruppen gerecht zu werden, während eine positive Entwicklung der biologischen Funktionalität des Bodens an eine ackerbauliche Vornutzung der Flächen gekoppelt ist.

Stichwörter: Bestäuber, Bodenfauna, Landschaftskontext, funktionelle Biodiversität

Abstract

The cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) is an alternative bioenergy plant that may contribute to a more environ-

Institut

Johann Heinrich von Thünen-Institut – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Biodiversität, Braunschweig

Kontaktanschrift

Dr. Jens Dauber, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Biodiversität, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: jens.dauber@thuenen.de

Zur Veröffentlichung angenommen

31. Oktober 2016

mentally friendly utilization of renewable resources. The potential benefits of the cup plant comprise its flowering-characteristics and the perennial cultivation without tillage. Hence organisms could be fostered that serve important ecosystem-functions, i.e. pollination and soil fertility.

To date biomass production in Germany is based on cropping systems that bear a risk for biodiversity and ecosystem-services. The importance to counteract this development becomes more pronounced, considering the land requirements for significant generation of energy from biomass.

To what extent cropping of the cup plant meets the expectations of a sustainable biomass production was investigated within a comprehensive assessment of pollinating insects (bees and hoverflies) including pollen- and nectar-quantification as well as of soil-fauna communities (earthworms, collembolans, nematodes) and according functional groups in cup-plant stands with a commercial orientation of management.

From the results it became obvious that the cup plant as a bioenergy crop has got the necessary potential to mitigate the negative development of biodiversity and ecosystem services, especially in regions with a large share of maize monocultures. This agro-ecological potential can only be exploited if certain agronomic requirements are met, i.e. a late harvest and cultivation periods of at least five years. Under these conditions the landscape context has to be considered. Semi-natural habitats are required for nesting and larval development of wild pollinator-groups, whereas positive development of biological functions in soil is tied to the land-use history.

Key words: Pollinators, soil fauna, landscape context, functional biodiversity

Kulturpflanzenanbau für die Biogasproduktion in Deutschland

Durch die Energieerzeugung aus Biomasse in Biogasanlagen wurde die traditionelle Landwirtschaft um einen Sektor reicher. Neben der Produktion von Lebensmitteln, Futtermitteln und Textilien werden landwirtschaftliche Flächen nun auch für die Produktion von Strom und Wärme benötigt (POPP et al., 2014). Dies schafft angesichts der begrenzt verfügbaren Ackerfläche eine Konkurrenzsituation, die nur durch Flächenzuwachs auf Kosten z.B. von Grünland- oder Bracheflächen und (nachhaltige) Intensivierung der ackerbaulichen Produktion entschärft werden kann (DORNBURG et al., 2010; HEATON et al., 2013). Hinzu kommt, dass die Biomasseproduktion flächenmäßig expandieren muss, wenn in Zukunft ein wesentlicher Anteil an der Energieversorgung aus Biomasse generiert werden soll (BERNDES et al., 2003). Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland beträgt 16,7 Mio. ha (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016). Silomais ist nach Winterweizen die am häufigsten angebaute Feldfrucht mit einem Flächenanteil von 2,13 Mio. ha. Zusätzlich werden

in Deutschland 0,46 Mio. ha mit Körnermais bestellt. Anteilig an der Gesamtmaisfläche werden derzeit 35% für die Gewinnung von Biogas verwendet, das entspricht 0,9 Mio. ha (FNR, 2016). Im Jahr 2015 war Maissilage mit 73% das Hauptsubstrat, das in Biogasanlagen eingesetzt wurde (FNR, 2016). Substrate aus sonstigen nachwachsenden Rohstoffen wurden nur mit ca. 1% eingesetzt, darunter fällt auch die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.).

In Deutschland besteht eine Konzentration von Maisanbauflächen in Gebieten, in denen eine starke tierische Veredlung vorherrscht und in denen es, durch die finanzielle Förderung regenerativer Energiequellen, zu einer Zunahme und Konzentration an Biogasanlagen kam (KARPENSTEIN-MACHAN und WEBER, 2010; GUENTHER-LÜBBERS und THEUVSSEN, 2015). Die Zunahme und Konzentration der Maisanbaufläche steht aus unterschiedlichen Blickwinkeln in der Kritik, da diese Entwicklung das Landschaftsbild entwerfen kann (NOHL, 2009; WIEHE et al., 2009), die Nutzungskonkurrenz zwischen Nahrungs-, Futtermittel- und Energiepflanzenproduktion verschärft (SPIERTZ und EWERT, 2009; POPP et al., 2014) sowie die Biodiversität in Agrarlandschaften gefährdet (BRANDT und GLEMNITZ, 2014; IMMERZEEL et al., 2014). Eingebettet im Fruchtwechsel mit anderen Kulturen kann der Maisanbau zwar die biologische Vielfalt insgesamt fördern, jedoch werden solche positiven Effekte ins Negative gekehrt, wenn der Maisanteil in der Fruchtfolge dominiert oder gar in Monokultur angebaut wird (WILLMS et al., 2009; GEVERS et al., 2011). Es ist zu befürchten, dass eine Intensivierung und Homogenisierung der Landnutzung in Mais dominierten Regionen mit einem generellen Verlust an biologischer Vielfalt auch die Resilienz der Agrarsysteme im Hinblick auf Störungen und Klimawandel reduziert (*sensu* ELMQVIST et al., 2003). Außerdem können solche Arten(-gruppen) abnehmen, welche für die Erbringung regulierender Ökosystemdienstleistungen wie der Bestäubung, der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der natürlichen Schädlingskontrolle wichtig sind (POWER, 2010).

Daher ergibt sich aus agrarökologischer Sicht die Notwendigkeit, insbesondere in Regionen mit hohem Maisanteil in Monokultur, eine Alternative zum Mais in der Biomasseproduktion zu finden. Eine Auswahl an möglichen alternativen Energiepflanzen für Biogas wurde von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. in einer Reihe von Regionalbroschüren vorgestellt (u.a. FNR, 2012). Eine der hinsichtlich des Biomasse- und Methanertrags aussichtsreichsten Kandidatinnen unter diesen Alternativen ist die Durchwachsene Silphie (GANSBERGER et al., 2015; HAAG et al., 2015).

Die Durchwachsene Silphie als Beitrag zur Nachhaltigkeit?

Die Durchwachsene Silphie stammt ursprünglich aus Nordamerika und fand in Europa bislang in geringem Umfang Verwendung als Futter- und Zierpflanze, oder

auch als Bienenweide. Es wird angenommen, dass sie durch züchterische Anpassung und Optimierung des Anbauprozesses hinsichtlich Biomasseproduktion und Biomethanerausbeuten in Konkurrenz zu Mais treten kann (GANSBERGER et al., 2015; HAAG et al., 2015). Im ersten Anbaujahr bildet die Pflanze eine bodenständige Blattrosette. Ab dem zweiten Standjahr treibt sie 2 bis 3 m hohe Stängel aus, die für mindestens zehn weitere Jahre geerntet werden können (BIERTÜMPFEL und CONRAD, 2013). Eine besonders wertvolle Eigenschaft der Durchwachsenen Silphie ist eine lange und späte Blühperiode von Juli bis September. Damit könnte die Durchwachsene Silphie bis zur Ernte blütenbesuchenden Insekten als neue Nahrungsquelle in der Agrarlandschaft dienen (GANSBERGER et al., 2015).

Die Durchwachsene Silphie als Dauerkultur unterscheidet sich auch hinsichtlich der Bodenbeanspruchung deutlich vom Maisanbau. Es findet keine Bodenbearbeitung statt und eine Beikrautbekämpfung ist nach dem zweiten Jahr nur noch vereinzelt erforderlich. Dadurch wird der Lebensraum Boden nur geringfügig gestört, wenn die Flächen zur Düngung und Ernte befahren werden. Mehrjährige Durchwurzelung und zunehmende Bodenbedeckung durch vegetatives Wachstum lassen theoretisch eine freie Entfaltung des Bodenlebens zu. Hinzu kommt, dass die Streuproduktion in Silphiebeständen relativ hoch ist. Die Zufuhr pflanzlicher Rückstände pro Hektar und Jahr kann nach Schätzung von SCHITTENHELM et al. (2016, siehe in diesem Heft) bis zu 8 t Trockenmasse betragen, somit ist mit einer hohen Bioverfügbarkeit von organischem Material für Zersetzungsprozesse zu rechnen. Viel organische Bodensubstanz und der Wiederaustritt nach der Ernte dienen durch temporäre Stickstoffspeicherung dem Boden- und Grundwasserschutz (DAUBER et al., 2016).

