



Tagungsband „Jahr des Bodens“

Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen,
Gärreste – eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit?

Fachtagung

13. Kulturlandschaftstag

18. und 19. Juni 2015, Würzburg





Tagungsband „Jahr des Bodens“

Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen,
Gärreste – eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit?

Fachtagung

13. Kulturlandschaftstag

18. und 19. Juni 2015, Würzburg



Inhalt

Tagungsprogramm	6
Grußwort	7
Christian Schmidt MdB – Bundesminister für Ernährung und Landwirtschaft	
1. Bodenschutz – Grundlage der bayerischen Landwirtschaft	8
Helmut Brunner, MdL – Bayerischer Staatsminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	
2. Anpassung der Lasteinträge landwirtschaftlicher Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden – Wunschtraum oder bereits Realität?	11
PD Dr. habil. Joachim Brunotte, Dr. Marco Lorenz	
3. Dient der Biogasprozess der Reduzierung bodenbürtiger Schaderreger im Gärrest?	18
Dr. Luitgardis Seigner , Dr. Regina Friedrich, Dr. Dorothee Kaemmerer, Dr. Peter Büttner, A. Hermann	
4. Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden	26
Roswitha Walter, Johannes Burmeister, Robert Brandhuber	
5. Nachhaltiger Schutz vor Bodenerosion durch ackerbauliche Maßnahmen	40
Dr. Walter Schmidt	
6. Wirtschaftsdünger und Bodenfruchtbarkeit – Möglichkeiten und Grenzen	54
Dr. Matthias Wendland	
7. Notwendige Maßnahmen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit in Deutschland	59
Dr. Karl Severin	

Tagungsprogramm

Donnerstag, 18. Juni 2015

- 13:00 Begrüßung und Eröffnung**
Dr. Werner Kloos, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
Jakob Opperer, Präsident der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL Bayern)
- 13:30 Bodenschutz – Grundlage der bayerischen Landwirtschaft**
Helmut Brunner, MdL – Bayerischer Staatsminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- 14:00 Anpassung der Lasteinträge landwirtschaftlicher Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden – Wunschtraum oder bereits Realität?**
Dr. Joachim Brunotte, Thünen Institut Braunschweig
- 14:30 Dient der Biogasprozess der Reduzierung bodenbürtiger Schaderreger im Gärrest?**
Dr. Luitgardis Seigner, LfL Bayern
- 15:00 Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden**
Roswitha Walter, LfL Bayern
- 16:00 Nachhaltiger Schutz vor Bodenerosion durch ackerbauliche Maßnahmen**
Dr. Walter Schmidt, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- 16:30 Wirtschaftsdünger und Bodenfruchtbarkeit – Möglichkeiten und Grenzen**
Dr. Matthias Wendland, LfL Bayern
- 17:00 Notwendige Maßnahmen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit in Deutschland**
Dr. Karl Severin, BMEL
- 17:30 Zusammenfassung und Schlusswort**

Freitag, 19. Juni 2015

Exkursion „Pflege der Bodenfruchtbarkeit in der landwirtschaftlichen Praxis“:

Besuch von je einem ökologisch und konventionell bewirtschafteten Betrieb mit bemerkenswerten Ansätzen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in Altertheim und Fuchsstadt

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

die Vereinten Nationen haben das Jahr 2015 zum „Internationalen Jahr des Bodens“ ausgerufen und damit den Fokus auf eine unserer entscheidenden Lebensgrundlagen gelenkt.

Deutschland nutzt dieses Jahr, um die Bedeutung dieser Ressource und die vielfältigen Aktivitäten im Bereich von Bodenschutz und Bodenbewirtschaftung besonders herauszustellen. Die Würzburger Tagung zur Bodenfruchtbarkeit reiht sich ein in eine Serie von Fachveranstaltungen zum Thema Boden in der modernen Landwirtschaft, die im Jahr 2015 durchgeführt werden.



Dank der günstigen natürlichen Voraussetzungen und der in unserer Landwirtschaft praktizierten guten fachlichen Praxis haben wir in Deutschland ein hohes Niveau der Bodenfruchtbarkeit erreicht. Darauf ruhen wir uns nicht aus, sondern wir wollen auch in Zukunft unser Engagement für eine hohe Bodenfruchtbarkeit fortsetzen und dabei die anderen Funktionen des Bodens, wie z. B. den Schutz des Grundwassers, gewährleisten.

Ein besonderes Augenmerk wird bei der Würzburger Veranstaltung auf die höher werdenden Lasten gelegt, mit denen landwirtschaftliche Flächen überfahren werden. Nicht zuletzt die Energiewende treibt die Anteile von Mais in der Fruchtfolge in manchen Regionen in kritische Höhen. Auch die Düngung mit Biogasgärresten wirft neue Fragen auf, die wir beantworten müssen.

Wie wirken diese Entwicklungen auf die Bodenstruktur, die Bodengesundheit, das Bodenleben, den Erhalt der Ackerkrume oder die bedarfsgerechte Versorgung mit Nährstoffen? Welche vorsorgenden Maßnahmen müssen ergriffen werden?

Diese aktuellen Fragen sollen bei der Veranstaltung nicht nur im Tagungsraum, sondern auch anlässlich von Betriebsbesichtigungen beantwortet werden.

Ich lade Sie herzlich zur Teilnahme ein.

Christian Schmidt MdB
Bundesminister für Ernährung und Landwirtschaft

1. Bodenschutz – Grundlage der bayerischen Landwirtschaft

Staatsminister Helmut Brunner

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Ludwigstraße 2, D-80539 München

Der Schutz der Böden ist weltweit eine der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Böden sind die Grundlage unseres Lebens, sie sichern Ernährung und Wohlstand, sie sind wichtig für unser Trinkwasser, die Biodiversität und den Klimaschutz. Das Ausrufen des „Internationalen Jahres des Bodens“ durch die Vereinten Nationen macht uns bewusst, dass landwirtschaftlich nutzbare Flächen eine knappe, nicht vermehrbare Ressource sind und immer mehr fruchtbare Böden weltweit durch Erosion, Versalzung und Wüstenbildung verloren gehen bzw. vergiftet oder versiegelt werden. Es muss deshalb das Bestreben der gesamten Gesellschaft sein, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und – soweit möglich – zu verbessern.

1. Herausforderungen

Der Titel meines Vortrags „Bodenschutz – Grundlage der bayerischen Landwirtschaft“ drückt die Bedeutung des Bodens sehr prägnant aus. Die Tagung beleuchtet die Auswirkungen verschiedener Entwicklungen in der Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Flächen der letzten Jahren auf die Bodenfruchtbarkeit. Hierzu werden die Ergebnisse etlicher Untersuchungen zu den Risiken für unsere Böden sowie positive Praxisbeispiele vorgestellt. Zu einer guten Bodenfruchtbarkeit gehören auch, dass neben der Produktionsfunktion weitere Bodenfunktionen, insbesondere die Filter- und Pufferwirkung des Bodens, z. B. zur Gewinnung von sauberem Trinkwasser, und die Klima schützende Bindung von Kohlendioxid im Humus erhalten werden.

Zu den wesentlichen Herausforderungen für unsere Böden durch die Landbewirtschaftung zählen z. B.

der hohe Maisanteil mit der verbundenen erhöhten Gefahr der Bodenerosion sowie die mechanische Belastung unserer Böden durch zunehmend schwerere landwirtschaftliche Maschinen. Immer rationellere Bewirtschaftungsmethoden auf großen Schlägen und ein Rückgang der kleinteiligen Kulturlandschaft mit Terrassen, Rainen und Hecken stellen neue Anforderungen an die Bewirtschaftung der Böden.

Eine große Bedrohung für den Boden aus landwirtschaftlicher Sicht ist die weiterhin hohe Umwandlung der landwirtschaftlichen Böden in Siedlungs- und Verkehrsflächen. Allein in Bayern lag der sog. Flächenverbrauch im Jahr 2014 bei rund 18 ha/Tag. Mit diesem Verbrauch wird nicht nur die Produktionsfunktion, sondern eine Vielzahl weiterer wertvoller Bodenfunktionen zerstört; und diese sind später nur schwer wieder herstellbar. Es ist eine Verpflichtung der gesamten Gesellschaft, dem hohen Flächenverbrauch kraftvoll entgegenzuwirken.

Daneben gibt es Risiken, wie die Anreicherung unerwünschter oder schädlicher Stoffe im Boden, die derzeit weniger im Fokus stehen. Bodenschadstoffe können über Dünger bzw. über die Luft in die Böden gelangen. Gerade organische Stoffe können eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit darstellen. Durch zahlreiche Vorgaben im Bodenschutz-, im Düng-, im Abfall- und im Umweltrecht ist dieses Risiko in den letzten Jahrzehnten mit Erfolg minimiert worden.

Bei der Verwendung von Gärresten stellt sich zudem die Frage nach möglichen Schaderregern, die mit der Ausbringung verbreitet werden und die Auswirkungen

auf das Bodenleben haben können. In der Praxis wird auch diskutiert, ob eine Vergärung von Wirtschaftsdünger im Biogasreaktor und der damit verbundene Abbau organischer Substanz sich auf den Humushaushalt auswirkt. Nach bisher fünfjährigen Untersuchungen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) gibt es hierfür keine Anhaltspunkte. Verschiedene Projekte der LfL widerlegen auch Befürchtungen, dass das Düngen mit Gärresten die Böden verschlammten lässt und damit die Bodenstruktur schädigt.

2. Maßnahmen des landwirtschaftlichen Bodenschutzes in Bayern

Das von der LfL betriebene Bodenmonitoring sowie die hohen Erträge, die auf bayerischen Standorten erzielt werden können, zeigen, dass die bayerischen Böden eine hohe Bodenfruchtbarkeit haben und der landwirtschaftliche Bodenschutz bisher erfolgreich war. Der Schutz und die Erhaltung der landwirtschaftlich genutzten Böden und ihre Fruchtbarkeit durch Forschung, Beratung und Förderung ist eine der wichtigsten Aufgaben der bayerischen Landwirtschaftsverwaltung. Dieser Aufgabe kommen wir in Bayern vielfältig nach:

2.1 Forschung

An der LfL werden derzeit rund 60 Forschungsprojekte zu Fragen der Bodenfruchtbarkeit bearbeitet. In einem Boden-Dauerbeobachtungsprogramm werden auf über 100 repräsentativen Standorten Veränderungen verschiedener Parameter beobachtet, z. B. Humusgehalt und Humusqualität, Bodenstruktur, Schadstoffgehalt, Bodenfauna, Vegetation und Nährstoffversorgung. Bisher konnten keine signifikanten Verschlechterungen dieser Faktoren der Bodenfruchtbarkeit festgestellt werden. In innovativen Projekten werden darüber hinaus die Auswirkungen und Möglichkeiten von permanenten Fahrwegen, der Streifenbodenbearbeitung und der Einsatz von Biokohle untersucht. Einige Projekte befassen sich auch mit einer Optimierung der Nährstoffversorgung durch organische und mineralische Dünger über den Boden und mit deren möglichen Nebenwirkungen auf Grundwasser und Oberflächengewässer, Klima und Humushaushalt.

In Fruchtfolgeversuchen werden die über den Boden vermittelten Vorfruchtwirkungen gemessen.

Die Wirkung von Gärresten auf Bodenleben, Bodenstruktur, Bodenhygiene und Humushaushalt wird in mehreren Projekten untersucht. Die Ergebnisse werden bei der Tagung zum Teil präsentiert. Auch unerwartet auftretende Fragestellungen werden schnell aufgegriffen und beantwortet. So zeigen z. B. Untersuchungen der LfL, dass eine Regenwurmpopulation ein Hochwasser mit mehrtägiger und mehrere Meter hoher Überflutung von Ackerflächen überstehen kann. Zudem können durch Hochwasser eingetragene Ölverunreinigungen in der Krume relativ schnell von den Mikroorganismen abgebaut werden. Diese Beispiele zeigen, wie wichtig die Forschung an der LfL auch für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist.

2.2 Beratung

Das vorhandene und neu erarbeitete Wissen zum Bodenschutz und zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit steht in Bayern für alle auf mehreren Wegen bereit. Die LfL bietet dieses Wissen in ihrem umfangreichen Internetauftritt (www.lfl.bayern.de/iab/boden/index.php), in Veröffentlichungen eigener Schriften, in der Fachpresse, in Vorträgen und in vielen anderen Organen an. In den Regierungsbezirken wurden sieben Fachzentren Agrarökologie eingerichtet, die die Belange des Bodenschutzes in der Landwirtschaft vertreten und die Landwirte hinsichtlich Erosionsschutz, Humushaushalt, Bodenleben, Bodenbelastungen und Fernhalten von Schadstoffen beraten. Die weitere, dem Gemeinwohl und damit auch dem Bodenschutz dienende Beratung für land- und forstwirtschaftliche Betriebe wird von den 47 Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt. In der produktionstechnischen Beratung der Verbund-Beratungspartner werden die Grundsätze des Bodenschutzes selbstverständlich beachtet.

2.3 Förderung

Den landwirtschaftlichen Bodenschutz mit geeigneten Maßnahmen über die gute fachliche Praxis hinaus zu fördern, liegt im öffentlichen Interesse. So setzt das Bayerische Kulturlandschaftsprogramm (KULAP) insbesondere dort an, wo heute eines der größten Risiken für

den Boden besteht, bei der Bodenerosion. Die Umwandlung von Acker in Grünland, die Anlage von Erosionsschutz-, Gewässerrandstreifen sowie die Mulch-, Direkt- und Streifensaar sind hier wichtige Bausteine. Mit der Initiative „boden:ständig“ haben wir zudem bayernweit gemeinsam von Gemeinden und Landwirten getragene Umsetzungsprojekte zur angepassten Bewirtschaftung in der Fläche sowie zur Anlage von Puffersystemen an sog. Brennpunkten in der Landschaft aufgebaut.

3. Fazit

Bodenschutz geht alle an, insbesondere die, die auf den Boden als Produktionsmittel angewiesen sind: unsere Landwirte. Die Bodenfruchtbarkeit ist in Bayern auf einem hohen Niveau und dies gilt es langfristig zu erhalten. Den Risiken wie die Bodenerosion oder eine hohe mechanische Bodenbelastung gilt es nachhaltig entgegenzuwirken. Hierzu unternimmt Bayern große Anstrengungen in Forschung, Beratung und Förderung.

