

Neue Konzepte zur umweltverträglichen Nutzung des Bodens

Sebastian Wolfrum und Johannes Burmeister

Zusammenfassung

Gesunder Boden, gesunde Pflanze, gesunder Mensch/gesundes Tier. Ein gesunder Boden hat ausgewogene physikalische, chemische und biologische Komponenten, von denen viele bekannt sind, doch in der Praxis kaum beachtet werden. Der Klimawandel mit längeren Trockenperioden und mehr Starkregenereignissen und Erosionsrisiken erfordert eine Neubesinnung auf die Tugenden der Bodenpflege. Hohe Humusgehalte und ein aktives vielfältiges Bodenleben werden zukünftig noch wichtiger für stresstolerante Pflanzenbausysteme und erhalten zusätzlich die Biodiversität. Die dazu nötigen Maßnahmen sind im Grunde bekannt, aber unter den aktuellen Rahmenbedingungen fast nur im ökologischen Landbau betriebsintegriert umgesetzt: vielfältige Fruchtfolgen mit humusmehrenden Kulturen, organische Düngung (v. a. Mist, Kompost), Bodenruhe, ständige Bodenbedeckung, Dauerkulturen, ungenutzte Begleitstrukturen als Rückzugsräume für Bodentiere. Auch angesichts der verstärkten Nachfrage nach biogenen Rohstoffen, auf die die Umsetzung der Bioökonomiekonzepte basiert, sind neue Systeme nötig, wie sie z. B. im Ideal der Permakultur verkörpert sind. Damit sich die Landwirtschaft zu solchen räumlich und zeitlich vielfältigen Nutzungsformen weiterentwickeln kann, bedarf es vielfältiger Wege: 1) Problembewusstsein mithilfe wissenschaftlich fundierter und praxistauglicher Indikatoren schaffen, 2) Honorierung und Motivation z. B. durch die Agrarförderung, 3) bilden, beraten, lernen, am besten gemeinsam mit allen Akteuren.

Summary

New concepts for an environmentally compatible soil management

A healthy soil has balanced physical, chemical and biological components. Many of these components are well known, but hardly noticed in practice. Climate change, with longer periods of drought and higher rainfall and erosion risks, requires a reconsideration of the importance of soil management. In the future, high humus content and an active, diverse soil life will become even more important for stress-tolerant crop systems and the conservation of biodiversity. The required actions are basically known, but so far, they are implemented only in organic farming, which relies on crop rotations increasing the soil humus content, organic fertilization (mainly dung and compost), long soil resting periods, permanent land cover, long-lived crops, and semi-natural structures as retreats for soil animals. Meeting the growing demand for renewable biological resources, which are the ultimate basis for bioeconomics, will require new production systems, ideally allowing true permaculture. For agriculture to move towards more spatially and temporally diversified land-use forms it will be important to (i) increase awareness of the problems through scientifically sound and practicable indicators, (ii) employ rewards and motivation through agricultural policy and support, and (iii) increase education, advice, and learning, preferably involving all stakeholders.

✉ Dipl.-Ing. Univ. Sebastian Wolfrum, Johannes Burmeister M. Sc., Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz (IAB); Lange Point 12, 85354 Freising; sebastian.wolfrum@lfl.bayern.de, johannes.burmeister@lfl.bayern.de

Einführung

In letzter Zeit wird viel darüber diskutiert, wie die Agrarsysteme der Zukunft aussehen könnten, welche Aufgaben für Wissenschaft und Forschung sich daraus ergeben und wie diese Systeme in der Praxis umgesetzt werden können (siehe z.B. www.agrarsysteme-der-zukunft.de). Zwei Begriffe, die häufig in diesem Zusammenhang genannt werden, sind Hydroponik, bei der Pflanzen ohne Boden mit mineralischen Nährstofflösungen kultiviert werden, und vertikale Landwirtschaft oder »vertical farming«, die Landwirtschaft im Ballungsgebiet von Städten an den Seitenflächen oder innerhalb mehrstöckiger Gebäude. Beides sind eigentlich »bodenlose« Visionen. Brauchen wir den Boden also künftig überhaupt noch?

Aktuell lässt sich diese Frage aus landwirtschaftlicher Sicht mit einem klaren »ja« beantworten. Der Boden wird auch in Zukunft die wichtigste Grundlage der Landwirtschaft sein. Im Folgenden werden wir aufzeigen, wie die Wissenschaft die Praxis mit Konzepten zur umweltverträglichen Nutzung des Bodens unterstützen kann. Dabei muss immer auch berücksichtigt werden, wie wissenschaftliche Erkenntnisse dem Landwirt zu seinem Nutzen übermittelt werden können.

Eine der großen Herausforderungen für die Landwirtschaft und den Boden ist der Klimawandel: Böden und Pflanzen sind mehr Hitzestress, mehr Trockenheit, aber auch mehr Extremereignissen wie Starkregen ausgesetzt als noch vor einigen Jahrzehnten bzw. Jahren. Die zweite, die Erhaltung der Biodiversität, ist nicht zuletzt durch das Volksbegehren zur Artenvielfalt »Rettet die Bienen!«¹ in der breiten Öffentlichkeit zu einem sehr aktuellen und wichtigen Thema geworden. Über diesen beiden darf aber die dritte Herausforderung für die Landwirtschaft nicht vergessen werden, nämlich die Produktionsfunktion:

1 Volksbegehren Artenvielfalt & Naturschönheit in Bayern »Rettet die Bienen!«, das durch eine Änderung des Bayerischen Naturschutzgesetzes die Entwicklung der Artenvielfalt in Flora und Fauna dauerhaft sichern will. Für das Volksbegehren hatten sich Anfang 2019 18,3 % der Eintragungsberechtigten in Bayern eingetragen (https://de.wikipedia.org/wiki/Volksbegehren_„Artenvielfalt_&_Naturschönheit_in_Bayern“, Stand 02.05.2019).

Die Landwirtschaft soll in erster Linie sowohl Nahrungsmittel als auch Biomassepflanzen zur energetischen Nutzung und als nachwachsende Rohstoffe produzieren. Letztere werden bei der Umsetzung des Konzepts der Bioökonomie, erdölbasierte durch biobasierte Rohstoffe zu ersetzen, in wesentlich größerem Umfang als heute benötigt werden.