Daraus lässt sich aus Sicht ober- und unterirdischer Biodiversität für die Durchwachsene Silphie agrarökologisches Potential postulieren: (1) Die Durchwachsene Silphie ist eine attraktive Kulturpflanze für blütenbesuchende Insekten, da sie hohe Mengen an Nektar und Pollen bereitstellt; (2) Mehrjährige Bodenruhe und Streueintrag fördern die strukturelle und funktionelle Diversität von Bodentieren und verbessert die Nährstoffversorgung der Pflanzen. Gleichzeitig stellt sich die Frage, welche agronomische Voraussetzung erfüllt sein muss, damit das postulierte agrarökologische Potential zum Tragen kommt.

Dem mehrjährigen Anbausystem der Durchwachsenen Silphie könnte daher eine hohe agrarökologische Bedeutung für die umweltfreundliche Produktion von Biogas und die langfristige Sicherung wichtiger Ökosystemfunktionen durch einen positiven Einfluss auf die Biodiversität zukommen.

Das Verbundprojekt „Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie“

Mit dem Ziel, das Anbausystem der Energiepflanze aus agrarökologischer Sicht zu bewerten, wurden in einem

FNR-geförderten Verbundprojekt die ober- und unterirdische Biodiversität in Silphiebeständen erfasst und quantifiziert (DAUBER et al., 2016). Im Fokus standen der Einfluss der Durchwachsenen Silphie auf Bienen, Schwebfliegen, Regenwürmer, Collembolen (Springschwänze) und Nematoden.

Blütenbesuchende Insekten

Populationen blütenbesuchender Insekten in der Agrarlandschaft sind heute rückläufig. Dies lässt sich durch die komplexen Ansprüche an ihren Lebensraum begründen, denn sie benötigen sowohl eine ausreichende Versorgung mit Pollen und Nektar als auch geeignete Nist- bzw. Larvalhabitate (POTTS et al., 2010; VANBERGEN und INITIATIVE, 2013). Sowohl die Qualität als auch die Quantität dieser Habitate sind durch die Intensivierung der Landwirtschaft und durch Landnutzungswandel reduziert worden. Der hohe Einsatz von Herbiziden und Dünger bewirkt z.B. eine Verminderung der Blütenvielfalt; bei Grünlandumbruch gehen ganze Habitate verloren (DECOURTYE et al., 2010; BRETAGNOLLE und GABA, 2015).

Die Durchwachsene Silphie könnte nun bestäubenden Insekten als neue Nahrungsquelle in der Agrarlandschaft dienen. Im Rahmen des Projektes wurde deshalb zunächst das Angebot an Pollen und Nektar bestimmt, das die Durchwachsene Silphie während ihrer späten Blühperiode zwischen Juli und September bereitstellt. Dafür standen im Jahr 2012 Versuchspartzellen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) zur Verfügung. Pollenproben wurden an Silphiebeständen mit Anlagejahr 2005 und 2010 genommen und der Pollen mithilfe eines Hämocytometers („Neubauer improved“) ausgezählt. Nektar wurde an einem Silphiebestand mit Anlagejahr 2008 mithilfe von Drummond[®]-Mikrokapillarpipetten entnommen und der Zuckergehalt mithilfe eines Refraktometers (Bellingham and Stanley) bestimmt (DAUBER et al., 2016). Nach GALETTO und BERNARDELLO (2005) wurde die Zuckermenge je Röhrenblüte berechnet. Zusätzlich wurden an 15 Praxisflächen der Durchwachsenen Silphie in Niedersachsen (siehe MÜLLER und DAUBER, 2016) die Blütenstände je Pflanze gezählt. Daneben wurde im Jahr 2014 bei einem Versuch des Julius Kühn-Instituts zur Trockenstoleranz der Durchwachsenen Silphie (SCHOO et al., 2016) die Auswirkungen von Trockenstress auf die Blütenproduktion getestet.

Desweiteren wurden die Bestäuberpopulationen in Silphiebeständen mit Hilfe von Farbschalen erfasst (siehe Abb. 1), zum einen in den 15 Praxisflächen der Durchwachsenen Silphie in Niedersachsen, zum anderen im Jahr 2013 an Versuchsstandorten in Brandenburg (DAUBER et al., 2016). Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde auf die Gruppe der Bienen (Hymenoptera: Apidae) gelegt, da sie die wichtigsten Bestäuber in der Agrarlandschaft darstellen. Dabei wurden sowohl die imkerlich genutzte Honigbiene *Apis mellifera*, als auch wild lebende Bestäuber wie die Staaten bildenden Hummeln und solitäre Wildbienen erfasst. Zum Vergleich wurden zusätzlich Maisfelder, Gewässerrandstreifen und Wald-ränder in der Nähe der Praxisflächen und Wildpflanzen-



Abb. 1. Farbschalenset zur Erfassung blütenbesuchender Insekten.

mischungen aus verschiedenen, mehrjährigen Pflanzenarten, die ebenfalls als neue Biogaskulturen getestet werden, an dem Versuchsstandort in Brandenburg beprobt.

In den Praxisflächen wurden zudem Schwebfliegen (Diptera: Syrphidae) genauer untersucht. Sie benötigen Pollen und Nektar in ihrer adulten Lebensphase und nehmen so ebenfalls eine Bestäubungsfunktion wahr. Ihre Larven haben dagegen sehr unterschiedliche Ernährungstypen: Die Gruppe mit zoophagem Larvalernährungstyp frisst vor allem Blattläuse und dient so als ihr natürlicher Gegenspieler, die Gruppe mit saprophagem Larvalernährungstyp lebt in sich zersetzendem organischen Material, beispielsweise in Faulschlamm, Tümpeln oder Totholz (SOMMAGGIO, 1999).

Strukturelle und funktionelle Diversität von Bodentieren
Bodentiere lassen sich anhand ihrer Lebensweise und Habitatansprüche unterschiedlichen funktionellen Gruppen zuordnen. Diese liefern wesentliche ökologische Dienstleistungen, indem sie steuernd auf Bodenprozesse einwirken und dadurch selbst zu einem funktionellen Bestandteil des Bodens werden. Über die funktionelle Bewertung der Bodentier-Gemeinschaften lässt sich die Nachhaltigkeit des Anbausystems der mehrjährigen Durchwachsenen Silphie im Vergleich zum einjährigen Mais abschätzen und mögliche Managementempfehlungen zur Förderung der Boden-Biodiversität und ihrer Leistungen ableiten.

Für die Untersuchung der Bodenfauna wurden in den Jahren 2012 und 2013 in Thüringen und Niedersachsen Beprobungen im Frühjahr und Herbst durchgeführt. Um die langfristige Entwicklung der Bodenfauna über einen Zeitraum von zehn Jahren abzubilden, wurden Bestände unterschiedlichen Alters berücksichtigt, deren physikochemischen Eigenschaften wenig Variation aufwiesen. Zusätzlich zu den Silphiebeständen wurden Maisbestände als Referenz beprobt. Eine Übersicht über die Untersuchungsflächen zeigt Tab. 1.

Die Beprobung der Regenwürmer erfolgte nach ISO Richtlinien (ISO-23611, 2006). Auf jeder Fläche wurden vier Beprobungen durchgeführt. Dazu wurde Boden auf 0,25 m² bis in 10 cm Tiefe ausgehoben. Der Aushub wurde daraufhin per Hand nach Regenwürmern durchsucht, während tiefgrabende Regenwürmer aus der entstandenen Grube mittels Senflösung (Allyl-Isouthiocyanat) ausgetrieben wurden (ZABORSKI, 2003). Alle Regenwürmer wurden lebend im Labor auf Artniveau bestimmt und den funktionellen Gruppen anektisch, endogäisch und epigäisch nach BOUCHÉ (1977) zugeordnet.