2. Anpassung der Lasteinträge landwirtschaftlicher Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden – Wunschtraum oder bereits Realität?

PD Dr. habil. Joachim Brunotte, Dr. Marco Lorenz
Thünen-Institut für Agrartechnologie
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

1. Einleitung

1955 hat FRESE zu „Bodendruckfragen beim Einsatz luftbereifter Fahrzeuge auf dem Acker“ festgehalten: „Bodenart und Feuchtigkeitsgehalt haben wesentlichen Einfluss auf die von Schlepper und Transportfahrzeugen hinterlassenen Wirkungen. Während trockene Böden eine hohe Tragfähigkeit haben und praktisch kaum empfindlich gegen Raddruck sind, zeigen feuchte Böden bei hoher Bodenfeuchte teilweise starke Druckempfindlichkeit ... mit großer Spurtiefe.“ Damals wurden Erntemaschinen nicht erwähnt, heute stehen sie im Focus der Diskussion um die Belastbarkeit von Böden. Teure Spezialmaschinen fordern hohe Auslastungsgrade und stoßen damit allzu oft an die Grenzen einer bodenschonenden Befahrbarkeit. In diesem Beitrag wird aufgezeigt, wie Landmaschinen in ihrer mechanischen Belastung bewertet werden können, wie die Standorte in ihrer Verdichtungsempfindlichkeit einzustufen sind und wie eine Anpassung des Maschineneinsatzes an die Standortbedingungen erfolgen kann.

2. Ausmaß und Verbreitung von Bodenverdichtungen

Um mehr Klarheit über Ausmaß und Verbreitung von Bodenverdichtungen zu bekommen, helfen Statuserhebungen und Bodendauerbeobachtungsflächen (=BDF), die den tatsächlichen Bodenstrukturzustand und eine

evtl. Gefährdung der Bodenfunktionen über einen längeren Zeitraum beschreiben. Eine Statuserhebung über 50 Jahre wird hier beispielhaft aus Südniedersachsen vorgestellt (Abb. 1).

Die Trockenrohddichte der Krume hat aufgrund von Gerätekopplung und Allradantrieb in den ersten 30 Jahren abgenommen. Krumenvertiefung und

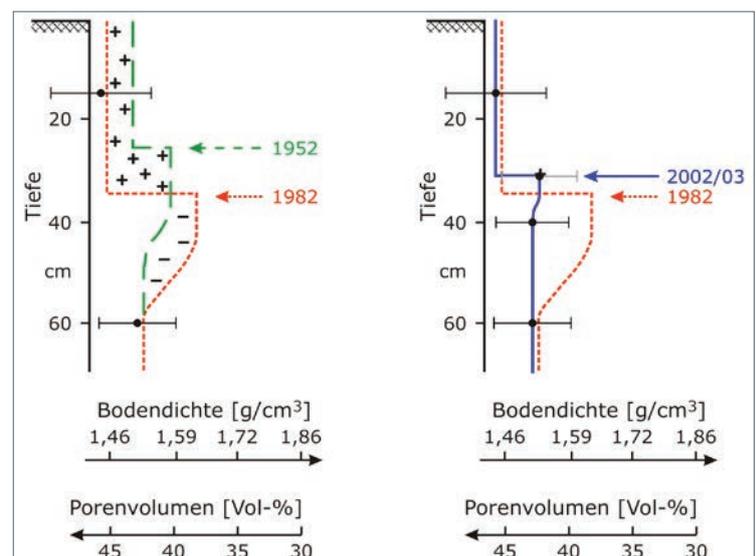


Abb. 1: Bodendichte und Porenvolumen als Funktion der Bodentiefe – tendenzieller Vergleich 1952 und 1982 (links), ergänzt durch 2002 (rechts) auf Standorten in Südniedersachsen (RUHM 1983; n. RUHM zitiert von SOMMER 1985; BRUNOTTE et al., 2008)

Pflugarbeit, mitunter bei hohem Schlupf und feuchten Bodenbedingungen, haben dazu beigetragen, dass 1982 die Schlepperradsohlen tiefer reichten und mächtiger waren als 1952. In den folgenden 20 Jahren hat sich dieser Trend nicht fortgesetzt – es ist zu einer Entspannung im Bereich der Krumbasis gekommen. Auch wurde aufgrund hoher Kraftstoffkosten die Arbeitstiefe reduziert. Ursachen für diese positive Entwicklung in der Krumbasis sind der hohe Anteil nichtwendender Bodenbearbeitung von ca. 50 %, technische Detailverbesserungen, wie Radialreifen, reduzierter Reifeninnendruck, Schlupfregelung am Traktor, hohe Schlagkraft und eine geringere Lastabstützung in der Furche bei Traktoren mit breiten Pflügen (4-scharig und breiter). Durch einen Ultraschallsensor in der Felge (Abb. 2) kann die Reifeneinfederung online gemessen werden und liefert aufgrund hoher Korrelation Erkenntnisse über die dynamische Radlast: z.B. stützt sich ein 130 kW-Traktor hinten nur mit 1,7 t in der Furche, allerdings mit 3,2 t auf dem Land ab (BRUNOTTE et al., 2012a).



Abb. 2: Ultraschallsensor in der Felge beim Pflügen (Foto: Ortmeier, TI)

3. Verknüpfung der Verdichtungsempfindlichkeit von Böden mit der mechanischen Belastung durch landwirtschaftliche Maschinen

Aufwendigen Statuserhebungen liegen leider nicht in allen Bundesländern vor (BRUNOTTE et al. 2008, LORENZ 2008), so dass zur Beschreibung der Verdichtungsempfindlichkeit von Böden in Deutschland oft kleinmaßstäbige Karten auf Grundlage von Modellen abgeleitet werden, die allerdings nur die Feldkapazität (FK) als Bodenfeuchtestatus berücksichtigen und bisher in der Praxis nicht überprüft wurden. Um eine realistische Einschätzung der Verdichtungsgefährdung von landwirtschaftlich genutzten Böden zu erhalten und den tatsächlichen Bodenzustand bestmöglich abzubilden, sind Bodenart, Bodengeneese, Skelettanteil, Humusgehalt und Klima und damit auch die Bodenfeuchte zu berücksichtigen. Für die ersten vier Parameter existieren nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarten (z.B. BÜK 1000 N). Zur Ableitung der mittleren Bodenfeuchte werden Ergebnisse des Modells AMBAV (=agrarometeorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Hierbei werden u.a. Niederschlag, kapillarer Aufstieg, Versickerung, Verdunstung, Bodenart, Pflanzenbestand und -entwicklung etc. berücksichtigt. Aus den Klimadaten von bis zu 500 Wetterstationen werden dann Bodenfeuchtedaten in % nFK bzw. % FK auf Tagesbasis als 30-jähriges Mittel für unterschiedliche Bodentiefen und Früchte abgeleitet (DWD, 2013).

Der Druckbelastbarkeit/Tragfähigkeit von Böden muss immer die Druckbelastung von landwirtschaftlichen Maschinen gegenübergestellt werden, um Veränderungen des Bodengefüges und eine evtl. Beeinträchtigung der Bodenfunktionen ableiten zu können. Auch die Lasteinträge von Maschinen können mithilfe von Modellen berechnet werden (z.B. Terranimo (STETTLER et al., 2014), TASC (DISERENS et al., 2013) u.a., basierend auf Grundlage von BUSSINESQ (1885), FRÖHLICH (1934) und SÖHNE (1953)). Diese betrachten den Boden als homogenes, isotropes und damit ungeschichtetes Medium. Da der Boden in der Realität diesen Voraussetzungen nur in wenigen Ausnahmefällen entspricht und

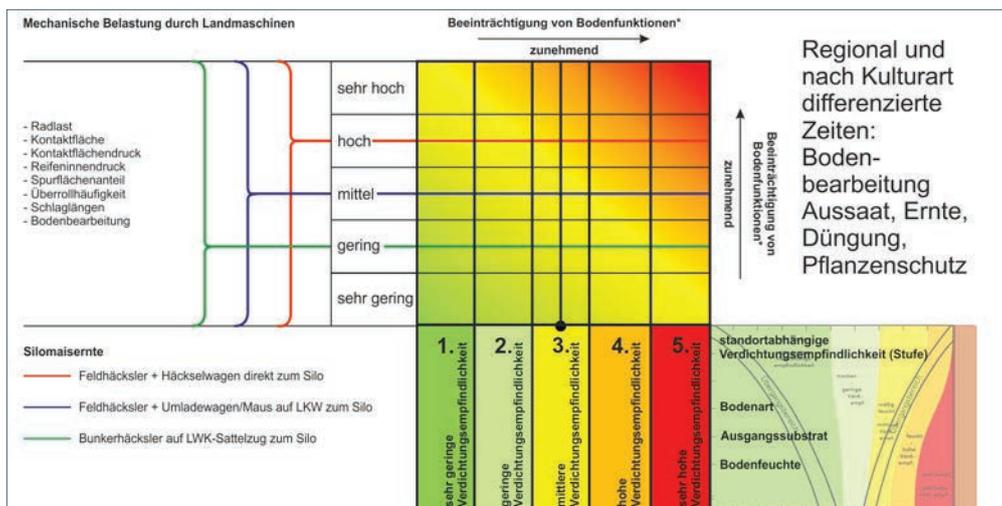


Abb. 3: Schema der Verknüpfung von standortabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit mit der mechanischen Belastung durch landwirtschaftliche Maschinen am Beispiel der Silomaiserernte (LORENZ & BRUNOTTE, 2015)

normalerweise kein homogenes und ungeschichtetes Medium ist, liefern solche Druckberechnungen nur idealisierte Annäherungen und sind für die Übertragung in reale Verhältnisse kritisch zu sehen. Sie können daher reale Messungen unter den Maschinen hinsichtlich Bodendruck, Bodensetzung und bodenphysikalischen Parametern nicht ersetzen.

Für die Beurteilung der mechanischen Belastung von landwirtschaftlichen Maschinen sind darüber hinaus die technischen Daten zu messen und mithilfe von Belastungsversuchen und Stuserhebungen in ihrer Auswirkung auf die Bodenstruktur zu quantifizieren (BRUNOTTE et al., 2015).

Die Einteilung und Bewertung der Verdichtungsempfindlichkeit von Böden führt, unter Einbeziehung der Arbeitsgänge, der Mechanisierung und der Verfahrensketten (Belastungsseite) zu einer Einstufung der Befahrbarkeit von Böden und z.B. der Ableitung von Befahrbarkeitstagen. Diese mittleren Werte sollten bei der Investition einer Maschine (=Arbeitsbreite, Motorleistung, ...) unbedingt berücksichtigt werden, da sie direkten Einfluss auf die Auslastung (=Kampagneleistung) nehmen (LORENZ & BRUNOTTE, 2015).

Zur Verknüpfung der standortabhängigen Verdichtungsempfindlichkeit von Böden mit der mechanischen Belastung durch Landmaschinen wurde ein Schema (Abb. 3) von BRUNOTTE et al. (2013, verändert nach CHAMEN et al. 2003) verwendet und angepasst. Es dient als Instrument zur Planung von Maschineninvestitionen und zur Optimierung des praktischen Einsatzes.

Auf der Ordinatenachse (Y-Achse) ist die mechanische Belastung des Bodens durch den Maschineneinsatz aufgetragen. Als Bewertungskriterien wurden zunächst eine Reihe von technischen Parametern (wie Radlast, Kontaktfläche und Kontaktflächendruck, Reifeninnendruck, Spurfächenanteil, Überrollhäufigkeit, ...) erhoben und anschließend durch 20-jährige Befahrungsversuche die Auswirkungen auf die Bodenstruktur gemessen (BRUNOTTE et al., 2015). Aus der Veränderung der bodenphysikalischen Parameter (wie z.B. Trockenrohddichte, Luftkapazität, ges. Wasserleitfähigkeit, ...) innerhalb der 5 Stufen der bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (AD-HOC-AG BODEN, 2005) kann die mechanische Belastung durch Landmaschinen abgeleitet werden. Neben den Laborparametern wird immer die Feldgefügeansprache mit Bewertung von Wurzelwachstum, Regenwurmaktivität und Bodenwiderstand als Plausibilitätskontrolle hinzugenommen (BRUNOTTE et al., 2012 b).