Bis jetzt stand meistens die Produktion im Fokus und die Erntemengen wurden, v. a. durch landwirtschaftliche Intensivierung, immer weiter gesteigert. Themen wie Klimaschutz und Klimaanpassung sowie Biodiversität sind dabei jedoch teilweise »vom Tisch gefallen«. Auch stehen diese Aspekte meist neben der Produktion: Entweder die Produktion oder die Biodiversität bzw. der Klimawandel werden beachtet, aber nicht alle drei Bereiche miteinander (Abb. 1). Hier müssen wir innehalten und überlegen, wie wir in Zukunft mit den vielfältigen Anforderungen an Agrarsysteme umgehen wollen.

Ein Slogan, der die Neuorientierung zu einer vielseitigeren Kulturlandschaft gut trifft, ist »gesunder Boden, gesunde Pflanze, gesunder Mensch/gesundes Tier«. Bei der Frage, wie das zu schaffen ist, können wir auf die alten Tugenden der Bodenpflege zurückgreifen:

- Verdichtung und Belastungen vermeiden,
- vielfältige Fruchtfolgen und organische Düngung,
- Bodenruhe und dauerhafte Bodenbedeckung,
- aktives Bodenleben und mehr Biodiversität.

Der erste Punkt bezieht sich hauptsächlich auf technische Lösungen, wie z. B. Arbeitsgeräte mit breiter Bereifung zur Verringerung des Drucks auf den Boden, oder auf Anpassungen in den Arbeitsverfahren, wie z.B. die Verringerung der Anzahl an Überfahrten. Im Folgenden sollen zu den letzten drei Punkten, die sich demgegenüber mehr auf »biologische« Ansätze beziehen, aktuelle Arbeiten und mögliche Lösungsansätze vorgestellt werden. Zunächst sei jedoch ein Begriff in den Raum gestellt, der oft zusammen mit dem Begriff Bioökonomie gebraucht wird: die nachhaltige Intensivierung.

Exkurs: nachhaltige Intensivierung

Für den Begriff der nachhaltigen Intensivierung gibt es verschiedene Definition. Nach Pretty & Bharucha (2018) handelt es sich um einen Pro-

zess oder ein System mit dem Ziel, die Erträge konstant zu halten oder sogar zu erhöhen, unter der Voraussetzung, dass dabei keine negativen Umwelteinflüsse entstehen und keine neuen Flächen für die Bewirtschaftung in Anspruch genommen werden. Weiter gehen die Autoren davon aus, dass es keinen einzelnen, für alle Situationen gültigen Weg zur Nachhaltigkeit geben kann, sondern dass es eine Vielzahl an Lösungen geben muss.

Mit einem ähnlichen gedanklichen Ansatz beschäftigt sich die Designtheorie schon seit einiger Zeit. Für Problemfelder, die sich nicht einfach lösen lassen, haben Rittel & Webber (1973) den Begriff »wicked problem« – »vertrackte« oder »böartige« Probleme – geprägt. Sie sind »böartig« in dem Sinne, dass es für sie keine einfache, allgemeingültige Standardlösung gibt. Stattdessen braucht man für sie eine Vielzahl von Lösungen und es muss mit vielen Akteuren diskutiert werden, wie man diese Lösungen findet. Klimawandel und Erhaltung der Biodiversität sind leicht als solche Problemfelder erkennbar. Für die Landwirtschaft hat das Konzept der nachhaltigen Intensivierung das Potenzial, zu einem solchen offenen Lösungsansatz beizutragen.

Für die Umsetzung des Prozesses der nachhaltigen Intensivierung und den Übergang zu nachhaltigeren Systemen sind drei Stufen charakteristisch (Hill 1985): Effizienzsteigerung (»efficiency«), Austausch verbesserungsfähiger Komponenten (»substitution«) und Neugestaltung ganzer Systeme (»redesign«). Ein Beispiel für Effizienzsteigerung ist die digitale teilflächenspezifische Stickstoffdüngung (vgl. Gandofer 2019 in diesem Band) und ein Beispiel für einen Austausch ist der Ersatz von Kulturen, die den veränderten Ansprüchen nicht mehr genügen, durch neu gezüchtete, besser angepasste Kulturen (vgl. Schön 2019 in diesem Band). Die dritte und schwierigste Phase, die Neugestaltung, verlangt den Mut zu haben, neue Wege zu gehen und komplett neue Systeme zu entwickeln (vgl. Weissner 2019 in diesem Band). Auch die folgenden Beispiele aus den Arbeiten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zu den alten Tugenden der Bodenpflege, und wie diese für eine nachhaltige Intensivierung eingesetzt werden können, beschäftigen sich in unterschiedlicher Weise mit Effizienz, Austausch und Neugestaltung.



Abb. 1. Gewichtung der Themen Produktion, Klimawandel und Biodiversität in herkömmlich genutzten Agrarlandschaften.

Reichhaltige Fruchtfolgen und organische Düngung (Humusaufbau)

Die Bedeutung des Humus für die Landwirtschaft liegt darin, dass er nahezu alle Bodeneigenschaften und -funktionen beeinflusst (Hennig 2011, Toensmeier 2016). Aufgrund seiner vielfältigen und komplexen Wirkungen ist für landwirtschaftliche Betriebe eine an den Standort angepasste optimale Humusversorgung die Grundlage für nachhaltige Bodenfruchtbarkeit, Ertragssicherung und Umweltschutz. Davon profitieren auch die Regenwürmer und das Bodenleben (Walter et al. 2015).

Regenwürmer, die den höchsten Biomasseanteil unter den Bodentieren erreichen, sind sehr gute Indikatoren für den Eintrag organischer Substanz in den Boden (Paoletti 1999). Mit ihrer Grabtätigkeit sind sie die wichtigste aktiv das Bodengefüge verändernde Tiergruppe im Boden und gelten daher auch als sogenannte »ecosystem engineers« (Eisenhauer 2010). Ein einfaches Experiment zeigt die Leistung der Regenwürmer sehr deutlich: In Glasbehältern, die mit Erde, einer Bedeckung aus Stroh und etwas Rindergülle bestückt sind, werden durch die Aktivität der Regenwürmer das an der Oberfläche ausgebrachte organische Material nach einigen Monaten weitgehend in den Boden