Die Beprobung der Collembolen erfolgte im Feld durch die Entnahme von acht Bodenkernen (d = 4 cm, h = 10 cm) (Abb. 2). Die Tiere wurden aus den Bodenkernen im Labor mittels dynamischer Temperaturerhöhung extrahiert (MACFADYEN, 1961). Anschließend erfolgte eine Bestimmung der Tiere auf Familienniveau und eine Einordnung in die funktionellen Gruppen euedaphisch, hemiedaphisch und atmobiont nach GISIN (1960).

Die Beprobung der Nematoden erfolgte durch die Entnahme von 25 Bodenkernen pro Feld (d = 2 cm, h = 10 cm). Die Bodenkernkerne wurden in eine Mischprobe überführt, daraus drei Teilproben mit einem Äquivalentgewicht von 100 g trockenen Bodens entnommen und durch Nassausstreibung (BAERMANN, 1917) nach vorhergehendem mehrstufigem Sieben des aufgeschwemmten Bodensubstrats nach COBB (1918) extrahiert. Aus dem erhaltenen Nematoden-Extrakt (V = 100 ml) wurden in dreimaliger Wiederholung die Nematoden in Aliquots von 10 ml lebend gezählt. Im Anschluss wurden die Tiere mit heißem Formaldehyd fixiert, bei 1000facher Vergrößerung auf Familienniveau bestimmt und nach YEATES et al. (1993) den Ernährungstypen bacterivor, fungivor, herbivor, carnivor und omnivor zugeordnet.

Im Folgenden werden die Hauptergebnisse der Projektarbeit zusammengeführt und übergreifend diskutiert. Die erwarteten Potentiale (s.o.) werden anhand der Ergebnisse überprüft und konkretisiert.

Die Durchwachsene Silphie als attraktive Nahrungsquelle für blütenbesuchende Insekten

Pollen- und Nektarangebot der Durchwachsenen Silphie
Wie bei vielen Korbbblütlern besteht der Blütenstand aus Zungen- und Röhrenblüten, die im Fall der Durchwachsenen Silphie gelbe endständige Sammelblüten mit 4 bis 8 cm Durchmesser bilden. Die Zungenblüten tragen die Samenanlagen, während die Röhrenblüten Pollen und Nektar bereitstellen. Ein Blütenstand der Durchwachsenen Silphie produzierte im Mittel 117 Röhrenblüten (Anlagejahr 2005) bzw. 128 Röhrenblüten (Anlagejahr 2010) und 14.106 bzw. 14.200 Pollen. Silphiepflanzen im Praxisanbau produzierten im Durchschnitt 188 Blütenstände bis Mitte September (DAUBER et al., 2016). Dies entspricht einer Menge von etwa 310 bis 342 Mio. Pollen. Mais produziert im Vergleich zwischen 14 und 50 Mio. Pollen je Pflanze (Informationen zusammengetragen von EMBERLIN et al., 1999). Da das Nektarvolumen je Röhren-

Tab. 1. Übersicht über die Untersuchungsflächen für die Erhebung der Bodenfauna mit Bodeneigenschaften. Bodentypen bestimmt nach World Reference Base (IUSS working group WRB, 2006). Werte in Klammern = Standardfehler

ID	Standort	Feldfrucht	Anlagejahr	Bodentyp [WRB]	pH	C:N	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]
1	Dornburg	Silphie	2004	Mollic Leptosol	5.6 (± 0.1)	8.3 (± 0.3)	11	55	34
2	Hessberg	Silphie	2004	Terra Fusca	5.8 (± 0.6)	9 (± 0.2)	12	50	37
3	Dornburg	Silphie	2005	Mollic Leptosol	6.4 (± 0.8)	11 (± 0.4)	6	63	31
4	Dornburg	Silphie	2007	Mollic Leptosol	7.1 (± 0.1)	9.2 (± 0.5)	7	63	30
5	Erfurt	Silphie	2007	Chernozem	7.1 (± 0.2)	12.4 (± 0.7)	13	60	27
6	Pahren	Silphie	2007	Stagnic Luvisol	6.0 (± 0.1)	8.6 (± 0.1)	29	51	20
7	Dornburg	Silphie	2009	Mollic Leptosol	6.7 (± 0.2)	8.5 (± 0.3)	10	62	28
8	Erfurt	Silphie	2009	Chernozem	7.3 (± 0.1)	13.2 (± 1.5)	10	62	28
9	Burgstemmen	Silphie	2009	Haplic Luvisol	6.2 (± 0.1)	9 (± 0.3)	17	69	15
10	Erfurt	Silphie	2011	Chernozem	7.3 (± 0.1)	18.3 (± 0.6)	13	58	29
11	Niederdorla	Silphie	2011	Stagnic Luvisol	6.8 (± 0.1)	8.8 (± 0.4)	10	70	20
12	Gehrden	Silphie	2011	Haplic Luvisol	5.4 (± 0.1)	9.9 (± 0.2)	10	75	15
13	Dornburg	Mais	2012	Mollic Leptosol	6.3 (± 0)	8.3 (± 0)	7	61	32
14	Niederdorla	Mais	2012	Stagnic Luvisol	6.0 (± 0)	9 (± 0)	8	72	20
15	Gehrden	Mais	2012	Haplic Luvisol	5.8 (± 0)	8.9 (± 0)	10	75	15
16	Dornburg	Mais	2013	Mollic Leptosol	7.2 (± 0.2)	8.9 (± 0.5)	5	61	34
17	Pahren	Mais	2013	Stagnic Luvisol	5.8 (± 0.1)	9.7 (± 0.3)	29	50	22
18	Gehrden	Mais	2013	Haplic Luvisol	6.8 (± 0.4)	10.5 (± 0.8)	9	72	19


Abb. 2. Bodenkernentnahme für anschließende Extraktion von Collembolen im Labor.

blüte und der Zuckergehalt des Nektars über den Tag variierten, wurde die Zuckermenge je Blüte berechnet. So wurde eine Gesamtmenge von 0,09 mg Zucker je Röhrenblüte bestimmt (DAUBER et al., 2016). Im Vergleich dazu produziert Mais keinen Blütennektar bzw. -zucker.

Allerdings konnten bei der späten Aufnahme Mitte September nur noch acht der 15 Silphieflächen beprobt werden, da die anderen bereits geerntet waren oder kurz vor der Ernte standen. Bis Mitte August/Anfang September hatten die Pflanzen im Durchschnitt erst 150 statt 188 Blütenstände ausgebildet (DAUBER et al., 2016). Bei diesen Flächen konnte also ein Teil des Pollen- und Zuckerpentials nicht genutzt werden. Diese unterschiedlichen Erntetermine ergeben sich daraus, dass die Durchwachsene Silphie entweder zum optimalen Erntezeitpunkt Ende August/Anfang September (BIERTÜMPFEL und CONRAD, 2013) oder aber, um Kosten zu sparen, später zusammen mit Mais geerntet wird (LWK, 2013). Dies ist vor allem bei kleineren Silphieflächen der Fall, wenn der Zugewinn einer separaten Ernte die Kosten dieser zusätzlichen Ernte vor Mais nicht zu übertreffen vermag.

Zudem schwankte die durchschnittliche Anzahl der Blütenstände je Pflanze stark zwischen den Standorten mit einem Minimum von 59 und einem Maximum von 417 bei der Messung Mitte September. Eine Erklärung dafür könnten unterschiedliche Bodeneigenschaften sein. Es hat sich gezeigt, dass die Durchwachsene Silphie weit weniger trockentolerant ist, als durch die hohe Durchwurzelung vermutet wurde (SCHOO et al., 2016). So wurde in Kooperation mit dem Julius Kühn-Institut ermittelt, dass das Blütenangebot zur Hauptblüte bei Silphiepflanzen, die unter Trockenstress litten, etwa zur Hälfte reduziert war im Vergleich zu Silphiepflanzen mit optimaler Wasserversorgung (DAUBER et al., 2016).