Als Beispiel wird die Befahrung bei der Silomaiserernte herausgegriffen. Abb. 4 zeigt in der Krume eine deutliche Abnahme der gesättigten Wasserleitfähigkeit. Dabei liegen die Werte nach getrennter Überfahrt mit den Technikgespannen „Häcksler“ und „Traktor mit Häckselgutwagen“ nach der KA 5 noch in der Stufe „mittel.“ Erst wenn Häcksler und Traktor mit Häckselgutwagen in einer Spur fahren (=Addition der Überrollungen von 2/4 auf 6), verringern sich die Leitfähigkeitswerte auf „sehr gering.“

Die Radlasten liegen mit 4-6 t auf einem mittleren Niveau und sind bei Betrachtung des absoluten Wertes für

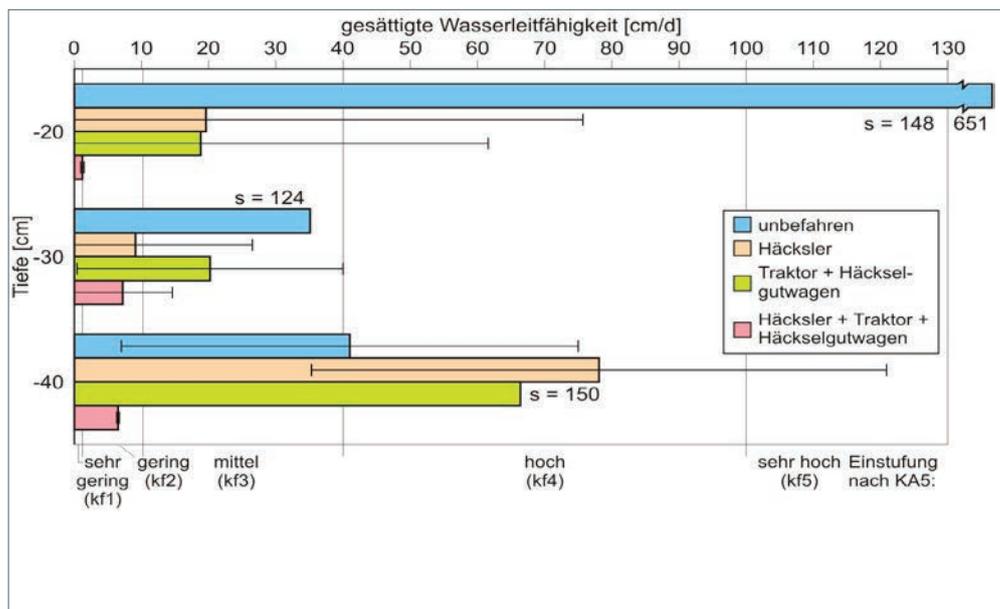


Abb. 4: Änderung der gesättigten Wasserleitfähigkeit durch Befahrung bei der Silomaisernete (Ut 2-3, Lö), (BRUNOTTE et al., 2015)

die Bodenstruktur grundsätzlich nicht kritisch zumal im September durch den Sommer der Unterboden eher trocken ist, die Krume allerdings durch Niederschläge angefeuchtet sein kann. Der Boden reagiert sensibel auf die hohe Anzahl Überrollungen. Die Krumbasis weist für den unbefahrenen Bereich eine mittlere Leitfähigkeit auf, da dieser Bereich durch Fahren in der Furche beim Pflügen, im Vergleich zum Ober- und Unterboden insgesamt gleichmäßig dichter lagert. Dies begründet auch die geringeren Unterschiede zwischen den Technikvarianten, so dass sich die Werte bei Mehrfachüberrollungen kaum von den einfach überrollten unterscheiden. Diese Zone puffert die Druckfortpflanzung in den Unterboden teilweise ab, so dass die Soloüberfahrten von „Häcksler“ und „Traktor mit Häckselgutwagen“ keine Abnahme der Wasserleitfähigkeit bewirken – fahren allerdings alle Fahrzeuge in einer Spur kommt es zu einer Verringerung der Leitfähigkeit in die Stufe „gering.“ Diese Bewertungsstufen sind in dem Bewertungsschema wiederzufinden: verminderte sich durch Befahrung z.B. die gesättigte Wasserleitfähigkeit von der Stufe „mittel“ auf „gering“ (Ad-hoc-AG Boden 2005), bedeutet dies bei den Maschinen eine Verschiebung der mechanischen Belastung von „mittel“ nach „hoch.“ Ist die Wasserleitfähigkeit also gering, haben wir es mit einer hohen mechanischen Belastung zu tun.

Da diese bodenphysikalischen Messungen sehr aufwendig sind, helfen heute Sensoren die Befahrbarkeit zu ermitteln und die Maschinen anzupassen (Abb. 5). Mithilfe einer hydrostatischen Niveaumessung (=modifizierte Schlauchwaage) wird die Setzung des Bodens als vertikale Fortbewegung der Spurtiefe erfasst – letztere wird durch einen Ultraschallsensor unter der Achse dem Maschinenführer angezeigt (NOLTING et al, 2006). Misst die Bodensonde eine vollelastische Setzung, kann bei der in der Fahrerkabine angezeigten Spurtiefe (z.B. 10 cm) die Arbeit fortgesetzt werden ohne dass eine Schädigung der Bodenfunktionen droht. Dieser Sachverhalt ist bei der Überfahrt der Häckselkette im Bereich des nahen Unterbodens (40 cm Tiefe) festzustellen: sowohl nach der Soloüberfahrt des Häckslers, als auch nach der Soloüberfahrt von Traktor mit Häckselgutwagen federt der Boden vollelastisch zurück. Nur in 30 cm Tiefe ist je eine bleibende Setzung von 0,7 mm zu verzeichnen, die im Rahmen der routinemäßigen Bodenbearbeitung wieder repariert werden kann. Federt der Boden dagegen nicht vollständig zurück, weil eine plastische Verformung auf eine mögliche Schädigung der Bodenfunktionen hinweist, müssen die Fahrzeugparameter an die höhere Verdichtungsempfindlichkeit angepasst werden. Bei der Zuckerrübenenernte zum Beispiel, indem die Bunkerkapazität nicht voll ausgeschöpft wird, um die mechanische Belastung zu reduzieren. Da der Reifeninnendruck nur durch Kenntnis der Radlast anzupassen ist, misst ein

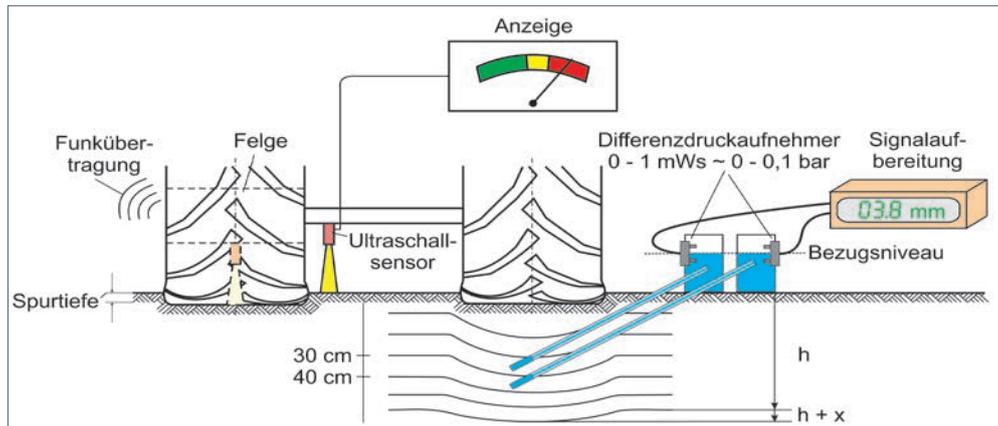


Abb. 5: Hydrostatische Setzungsmessung und Multisensorsystem an landwirtschaftlichen Maschinen – Prototyp (NOLTING et al., 2006)

Ultraschallsensor in der Felge die Reifeneinfederung, die mit der Radlast hoch korreliert. Jeder Reifen hat aus Gewährleistungsgründen vom Hersteller eine maximale zulässige Einfederung unter Berücksichtigung von Radlast, Reifennendruck und Fahrgeschwindigkeit. Wird diese ausgeschöpft, kann über die größtmögliche Kontaktfläche ein Höchstmaß an Bodenschonung realisiert werden. Damit ist die Reifeneinfederung der geeignete Regelparameter für eine zukünftige vollautomatische Reifendruckregelanlage, weil er online die dynamische Radlast anzeigt (Abb. 5).

Um zu überprüfen, ob die untersuchte Technikvariante den jeweiligen Standort ohne Gefährdungsrisiko befahren darf, wird auf der Abszissenachse (X-Achse) die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens gegenübergestellt (Abb. 3). Erfolgt ein Schnittpunkt der horizontalen Geraden (= mechanische Belastung der Landmaschine) mit der vertikalen Geraden (= standortabhängige Verdichtungsempfindlichkeit) rechts oben im Gitterraster, ist von einer Gefährdung der Bodenfunktionen auszugehen. Eine Minderung des Gefährdungspotenzials kann nur durch Abtrocknen des Bodens oder durch den Einsatz einer bodenschonenderen Technik erreicht werden:

Beispielsweise durch eine Trennung von Feld- und Straßentransport, sodass die an die Straße angepassten Reifennendrucke der Häckselgutwagen von 3 bar auf 1,5 bar im Feld reduziert werden können.

Eine weitere Verbesserung der Bodenschonung kann mit einem Bunkerhäcksler erzielt werden, der am Feltrand direkt auf LKW-Sattelzüge überlädt. Durch den

integrierten Bunker und die Hundeganglenkung dieser Technikvariante wird die Überrollung auf 1- bis 2-mal reduziert bei Reifennendruck von $< 1,5$ bar. Aus der Bewertung der Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens lassen sich für bestimmte Arbeitskettens (z.B. bei der Silomaisern) Befahrbarkeitstage (BFT) ableiten. Hierbei wird die mechanische Belastung der verwendeten Maschine bzw. Arbeitskette den mittleren, langjährigen, täglichen Verdichtungsempfindlichkeiten in der betrachteten Region zu den relevanten Zeitfenstern der Frucht gegenübergestellt. Daraus können dann mittlere, langjährige Befahrbarkeitstage für den jeweiligen Standort und den Einsatzzeitraum, z.B. der Silomaisern, abgeleitet werden (Tab. 1).

Diese schwanken je nach Standort und Mechanisierungskette. So liegen bei Betrachtung des Oberbodens für den Standort in Bayern aufgrund einer höheren Verdichtungsempfindlichkeit nur 39 BFT im Vergleich zu 52 BFT in Hessen vor. Bei Betrachtung der Mechanisierungsketten kann die Befahrbarkeit am Standort in Bayern um 8 Tage verlängert werden, wenn eine bodenschonendere Technik eingesetzt wird. In diesem Fall muss es zu einer Trennung von Feld- und Straßentransport kommen. Dann kann auf dem Feld der Reifennendruck auf ca. 1,5 bar reduziert werden. Ein Bunkerhäcksler würde weitere 2 Einsatztage ermöglichen. Der Unterboden lässt tendenziell mehr Befahrbarkeitstage zu, da durch den Sommer und erhöhte Verdunstungsraten diese Horizonte trockener sind (Tab. 1). Durch dieses Konzept wird es möglich, für die einzelnen Maschinen oder Arbeitskettens mittlere BFT für einen Standort anzugeben und diese auch hinsichtlich ihrer Bodenschonung vergleichend zu bewerten. Dies kann

	Beispielstandorte	Befahrbarkeitstage bei unterschiedlicher mechanischer Bodenbelastung (01.09. - 31.10 = 61 Tage)		
		Feldhäcksler + Häckselwagen direkt zum Silo	Feldhäcksler + Umladewagen /Maus auf LKW zum Silo	Bunkerhäcksler auf LKW-Sattelzug zum Silo
Oberboden	Gernsheim (Hessen)	52	59	61
	Falkenberg (Bayern)	39	47	55
Unterboden	Gernsheim (Hessen)	61	61	61
	Falkenberg (Bayern)	38	54	61

Tab. 1: Befahrbarkeitstage eines schluffigen Lehms in Hessen (Gernsheim) und in Bayern (Falkenberg) mit unterschiedlicher Bodenfeuchte bei der Silomaisernernte (LORENZ & BRUNOTTE, 2015)

dem Landwirt bei der Planung von Maschineninvestitionen bzw. bei der Einsatzkoordinierung zur Ernte helfen, die Bodenfunktionen seines Standortes nachhaltig zu stützen. In besonders trockenen Jahren ist dann Luft für zusätzliche Lohnarbeit, in besonders nassen Jahren reicht die Maschinenleistung unter Hinzunahme von Nacharbeit immer noch aus, die Ernte bodenschonend durchzuführen.

4. Schlussbetrachtung

Der Einsatz hochmoderner Traktoren und hochspezialisierter Erntemaschinen unterliegt immer der Gratwanderung zwischen Rentabilität und Bodenschonung. Die Auslastung von Maschinen ist natürlich eine Frage der Betriebsgröße und Organisationsform (landwirtschaftlicher Betrieb, Maschinenring, Lohnunternehmer), aber auch immer eine Frage der Standortgegebenheiten, wie Bodenart und Niederschlagsverteilung. Trockene Verhältnisse sind meist unkritisch für den Boden und führen zu hohen Auslastungsgraden der Maschinen. Die Befahrung bei feuchten Bodenzuständen kann dagegen Bodenfunktionen gefährden. Daher ist der Boden mit seinen Eigenschaften auch in die Planung von Maschineninvestitionen einzubeziehen. Dies ist möglich, indem der Boden nach seiner potentiellen Verdichtungsempfindlichkeit von Bodenart, -schichtung und Bodenfeuchte bewertet wird und der mechanischen Belastung der einzusetzenden Landtechnik in dem jeweiligen Zeitraum gegenübergestellt wird. Hierzu wurde ein Schema entwickelt und entsprechende Befahrbarkeitstage für den jeweiligen Standort abgeleitet.

Die mechanische Belastung konnte aus einer Vielzahl von Prüfstands- und Feldmessungen (Kontaktflächen- druck, Bodendruck, Bodensetzung, ...), Maschinenparametern (Radlast, Reifen, Reifeninnendruck, ...) und verfahrensspezifischen Parametern (Überrollhäufigkeit, Spurflächenanteil, ...) abgeleitet und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Bodenkennwerte und funktionale Größen (u.a. Luftkapazität, gesättigte Wasserleitfähigkeit, Gefügestand, ...) bewertet werden.

Für den praktischen Einsatz von Landmaschinen ist der aktuelle Bodenzustand mithilfe der hydrostatischen Setzungsmessung und der Feldgefügeansprache zu ermitteln und bei Gefährdung der Bodenfunktionen sind die Fahrzeugparameter (Radlast, Reifeninnendruck, ...) anzupassen. Dies kann beim Reifeninnendruck sowohl manuell, als auch halbautomatisch und zukünftig wahrscheinlich vollautomatisch erfolgen. Dieser kurz beschriebene, neu entwickelte Ansatz zur Bewertung der Verdichtungsempfindlichkeit von ackerbaulich genutzten Böden hilft regionale Befahrbarkeitstage abzuleiten. Die Verknüpfung mit praxisüblicher Maschinenteknik und ganzen Verfahrensketten macht die Ableitung von schlüssigen und praxistauglichen Handlungsempfehlungen für ein bodenschonendes Befahren von Ackerflächen möglich und gibt so dem Praktiker konkrete Lösungsvorschläge an die Hand.