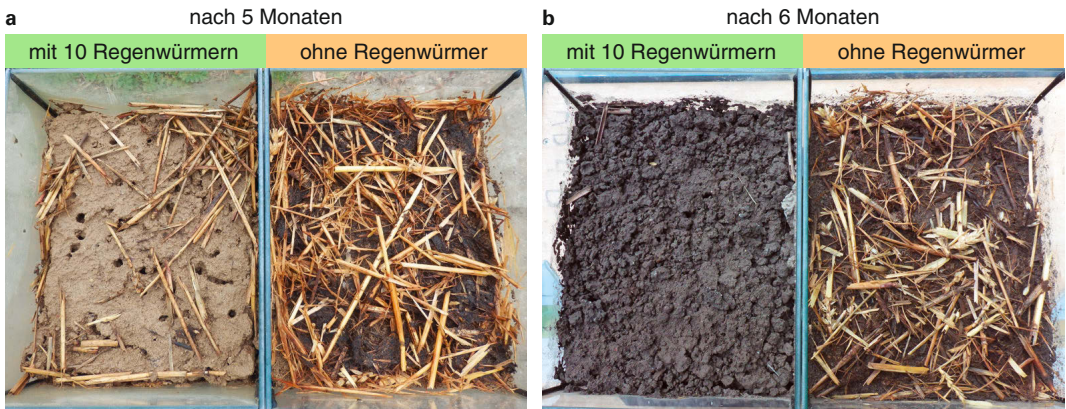


Abb. 2. Zersetzung und Einarbeitung organischer Substanz (Stroh) in Bodenterrarien nach 5 Monaten (a, April bis September 2015) bzw. 6 Monaten (b, Mai bis November 2017) mit 10 Regenwürmern (jeweils links) und ohne Regenwürmer (jeweils rechts). – Fotos: LfL, IAB.

eingezogen sowie luft- und drämfähige Regenwurmrohren geschaffen (Abb. 2). Die Röhren (Abb. 2a links) leisten einen wichtigen Beitrag zur Versickerung von Regenwasser im Boden und der Regenwurm Kot (Abb. 2b links) hat eine höhere Aggregatstabilität und ist nährstoffreicher als der umgebende Boden.

Bei den Untersuchungen zum Thema Humus spielt die Fruchtfolge eine große Rolle. Das Ziel ist es, wieder vielfältige Fruchtfolgen mit humusmehrenden Kulturen anzubauen. In einem

ökologischen Dauerversuch auf der Versuchsstation Viehhausen bei Freising (schluffiger Lehm; 495 m ü. NN; 8,9 °C Jahresmitteltemperatur; 730 mm Niederschlag pro Jahr) wurden daher verschiedene Fruchtfolgen, z.B. mit Klee² und mit Kartoffel als Vorfrucht vor Winterweizen, getestet. Zur Beurteilung der Vorfruchtwirkung der beiden Kulturen wurden im Frühjahr 2017 die Regenwürmer in dem auf beiden Varianten angebauten Winterweizen bestimmt (Mitzdorf 2017).

Zur Bestimmung der Anzahl und Biomasse der Regenwürmer dient ein kombiniertes Verfahren aus Austreibung mittels verdünnter Formaldehydlösung und Handauslese. Dazu wird zunächst ein Metallring, der eine Fläche von 0,5 m² umfasst, in den Boden eingedrückt. In diesen wird die 0,2-prozentige Formaldehydlösung gegossen, die in den Boden sickert und dort die Regenwürmer reizt, sodass sie an die Oberfläche kommen. Mit dieser Methode werden hauptsächlich die tief grabenden Regenwürmer erfasst, die senkrechte Röhren in den Boden graben. Zur Erfassung der endogäischen, also der horizontal grabenden Regenwürmer wird anschließend in dem Ring ein Rechteck von 0,1 m² Fläche bis zu einer bestimmten Tiefe (im Acker meist ca. 25 cm bis zur Pflugsohle) ausgestochen und per Hand durchsucht. Die Arten der gefundenen Regenwürmer werden

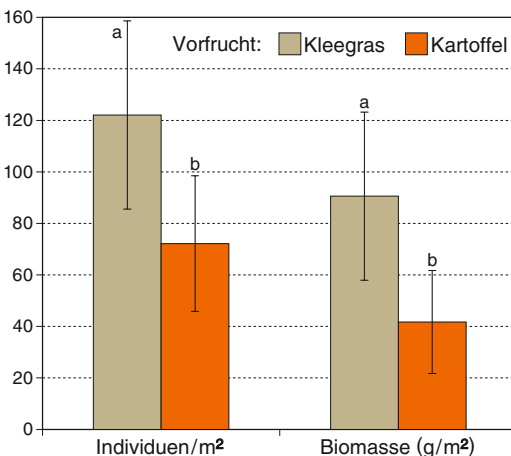


Abb. 3. Dichte (Zahl der Individuen/m²) und Biomasse (g/m²) von Regenwürmern im Winterweizen nach Anbau von Klee² und Kartoffel als Vorfrucht. Ökologischer Dauerversuch, Viehhausen bei Freising; Mittelwerte, $n = 6$ mit Standardabweichung, t-Test, $p = 0,016$ bzw. $0,007$. – Nach Mitzdorf 2017.

² Klee²: Mischung aus Grassorten (z.B. Italienisches Raygras, *Lolium multiflorum*) und Kleearten (v.a. Rotklee, *Trifolium pratense*).

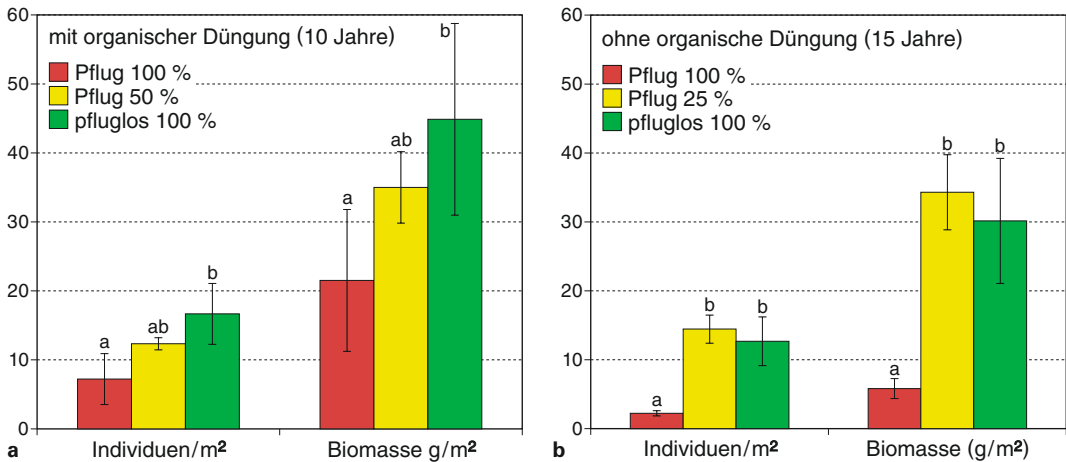


Abb. 4. Dichte (Zahl der Individuen/m²) und Biomasse (g/m²) adulter *Lumbricus terrestris* (Gemeiner Regenwurm, Tauwurm) im Boden (März 2012) **a**, mit und **b**, ohne organische Düngung nach **a**, 10 bzw. **b**, 15 Jahren Versuchslaufzeit und bei verschiedenen Pflughäufigkeiten (Pflügen jedes Jahr [100 %], jedes zweite Jahr [50 %], jedes vierte Jahr [25 %]; kein Pflügen). Anbau von Körnermais und Winterweizen, Versuchsgut Neuhaus bei Donauwörth; Mittelwerte, $n = 3$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Varianten, SNK-Test, $\alpha = 0,05$). – Nach Walter et al. 2017b.

später im Labor bestimmt und zur Erfassung ihrer Biomasse gewogen.