Bienen

Honigbienen wurden vor allem während der beiden Aufnahmeperioden zur Hauptblüte der Durchwachsenen Silphie im August vergleichsweise häufig in Praxisflächen in Niedersachsen nachgewiesen, auch an Standorten, an denen die Bienenstöcke nicht direkt am Rand des Feldes standen (DAUBER et al., 2016). Wie Untersuchungen mit Pollenfallen an in der Nähe von Silphiefeldern stehenden Bienenstöcken zeigten, stellte Pollen des Silphium-Typs (da der Pollen der Silphie mit dem der Sonnenblume verwechselt werden kann, sprechen wir hier vom „Silphium-Typ“) an einigen Standorten und zu bestimmten Zeiten eine bedeutende Nahrungsquelle dar (MÜLLER et al., 2016). Es zeigte sich aber auch, insbesondere in der letzten Erfassungsperiode zwischen Ende August und Anfang September, dass die Durchwachsene Silphie gegenüber anderen Trachten recht konkurrenzschwach war und die Bienen andere Massentrachten in der Umgebung bevorzugten (MÜLLER et al., 2016). Hummeln wurden dagegen während der gesamten Blühperiode deutlich häufiger in den Silphiefeldern gefangen als in den benachbarten Habitattypen, auch während der Aufnahmeperioden im Juli am Anfang und im September am Ende der Blühperiode, als das Nektar- und Pollenangebot geringer war als während der Hauptblüte der Silphie im August. Andere Wildbienenarten waren eher selten in den Silphiefeldern anzutreffen und im Durchschnitt meist weniger häufig als in benachbarten Flächen (DAUBER et al., 2016). So scheint die Durchwachsene Silphie für gering spezialisierte Bienenarten eine willkommene Nahrungsquelle zu sein, wird aber nicht von allen in der Agrarlandschaft vorkommenden Bienen genutzt.

Auch auf den Versuchsflächen in Brandenburg zeigte sich, dass die Durchwachsene Silphie insbesondere für Hummeln eine attraktive Blüte darstellt (DAUBER et al., 2016). Andere Wildbienenarten zeigten wechselnde Häufigkeiten in den Silphie- und Wildpflanzenbeständen. Dies lässt sich durch das Zusammenspiel von zeitlich versetzten Aktivitätsperioden und unterschiedlichen Nahrungspräferenzen der verschiedenen Wildbienenarten einerseits, und einem wechselnden Blütenangebot der Wildpflanzenmischungen durch zeitlich versetzte Blühperioden der einzelnen Wildpflanzenarten andererseits erklären. Trotz wechselnder Häufigkeiten wurden aber insgesamt zwischen Juli und August, als beide Bestandstypen blühten, mehr Hummeln und sonstige Wildbienenarten in der Wildpflanzenmischung (27 Arten) als in der Durchwachsenen Silphie (18 Arten) nachgewiesen.

Schwebfliegen

Schwebfliegen zeigten verschiedene Verhaltensmuster je nach Larvalernährungstyp (MÜLLER und DAUBER, 2016): 82% aller insgesamt an den 15 Standorten in Niedersachsen erfassten Schwebfliegen mit zoophagem Larvalernährungstyp wurden während der Aufnahmeperiode im Juli zu Blühbeginn der Durchwachsenen Silphie gefangen. Anschließend ging ihre Aktivität in allen Habitattypen zurück. In der Regel wurden innerhalb

einer Aufnahmeperiode in den Silphiefeldern signifikant weniger Schwebfliegen mit zoophagem Larvalernährungstyp nachgewiesen als in den benachbarten Habitaten. Dagegen nahm die Aktivität der Schwebfliegen mit saprophagem Larvalernährungstyp zwischen Juli und September in allen Habitattypen tendenziell zu, mit Ausnahme der Waldränder, an denen diese Schwebfliegen-Gruppe immer vergleichsweise selten anzutreffen war. Die Zunahme der Aktivität dieser Schwebfliegen-Gruppe fiel in den Silphiefeldern überdurchschnittlich aus, weshalb während der Aufnahmeperiode im September signifikant mehr Individuen in den Silphiefeldern im Vergleich zu den benachbarten Habitaten nachgewiesen wurden.

Die unterschiedliche Attraktivität der Durchwachsenen Silphie für diese beiden Schwebfliegen-Gruppen lässt sich neben den unterschiedlichen Aktivitätsperioden durch unterschiedlichen Zugang zum Nektar erklären. Während der Pollen aus den Röhrenblüten heraus gedrückt wird, wird der Nektar innerhalb der Röhrenblüte produziert. Da adulte Tiere der nachgewiesenen Schwebfliegenarten mit zoophagem Larvalernährungstyp im Vergleich zum saprophagen Typ meist kurzrüsslicher waren, könnte ihr Zugang zum Nektar erschwert gewesen sein. Für letztere kann die Durchwachsene Silphie also insbesondere als spätes Nektar- und Pollenangebot von besonderem Wert sein.

Die Anzahl der Individuen und Arten vom saprophagen Larvalernährungstyp stieg in den Silphiefeldern mit zunehmendem Anteil semi-natürlicher Habitats in einem Umkreis von 3 km um die Felder an. Zu diesen semi-natürlichen Habitats zählten halboffene Habitats wie Heiden und Naturschutzgebiete wie z.B. Feuchtwiesen und Auenwälder an Fließgewässern. Hier konnten sich die Schwebfliegen mit saprophager Larvalernährung wahrscheinlich besser reproduzieren, bevor die adulten Tiere in der Agrarlandschaft auf Nahrungssuche gingen.

Mehrfährige Bodenruhe und Streueintrag fördern die strukturelle und funktionelle Diversität von Bodentieren

Regenwürmer

In den Silphiebeständen wurden mit insgesamt neun Regenwurmartens fast doppelt so viele Arten wie in den Maisbeständen mit fünf Arten nachgewiesen (SCHORPP und SCHRADER, 2016). Dabei konnte ein schrittweiser Zuwachs an Arten über eine Anbaudauer von neun Jahren beobachtet werden. Innerhalb der Regenwurm-Gemeinschaften der Durchwachsenen Silphie nimmt die Häufigkeit anektischer Arten (hier: *Lumbricus terrestris* und *Aporrectodea longa*) mit zunehmendem Alter der Silphiebestände deutlich zu (Abb. 3). Da diese Arten ihre Gänge bis in große Tiefe graben, verbessern sich die Wasserinfiltration und der Gasaustausch des Bodens (EDWARDS und SHIPITALO, 1998). Zusätzlich produzieren anektische Regenwürmer stabile Losung mit eingearbeiteter Streu an der Bodenoberfläche, die biologisch hochaktive ,hot