Der höhere Aufwand für die Bodenschonung erhält die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig, mindert allerdings kurzzeitig die Flächenleistung. Arbeiterledigungskosten verändern sich kaum, wenn die geringere

Jahresleistung durch längere Gesamtnutzung der Maschinen ausgeglichen wird (BRUNOTTE et al., 2015). Die verschiedenen Lösungsansätze, den Boden mit seinen Funktionen zu schonen, müssen daran gemessen werden, inwieweit der Boden in seiner Komplexität berücksichtigt wird. Theoretische Modelle, die starre Grenzen für mechanische Belastungen (z.B. Radlast oder Kontaktflächendruck) ableiten, verkennen die Heterogenitäten der Bodenstruktur (Schichtungen, Feuchte, Funktionalitäten) und die komplizierten dynamischen Wechselwirkungen zwischen Maschine und Boden. Der hier vorgestellte Lösungsansatz zum vorsorgenden Bodenschutz (Abb. 3) erfüllt die notwendige Flexibilität, ermöglicht so eine schlagspezifische Anpassung der Landmaschinen an den aktuellen Bodenzustand und sorgt damit für eine nachhaltige Sicherung der vielfältigen Bodenfunktionen.

Literatur:

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung – 5. Auflage; Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.
- BRUNOTTE, J.; LORENZ, M.; SOMMER, C.; HARRACH, T. & SCHÄFER, W. (2008): Verbreitung von Bodenschadverdichtungen in Südniedersachsen. Berichte über Landwirtschaft 86 (2), S. 262-283.
- BRUNOTTE, J.; NOLTING, K.; FRÖBA, N. & ORTMEIER, B. (2012 a): Bodenschutz beim Pflügen: Wie hoch ist die Radlast am Furchenrad? Landtechnik 67 (H4), S. 265-269.
- BRUNOTTE, J. & VORDERBRÜGGE, TH. (2012b): Wie gut kennen Sie Ihren Boden? Feldgefügeansprache in der Anwendung. DLG-Mitteilungen 6/2012, S. 54-57.
- BRUNOTTE, J.; BACH, M. & LORENZ, M. (2013): Bodenschutz – die Konkretisierung schreitet voran. Getreidemagazin 6/2013, S. 18-22.
- BRUNOTTE, J.; BRANDHUBER, R.; VORDERBRÜGGE, TH. & SCHRADER, S. (2015): Vorsorge gegen Bodenverdichtungen. In: Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Bonn BMEL/aid 3614; 118 S.
- BOUSSINESQ, J. (1885): Application des Potentiels à l'étude de l'équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris, 30 pp.
- CHAMEN, W.T.C.; ALAKUKKU, L.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G.; TIJINK, F.G.J. & WEISSKOPF, P. (2003): Prevention strategies for field-traffic-induced subsoil compaction: A review. Part. 2 Equipment and field practices. Soil Tillage Res. 73. 161-174.
- DISERENS, E. & BATTIATO, A. (2013): TASC V3.0 – Prognose Bodengefährdung und Treibstoffverbrauch: Eine PC-Anwendung zur Beurteilung der Bodenbeanspruchung im Ober- und Unterboden in der Land- und Forstwirtschaft sowie zur Schätzung des Energie- und Treibstoffbedarfs im Ackerbau. ART-Bericht 766, S. 1-8.
- DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST (2013): AMBAV – Berechnung der Bodenfeuchte und Verdunstung. http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU5/Braunschweig/Aufgabenspektrum/Agrar_Modelle/AMBAV,templateId=rau,property=publicationFile.pdf/AMBAV.pdf
- FRESE, H. (1955): Bodendruckfragen beim Einsatz luftbereifter Fahrzeuge auf dem Acker. Landbauforschung Völkenrode 5 (2), S. 31-35.
- FRÖHLICH, O.K. (1934): Druckverteilung im Baugrund. Springer Verlag, Wien, 178 p.
- LORENZ, M. (2008): Status der Bodenverdichtung auf niedersächsischen Ackerböden und eine Übersicht der Verhältnisse in Deutschland. SchR Inst Landwirtschaft Umwelt 15, S. 57-70.
- LORENZ, M. & BRUNOTTE, J. 2015: Verdichtungsempfindlichkeit von Böden – Lasteinträge von landwirtschaftlichen Maschinen. Bericht unveröffentlicht, Thünen-Institut für Agrartechnologie, Braunschweig, 69 S.
- NOLTING, K.; BRUNOTTE, J.; LORENZ, M. & SOMMER, C. (2006): Bodenverdichtung: Bewegt sich was? Setzungsmessungen im Unterboden unter hoher Last. Landtechnik 61 (4), S. 190-191.
- RUHM, E. (1983): Schlechte Voraussetzungen für eine gute Ernte. Hann. Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung (4), S. 3-4.
- SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung im Boden und Bodenverformungen unter Schlepperreifen. Grundlagen der Landtechnik 5, 49-63.
- SOMMER, C. (1985): Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Vermeidung. Landtechnik 40 (9), S. 378-384.
- STETTLER, M.; KELLER, T.; WEISSKOPF, P.; LAMANDÉ, M.; LASSEN, P. & SCHJØNNING, P. (2014): Terranimo – ein webbasiertes Modell zur Abschätzung des Bodenverdichtungsrisikos. Landtechnik 69, (3), S. 132-138.

3. Dient der Biogasprozess der Reduzierung bodenbürtiger Schaderreger im Gärrest?

Dr. Luitgardis Seigner, Dr. Regina Friedrich, Dr. Dorothee Kaemmerer, Dr. Peter Büttner, A. Hermann
 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz
 Lange Point 10, D-85354 Freising

1. Zusammenfassung

Die Biogastechnologie spielt eine zentrale Rolle in der nachhaltigen Landwirtschaft und Energieproduktion: Durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger leistet sie einerseits einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz; andererseits trägt sie durch die Verwertung biologischer Reststoffe wie auch Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau und Industrie sowie das Ausbringen anfallender Gärrückstände auf landwirtschaftliche Flächen zum Erhalt vorhandener Ressourcen und zur Aufrechterhaltung natürlicher Kreislaufprozesse bei. Zudem könnten mit Schaderregern infizierte und damit nicht mehr vermarktungsfähige Befallspartien durch das Einschleusen in Biogasanlagen nutz- und gewinnbringend entsorgt werden. Voraussetzung für die Verwertung derart belasteter Erntegüter und Abfälle in Biogasanlagen ist jedoch, dass die phytopathogenen Schaderreger den Biogasprozess nicht überstehen und damit über das Ausbringen von Gärrückständen keine Verschleppung erfolgen kann. Ansonsten wäre insbesondere bei bodenbürtigen Erregern eine „Aufschaukelung“ des Krankheitsgeschehens auf der betroffenen Fläche denkbar. Zur Abklärung dieser Fragestellung wurde an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ein 4-jähriges Forschungsprojekt durchgeführt.

Die Untersuchungen erfolgten in Fermenter- und Laborversuchen an Erregern ausgewählter Quarantänekrankheiten, die in diesem Kontext aufgrund der für sie geltenden „Nulltoleranz“ als besonders kritisch einzustufen sind, sowie an Pathogenen, die als bodenbürtig gelten und deshalb im Zusammenhang mit dem Ausbringen von Gärresten von Bedeutung sein könnten;

außerdem wurde eine Reihe von Erregern aufgrund gehäufte Anfragen aus der Praxis in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Zusätzlich fand - zur Abschätzung des in der Praxis tatsächlich bestehenden Risikos - von Juli 2007 bis September 2008 sowie von November 2010 bis September 2013 ein Monitoring auf insgesamt fünf bayerischen Biogaspilotanlagen statt, in dem Substrate, Fermenterinhalt und Gärreste auf ihre Belastung mit phytopathogenen Pilzen analysiert wurden.

Als Fazit unserer Studien ist festzuhalten, dass das Überleben der Schadorganismen im Biogasfermenter erwartungsgemäß von der Fermentertemperatur, der Verweilzeit des Substrats im Fermenter sowie den Milieubedingungen abhängt. In Pflanzenmaterial „eingeschlossene“ Erreger überlebten in unseren Versuchen länger als isolierte Erreger. Die Überlebensdauer der Pathogene lag zumeist unter den für das jeweilige Substrat angegebenen theoretischen Verweilzeiten in der Biogasanlage. Die meisten der untersuchten Erreger starben innerhalb weniger Stunden bzw. Tage in Gärsubstrat bzw. im Fermenter ab und sind bei praxisüblicher Verweilzeit des Substrats im Biogasfermenter selbst bei mesothermer Vergärung aus Sicht der Phytohygiene als unbedenklich einzustufen. Es gab jedoch auch einige Ausnahmen, insbesondere bestimmte Quarantäneschaderreger, die sich als persistenter erwiesen und deshalb als problematisch zu bewerten sind. Grundsätzlich fördern eine Zerkleinerung des eingebrachten Materials sowie eine vorgeschaltete fachgerechte Silierung die Hygienisierung und verringern das Risiko, dass Erreger den Biogasprozess überdauern. Für eine umfassende Risikoabschätzung sind jedoch vor allen Dingen weitere

Studien notwendig, bei denen das Überdauerungsvermögen der Erreger in Praxisbiogasanlagen beobachtet wird. In unserem bisher durchgeführten Monitoring auf fünf bayerischen Biogas-pilotbetrieben konnten weder in Substraten noch in Fermentern oder Gärresten phytopathogene Pilze in nennenswertem Umfang nachgewiesen werden.

2. Einleitung

Als zukunftsweisende, nachhaltige Technologie zeichnet sich die Biogastechnologie besonders durch die Nutzung erneuerbarer Energieträger (NawaRo-Kulturen) und damit verbunden den Beitrag zum Klimaschutz sowie den Erhalt vorhandener Ressourcen aus. Durch das Ausbringen der nach dem Gärprozess anfallenden Gärreste auf landwirtschaftliches Kulturland werden natürliche Kreislaufprozesse aufrechterhalten und damit natürliche Potenziale genutzt. Zudem bietet die Möglichkeit der Energiegewinnung aus biologischen Abfällen und Reststoffen aus Landwirtschaft, Gartenbau und Industrie aus ökologischer und ökonomischer Sicht zusätzliche Chancen. Dies gilt auch für Erntepartien, die bedingt durch mikrobielle Belastung nicht oder zumindest nicht gewinnbringend zu vermarkten sind und in Biogasanlagen sinnvoll verwertet werden könnten. Im Besonderen würde das auch für Partien, die mit Quarantäneschadorganismen (QSO) kontaminiert sind, zutreffen, für die es oftmals keinerlei zufriedenstellende Verwendungsmöglichkeit gibt. Grundsätzlich besteht jedoch die Gefahr, dass Schaderreger den Fermentationsprozess überleben, diese mit dem Gärrest großflächig auf Kulturflächen verteilt werden und dann über den Boden Kulturpflanzen erneut infizieren. Auf längere Sicht könnte es auf diesem Wege sogar zu einer Anreicherung der Schadorganismen auf der jeweiligen Fläche und einer Intensivierung des Befalls kommen. Im Hinblick auf QSO, für die eine sogenannte „Nulltoleranz“ besteht, wäre dies ein unakzeptables Risiko. Die betriebene Kreislaufwirtschaft, enge Fruchtfolgen bevorzugter und mit reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz angebaute NawaRo-Kulturen sowie die angedachte gezielte Entsorgung von Befallspartien erhöhen das Gefährdungspotenzial. Eine Gefahr könnte speziell von mesotherm betriebenen Biogasanlagen ausgehen,

die nach einer Studie des Instituts für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (ILB) der LfL einen großen Teil der bayerischen Anlagen ausmachen. Die Betriebstemperatur dieser Anlagen von 35 bis 45 °C reicht möglicherweise nicht aus, um bestimmte vorhandene Keime zu inaktivieren. Dementsprechend gelten gemäß Anhang 2 der Bioabfallverordnung nur Pasteurisierung (mindestens 1 h bei mindestens 70 °C), aerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Kompostierung: mindestens 55 °C über einen möglichst zusammenhängenden Zeitraum von zwei Wochen bzw. 60 °C über 6 Tage oder 65 °C über drei Tage) und anaerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Vergärung: mindestens 50 °C während der gesamten Mindestverweilzeit) uneingeschränkt als hygienisierende Behandlung zur Sicherstellung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit von Bioabfällen. Zur Abklärung möglicher mit dem Ausbringen von Gärresten verbundener Phytohygienrisiken wurde an der LfL im Rahmen eines 4-jährigen, vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Projekts die Leistungsfähigkeit des Biogasprozesses im Hinblick auf die Inaktivierung verschiedener ausgewählter phytopathogener Schaderreger geprüft. Zur Bearbeitung spezieller ergänzender Fragestellungen wurden Finanzmittel durch die HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e. G. zur Verfügung gestellt.

Die Untersuchungen erfolgten an Schaderregern, die an für die Biogasproduktion bevorzugt angebaute Kulturen (z. B. Mais, Getreide, Gräser, Zuckerrübe, Sonnenblume) auftreten, die bekanntermaßen als bodenbürtig gelten und für die deshalb die Gefahr bodenbürtiger Infektionen nach dem Ausbringen des Gärrests gegeben ist, sowie an Schaderregern, die als besonders gefährlich eingestuft werden. Aufgrund des mit ihnen verbundenen besonderen Risikos und der bereits erwähnten „Nulltoleranz“ lag ein Schwerpunkt auf den Quarantänekrankheiten der Kartoffel wie der Bakteriellen Ringfäule (*Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus*), der Schleimkrankheit (*Ralstonia solanacearum*), dem Kartoffelkrebs (*Synchytrium endobioticum*) und den Kartoffelzystenematoden (*Globodera pallida*, *G. rostochiensis*). Außerdem wurden Pathogene in das

Untersuchungsprogramm mit aufgenommen, für die aufgrund ihres gehäuften Vorkommens seitens der Praxis gesteigertes Interesse bestand. Zu diesen gehörten u. a. *Verticillium dahliae* und *V. albo-atrum*, die Erreger von Welke bei einer Reihe bedeutsamer Kulturen, das Rizomaniavirus, das die Wurzelbärtigkeit der Zuckerrübe bedingt, und dessen Überträger *Polymyxa betae*, *Rhizoctonia solani*, der Verursacher der Späten Rübenfäule bei Zuckerrübe und der Wurzeltöterkrankheit bei Kartoffel, *Sclerotinia sclerotiorum*, Auslöser von Fäulnis und Krebs z. B. bei Raps, Leguminosen, Sonnenblume, *Fusarium graminearum*, ein Pilz, der zu Weißähigkeit und Mykotoxinbildung bei Getreide führt, sowie der Erreger der Bakteriellen Gräserwelke *Xanthomonas translucens* pv. *graminis*.