Tatsächlich unterschieden sich Klee gras als typische humusmehrende Kultur und Kartoffel als typischer Humuszehrer sowohl in Bezug auf die Dichte als auch auf die Biomasse von Regenwürmern deutlich (Abb. 3, Mitzdorf 2017). Der Anbau von Klee gras fördert somit die Regenwürmer im Boden, und trägt auch zur Humusbildung und zu weiteren positiven Bodeneigenschaften bei (Walter et al. 2017a).

Ein anderer Punkt, der im Bezug zum Humus eine wichtige Rolle spielt, ist die organische Düngung, z.B. mit Festmist, Gülle oder auch Biogasgärresten. Gärreste stehen mittlerweile nach Rindergülle an zweiter Stelle der in Bayern ausgebrachten organischen Düngemittel (Wendland 2014). Im Rahmen des Gärrestversuchs Bayern wurde über zehn Jahre an vier bayerischen Standorten die langfristige Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion von Silomais und Weizen zur Verwertung als Ausgangssubstrate für Biogas und BtL (biomass to liquid)³ sowie der Verwendung der Gärreste als organische Dünger bewertet. Dazu wurde u. a. die Wirkung

von mineralischer Düngung im Vergleich zu unterschiedlichen organischen Düngern (Rindergülle und Gärreste) mit und ohne Strohzugabe untersucht (Burmeister et al. 2015). Eine organische Düngung wirkte sich auf alle untersuchten Bodeneigenschaften, wie z. B. den Humusgehalt, und das Bodenleben positiv aus. Allerdings schnitt bei den Bodenstrukturparametern (z. B. Aggregatstabilität) und beim Humusgehalt die Gärrestdüngung, bei den Parametern für das Bodenleben (Regenwürmer, Bodenmikrobiologie) dagegen die Rindergülldüngung am besten ab (Burmeister et al., in Vorbereitung). Daraus lässt sich schließen, dass auch die Zusammensetzung der organischen Dünger einen wesentlichen Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit hat.

Bodenruhe und dauerhafte Bodenbedeckung

Weitere Tugenden der Bodenpflege in Bezug auf eine umweltfreundliche und nachhaltige Bodennutzung sind die Bodenruhe und die dauerhafte Bodenbedeckung. Darunter fällt z. B. die Frage nach dem Pflugeinsatz. Das Arbeiten mit dem Pflug hat für den Landwirt viele Vorteile, so z. B., dass die wendende Bearbeitung einen »reinen Tisch« in Bezug auf unerwünschte Wildpflanzen hinterlässt. Es ist daher zu erwarten, dass mit

³ Biomasseverflüssigung dient z. B. zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus Biomasse.



Abb. 5. Bodenbearbeitungs- und Saatverfahren in der Landwirtschaft: mit Pflug, Strip-Till-Verfahren, Mulchsaat. – Fotos: LfL, IAB.

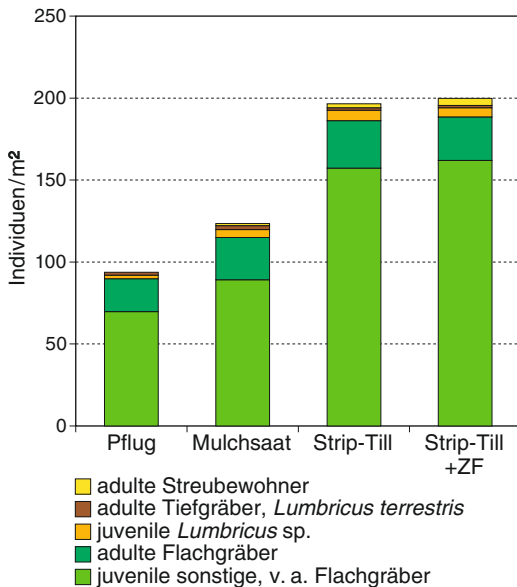


Abb. 6. Dichte (Zahl der Individuen/m²) von Regenwürmern im Boden bei verschiedenen Saatverfahren (Pflug, Mulchsaat, Strip-Till, Strip-Till + Zwischenfrucht). Anbau von Zuckerrüben, Praxisflächen der Südzucker AG in Unterfranken, 2013–2015. – Nach Walter 2016.

einem Verbot des Unkrautbekämpfungsmittels Glyphosat wieder ein verstärkter Pflugeinsatz stattfinden wird. In diesem Zusammenhang ist die Frage interessant, ob eine reduzierte Pflughäufigkeit allein schon eine positive Wirkung auf den Boden hat. In zwei Bodenbearbeitungsversuchen bei Donauwörth zeigten sich in der angebauten Körnermais-Winterweizen-Fruchtfolge aufgrund des verminderten Pflugeinsatzes zwar keine Wirkungen auf die flach grabenden Regenwurmart, dafür aber deutliche Effekte auf die Tiefgräber. So konnte nach 10 Jahren gezeigt werden, dass eine Reduzierung des Pflügens auf jedes zweite Jahr bereits zu einer Erhöhung der Dichte und Biomasse adulter Tauwürmer (*Lumbricus terrestris*), einer tief grabenden Regenwurmart, führt (Abb. 4a). Diese erhöhte biologische Aktivität wirkt sich wiederum positiv auf die Bodeneigenschaften und -funktionen aus (Walter et al. 2017a). Bei einer Pflughäufigkeit von 25 %, d.h. wenn nur alle 4 Jahre gepflügt wird, liegen die Werte für den Tauwurm nach 15 Jahren sogar auf dem gleichen Niveau wie bei der pfluglosen Bodenbearbeitung (Abb. 4b). Die Ergebnisse deuten zudem darauf hin, dass

sich mit einer organischen Düngung die negativen Effekte des Pflugs auf die Dichte und Biomasse von Regenwürmern und dadurch auf die Bodeneigenschaften teilweise kompensieren lassen.