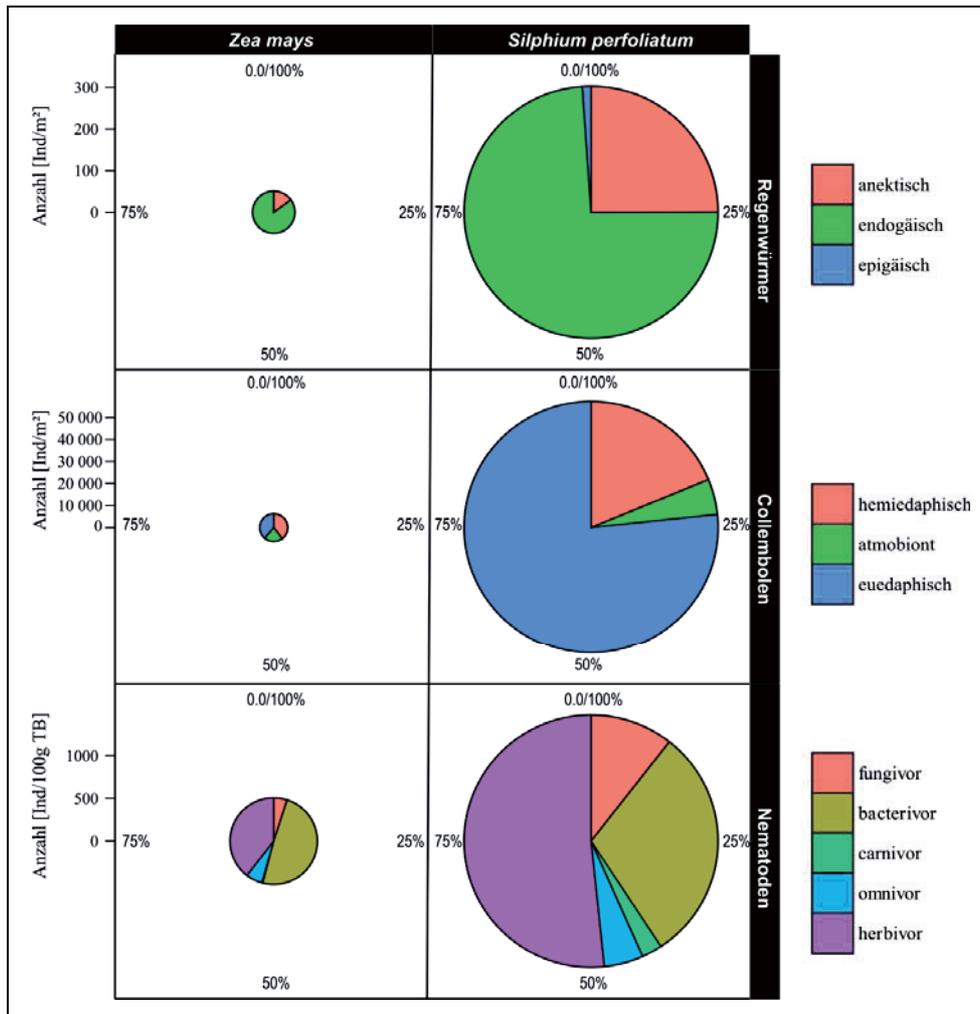


Abb. 3. Relative Anteile der funktionellen Bodentier-Gemeinschaften (oben: Regenwürmer; mittig: Collembolen; unten: Nematoden) in Beständen zweier unterschiedlicher Energiepflanzen (links: Mais; rechts: Durchwachsene Silphie). Der Radius der Kreisdiagramme entspricht der Gesamtabundanz der Bodentier-Gemeinschaften. Arithmetisches Mittel für Mais (n = 6) und Silphie (n = 12). TB = trockener Boden.

spots' darstellen (SCHRADER und SEIBEL, 2001). So wird der Boden vor Erosion geschützt (PITKÄNEN und NUUTINEN, 1998). Zudem konnten in der Silphie auch epigäische Arten nachgewiesen werden (hier: *L. castaneus* und *L. rubellus*), die in Maisflächen gänzlich fehlten (Abb. 3). Jedoch war ihr Vorkommen auf spätere Anbaujahre (5–9 Jahre) beschränkt. Zusammen mit den anektischen Arten beschleunigen sie den Streuabbau und fördern damit die Mineralisation. Neben den drei endogäischen Arten *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea* und *Allolobophora chlorotica* in den Maisbeständen treten mit *Octolasion cyaneum* und *O. lacteum* zwei weitere endogäische Arten in den Silphieflächen auf. Ihr Vorkommen konnte ab einem Bestandesalter von drei Jahren beobachtet werden und ging mit einer stetigen Zunahme ihrer Häufigkeiten einher.

Insgesamt stiegen die Gesamtabundanz und die Gesamtbiomasse der Regenwürmer mit dem Bestandesalter der Silphieflächen stetig an (SCHORPP und SCHRADER, 2016). Im Vergleich dazu wiesen die Maisflächen die niedrigsten Werte auf (SCHORPP und SCHRADER, 2016). In der Summe erweisen sich also Silphiebestände als Refugium für artenreiche Regenwurm-Gemeinschaften, wie sie in Acker-

kulturen nur selten auftreten. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung und die an der Bodenoberfläche verbleibende Streu als Nahrungsressource schaffen die Voraussetzung für verbesserte Lebensbedingungen im Boden. Der Anbau der Durchwachsenen Silphie ist als Maßnahme zur Förderung der Lebensraumfunktion (BBODSCHG, 1998) landwirtschaftlich genutzter Böden zu werten, wobei lange Anbauzeiträume von mindestens fünf Jahren Voraussetzung für eine nachhaltige Verbesserung von durch Regenwürmer gesteuerte Bodenfunktionen sind.

Collembolen

Die Collembolen-Gemeinschaften der Silphiebestände werden durch insgesamt zwölf Familien charakterisiert. Davon kamen fünf Familien ubiquitär in allen Altersstufen vor. Flächen mit einem Bestandesalter von drei bis vier Jahren wiesen die meisten Familien auf. In den Maisflächen fehlten sechs Familien gänzlich, dennoch konnte kein signifikanter Unterschied im Shannon Index zwischen den Altersstufen festgestellt werden. Der Shannon-Index misst die Biodiversität sowohl unter Berücksichtigung der Anzahl der Familien als auch ihrer Abundanzen. Die Gesamtabundanz aller Collembolen unter-

schied sich signifikant zwischen den Altersstufen. Die ältesten Untersuchungsflächen (8–9 Jahre) wiesen deutlich höhere Individuendichten auf als junge Silphiebestände oder Maisflächen. Die Gesamtabundanz zeigt zudem einen stetigen Anstieg über die Altersstufen. Bei den Collembolen-Gemeinschaften verdoppelte sich der Anteil an euedaphischen Arten in den Silphiebeständen im Vergleich zu Maisbeständen, während der Anteil atmobionter und hemiedaphischer Arten relativ zur Größe der Gesamtpopulation sank (Abb. 3). Methodisch bedingt (Bodenkern-Entnahme) wurden hier die atmobionten Arten wahrscheinlich unterschätzt und spiegeln eher die Menge der unmittelbar im Boden geschlüpften Individuen wieder. Die Dominanz der euedaphischen Vertreter dokumentiert, dass vor allem der kleinporige Bodenraum an Habitat-Qualität für Collembolen gewinnt. Es ist zu vermuten, dass eine derartige Verbesserung durch eine Steigerung der biologischen Aktivität im Oberboden hervorgerufen wird, wodurch die Menge sich zersetzenden organischen Materials im kleinporigen Bodengefüge steigt. Daran könnten auch die zunehmende Durchwurzelung und absterbende Wurzelteile beteiligt sein. Primärzersetzer wie Regenwürmer scheinen dabei eine wichtige Rolle zu spielen. Ein Phytokosmen-Versuch mit Durchwachsener Silphie und *L. terrestris* im Gewächshaus zeigte, dass unter Regenwurmaktivität signifikant mehr Wurzel-Biomasse gebildet wird (DAUBER et al., 2016). Die Bodentextur ist hierbei ein wichtiger Faktor: In sandigem Boden ist der Effekt signifikant höher als in lehmigem Boden. Es kann davon ausgegangen werden, dass regulatorische Wirkungen von Collembolen auf mikrobielle Zersetzungsprozesse die Verfügbarkeit organischer Substanz und mineralischer Nährstoffe im Oberboden des Silphie-Anbausystems langfristig erhöhen.

Nematoden

Die Nematoden-Gemeinschaften der Silphiebestände umfassen insgesamt 25 Familien (SCHORPP und SCHRADER, eingereicht). Der überwiegende Teil sind freilebende Nematoden. Pflanzenparasitische Nematoden sind durch die Familien Pratylenchidae, Telotylenchidae und Hoplolaimidae vertreten. In der Gesamtanzahl der Familien waren zwischen den Altersstufen der Silphiebestände keine Unterschiede zu erkennen. Dreizehn Familien kamen ubiquitär in allen Altersstufen vor. Bei Betrachtung der Abundanz zeigte sich ein signifikanter Unterschied von hohen Individuendichten in mindesten drei bis vier Jahre alten Silphiebeständen und geringen Dichten in Silphiebeständen ein Jahr nach Anlage sowie in Mais-Beständen. Funktionelle Unterschiede in den Nematoden-Gemeinschaften ließen sich anhand von anteiligen Verschiebungen der Ernährungstypen zwischen den Silphiebeständen identifizieren. Verglichen mit Maisbeständen zeigten die Nematoden-Gemeinschaften der Silphie einen Rückgang bacterivorer Arten, einhergehend mit einem leichten Anstieg der fungivoren Arten (Abb. 3). Auch der Anteil herbivorer Arten stieg in Böden unter Silphiebeständen deutlich an. Dies zeigte sich insbesondere in älteren Beständen (7 bis 9 Jahre nach Anla-