Zur Bewertung der aktuellen Risikosituation in der Praxis wurde von Juli 2007 bis September 2008 sowie im Zeitraum von November 2010 bis September 2013 ein Monitoring auf insgesamt fünf bayerischen Biogaspi-lotanlagen des Aktionsprogramms „Biogas in Bayern“ durchgeführt. Dabei wurde das Vorkommen von phytopathogenen Pilzen in den eingebrachten Substraten, den Fermenterinhaltungen und den resultierenden Gärresten untersucht.

3. Material und Methoden

3.1. Fermenterversuche

Die Persistenz der verschiedenen Schadorganismen im Biogasprozess wurde durch Einbringen von pathogenhaltigem Material in Biogasversuchsfermenter geprüft. Die Fermentation fand unter möglichst praxisnahen Bedingungen in 36-Liter-Durchfluss-Versuchsfermentern des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der LfL statt, die im mesophilen (ca. 38 °C) bzw. thermophilen (ca. 55 °C) Bereich betrieben wurden.

Das Substrat bestand in erster Linie aus Gemischen aus Gras- und Maissilage. Die Raumbelastung der Fermenter lag zwischen 0,5 und 2,5 kg Trockenmasse pro Kubikmeter und Tag. Das zu untersuchende, mit Pathogenen belastete Probenmaterial befand sich in zwei übereinander angeordneten 10-ml-Keimträgern, die mithilfe einer Führungsschiene in den Fermenter

eingeschleust wurden. Die Pathogene lagen dabei entweder in isolierter Form vor, d. h. beispielsweise bei Pilzen als Myzel auf Nährmedium, als Sporen oder Sklerotien, im Falle von Nematoden als Zysten, oder sie waren umgeben von ihrer Wirtspflanze, also im Pflanzengewebe lokalisiert. Die Keimträger wurden zu verschiedenen Zeitpunkten nach Versuchsbeginn aus dem Fermenter herausgenommen und dann der Keimträgerinhalt zur Feststellung der Lebensfähigkeit der Schaderreger untersucht (s.u.).

3.2 Laborversuche im Batchverfahren

Für Batchversuche im Labor wurden infiziertes Pflanzenmaterial oder isolierte Erreger in mit Gärsubstrat oder Puffer befüllten Bechergläsern bei genau festgelegten Temperaturen im Brutschrank gehalten und danach zu verschiedenen Zeitpunkten Probenmaterial für die weiteren Analysen (s.u.) entnommen. In diesen diskontinuierlich geführten Versuchen konnte speziell die Überdauerungsfähigkeit der Schadorganismen in Abhängigkeit von exakt definierten Temperatur- und Milieubedingungen geprüft werden. Die unter absolut kontrollierten Bedingungen durchgeführten Laborversuche wurden insbesondere auch bei Experimenten mit Quarantäneschadorganismen angelegt, weil damit eine weitere Verschleppung über die ansonsten bei Fermenterversuchen anfallenden Gärreste auszuschließen war. Zudem erlaubte das Batchverfahren die Untersuchung größerer Pflanzenteile (z. B. Kartoffelknollen). Hervorzuheben ist, dass mit dieser Verfahrensweise natürlich nicht der Fermentationsprozess simuliert werden konnte, sondern das „Worst-Case-Szenario“ einer nicht optimal verlaufenden Fermentation wie auch die Lagerung des Gärrests nachgestellt wurden.

3.3 Silierversuche mit *Fusarium graminearum*, *Sclerotinia sclerotiorum* und *Rhizoctonia solani*

Um den Einfluss der Silierung auf das Überleben verschiedener phytopathogener Pilze zu beleuchten, wurde am LfL-Institut für Tierernährung ein 90-tägiger Silierversuch bei 25°C angesetzt, in dem mit *Fusarium graminearum* überwachsene Weizenkörner wie auch Sklerotien (Dauerorgane) von *Sclerotinia sclerotiorum* und *Rhizoctonia solani* zusammen mit Mais in Weckgläsern

siliert wurden. Die Auswertung erfolgte mikroskopisch nach Wachstum auf Nährmedium.

3.4 Nachweisverfahren

Zum Nachweis der Pathogene kamen folgende Techniken zur Anwendung: mikroskopische/morphologische Analyse zum Nachweis und zur Identifizierung von Pilzen, kulturtechnische Verfahren (Ausplattieren auf Nährmedien zum Nachweis von Bakterien und Pilzen), biologische Tests (Inokulation von Wirtspflanzen, Schlupftest bei Nematoden, Fangpflanzentest beim Rizomaniavirus), serologische (ELISA zum Virusnachweis) und molekularbiologische Verfahren (PCR, RT-PCR, Realtime PCR, Bio-PCR). Da für den Nachweis der Erregervitalität serologische oder molekularbiologische Verfahren nicht zielführend sind, wurden stets das Erregewachstum auf Nährmedien und/oder die Fähigkeit, Wirtspflanzen zu infizieren, miteinbezogen. Eine detaillierte Übersicht über die verwendeten Methoden ist der Publikation von Seigner et al. (2010) zu entnehmen.

3.5 Monitoring der Biogaspilotanlagen

Von Juli 2007 bis September 2008 wurde ein Monitoring in drei bayerischen Biogaspilotanlagen durchgeführt. Zwei dieser Praxisanlagen wurden mesophil und eine thermophil betrieben. Im Zeitraum von November 2010 bis September 2013 wurden Anlagen beprobt, die Gärsubstrate aus ökologischer Produktion einsetzten. Aus den eingebrachten Substraten, den Fermentern und dem Gärrestlager wurden monatlich Proben gezogen. Die Proben wurden mit kulturtechnischen Verfahren auf phytopathogene Pilze untersucht und dabei auf antibiotikahaltige Nährböden ausgelegt bzw. ausplattiert. Nach ca. zwei Wochen wurde das Wachstum der Pilze mikroskopisch ausgewertet und eine Identifizierung aufgrund morphologischer Parameter vorgenommen.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die in unserem Projekt gewonnenen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen wurden bereits detailliert in verschiedenen Publikationen bekannt gemacht (KAEMMERER 2008, KAEMMERER 2009, FRIEDRICH et al. 2009, FRIEDRICH et al. 2010a, FRIEDRICH et al. 2010b,

SEIGNER et al. 2010, FRIEDRICH et al. 2012, SEIGNER et al. 2012). Im Folgenden werden deshalb lediglich die wesentlichen Projektergebnisse für einen Gesamtüberblick noch einmal zusammengestellt und praxisrelevante Konsequenzen aufgezeigt.

Unter kontrollierten Bedingungen im Labor durchgeführte Batchversuche mit den Erregern der Quarantänebakteriosen an Kartoffel *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* und *Ralstonia solanacearum*, mit den Kartoffelzystennematoden *Globodera pallida* sowie *Globodera rostochiensis* sowie dem Mykotoxin-Bildner *Fusarium graminearum* (Erreger der Weißähigkeit bei Getreide) und *Ustilago maydis* (Verursacher des Maisbeulenbrandes) zeigten, dass die Verweildauer im Gärsubstrat, Temperatur und Milieubedingungen kritische Faktoren sind, von denen das Überleben der Pathogene im Biogasfermenter wesentlich abhängt. Die Temperatursensitivität war zudem vom umgebenden Milieu beeinflusst: Im Gärsubstrat wurden die Erreger bereits bei Temperaturen von 35 bis 40 °C geschädigt, in Puffer oder Wasser hingegen erst Temperaturen zwischen 40 und 45 °C. Auch wirkten sich Temperaturerhöhungen im Gärsubstrat deutlich negativer auf die Überlebensfähigkeit aus. Lag der Erreger in seiner Wirtspflanze vor und wurde so durch umgebendes Pflanzenmaterial geschützt, so wurden die schädigenden Milieueinflüssen besser abgepuffert.

Generell lässt sich festhalten, dass die Biogasfermentation die Belastung des vergorenen Materials zumindest bei den im Rahmen des Projekts untersuchten Phytopathogenen (Tabelle 1) grundsätzlich verringert und damit zu einer Hygienisierung beiträgt. Wesentlich an dieser Aussage ist, dass die bearbeiteten Phytopathogene stellvertretend für verschiedenste Erregergruppen stehen (ebenfalls Tabelle 1), nämlich Nematoden als tierische Schaderreger, Pilze als Vertreter niedriger Eukaryoten, Bakterien als einfache prokaryotische Lebewesen und Viren, die lediglich pathogene Partikel sind und nicht den Lebewesen zugeordnet werden. Die meisten dieser unterschiedlich weit entwickelten und unterschiedlich komplex aufgebauten Pathogene konnten durch den Biogasprozess oder die Lagerung im Gärsubstrat inaktiviert werden. Das galt auch für die äußerst

stabilen Dauerorgane (Sklerotien), die von den Pilzen *Sclerotinia sclerotiorum* und *Rhizoctonia solani* gebildet werden; beide Pilze werden aufgrund ihrer Persistenz in der Düngemittelverordnung (DüMV) geführt. Hervorzuheben sind ferner die als Quarantäneschaderreger eingestufteten Kartoffelzystennematoden *Globodera*

pallida und *G. rostochiensis*, die im Durchflussfermenter innerhalb weniger Tage inaktiviert wurden.

Geht der Biogasfermentation eine Silierung voraus, so reduziert sich dadurch ebenfalls die Pathogenbelastung wie durch Versuche mit *Fusarium graminearum*,

Erreger	Krankheit	Systematische Zuordnung
<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i>	Bakterielle Ringfäule der Kartoffel	Gram-positive Bakterien
<i>Ralstonia solanacearum</i>	Schleimkrankheit der Kartoffel	Gram-negative Bakterien
<i>Synchytrium endobioticum</i>	Kartoffelkrebs	Pilze, Familie Synchytriaceae
<i>Globodera pallida</i> <i>Globodera rostochiensis</i>	Kartoffelzystennematoden	Nematoden (Fadenwürmer), Familie Heteroderidae
<i>Microdochium nivale</i>	Schneeschnitzpilz	Pilz, Familie Hyphomycetaceae
<i>Fusarium graminearum</i>	Weißährigkeit, Taubährigkeit	Pilz, Familie Nectriaceae
Beet necrotic yellow vein virus und dessen Überträger <i>Polymya betae</i>	Wurzelbärtigkeit der Zuckerrübe	Virus, Genus Benyviren Überträger: Pilz, Familie Plasmodiophoraceae
<i>Verticillium dahliae</i> <i>Verticillium albo-atrum</i>	Welkekrankheit	Pilz, Familie Plectosphaerellaceae
<i>Ustilago maydis</i>	Maisbeulenbrand	Pilz, Familie Ustilaginaceae
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Fäulnis, Krebs	Pilz, Familie Sclerotiniaceae
<i>Rhizoctonia solani</i>	Späte Rübenfäule bei Zuckerrübe	Pilz, Familie Ceratobasidiaceae
<i>Xanthomonas translucens</i> pv. <i>graminis</i>	Bakterielle Gräserwelke	Gram-negative Bakterien
Tabakmosaikvirus	Mosaik	Virus, Genus Tobamoviren

Tab. 1: Übersicht über die an der LfL bearbeiteten Pathogene

Sclerotinia sclerotiorum, *Rhizoctonia solani* und *Verticillium albo-atrum* gezeigt werden konnte.

Die angesprochene hygienisierende Wirkung des Biogasprozesses gilt nicht nur für die thermophile Fermenterführung, sondern - wie unserer Ergebnisse belegen - auch für eine Fermentation im mesophilen Bereich um die 38 °C, sofern eine gewisse minimale Verweildauer im Fermenter gewährleistet ist. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund bedeutungsvoll, dass ein Großteil der bestehenden Biogasanlagen im mesophilen Temperaturbereich betrieben wird. Bei 38 °C wurden in unseren Studien Überlebenszeiten von 8 Stunden bis 7 Tagen ermittelt. Zu vergleichbaren Aussagen kamen WEINHAPPEL et al. (2012), RODEMANN et al. (2012) und OECHSNER et al. (2012) bei einer Reihe ausgewählter Pilze. Wenn also die in der Praxis üblichen theoretischen Verweilzeiten von 30-40 Tagen bei mesophilem Fermenterbetrieb bzw. 15-20 Tagen bei thermophil betriebenen Anlagen eingehalten werden, so besteht für den Großteil der untersuchten Pathogene kein phytosanitäres Risiko. Umgekehrt gilt auch, dass sogenannte Kurzschlussströme, die in den häufig installierten voll durchmischten Fermentern auftreten können, zu vermeiden und entsprechende Vorkehrungen zu treffen sind, um diese Gefahr zu minimieren. Schultheiss et al. (2012) sehen eine mögliche Problemlösung im Einsatz sogenannter Pfropfenstromfermenter oder im Reihenbetrieb voll durchmischter Fermenter.

Die oben gemachten Aussagen gelten indes nicht für alle untersuchten Pathogene; allgemein gültige Aussagen hinsichtlich der inaktivierenden Wirkung des Biogasprozesses sind folglich nicht zu treffen. Einige Erreger erwiesen sich als widerstandsfähiger und überdauerten zumindest eine längerfristige Lagerung im Gärsubstrat, was in gewisser Weise einer unzureichenden Biogasfermentation entspricht oder in etwa der Lagerung des Gärrests gleichzusetzen ist. An dieser Stelle sind das in der DüMV aufgeführte und als sehr persistent geltende Tabakmosaikvirus sowie der Welkepilz *Verticillium albo-atrum* zu nennen, die beide eine mehrwöchige Inkubation im Gärsubstrat überstanden; der Erreger der Bakteriellen Gräserwelke *Xanthomonas translucens* pv. *graminis* konnte nach mehr als 3-wöchigem Aufenthalt

im Durchflussfermenter bei 39 °C noch lebend isoliert werden und war auch nach 50-tägiger Lagerung im Gärsubstrat noch vital.