Im Vergleich zur klassischen Mulchsaat, bei der die Saat nach flacher Bodenbearbeitung direkt in den mulchbedeckten Boden eingebracht wird, wird beim sog. Strip-Tillage-Verfahren nur ein schmaler, Streifen bearbeitet und eingesät (Abb. 5). Strip-Till kombiniert somit eine geringe Bodenbearbeitungsintensität und einen hohen Bodenbedeckungsgrad mit Streu- und Rottematerial. Dies hat den Vorteil, dass durch die Mulchauflage die Feuchtigkeit im Boden gehalten wird und gleichzeitig in dem geöffneten Streifen gute Bedingungen für das Auflaufen des Saatguts herrschen. Auch die juvenilen endogäischen Regenwürmer profitieren in trockenen Anbauregionen wie in Franken von der höheren Bodenfeuchte beim Strip-Till-Verfahren. (Abb. 6).

Einen weiteren Beitrag zur Bodenruhe leisten Dauerkulturen, die nicht jedes Jahr neu angesät oder angepflanzt werden müssen. Besonders Kulturen mehrjähriger Biomassepflanzen zur energetischen Nutzung (»Energiepflanzen«), die als nachwachsende Rohstoffe vor dem Hintergrund der Klimaschutzdebatte vermehrt angebaut werden, bieten hier neue Möglichkeiten und Perspektiven (vgl. Lewandowski & von Cossel 2019 in diesem Band). Vorteile dieser Kulturen sind die nahezu ganzjährige Bodenbedeckung und Bodenruhe, ein geringer Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie eine teilweise lange Blühdauer. Zusammen mit dem Technologie- und Förderzentrum Straubing⁴ konnte gezeigt werden, dass sich Dauerkulturen wie Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*, Asteraceae), Sida (*Sida hermaphrodita*, Malvaceae) und Riesenweizengras (*Agropyron elongatum*,



Abb. 7. Anbau mehrjähriger Biomassepflanzen in Dauerkultur: **a**, Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*); **b**, Sida (*Sida hermaphrodita*); **c**, Riesenweizengras (*Agropyron elongatum*, Sorte Green Star). – Fotos: LfL, IAB.

4 Projekt »Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung mehrjähriger Energiepflanzen«, LfL, mit Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing.

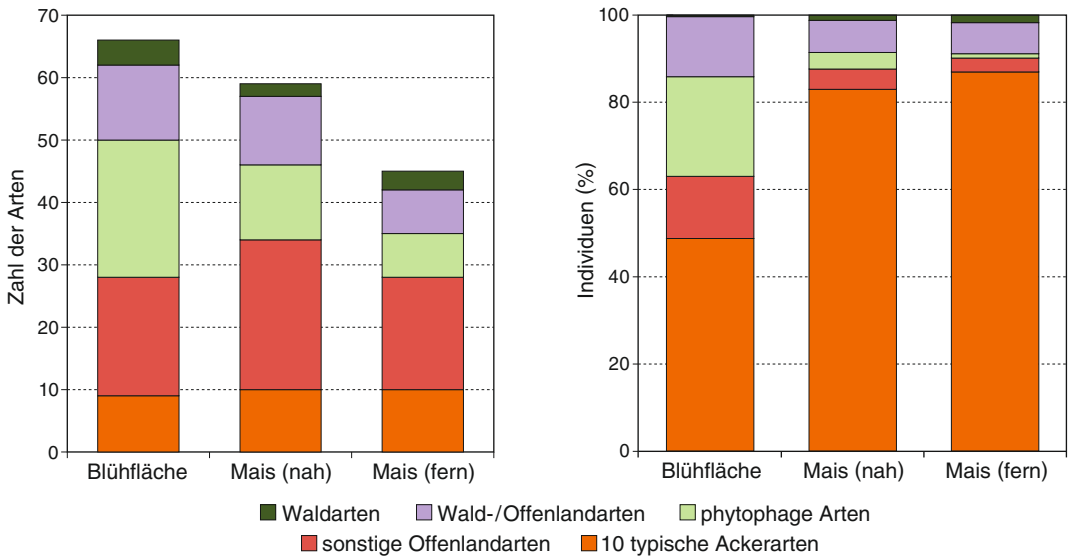


Abb. 8. Zahl und Häufigkeit von Laufkäferarten, unterteilt in 5 ökologische Gruppen, in Blühflächen ($n = 13$) sowie Maisfeldern in ca. 40 m (nah) bzw. ca. 500 m (fern) Entfernung. – Nach Burmeister & Wagner (2014).

tum, Poaceae) (Abb. 7a–c) sehr positiv auf das Bodenleben auswirken (Hartmann et al. 2018). Dennoch hängt die Wirkung sowohl von den einzelnen Dauerkulturen als auch vom Standort ab. Es wird also auch um die Frage gehen, wo und in welcher Weise Biomassepflanzen zur energetischen Nutzung angebaut werden. Es braucht in dieser Hinsicht intelligente Systeme, um neben ihrer Substitutionsfunktion auch maximale Effekte auf Biodiversität und Bodenleben zu erreichen.

Aktives Bodenleben und mehr Biodiversität

Im Rahmen einer Evaluierung von Agrarumweltmaßnahmen in Bayern (Wagner et al. 2014) wurde die Wirkung von Blühflächen u. a. auf Bodentiere untersucht. Eine der interessantesten bodenaktiven Tiergruppen sind dabei die Laufkäfer. Es zeigte sich, dass auf den Blühflächen insgesamt mehr Arten in einer vielfältigeren Zusammensetzung vorkommen als auf Maisäckern. Die Blühflächen als Maßnahme des Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms (KULAP) steigern demnach die Biodiversität (Abb. 8, Burmeister & Wagner 2014). Laufkäfer haben zudem eine wichtige Funktion in ihrem Habitat, da sie Schädlinge und manche Arten auch Unkrautsamen fressen.

Dies gilt nicht nur für die Blühflächen, in denen sie einen Lebensraum finden, sondern auch für benachbarte Felder, in die sie sozusagen ausstrahlen. So konnte in den Untersuchungen auch gezeigt werden, dass in näher an den Blühflächen gelegenen Maisfeldern deutlich mehr Laufkäfer aktiv waren als in weiter entfernten.