ge), in denen Vertreter der Gattung *Helicotylenchus* bis zu 78% der Gemeinschaften umfassten (SCHORPP und SCHRADER, eingereicht). Die zahlenmäßige Zunahme der fungivoren Nematoden in Silphiebeständen deutet darauf hin, dass der pilzbasierte Zersetzerkanal an Bedeutung gewinnt. Dieser Zersetzerkanal ist langlebiger als ein auf Bakterien basierender und zeigt zeitlich separierte Aktivitäten im Nährstoffkreislauf des Bodens sowie ein höheres Potential zur Nährstoffspeicherung (MOORE, 1994). Die erhöhte Zahl pflanzenparasitischer Nematoden ist wahrscheinlich auf die dauerhafte Durchwurzelung des Bodens zurückzuführen. Durch direkte Verstoffwechslung von Pflanzenstoffen können herbivore Nematoden auch positiv zur Bodenfruchtbarkeit beitragen, sofern keine kritischen Populationsdichten erreicht werden (FRECKMAN, 1982). Auffällig bei der Untersuchung der pflanzenparasitischen Nematoden waren jedoch die extrem erhöhten Populationsdichten von *Helicotylenchus* spp. Eine Beurteilung seiner Schadwirkungen setzt jedoch weitere Untersuchungen im Feld voraus. Bislang sind jedenfalls keine Ertragsseinbußen in den älteren Silphiebeständen aus den Untersuchungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) bekannt. Auffällig war außerdem, dass Arten aus der Schädlingfamilie der Pratylenchidae nur in Maisbeständen auftraten. Die Analyse der Nematoden-Gemeinschaften zeigt, dass das Silphie-Anbausystem nach Verzicht auf Bodenbearbeitung die Vermehrung von Nematoden im Boden zwar fördert, jedoch keine Diversifizierung der Gemeinschaften stattfindet. Folglich wird deutlich, dass es sich in den Silphiebeständen auch nach acht Jahren noch um ackertypische Nematoden-Gemeinschaften handelte.

Die Durchwachsene Silphie als Hoffnungsträgerin für eine höhere biologische Vielfalt in Agrarlandschaften

Die Durchwachsene Silphie bietet ein großes agrarökologisches Potential, wenn die notwendigen agronomischen Voraussetzungen hinsichtlich des Managements und der Standortwahl erfüllt sind (Abb. 4).

Blütenbesuchende Insekten

Potential: Das gute Angebot von Pollen und Nektar (Abb. 4) im Vergleich zu Mais konnte durch die Untersuchungen bestätigt werden. Dieses Angebot wurde auch von Honigbienen und einigen Arten der Hummeln und Schwebfliegen mit saprophagem Larvalernährungstyp besonders genutzt. Honigbienen produzieren am Ende des Jahres neue Arbeiterinnen, die mit der Königin zusammen überwintern. Für die Aufzucht dieser sogenannten Winterbienen benötigt das Bienenvolk Pollen, welche die Durchwachsene Silphie zu dieser Zeit anbietet. Hummeln benötigen ebenfalls das Ressourcenangebot, da diese am Ende des Volkszyklus Geschlechtstiere ausbilden, die ausfliegen, um sich miteinander zu verpaaren. Einige saprophage Schwebfliegenarten zeigen eine späte Aktivitätsperiode und benötigen Energie für ihre weiten Migrationsflüge. Die späte Blüte der Durchwachsenen Silphie

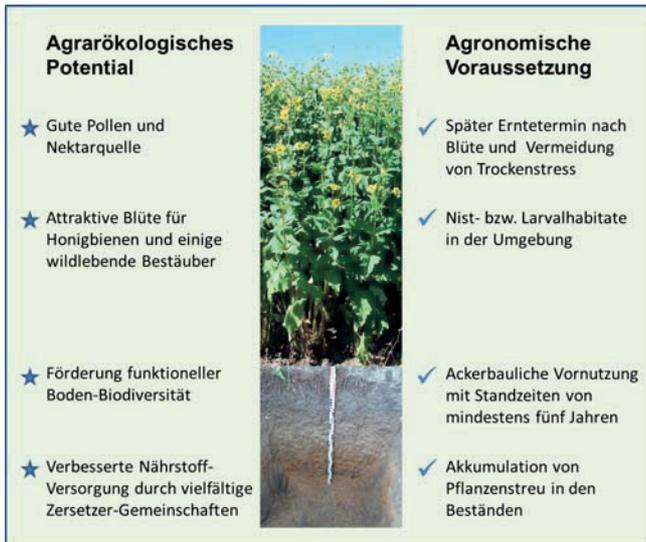


Abb. 4. Agrarökologisches Potential und dessen agronomische Voraussetzung im Anbausystem der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) in Bezug auf die funktionelle Vielfalt der blütenbesuchenden Insekten und der Bodentier-Gemeinschaften.

ist attraktiv für Honigbienen und einige wildlebende Bestäuber (Abb. 4) und kann dadurch zu kritischen Phasen im Lebenszyklus dieser Insekten Nahrungsressourcen bieten.

Voraussetzung: Fällt die Standortwahl für die Durchwachsene Silphie auf Ackerflächen, die vorher mit Mais oder anderen einjährigen Ackerkulturen angebaut wurden, so haben diese Flächen in der Regel eine gute Wasser- und Nährstoffversorgung. Nur auf diesen Standorten können sich die Pflanzen optimal entwickeln. Hier kann nicht nur ein hoher Ernteertrag erzielt, sondern auch eine hohe Menge an Pollen und Nektar produziert werden (Abb. 4). Nur bei einem späten Erntetermin können Insekten mit später Aktivitätsperiode von der Nahrungsressource im September profitieren. Die Empfehlung, dass die Durchwachsene Silphie auch auf zu Trockenheit neigenden Grenzstandorten angebaut werden kann, wird von uns nicht unterstützt, da sich Trockenstress u.a. negativ auf die Blütenbildung auswirkt. Hummeln und andere Wildbienen, welche an ihren Nistplatz gebunden sind, benötigen ganzjährig Nahrungsquellen in der näheren Umgebung. Honigbienen können zwar notfalls vom Imker aufgefüttert werden, aber auch hier ist eine abwechslungsreiche Ernährung über die ganze Vegetationsperiode hinweg wichtig für eine gute Fitness. Deshalb kann der Anbau der Durchwachsenen Silphie nur dann erfolgreich zum Schutz der Bestäuber beitragen, wenn er Teil eines Landschaftsmanagements wird, das sowohl ein vielseitiges, ganzjähriges Blütenangebot in der Agrarlandschaft etabliert als auch Nist- und Larvalhabitate für Blütenbesucher erhält (Abb. 4). Dies kann z.B. durch künstliche Blühstreifen und eine weitere Diversifizierung des Ackerbaus mit blühenden Kulturen erfolgen, oder

aber durch die Extensivierung von Äckern, Ackerrandstreifen und Dauergrünland, damit sich ein breites Spektrum an Bei- und Wildkräutern auf den landwirtschaftlichen Flächen ansiedeln kann. Schutz und Ausweitung semi-natürlicher Habitate wie z.B. extensive Feuchtwiesen an Gewässern, Heiden, oder naturnahe Wälder oder Waldparzellen, sind ein wichtiger Teil des Konzeptes zum Schutz und Aufbau der Bestäuberpopulationen in der Agrarlandschaft.

Strukturelle und funktionelle Diversität von Bodentieren Potential: Das Anbausystem der Durchwachsenen Silphie fördert die Diversität der Bodentiere und ihre Funktionen (Abb. 4). Das Bodengefüge erfährt durch die Grabtätigkeit der Regenwürmer und eine dauerhafte Durchwurzelung Strukturänderungen, die sich positiv auf die Wasserinfiltration und Erosionsbeständigkeit auswirken können. Tiefe, vertikale Gangsysteme von anektischen Regenwürmern ermöglichen eine rasche Versickerung von Niederschlags- und Stauwasser, das bis in den Unterboden verfügbar wird. Die Bodenfruchtbarkeit wird positiv beeinflusst, indem Nährstoffe und Abbauprodukte aus der Zersetzung von grobem Streumaterial durch biologische Aktivität (Abb. 4) bis in den kleinporigen Bodenraum verteilt werden. Das Prosperieren des pilzbasierten Zersetzerkanals und die Zunahme der euedaphischen Collembolen weisen auf eine Umschichtung/Verschiebung der Nährstoffkreisläufe hin. Innerartliche Populationsdynamiken und zwischenartliche Interaktionen liefern ganzjährig Nährstoffe aus den Stoffwechselprodukten der Bodenorganismen. Damit kann das mehrjährige Anbausystem der Durchwachsenen Silphie als nachhaltig gegenüber dem einjährigen Mais angesehen werden.