Die beiden Quarantäneschaderreger *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, der Erreger der Bakteriellen Ringfäule der Kartoffel, und *Ralstonia solanacearum*, Verursacher der Schleimkrankheit der Kartoffel, überlebten umgeben von der schützenden Kartoffelknolle bei 38 °C eine 100- bzw. 30-tägige Lagerung im Gärsubstrat. Wiedemann und Enderlein beschrieben bereits 2005 ein Überdauern des Ringfäuleerregers über einen Zeitraum von 4 Wochen im mesothermen Fermenter. LIEBE et al. (2012) zogen aus ihren Versuchsergebnissen den Schluss, dass *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in der Biogasanlage nicht sicher zu inaktivieren sei. Als außerordentlich widerstandsfähig erwiesen sich die Dauersori des Kartoffelkrebseserregers, *Synchytrium endobioticum*, ebenfalls ein Quarantäneschaderreger: Sie waren in unseren Batchversuchen selbst nach 139-tägiger Lagerung im Gärsubstrat bei 38 °C Tagen zu 99 % intakt. Ebenso fanden SCHLEUSNER et al. (2011) in ihren Experimenten eine hohe Beständigkeit des Kartoffelkrebseserregers; sie konnten keine Inaktivierung durch eine 6-tägige Verweilzeit im mesothermen Biogasfermenter erreichen und auch nicht durch eine sich anschließende Gärrestlagerung. Subsumierend lässt sich feststellen, dass nach dem heutigen Kenntnisstand ein Einbringen von *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, *Ralstonia solanacearum* und *Synchytrium endobioticum* als keine geeignete Maßnahme der Entsorgung oder Verwertung betrachtet wird; dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass die genannten Pathogene Quarantäneschaderreger sind, für die „Nulltoleranz“ besteht. Die Verwertung bzw. Entsorgung derartig belasteter Partien muss in jedem Fall vom amtlichen Pflanzenschutzdienst kontrolliert werden.

5. Monitoring der Biogaspilotanlagen

Bei den monatlichen Beprobungen von zwei meso- und einer thermophil geführten Biogaspilotanlage im Zeitraum von Juli 2007 bis September 2008 wurden keine phytopathogenen Pilze in nennenswertem Umfang gefunden, weder in Proben aus Substraten noch aus Fermentern und Gärrestlagern; Unterschiede zwischen

meso- und thermophiler Fermenterführung waren nicht nachweisbar. Auch bei den von November 2009 bis Ende September 2010 monatlich durchgeführten Probenahmen in zwei Biogasanlagen mit Gärsubstraten aus ökologischer Produktion wurde keine ernstzunehmende Belastung mit phytopathogenen Pilzen detektiert (Seigner et al. 2010). Gefunden wurden primär als reine Saprophyten einzustufende Pilze. Inputmaterial waren dabei zum einen Silagen (Mais, Roggen, Weizen, Weidelgras, Gras, Zuckerrüben, Ganzpflanzensilage) und zum anderen Futterrüben, Zuckerrüben, Körnermais, Getreide und Hähnchenkot/-mist. In den Fermenterproben war insgesamt deutlich geringeres Pilzwachstum zu diagnostizieren. Bei Proben aus dem Nachgärer bzw. Endlager wurde teilweise sogar überhaupt kein Pilzwachstum mehr beobachtet.

6. Fazit

Weiterer Forschungsbedarf ist gegeben, da eine abschließende Beurteilung des Hygienisierungspotenzials des Biogasprozesses aufgrund der vorliegenden, von einer Reihe von Autoren an ausgewählten Schaderregern gewonnenen Erkenntnisse noch nicht möglich ist. Insbesondere fehlen noch aussagekräftige Untersuchungen an Praxisbiogasanlagen, da gerade in Praxisanlagen im Vergleich zu Modellversuchen zum Teil längere Expositionszeiten für die vollständige Inaktivierung von Erregern notwendig sind (Bandte et al. 2012). Einen wesentlichen Beitrag zur Überwachung der Keimbelastung von Inputmaterialien, Fermenterhalten sowie gelagerten und nicht gelagerten Gärresten und letzten Endes zur Risikoabschätzung vor Ort können zudem längerfristig angelegte Monitoringprogramme leisten. Als Fazit bleibt festzuhalten, dass die Biogasfermentation auch in mesotherm geführten Fermentern zu einer wesentlichen Reduktion der Keimbelastung eingebrachter Substrate führt. Eine vorgeschaltete Silierung unter optimalen Bedingungen bewirkt bereits im Vorfeld eine gewisse Hygienisierung. Nicht nur bei rigiden Pflanzenbestandteilen sorgt eine Zerkleinerung des Inputmaterials für eine raschere Erregerinaktivierung. Die üblichen Verweilzeiten in den Fermentern reichen für eine Reduktion vorhandener Keime aus; je länger der Aufenthalt im Fermenter, desto geringer ist

die resultierende Keimbelastung. Daraus ergibt sich, dass Kurzschlussströmungen in den Fermentern zu vermeiden sind. Da für Quarantäneschadorganismen (QSO) eine „Nulltoleranz“ gilt und zudem bestimmte QSO sich in bisherigen Studien als vergleichsweise stabil im Biogasfermenter bzw. Gärsubstrat erwiesen haben, ist das Verwerten von Partien, die mit QSO infiziert sind, in mesotherm betriebenen Biogasfermentern mit einem Risiko behaftet und hat stets nur in Absprache mit dem amtlichen Pflanzenschutzdienst zu erfolgen.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass der Biogasprozess keine vollständige Entkeimung oder Dekontamination zu leisten vermag. Die gezielte Entsorgung hochgradig mit Schaderregern behafteter Befallspartien in mesotherm betriebenen Biogasfermentern ist nicht im Sinne einer guten fachlichen Praxis.

7. Dank

Für die Bereitstellung der finanziellen Mittel danken wir dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie der HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e. G. Unser Dank gilt außerdem allen beteiligten Kollegen und Kolleginnen des Instituts für Pflanzenschutz der LfL sowie insbesondere auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des LfL-Instituts für Landtechnik und Tierhaltung, welche uns die Nutzung der Versuchsfermenter ermöglichten. Des Weiteren danken wir dem LfL-Institut für Tierernährung für die Durchführung von Silierversuchen.

Literatur

- ANONYMUS (2011): Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen. KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, 87 Seiten.
- FRIEDRICH, R., KAEMMERER, D., BÜTTNER, P., SEIGNER, L. (2009): Evaluierung des Hygienisierungspotenzials des Biogasprozesses im Hinblick auf phytopathogene Schaderreger. In: Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, Erding 02.-04.12.09, ISSN 1611-4159, Tagungsband 2, 255-266.

- FRIEDRICH, R., KAEMMERER, D., SEIGNER, L. (2010a): Manche Erreger bleiben lange vital. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 18, 28-31.
- FRIEDRICH, R., KAEMMERER, D., SEIGNER, L. (2010b): Investigation of the persistence of Beet necrotic yellow vein virus in rootlets of sugar beet during biogas fermentation. J. Plant Dis. Protect. 117(4), 150-155.
- FRIEDRICH, R., SEIGNER, L., KAEMMERER, D., BÜTTNER, P., POSCHENRIEDER, G., HERMANN, A., GRONAUER, A. (2012): Evaluierung des Hygienisierungspotenzials des Biogasprozesses im Hinblick auf ausgewählte phytopathogene Schaderreger. Sonderveröffentlichung KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, 56-63.
- KAEMMERER, D. (2009): Quantification of viable cells of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in digester material after heat treatment by TaqMan® BIO-PCR. J. Plant Dis. Prot. 116, 10-16.
- KAEMMERER, D. (2008): Schneller Tod im Fermenter. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 8, 46-47.
- LIEBE, S., MÜLLER, P., HEIERMANN, M., BÜTTNER, C. (2012): Überlebensfähigkeit von *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in der anaeroben Vergärung. Sonderveröffentlichung KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, 27-29.
- OECHNSER, H., FRAUZ, B., SCHRADER, S. (2012): Inaktivierung von Unkrautsamen, Fusariensporen und Abbau von Fusarientoxin im Biogasprozess. Sonderveröffentlichung KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, 46-55.
- RODEMANN, B., POTTBERG, U., PIETSCH, M. (2012): Untersuchungen zur Inaktivierung von Getreide- und Maispathogenen in Biogasanlagen. Sonderveröffentlichung KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, 17-26.
- SCHLEUSNER, Y., BÜTTNER, C., POTTBERG, U., RODEMANN, B., (2011): GÄRRESTE OHNE ROSIKO. DLG-MITTEILUNGEN 3/2011, 66-69.
- SCHULTHEISS U., DÖHLER, H., HOFMANN, M., WULF, S. (2012): Phytohygienische Aspekte bei der anaeroben Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen - Zusammenfassende Betrachtung. Sonderveröffentlichung KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, 80-85.
- SEIGNER, L., FRIEDRICH, F., KAEMMERER, D., BÜTTNER, P., POSCHENRIEDER, G., HERMANN, A., GRONAUER, A. (2010): Hygienisierungspotenzial des Biogasprozesses. LfL-Schriftenreihe 8, 34 Seiten.
- SEIGNER, L., FRIEDRICH, R., KAEMMERER, D., BÜTTNER, P., POSCHENRIEDER, G., HERMANN, A., GRONAUER, A. (2012): Evaluierung des Hygienisierungspotenzials des Biogasprozesses im Hinblick auf ausgewählte phytopathogene Schaderreger. Julius-Kühn-Archiv 438, 58. Deutsche Pflanzenschutztagung 10.-14. September 2012, Technische Universität Braunschweig, 498 Seiten.
- WEINHAPPEL, M., LEONHARDT, C., GANSBERGER, M., BRANDSTETTER, A., LIEBHARD, P. (2012): Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten und Unkrautarten durch Fermentationsendprodukte aus Biogasanlagen in Österreich. Sonderveröffentlichung KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, 37-45.
- WIEDEMANN, W., ENDERLEIN, O. (2005): Zur Phytohygiene von Kartoffelabfällen. Kartoffelbau 9/10 (56. Jg.), 400-402.

4. Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden

Roswitha Walter, Johannes Burmeister, Robert Brandhuber
 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau,
 Bodenkultur und Ressourcenschutz
 Lange Point 6, D-85354 Freising

1. Zusammenfassung

Ein guter Regenwurmbestand weist auf einen biologisch aktiven, fruchtbaren Boden mit intakter Bodenstruktur hin. Vielfältige Faktoren (Standort, Witterung, Bewirtschaftungsweise) wirken auf die Dichte der Tiere im Boden ein. Vorgestellt werden Ergebnisse zum Einfluss einiger aktueller Bewirtschaftungstrends auf das Vorkommen von Regenwürmern.

Ungünstig für Regenwürmer sind ein Umbruch von Grünland sowie eine hohe mechanische Bodenbelastung. Die als Dünger verwendeten Biogasgärreste tragen im Vergleich zu einer rein mineralischen Düngung zur Steigerung ihrer Siedlungsdichte bei, wenngleich sie nicht die Wirkung von Rindergülle erreichen. Eine deutlich positive Entwicklung für die Regenwürmer auf Ackerflächen wurde durch den Trend zum Pflugverzicht sowie durch Maßnahmen des Kulturlandschaftsprogrammes wie Blühflächen und Mulchsaatverfahren festgestellt. Zusammenfassend kann aus den Untersuchungsergebnissen abgeleitet werden, dass durch Grünlanderhalt, Bodenruhe, bodenschonende Bewirtschaftung mit geringerem Bodendruck und geringerer Pflughäufigkeit, ganzjährige Bodenbedeckung (Mulch-, Strip-Till-Verfahren) sowie organische Düngung die Bestandsdichte der Regenwürmer und damit ihre vielseitigen Leistungen in landwirtschaftlich genutzten Böden gefördert werden können.

2. Einleitung

Unter den Bodentieren stellen Regenwürmer den höchsten Anteil der Biomasse (DUNGER 2008) und sie verbessern durch ihre vielseitigen Leistungen die Bodenfruchtbarkeit (BIERI & CUENDET 1989, BLOUIN et al. 2013, DUNGER 2008, EHRMANN 2012a, GRAFF 1983). Ihre Grabtätigkeit trägt zur Lockerung und Belüftung des Bodens bei und fördert die Durchmischung von Bodensubstanzen und damit den Aufbau eines stabilen Bodengefüges. Durch die Zerkleinerung und Einmischung von organischer Substanz in den Boden wirken sie auch positiv auf die Nährstoffnachlieferung ein (BIERI & CUENDET 1989, BLOUIN et al. 2013).

Entsprechend ihrer Lebensweise werden die Regenwürmer in streubewohnende, flachgrabende und tiefgrabende Arten eingeteilt (Tab. 1, DUNGER 2008).

Ein guter Regenwurmbestand weist auf einen funktionsfähigen, biologisch aktiven Boden hin. Regenwürmer gelten deshalb als gute Indikatoren für den Zustand des Ökosystems Boden. Standorteigenschaften (Gründigkeit, Bodenart, pH-Wert, Wasserhaushalt), Klima und Witterungsverlauf sowie die vielfältigen Möglichkeiten der Bewirtschaftung beeinflussen den Regenwurmbestand im Boden.

		
Streubewohner epigäische Arten	Flachgräber/ Mineralschicht-bewohner endogäische Arten	Tiefgräber anezische Arten
<ul style="list-style-type: none"> • leben oberflächennah in der Streu- und Humusauflage • bilden keine oder nur temporäre Röhren 	<ul style="list-style-type: none"> • leben im Mineralboden bis ca. 60 cm Tiefe und graben ständig neue auch horizontale Röhren • tragen zur Feindurchmischung von organischer Substanz mit dem Mineralboden bei 	<ul style="list-style-type: none"> • legen nahezu senkrechte, tief in den Unterboden reichende, stabile Röhren an • sammeln organisches Material an der Oberfläche ein, das sie in ihre Röhren ziehen

Tab. 1: Lebensformen der Regenwürmer (verändert nach Dunger 2008)

Im Folgenden soll der Einfluss landwirtschaftlicher Bewirtschaftung mit einer Auswahl einiger in den letzten Jahrzehnten erfolgten Änderungen bzw. aktuellen Entwicklungstrends in Bayern aufgezeigt werden. Klimaänderung und ungünstige Witterungseinflüsse wie Überflutungen oder langanhaltende Trocken- und Frostperioden, die zu Populationsschwankungen bei Regenwürmer führen können (EHRMANN 2012b, PLUM & FILSER 2005), werden hier nicht betrachtet.