Ähnliches konnten wir in Agroforstsystemen für *Anchomenus dorsalis* (Buntfarbener Putzläufer; Abb. 9a) feststellen, eine Laufkäferart, die typischerweise in Getreidefeldern vorkommt und große Mengen an Blattläusen frisst.⁵ In den Gehölzstreifen (Abb. 9b) tauchen diese Käfer v. a. im Frühjahr auf (Abb. 9c), was darauf hindeutet, dass sie dort überwintern. Im Laufe des Jahres wandern sie aus den Gehölzstreifen heraus in die angrenzenden Ackerflächen zurück. Die Energieholzproduktion ließe sich also nutzen, um die Produktion auf den angrenzenden Feldern ökologisch zu fördern.

In dem bereits erwähnten Dauerkulturprojekt mit dem TFZ Straubing wurden mithilfe von modifizierten Laubsaugern ebenfalls die Arthro-

5 Projekt »Entwicklung und Erprobung eines Agroforstsystems im ökologischen Landbau zur Energieholzgewinnung«, LfL, mit LWF (Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft), Freising.

poden (z. B. Spinnen, Milben, Springschwänze, Käfer, Zikaden, Wanzen, Fliegen, Hautflügler) in der Vegetation erfasst. Die Bestimmung der Arten erfolgte durch Next Generation Barcoding (ca. 4 Mio. Sequenzen, ca. 2100 OTUs [operational taxonomic unit], ca. 380 BINs [barcode index numbers], ca. 275 Arten). Bestände mit Riesenweizengras zeigten mit 140 Arten die höchste Diversität, gefolgt von Beständen mit Sida (117 Arten), Silphie (111 Arten) und Mais (85 Arten). Ein Grund dafür ist sicher, dass zum Zeitpunkt der Beprobung im Herbst die noch vorhandene Vegetationsstruktur des Riesenweizengrases wesentlich attraktiver für Arthropoden war als die der anderen, bereits geernteten Kulturen. Aber auch die Bestände mit Silphie und Sida, die zu diesem Zeitpunkt in einem ähnlichen Zustand wie der Mais waren, zeigten eine höhere Artenvielfalt. Dies ist ebenfalls ein deutlicher Hinweis darauf, dass mit Dauerkulturen wieder Strukturen in der Landschaft geschaffen werden könnten, die Rückzugsräume für Insekten und andere Tiere bieten.

Die letzten beiden Beispiele machen deutlich, dass Biodiversität und Produktion nicht nur getrennt, also segregiert auf unterschiedlichen Flächen, gefördert werden können. Soweit möglich sollten beide Ziele miteinander verbunden werden. Eine Integration der Biodiversität in innovative Anbausysteme kann sogar einen positiven Einfluss auf die Produktionsfunktion haben. Aktuell wird daher in dem Projekt »Biodiversitätsbasierte Pflanzenbausysteme« geprüft, ob verschiedene Inputs an Produktionsmitteln (z. B. Pflanzenschutzmittel, mineralischer Dünger) zumindest teilweise durch Inputs an biodiversitätsbasierten Leistungen (z. B. biologische Schädlingsregulierung) ersetzt werden können, ohne dass sich das Ertragsniveau ändert. In einem weiteren Projekt wird mit Bezug zur Resilienz von Kulturpflanzen u. a. untersucht werden, ob sich die Interaktionen von Pflanzenwurzeln mit ihren assoziierten Bodenmikroorganismengruppen so optimieren lassen, dass bei Trockenheit positive Effekte auf die Produktion entstehen.

Neugestaltung umweltverträglicher Bodennutzung

Eingangs wurden die drei Begriffe Effizienz, Austausch und Neugestaltung erwähnt, als Schritte bei der Umsetzung des Prozesses der nachhalti-

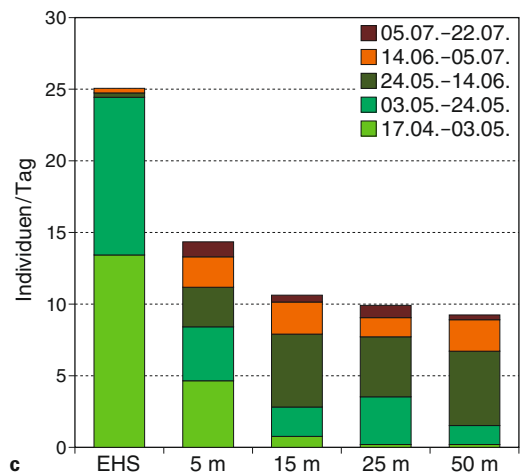
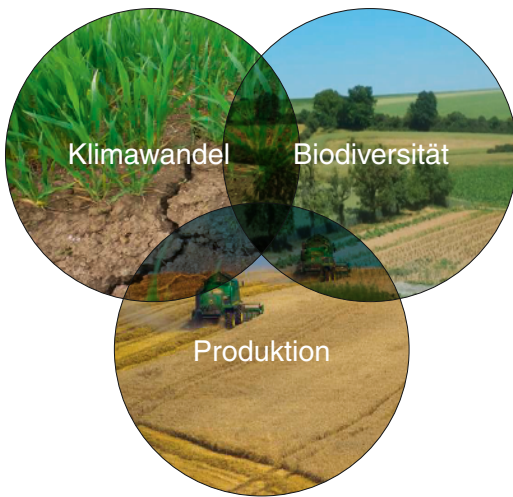


Abb. 9. Agroforstsysteme: **a**, *Anchomenus dorsalis* (Carabidae); **b**, Anpflanzung von Pappeln im ökologischen Landbau zur Energieholzgewinnung; **c**, Zahl der erfassten Individuen von *Anchomenus dorsalis* pro Tag in dem Energieholzstreifen (EHS) und auf der angrenzenden Ackerfläche im Zeitverlauf in verschiedener Entfernung zum EHS. Ergebnisse von 2013. – a, b: Fotos: LfL, IAB; c: nach Burmeister 2014, Burmeister & Walter 2017.