Voraussetzung: Die Förderung der Boden-Biodiversität setzt eine ackerbauliche Vornutzung zukünftiger Silphieflächen voraus (Abb. 4). Wenn Standorte mit geringer Nutzungseignung bereits extensiv als mehrjährige Ackerbrache oder Dauerkulturen bestellt wurden, ergibt sich bei einer Umstellung auf die Durchwachsene Silphie kein Mehrgewinn für die Bodentier-Gemeinschaften. Außerdem ist eine längere Standzeit der Durchwachsenen Silphie von mindestens fünf Jahren erforderlich (Abb. 4), bis positive Effekte für die Boden-Biodiversität verzeichnet werden. Die Entwicklung der strukturellen Biodiversität vollzieht sich langsam, weshalb die Populationsgrößen neu etablierter Arten zunächst klein bleiben. Als Beispiele sind die schrittweise Ansiedelung von endogäischen *Octolasion* und epigäischen *Lumbricus* Arten, oder auch die Zunahme carni- und omnivorer Nematoden zu nennen. Die Zuwanderung von epigäischen Regenwürmern fand nur vereinzelt und in geringen Individuendichten statt. Die große Zunahme in den funktionellen Gruppen verläuft über eine einseitige Vermehrung einzelner Taxa. Fungivore Nematoden stammten überwiegend aus der Familie der Aphelenchidae, euedaphische Collembolen wurden von wenigen Vertretern der Tullbergiidae dominiert. Solche einseitigen Dominanzverhältnisse zeigen ein labiles Gleichgewicht im Boden-nahrungsnetz an. Störungsanfälligkeit und verringerte

Resilienz sind die Folge. Betrachtet man die Zusammensetzung der vorgefundenen Bodentiergemeinschaften, wird deutlich, dass es sich um ackertypische Gemeinschaften handelt. Stoppelhorste, die nach der Ernte auf den Flächen verbleiben, bilden erneut Triebe aus, die über den Winter abfrieren und als Nahrungsressource für Bodentier-Gemeinschaften auf dem Boden verbleiben (Abb. 4). Je früher die Ernte erfolgt, desto größer wird die Biomasse des Wiederaustriebs.

Schlussfolgerung für den Anbau der Durchwachsenen Silphie

Eine Ausweitung des Anbaus der Durchwachsenen Silphie ist aus agrarökologischer Sicht wünschenswert, sollte sich aber an den genannten agronomischen Voraussetzungen orientieren (Abb. 4) und auch nur unter diesen Voraussetzungen gefördert werden. Der Erntetermin der Durchwachsenen Silphie erweist sich sowohl innerhalb des agrarökologischen Potentials (lange Blühphase versus Wiederaustrieb nach Ernte) als auch hinsichtlich der Ertragsleistung als ein sensibler Punkt, für den weiterer Forschungs- und Optimierungsbedarf existiert. Die Durchwachsene Silphie verfügt als mehrjährige Biomassepflanze über das nötige agrarökologische Potential, um dem aktuellen Rückgang der strukturellen und funktionellen Biodiversität bei blütenbesuchenden Insekten und Bodentier-Gemeinschaften entgegen zu wirken. Das gilt insbesondere für Regionen mit hohem Maisanteil in Monokultur. Die agrarökologische Bedeutung von Silphiebeständen ist deshalb bei zukünftigen Untersuchungen im Kontext der landwirtschaftlichen Kulturlandschaft zu betrachten. In der Praxis sollte die Etablierung der Durchwachsenen Silphie möglichst auf der Entwicklung eines umfassenden Landschaftskonzepts beruhen.

Dank

Wir danken Doreen GABRIEL und Sabrina JERRENTURP für ihren wertvollen Rat bei der statistischen Datenauswertung sowie Stefan MECKE bei der Landschaftsanalyse. Außerdem danken wir Axel SSYMANK und Daniela WARZECHA für die Hilfe bei der Bestimmung der Schwebfliegen und Bienen. Ohne die tatkräftige Unterstützung im Feld und Labor durch Sabine EL SAYED, Evelyn SCHUMMER, Sarah HAVERTZ und Stephanie BOLEY (unterirdische Biodiversität) sowie Juliane BADER, Christian BERGER, Andrea BIERTÜMPFEL, Tilmann DREYSSE, Lennart FRIEDRITZ, Agnes FÖRSTER, Philipp VON GEHREN, Katharina HAUPT, Andrea KREMLING, Gabriele LOHSS, Hanna SCHMITZ, Stefan SCHUSTER, Kati SEVKE-MASUR und Katja STEININGER (oberirdische Biodiversität) wären die Untersuchungen nicht möglich gewesen. Wir danken allen Betriebsleitern und -leiterinnen für die Erlaubnis ihre Flächen für unsere Untersuchungen zu nutzen. Wir danken auch dem Institut für Geographie der Universität Osnabrück (Prof. Dr. Gabriele BROLL, Dr. Hans-Jörg BRAUCKMANN) sowie der

Ruhe Agrar GmbH im Rahmen des Projekts „Optimierte Energiepflanzen-Anbausysteme zur nachhaltigen Biogaserzeugung – Upscaling der FuE-Ergebnisse zu neuen Kulturen und deren Implementierung (FNR FKZ 22017511)“ für die gute Zusammenarbeit. Das unseren Ergebnissen zugrundeliegende Vorhaben (Förderkennzeichen: TV1: 22004411) wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Finanzmitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt.

Literatur

- BAERMANN, G., 1917: Eine einfache Methode zur Auffindung von *Ankylostomum* (Nematoden)-Larven in Erdproben. *Geneeskunde Tijdschrift vor Nederlandsch-Indie* **57**, 131-137.
- BBODSCHG (Bundes-Bodenschutzgesetz) vom 17. März 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BGBl. I S. 502). Zuletzt geändert: 31. August 2015 durch Artikel 101 (BGBl. I S. 1474).
- BERNDES, G., M. HOOGWIJK, R. VAN DEN BROEK, 2003: The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* **25** (1), 1-28.
- BIERTÜMPFEL, A., M. CONRAD, 2013: Erhöhung des Leistungspotentials und der Konkurrenzfähigkeit der Durchwachsenen Silphie als Energiepflanze durch Züchtung und Optimierung des Anbauverfahrens. Teilvorhaben 2: Optimierung des Anbauverfahrens und Bereitstellung von Selektionsmaterial. Abschlussbericht (FKZ 22012809). Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL). <http://www.fnr.de/index.php?id=11151&fkz=22012809> (Stand: 30. August 2016).
- BOUCHÉ, M.B., 1977: Stratégies lombriciennes. In: M. LOHM, T. PERSSON (Hrsg.): *Soil Organisms as Components of Ecosystems*. Stockholm, Sweden, *Ecological Bulletin* **25**, 122-132.
- BRANDT, K., M. GLEMNITZ, 2014: Assessing the regional impacts of increased energy maize cultivation on farmland birds. *Environmental Monitoring and Assessment* **186** (2), 679-697.
- BRETAGNOLLE, V., S. GABA, 2015: Weeds for bees? A review. *Agronomy for Sustainable Development* **35**, 891-909.
- COBB, N.A., 1918: Estimating the nematode population of the soil. *USDA* **1**, 1-48.
- DAUBER, J., A.L. MÜLLER, S. SCHITTENHELM, B. SCHOO, Q. SCHORPP, S. SCHRADER, S. SCHROETTER, 2016: Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) als eine Biomassepflanze der Zukunft. Schlussbericht (FKZ 22004411). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen Institut. <http://www.fnr.de/index.php?id=11151&fkz=22004411> (Stand: 30. August 2016).
- DECOURTYE, A., E. MADER, N. DESNEUX, 2010: Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie* **41**, 246-277.
- DORNBURG, V., D. VAN VUUREN, G. VAN DE VEN, H. LANGEVELD, M. MEEUSEN, M. BANSE, M. VAN OORSCHOT, J. ROS, G.J. VAN DEN BORN, H. AIKING, M. LONDO, H. MOZAFFARIAN, P. VERWEIJ, E. LYSENG, A. FAALJ, 2010: Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy. *Energy & Environmental Science* **3**, 258-267.
- EDWARDS, W.M., M.J. SHIPITALO, 1998: Consequences of earthworms in agricultural soils: aggregation and porosity. In: C. A. EDWARDS (Hrsg.): *Earthworm Ecology*. Boca Raton, Florida, CRC Press LLC, 147-161.
- ELMQVIST, T., C. FOLKE, M. NYSTRÖM, G. PETERSON, J. BENGTTSSON, B. WALKER, J. NORBERG, 2003: Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment* **1**, 488-494.
- EMBERLIN, J., B. ADAMS-GROOM, J. TIDMARSH, 1999: A report on the dispersal of Maize pollen. National Pollen Research Unit, University College Worcester. <http://www.mindfully.org/GE/Dispersal-Maize-Pollen-UK.htm> (Stand: 15. Juli 2016).
- FNR (Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe), 2012: Energiepflanzen für Biogasanlagen. Gülzow, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V., 80 S.
- FNR (Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe), 2016: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe: Daten und Fakten. <https://>

- mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten.html (Stand: 25. Juni 2016).
- FRECKMAN, D.W., 1982: Nematodes in Soil Ecosystems. Austin, Texas, University of Texas Press, 220 S.
- GALETTO, L., G. BERNARDELLO, 2005: Nectar. In: A. DAFNI, P. G. KEVAN, B. C. HUSBAND (Hrsg.): Practical Pollination Biology. Cambridge, Ontario, Canada, Enviroquest, 261-313.
- GANSBERGER, M., L.F.R. MONTGOMERY, P. LIEBHARD, 2015: Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial Crops and Products* **63**, 362-372.
- GEVERS, J., T.T. HØYE, C.J. TOPPING, M. GLEMNITZ, B. SCHRÖDER, 2011: Biodiversity and the mitigation of climate change through bioenergy: impacts of increased maize cultivation on farmland wildlife. *Global Change Biology Bioenergy* **3** (6), 472-482.
- GISIN, H., 1960: Collembolenfauna Europas. Genf, Muséum d'Histoire Naturelle, 312 S.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., L. THEUVSSEN, 2015: Regionalwirtschaftliche Effekte der Biogasproduktion: Eine Analyse am Beispiel Niedersachsens. *Berichte über Landwirtschaft – Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft* **93** (2), 1-21.
- HAAG, N.L., H.-J. NÄGELE, K. REISS, A. BIERTÜMPFEL, H. OECHSNER, 2015: Methane formation potential of cup plant (*Silphium perfoliatum*). *Biomass and Bioenergy* **75**, 126-133.
- HEATON, E.A., L.A. SCHULTE, M. BERTI, H. LANGEVELD, W. ZEGADA-LIZARAZU, D. PARRISH, A. MONTI, 2013: Managing a second-generation crop portfolio through sustainable intensification: Examples from the USA and the EU. *Biofuels Bioproducts and Biorefining* **7**, 702-714.
- IMMERZEEL, D.J., P.A. VERWEL, F. VAN DER HILST, A.P.C. FAAL, 2014: Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. *Global Change Biology Bioenergy* **6**(3), 183-209.
- ISO-23611, D., 2006: Soil quality – Sampling of soil invertebrates – Part 1: Hand-sorting and formalin extraction of earthworms. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization.
- IUSS WORKING GROUP WRB, 2006: World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report. Rome, FAO.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M., C. WEBER, 2010: Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **42** (10), 312-320.
- LWK, 2013: Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Durchwachsene Silphie in Niedersachsen. <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/74/article/21404.html> (Stand: 03. Juli 2016).
- MACFADYEN, A., 1961: Improved funnel-type extractors for soil arthropods. *Journal of Animal Ecology* **30** (1), 171-184.
- MOORE, J.C., 1994: Impact of agricultural practices on soil food web structure: Theory and application. *Agriculture Ecosystems & Environment* **51**, 239-247.
- MÜLLER, A.L., J. DAUBER, 2016: Hoverflies (Diptera: Syrphidae) benefit from a cultivation of the bioenergy crop *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae) depending on larval feeding type, landscape composition and crop management. *Agricultural and Forest Entomology*. DOI: 10.1111/afe.12175.
- MÜLLER, A.L., L. FRIEDRITZ, J. DAUBER, 2016: Pollensegen für die Honigbienen? Was die Durchwachsene Silphie leisten kann. *die biene* 06.2016, 12-13.
- NOHL, W., 2009: Grassland and Landscape Aesthetics – Aesthetic relevance of grassland and the impact of grassland reduction on landscape scenery. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **41** (12), 357-364.
- PITKÄNEN, J., V. NUUTINEN, 1998: Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. *Applied Soil Ecology* **9**(1-3), 411-415.
- POPP, J., Z. LAKNER, M. HARANGI-RÁKOS, M. FÁRI, 2014: The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **32**, 559-578.
- POTTS, S.G., J.C. BIESMEIJER, C. KREMEN, P. NEUMANN, O. SCHWEIGER, W.E. KUNIN, 2010: Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* **25**, 345-353.
- POWER, A.G., 2010: Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **365**, 2959-2971.
- SCHITTENHELM, S., B. SCHOO, S. SCHROETTER, 2016: Ertragsphysiologie von Biogaspflanzen: Vergleich von Durchwachsener Silphie, Mais und Luzernegras. *Journal für Kulturpflanzen* **68** (12), S. 378-384.
- SCHOO, B., K.P. WITTICH, U. BÖTTCHER, H. KAGE, S. SCHITTENHELM, 2016: Drought tolerance and water-use efficiency of biogas crops: a comparison of cup plant, maize and lucerne-grass. *Journal of Agronomy and Crop Science*. DOI: 10.1111/jac.12173.
- SCHORPP, Q., S. SCHRADER, 2016: Earthworm functional groups respond to the perennial energy cropping system of the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.). *Biomass and Bioenergy* **87**, 61-68.
- SCHORPP, Q., S. SCHRADER, einger.: Dynamic of Nematode communities in energy plant cropping systems. *European Journal of Soil Biology*.
- SCHRADER, S., C. SEIBEL, 2001: Impact of cultivation management in an agroecosystem on hot spot effects of earthworm middens. *European Journal of Soil Biology* **37**(4), 309-313.
- SOMMAGGIO, D., 1999: Syrphidae: can they be used as environmental bioindicators? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **74**, 343-356.
- SPIERTZ, J., F. EWERT, 2009: Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: opportunities and constraints. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences* **56**, 281-300.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (StBA), 2016: Statistisches Bundesamt Deutschland: Zahlen und Fakten – Energie. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Energie.html;jsessionid=34F0F7937A934C977F8EFEA391474-DE6.cae3> (Stand: 25. Juni 2016).
- VANBERGEN, A.J., I.P. INITIATIVE, 2013: Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* **11**, 251-259.
- WIEHE, J., E. VON RUSCHKOWSKI, M. RODE, H. KANNING, C. VON HAAREN, 2009: Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Landschaft. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **41** (4), 107-113.
- WILLMS, M., M. GLEMNITZ, J. HUFNAGEL, 2009: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA): Teilprojekt II: „Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“. Schlussbericht (FKZ 22002405). Münchenberg: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. <http://www.eva-verbund.de/untersuchungsberichte/teilprojekte/teilprojekt-2-oekologie.html> (Stand: 5. September 2016).
- YEATES, G.W., T. BONGERS, R.G.M. de GOEDE, D.W. FRECKMAN, S.S. GEORGIEVA, 1993: Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* **25** (3), 315-331.
- ZABORSKI, E.R., 2003: Allyl isothiocyanate: an alternative chemical expellant for sampling earthworms. *Applied Soil Ecology* **22** (1), 87-95.