Welche Gefahren für Regenwürmer gehen von der Düngung mit Biogasgärresten oder von einer zunehmend höheren mechanischen Bodenbelastung aus? Seit Jahren nimmt die pfluglose Bewirtschaftung und Mulchsaatverfahren zu Reihenfrüchten zu. Lassen diese Trends positive Entwicklungen für Regenwürmer erkennen? Trifft dies auch für mit blütenreichem Saatgut eingesäte Ackerflächen (Blühflächen) als eine agrarökologische Maßnahme des Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms (KULAP) zu? Anhand aktueller Ergebnisse soll der Einfluss dieser Entwicklungen auf die Individuendichte, Biomasse und Artenzusammensetzung der Regenwürmer dargestellt werden.

Die Regenwurmuntersuchungen erfolgen seit 2010 durch Austreibung mit einer 0,2%iger Formaldehydlösung und anschließender Handauslese.

3. Düngung mit Biogasgärresten

Mit Inkrafttreten des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes im April 2000 erfolgte in Bayern eine rasante Zunahme der Biogasanlagen von 329 im Jahr 2000 auf 2330 Biogasanlagen bis Dezember 2013 (Quelle: Biogas-Betreiber-Datenbank Bayern, M. STROBL, LfL). Dies führte zu einem zunehmenden Anfall vergorener Rückstände aus der Biogaserzeugung (Biogasgärreste), die in Bayern nach der Rindergülle inzwischen das bedeutendste organische Düngemittel sind (für Bayern 2012: 19,4 kg N-netto/ha LF aus Biogasanlagen, 59,3 kg N-netto/ha LF aus der Rinderhaltung, WENDLAND 2014).

Aufgrund des Abbaus organischer C-Gerüste zu Methan beim Fermentationsprozess weisen Biogasgärreste in der Regel andere Eigenschaften als konventionelle Gülle auf, z.B. geringere Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff und Stickstoff, sowie höhere

Ammoniumgehalte und pH-Werte (REINHOLD et al. 2004, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2012).

In dem von 2009 bis 2019 angelegten Gärrestversuch Bayern (unter Koordination des Technologie und Förderzentrums, TFZ Straubing) werden Auswirkungen einer Düngung mit Biogasgärresten auf Bodentiere im Vergleich zu einer ausschließlich mineralischen Düngung und einer Rindergülldüngung verglichen. Dies wird auf jeweils zwei Versuchsstandorten in Mittelfranken und Niederbayern über 10 Jahre mit einer Fruchtfolge Mais - Winterweizen untersucht. Bislang wurde der Regenwurmbestand nach drei- und fünfjähriger Laufzeit jeweils im Frühjahr im Winterweizen erfasst. Der sich schon 2012 abzeichnende Trend hat sich 2014 weiter verdeutlicht (Abb. 1). Nun zeigen alle organisch gedüngten Varianten im Mittel der Standorte eine signifikant höhere Siedlungsdichte der Regenwürmer als die nur mineralisch gedüngten. Zudem sind auf den mit Rindergülle (Rindergülle +Stroh) behandelten Flächen signifikant mehr Regenwürmer zu finden als in den mit

Gärrest gedüngten Varianten (Gärrest +Stroh; Gärrest - Stroh), soweit die Düngung proportional zur Silomaisabfuhr erfolgte. Die Variante mit Gärrest-Überhang und zusätzlicher simulierter GPS Nutzung (max. Gärrest -Stroh) liegt dazwischen. Hinsichtlich der Artenzusammensetzung und -vielfalt konnte kein eindeutiger Trend beobachtet werden. Alle typischen Arten waren in allen Varianten vertreten. Nur an einem Standort wurde bei starker Gärrest-Düngung ein verringertes Auftreten von erwachsenen Tauwürmern (*Lumbricus terrestris*) beobachtet.

Andere Feldversuche (Versuchslaufzeit max. 2 Jahre) zur Regenwurmfauna unter Gärrestdüngung zeigten zum Teil im Vergleich mit Gülle und ungedüngten Kontrollvarianten den positiven Effekt der organischen Düngung (BERMEJO 2012, ELSTE et al. 2011), aber auch eine negative Entwicklung der Regenwurmfauna bei steigender Menge ausgebrachten Gärrestes (WRAGGE 2013) oder keine eindeutigen Ergebnisse (CLEMENS 2013, ELSTE et al. 2011, FRØSETH et al. 2014). Signifikante Unterschiede waren dabei nicht immer festzustellen.

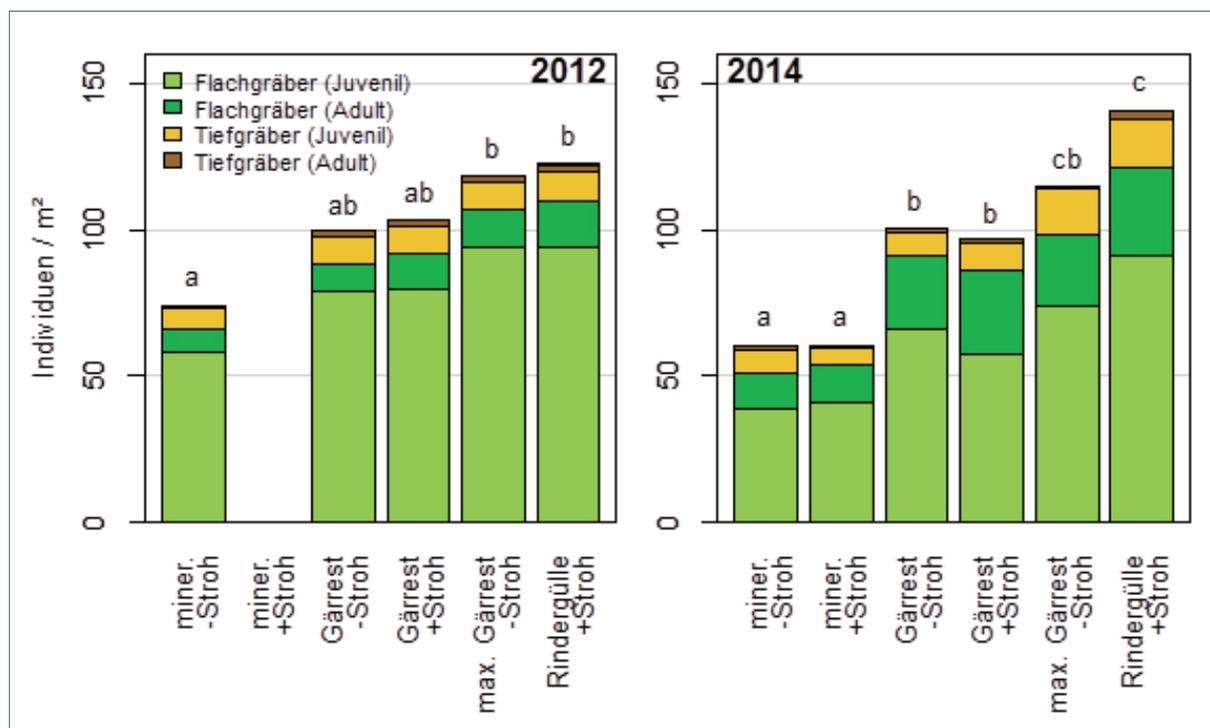


Abb. 1: Siedlungsdichte der Regenwürmer im Jahr 2012 und 2014 im Gärrestversuch Bayern (Mittelwerte über vier untersuchte Standorte, ANOVA und Tukey's HSD Test, Signifikanz-Niveau $p < 0.05$)

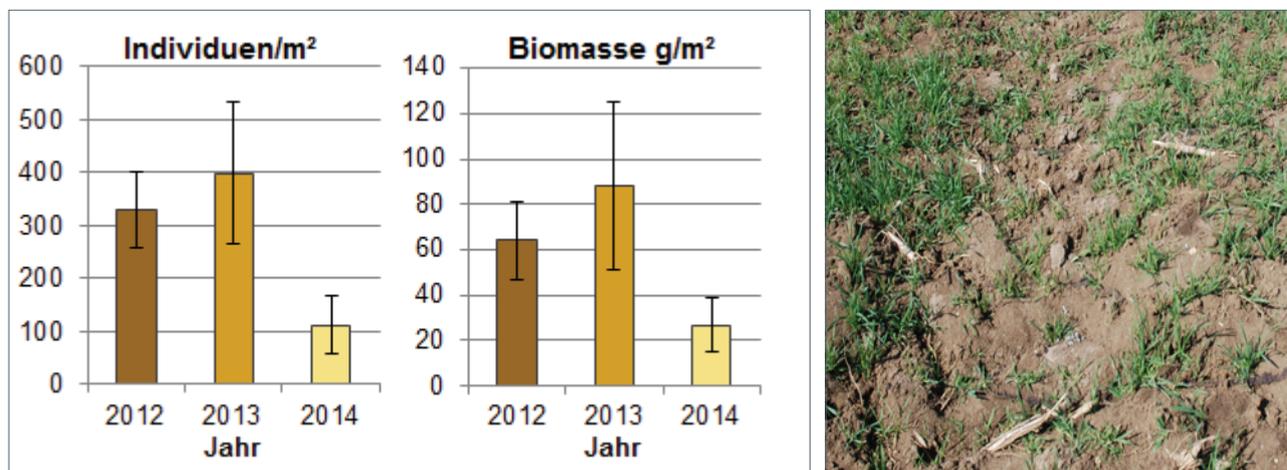


Abb. 2: Populationsentwicklung des Regenwurmbestandes auf einer Acker Boden-Dauerbeobachtungsfläche in der Oberpfalz von 2012 bis 2014 (Mittelwerte mit Standardabweichung, n=10) und Fahrspuren an der Bodenoberfläche zur Probenahme im Jahr 2014 (rechts)

Die Ergebnisse des Gärrestversuches Bayern zeigen, dass es sich bei Gärresten nicht um eine generell „regenwurmschädliche“ Substanz handelt. Mit Gärrest gedüngte Flächen scheinen langfristig einen höheren Regenwurmbestand aufzuweisen als nicht organisch bzw. ausschließlich mineralisch gedüngte, wenngleich die Wirkung von Rindergülle nicht erreicht wird. Hauptursache dafür ist wahrscheinlich eine geringere Menge rückgeführter organischer Substanz, die als Nahrung für das Bodenleben entscheidend ist. Möglicherweise spielen die geänderte Zusammensetzung und Eigenschaften des Gärrestes ebenfalls eine Rolle.

4. Mechanische Bodenbelastung

Durch den Einsatz von schweren landwirtschaftlichen Maschinen werden Böden einer starken mechanischen Belastung ausgesetzt. Vor allem bei feuchten Bodenbedingungen besteht die Gefahr einer Bodenverdichtung, wodurch luftführende und dränfähige Bodenporen zusammengedrückt werden. Dadurch können sich die Lebensbedingungen für Bodentiere verschlechtern, z.B. durch Sauerstoffmangel, Staunässe, weniger Hohlräume sowie durch eine Veränderung ihrer Nahrungsmenge und -qualität. In einer von 2012 bis 2014 jährlich im April beprobten Boden-Dauerbeobachtungsfläche in der Oberpfalz kam es im dritten Untersuchungsjahr zu einem starken Einbruch in der Individuendichte

und Biomasse der Regenwürmer (Abb. 2). Vermutlich führten Bodenverdichtungen bei Bodenbearbeitung und Bestellung im nach Aussage des Landwirts sehr nassen Herbst zu dem beobachteten Rückgang des Regenwurmbestandes.

Auch im Grünland, das im Vergleich zum Acker durch eine deutlich höhere Tragfähigkeit gekennzeichnet ist, kann sich eine mechanische Bodenbelastung ungünstig auf Regenwürmer auswirken. Am Spitalhof bei Kempton erfolgte über 10 Jahre eine gezielte Belastung von Grünland durch eine Befahrung mit Schlepper und 2-achsigem Güllefass (leer und voll) Spur viermal im Jahr nach jedem Schnitt. Die Bodenbeanspruchung beruhte an einem Befahrungstermin auf 4 Überrollungen (Schlepper + Güllefass) mit aufsummierten Radlasten von 3,5 t (niedrige Belastung) bzw. 6 t (mittlere Belastung). Verglichen wurde mit der Variante „unbefahren“. Für die Gattung *Lumbricus*, die am untersuchten Standort nahezu ausschließlich die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* (Tauwurm) umfasst, waren keine Auswirkungen der mechanischen Bodenbelastung feststellbar (Abb. 3). Ihre stabilen, vertikalen Röhren bleiben auch bei mehrfachem Überfahren wahrscheinlich noch lange erhalten bzw. werden nur etwas verkürzt. Dagegen reagierten die flachgrabenden, endogäischen Regenwurmart mit einer abnehmenden Individuendichte bei zunehmender

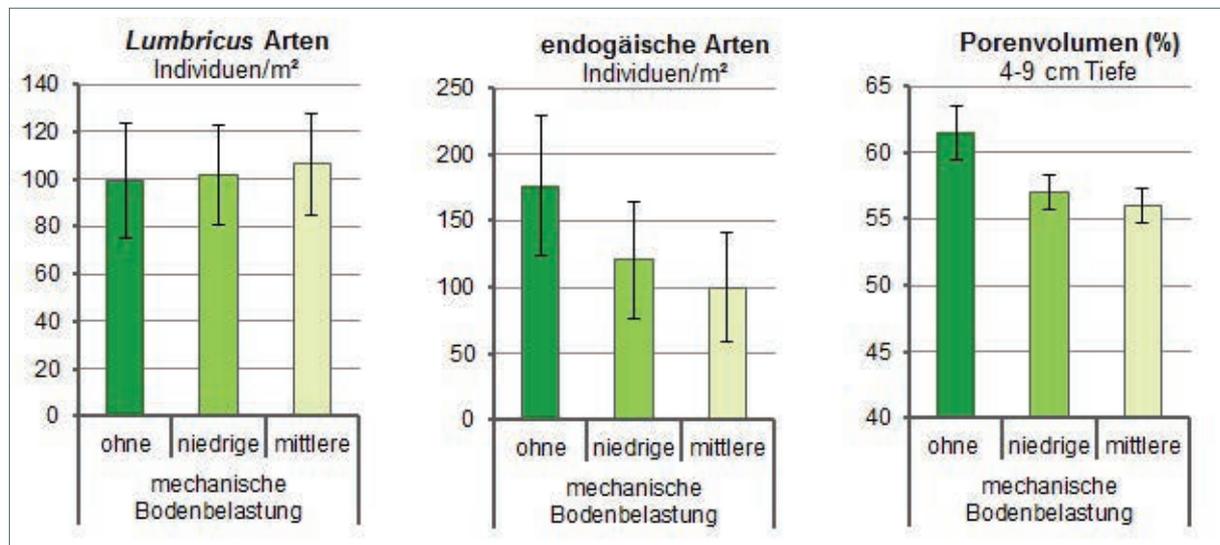


Abb. 3: Individuendichte der Gattung *Lumbricus* (am Standort v.a. der Tiefgräber *Lumbricus terrestris*) und der endogäischen Regenwürmartarten (einschließlich *A. longa*, intermediäre Lebensweise) sowie Porenvolumen in 4-9 cm Tiefe bei unterschiedlicher mechanischer Bodenbelastung im Grünland (Versuch am Spitalhof bei Kempten im Jahr 2012, Mittelwerte mit Standardabweichung)

Bodenbelastung. Das infolge mechanischer Bodenbelastung geringere Porenvolumen in der oberen Krume (Abb. 3) setzt das Dränvermögen und die Luftführung im Boden herab und führt zu veränderten Lebensbedingungen genau in dem für die flachgrabenden Arten attraktiven oberen Bodenhorizont.