= vielfältige Ökosystemleistungen

Abb. 10. Gewichtung der Themen Produktion, Klimawandel und Biodiversität in heterogenen und multifunktionalen Agrarlandschaften.

gen Intensivierung. Bei Maßnahmen zu Effizienz und Austausch treten oft Rebound-Effekte⁶ auf, sodass letztlich nicht genau klar ist, ob das Erreichte vom Gesamteffekt her tatsächlich etwas bringt. So kann mit effizienterer Technik oder robusteren Sorten zwar viel in Bezug auf die aktuellen Herausforderungen, einschließlich der vermehrten Produktion nachwachsender Rohstoffe, die als Basis für die Umsetzung des Bioökonomiekonzeptes benötigt werden, erreicht werden, das zugrunde liegende Produktionssystem wird dadurch aber zunächst nicht verändert. Die Gefahr ist daher hoch, dass positive Effekte für Umwelt und Nachhaltigkeit durch intensivere Nutzung kompensiert werden. Die spannendste, aber auch die schwierigste Herausforderung ist daher die Neugestaltung, das »redesign«, von ganzen (landwirtschaftlichen) Systemen. Es braucht neue Systeme, um zu einer heterogenen, multifunktionalen Agrarlandschaft mit vielfältigen Ökosystemleistungen zu kommen, in der sich Klimawandel, Biodiversität und Produktion er-

gänzen (Abb. 10). Als ein Ideal in diese Richtung sind die vielgestaltigen Permakultursysteme zu sehen, die bereits weltweit geplant und etabliert werden (Mollison 1992, Holmgren 2016).

Um in diesem Sinne (landwirtschaftliche) Systeme von Grund auf neu zu gestalten, sind aber nicht nur die unterschiedlichen Interessen der Landwirte zu berücksichtigen, sondern auch die vieler anderer Akteure aus allen Bereichen der Gesellschaft. Eine echte Neugestaltung kann nur als Gemeinschaftsaufgabe gelingen. Für dieses »wicked problem« braucht und gibt es viele Lösungsansätze. Zu den (neuen) Wegen von der Wissenschaft in die Praxis gehört es, erstens die relevanten Probleme zu erkennen und mögliche Lösungen zu bewerten. Dazu müssen u.a. geeignete Indikatoren entwickelt werden, um z.B. die Wirksamkeit von Agrarumweltmaßnahmen überprüfen und effektive Maßnahmen verankern zu können. Zweitens ist es nötig, bereits erbrachte Leistungen für eine umweltverträgliche Bodennutzung zu honorieren und Landwirte für die Umsetzung neuer Ideen zu motivieren. Hier spielt die Agrarpolitik bzw. eine angepasste Agrarförderung eine bedeutende Rolle. Zusätzlich müssen andere Instrumente, wie z.B. anerkannte Qualitätssiegel, entwickelt und eingesetzt werden. Drittens ist es besonders wichtig, die Handlungsoptionen zielgruppenorientiert und ansprechend zu kommunizieren, mit allen beteiligten Akteuren zu kooperieren und sie fachlich bei der Bewältigung der anstehenden Herausforderungen zu beraten. Die Aufgabe der LfL ist es, die Landwirte auch in Zukunft auf diesen Wegen aktiv zu unterstützen und die Neugestaltung einer umweltverträglichen, nachhaltigen Bodennutzung mitzuentwickeln.

In diesem Sinne wird es in Zukunft eher darum gehen, durch neu gestaltete Systeme Probleme von Beginn an zu vermeiden – nach einem Satz, der Albert Einstein zugesprochen wird: »Clever people know how to solve problems, wise people avoid them.«

Danksagung

Wir danken Annette Freibauer und Roswitha Walter sehr herzlich für die wertvollen Anregungen und die große Unterstützung zu diesem Beitrag sowie allen an der Datenerfassung und -auswertung beteiligten Kolleginnen und Kollegen.

⁶ Rebound-Effekte treten dann auf, wenn das Einsparpotenzial von Effizienzsteigerungen z.B. durch erhöhten Verbrauch kompensiert und daher nicht oder nur teilweise verwirklicht wird.

Literatur

- Burmeister, J. 2014. Einfluss von Agroforst-Hecken auf die epigäische Bodenfauna. – In: Wiesinger, K., K. Cais & S. Obermaier (Hrsg.): *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern, Öko-Landbau-Tag 2014 in Triesdorf*. Tagungsband, LfL, Freising: 164–168.
- Burmeister, J. & C. Wagner. 2014. Der Einfluss von Blühflächen auf epigäisch lebende Arthropoden. – In: Wagner, C., M. Bachl-Staudinger, S. Baumholzer, J. Burmeister, C. Fischer, N. Karl, A. Köppl, H. Volz, R. Walter & P. Wieland (Hrsg.): *Faunistische Evaluierung von Blühflächen*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 1/2014: 65–77.
- Burmeister, J. & R. Walter. 2017. Auswirkungen von Energieholzstreifen auf Laufkäfer und Nacktschnecken ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen. – In: Wolfrum, S., H. Heuwinkel, H.-J. Reents, K. Wiesinger & K.-J. Hülsbergen (Hrsg.): *Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau Freising-Weihenstephan*, 7. bis 10. März 2017. Köster, Berlin: 240–243.
- Burmeister, J., R. Walter & M. Fritz. 2015. Düngung mit Biogasgärresten – Auswirkungen auf Bodentiere. – *Biogas Forum Bayern* Nr. 1-27/2015, ALB Bayern e.V. (Hrsg.), 17 S.
- Burmeister, J., S. Parzefall, M. Wiesmeier, F. Ebertseder, G. Henkelmann, R. Walter & M. Fritz. In Vorbereitung. Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nachhaltigkeit der Nutzungspfade Biogas und BtL. Abschlussbericht. – *Berichte aus dem TFZ. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)*, Straubing.
- Eisenhauer, N. 2010. The action of an animal ecosystem engineer: Identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods. – *Pedobiologia*, 53(6): 343–352.
- Gandorfer, M. 2019. Digitale teilflächenspezifische Stickstoffdüngung – eine ökonomisch-ökologische Perspektive. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Ökologie und Bioökonomie*. Pfeil, München: 105–114.
- Hartmann, A., J. Burmeister, M. Fritz & R. Walter. 2018. Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung. – *Berichte aus dem TFZ*, 54. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, 244 S.
- Hennig, E. 2011. Geheimnisse der fruchtbaren Böden. Die Humuswirtschaft als Bewahrerin unserer natürlichen Lebensgrundlagen. – 5. Aufl. OLV Organischer-Landbau-Verlag, Nettersheim, 206 S.
- Hill, S. 1985. Redesigning the food system for sustainability. – *Alternatives*, 12(3): 32–36.
- Holmgren, D. 2016. Permakultur: Gestaltungsprinzipien für zukunftsfähige Lebensweisen. – Drachen Verlag, Klein Jasedow, 415 S.
- Lewandowski, I. & M. von Cossel. 2019. Welche Biomassepflanzen braucht eine nachhaltige Bioökonomie? – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Ökologie und Bioökonomie*. Pfeil, München: 91–104.
- Mitzdorf, F. 2017. Auswirkungen eines viehhaltenden und viehlosen Betriebssystems und der Vorfrüchte Klee gras und Kartoffel auf die Regenwurmpopulationen in einem ökologischen Fruchtfolgeversuch. – Unveröff. Bachelorarbeit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, 39 S.
- Mollison, B. C. 1992. *Permaculture: A designers' manual*. – Reprint. Tagari Publications, Tyalgum, Australien, 576 S.
- Paoletti, M. G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 137–155.
- Pretty J. & Z. P. Bharucha. 2018. *Sustainable Intensification of Agriculture: Greening the World's Food Economy*. – Routledge, London, 190 S.
- Rittel, H. W. J. & M. M. Webber. 1973. Dilemmas in a general theory of planning. – *Policy Sciences*, 4(2): 155–169.
- Schön, C.-C. 2019. Steigerung von Produktivität und Nachhaltigkeit – Die Pflanzenzüchtung kann das. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Ökologie und Bioökonomie*. Pfeil, München: 47–58.
- Toensmeier, E. 2016. *The carbon farming solution. A global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security*. – Chelsea Green Publishing, White River Junction, Vermont, USA, 480 S.
- Wagner, C., M. Bachl-Staudinger, S. Baumholzer, J. Burmeister, C. Fischer, N. Karl, A. Köppl, H. Volz, R. Walter & P. Wieland. 2014. *Faunistische Evaluierung von Blühflächen*. – Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 1/2014, 150 S.
- Walter, R. 2016. Was tut sich da im Ackerboden? – Wie reagieren Regenwürmer auf unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren im Zuckerrübenanbau? – dzz – Die Zuckerrüben Zeitung, Mai 2016: 26–28.
- Walter, R., J. Burmeister & R. Brandhuber. 2015. Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden. – In: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) & Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): *Tagungsband »Jahr des Bodens«*. Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärreste – eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit? Fachtagung, 13. Kulturlandschaftstag. BMEL, Bonn: 26–39.
- Walter, R., J. Burmeister & S. Wolfrum. 2017a. Maisanbau regenwurmfreundlich gestalten – auf Bodenruhe und gute Humusversorgung achten. – *Mais*, 04/17: 181–185.
- Walter, R., J. Burmeister, S. Wolfrum & R. Brandhuber. 2017b. *Die Leistungen der Regenwürmer trotz*

Klimawandel erhalten. – In: Landwirtschaft im Klimawandel – Lösungen, die Geld sparen. 15. Kulturlandschaftstag. Tagungsband. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 5/2017: 31–43.

Weisser, W. W. 2019. Bioökonomie als Chance für die Insektenvielfalt. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Ökologie und Bioökonomie. Pfeil, München: 71–77.

Wendland, M. 2014. Nährstoffemissionen aus der Tierhaltung in Bayern und die Novellierung der Düngeverordnung. – In: Fahn, C. & W. Windisch (Hrsg.): 52. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V. Tagungsband »Tierernährung und Umwelt«. BAT e.V., Freising: 1–6.

Diskussion

B. Stöcklein: Denken Sie, wenn Sie auf neue Wege hinweisen, dass der gesetzlich festgelegte Begriff der ordnungsgemäßen landwirtschaftlichen Nutzung enger gefasst werden müsste? Würden Sie mir zustimmen, dass auch die Vorgaben im Agrarleitplan zur landwirtschaftlichen Nutzung zur Vermeidung von Biodiversitätsproblemen – die ja evident sind, wie z. B. der BfN-Bericht »Vögel in Deutschland« besonders für die Offenlandarten zeigt¹ –, noch genauer und enger gefasst werden müssten?

S. Wolfrum: Die »gute fachliche Praxis« (GfP), auf die Ihre erste Frage zielt, ist in der Tat ein sehr offener Begriff. Genau zu definieren, was dahintersteckt, ist schwierig; ob man es genau vorgeben kann, weiß ich nicht. Ich bin eher dafür zu sagen, dass es sich um einen offenen Prozess mit vielen Lösungen handelt. Wenn wir Begriffe zementieren, wird es vielleicht schwierig, innovative Lösungen zu finden. Der Agrarleitplan ist ein spannendes Thema. Was wir sicher bräuchten, um die Entwicklung zu heterogenen, multifunktionalen Agrarlandschaften weiterzubringen, ist zum einen eine allgemeine Strategie, zum anderen konkrete Ziele, die regionalspezifisch ausformuliert sind und an denen man sich orientieren kann.

A. Kellermann: Ich habe gehört, dass Regenwürmer in Nordamerika eher als Schädlinge angesehen werden. Worin unterscheidet sich dort ihre ökologische Funktion im Vergleich zu Europa?

S. Wolfrum: In Nordamerika ist der Regenwurm tatsächlich eine invasive Art, auf die die dortigen »Ökosysteme« nicht vorbereitet sind. Dadurch, dass er den Nährstoffkreislauf so stark ankurbelt, richtet er dort – zumindest in den Wäldern – eher einen Schaden an, als dass er Nutzen bringt.

W. Haber: Ich möchte aus meiner Erinnerung einen Kommentar aus der Landwirtschaftsfakultät in Weihenstephan zitieren. Bei einer Fakultätsitzung in den 1970er-Jahren verkündete der damalige Inhaber des Lehrstuhls für Agrarökonomie, Paul Rintelen, dass jetzt das Prinzip der Toilettenspülung aus den Haushalten auf die Viehställe übertragen wird, also die flüssige Entmistung eingeführt wird, um die Arbeit der Landwirte zu erleichtern. Er gab dazu gleich einen Kommentar und sagte, dies gibt Probleme, da die Toilettenspülung der Haushalte in die Kanalisation und in die Kläranlagen geht. Diese würden wahrscheinlich die Mengen, die jetzt von der flüssigen Entmistung erzeugt werden, nicht bewältigen können. Sein zweiter Kommentar knüpft direkt an Ihren Vortrag an. Er sagte, wir verlieren mit der flüssigen Entmistung, das heißt mit dem Wegfall der direkten Ausbringung von Mist auf die Felder, die Grundsatz der Humusmehrung, und er fügte hinzu: Wir verlieren das Symbol des alten Bauernhofes, den Misthaufen.

1 Wahl, J., R. Dröschmeister, B. Gerlach, C. Gröneberg, T. Langgemach, S. Trautmann & C. Sudfeldt. 2015. Vögel in Deutschland – 2014. – Im Auftrag des Dachverbandes Deutscher Avifaunisten (DDA), des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) und der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW), Münster, 74 S.