Auch andere Untersuchungen belegen, dass eine mechanische Bodenbelastung zu geringeren Siedlungsdichten bei Regenwürmern führen kann (SÖCHTIG & LARINK 1992, KRAMER et al. 2008). Daraufhin deutet auch die in einer Literaturstudie ermittelte negative Korrelation der Individuendichte der Regenwürmer mit der Lagerungsdichte des Bodens (BEYLICH et al. 2010). Der Regenwurmbestand kann sich allerdings wieder erholen. So war in verdichteten Böden bereits nach 8 Monaten eine ähnlich hohe Siedlungsdichte der Regenwürmer wie in einer unbelasteten Kontrolle feststellbar, die Regeneration ihres Röhrensystems dauerte jedoch deutlich länger (CAPOWIEZ et al. 2009). Regenwürmer haben zwar ein großes Potential die Bodenstruktur selbst zu verbessern (LANGMAACK et al. 1999), ungünstig für sie ist allerdings eine jährlich wiederkehrende Bodenverdichtung (KRAMER et al. 2008). Für die Erhaltung eines vielfältigen, funktionalen Bodenlebens lohnt es sich

sowohl im Acker als auch im Grünland auf bodenschonendes Befahren der Böden zu achten.

5. Bodenbearbeitung

In Bayern ging der Einsatz des Pfluges zur Grundbodenbearbeitung in den letzten 30 Jahren zurück, wenn auch nicht so stark wie in anderen Bundesländern. Im Boden-Dauerbeobachtungsprogramm (BDF), wo seit 1985 auf ca. 90 Ackerflächen der Zustand des Bodens beobachtet wird, wurden in den 80iger Jahren 80-90 % der Äcker jährlich gepflügt, mittlerweile liegt der Anteil bei etwa 60 % (Abb. 4). Dieses Ergebnis spiegelt in etwa den bayernweiten Trend wieder, wobei regionale Unterschiede feststellbar sind. So ist der Anteil nicht gepflügter Böden in Unterfranken deutlich höher als in Niederbayern. Die Regenwürmer der BDF wurden bis 2010 mit einer Austreibung durch eine stark verdünnte Formaldehydlösung erfasst, ohne zusätzliche Handauslese. Deshalb wird hier nur die tiefgrabende Zeigerart *Lumbricus terrestris* betrachtet, die mit der Austreibungsmethode allein gut erfasst wird, während für die flachgrabenden, endogäischen Arten eine ergänzende Handauslese notwendig ist (EHRMANN & BABEL 1991, FRÜND & JORDAN 2003, PELOSI et al 2009). In nahezu

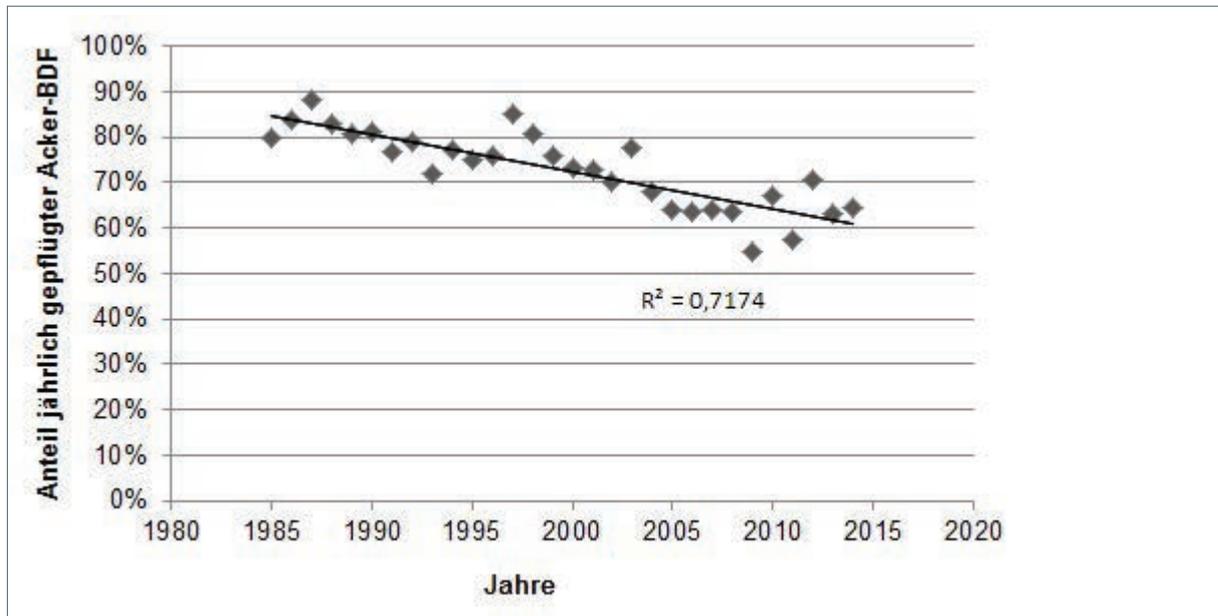


Abb. 4: Anteil der Acker-Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) mit jährlichem Pflugeinsatz von 1985 bis 2014 (ca. 90 Acker-BDF jährlich)

allen ackerdominierten Bodenklimaräumen zeigte sich in den Acker-BDF eine positive Entwicklung des Tiefgräbers *Lumbricus terrestris* vom ersten Probenahmezeitraum in den 80iger Jahren bis zum dritten von 2000 bis 2010 (Abb. 5).

Von durchschnittlich 0,8 auf 3,4 adulte Individuen pro Quadratmeter stieg die Siedlungsdichte der Art seit den 80iger Jahren auf den Ackerflächen des Bodendauerbeobachtungsprogramms signifikant an (Friedmann-Test mit anschließendem U-Test, $\alpha = 0,05$). Als eine Ursache für die Zunahme des Tauwurms *Lumbricus terrestris* kann eine geringere Pflughäufigkeit angenommen werden (Abb. 6). Die Auswertung ergab eine negative Korrelation der Individuendichte von *Lumbricus terrestris* mit der Pflughäufigkeit (für einen Betrachtungszeitraum von jeweils 15 Jahren vor der dritten Probenahmeserie der Acker-BDF).

Einen positiven Effekt des Unterlassens einer wendenden Bodenbearbeitung für den Tiefgräber *Lumbricus terrestris* bestätigen sowohl Feldstudien der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Veröff. in Vorbereitung) als auch zahlreiche andere Studien (Jossi et

al. 2011, MAURER-TROXLER et al. 2006, KLADIVKO 2001, KRÜCK et al. 2001). Entscheidend ist, dass nicht nur die Wohnröhren der Art weitestgehend erhalten bleiben, sondern auch organisches Material wie Ernterückstände, Streu und Rottematerial als Nahrung an der Bodenoberfläche verbleibt bzw. nur ein Teil davon eingearbeitet wird (KRÜCK et al. 2001).

Darüber hinaus können standortspezifische Eigenschaften die Effekte beeinflussen. So wurde in Schluffböden eine stärkere Förderung der Regenwürmer durch eine reduzierte Bodenbearbeitungsintensität ermittelt als in Lehm und Sandböden (CAPELLE et al. 2012). Der auch in Bayern zu beobachtende Trend eines Rückgangs des Pflugeinsatzes fördert somit die biologische Aktivität im Boden, was wiederum die Wasserinfiltration verbessert und dem Erosionsschutz dient (JOSCHKO et al. 1992, KRÜCK et al. 2001, SHUSTER et al. 2002).

6. Mulchsaatverfahren

Mulchsaat von Reihenfrüchten wie Mais und Zuckerrübe nach einer abfrierenden Zwischenfrucht mit verbleibendem Mulchmaterial an der Bodenoberfläche dient

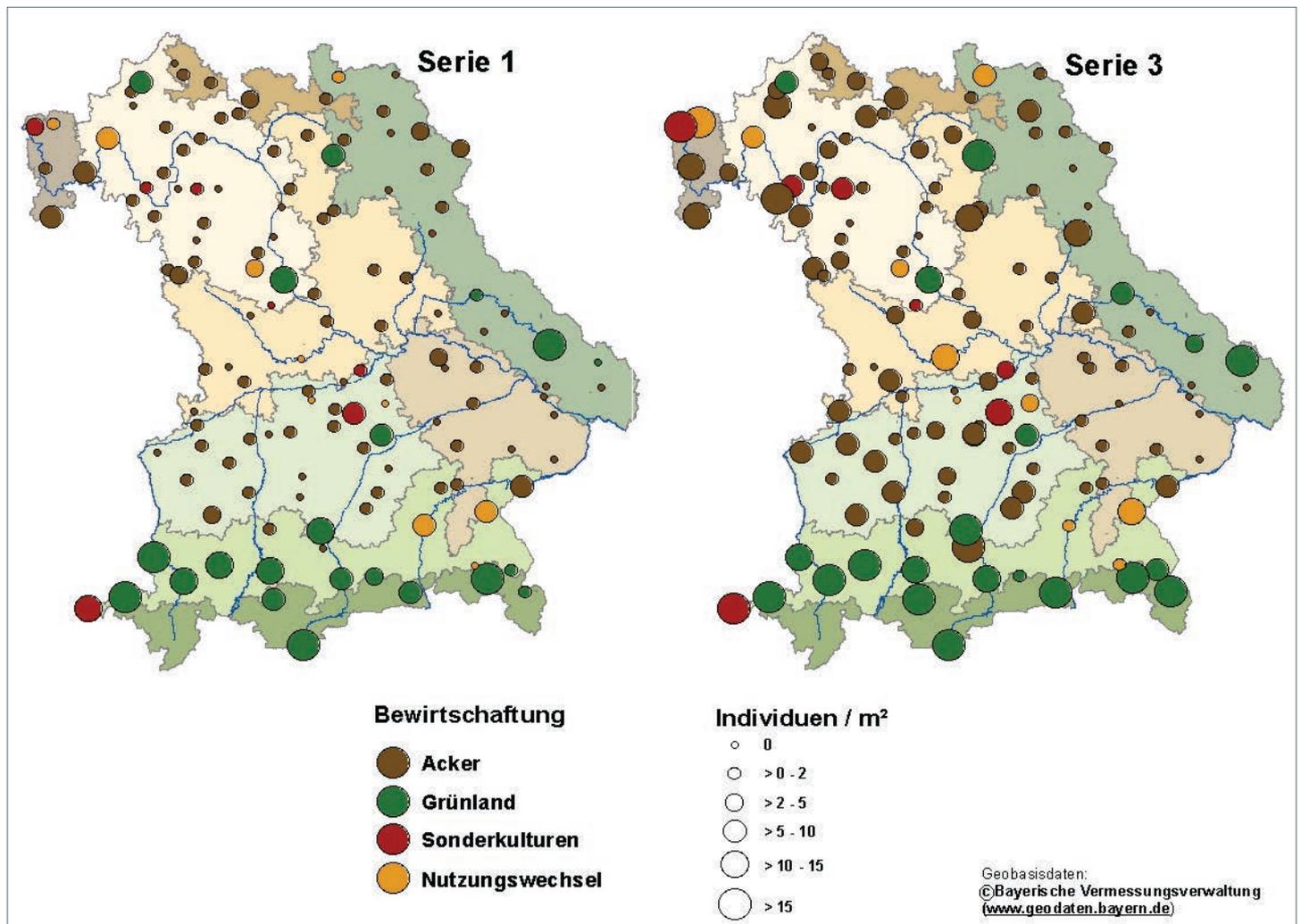


Abb. 5: Siedlungsdichte adulter Individuen/m² von *Lumbricus terrestris* in den Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) - Vergleich Probenahmeserie 1 (von 1985 bis 1988) und 3 (von 2000 bis 2010)

dem Erosionsschutz (AID 2015, KISTLER et al. 2013). Im Rahmen des bayerischen Kulturlandschaftsprogrammes werden deshalb Mulchsaatverfahren gefördert. Seit 2008 hat die Mulchsaatfläche in Bayern zugenommen (Abb. 7). Streifen- und Direktsaatverfahren erhalten seit 2015 eine eigene KULAP-Förderzuwendung.

Auf zwei Praxisschlägen bei Würzburg war sowohl in der klassischen Mulchsaat als auch noch verstärkt bei einer Streifenlockerung (Strip-Till-Verfahren) in die stehende Stoppel eine positive Wirkung auf Regenwürmer im Vergleich zu einer nach der Vorfrucht

(Winterweizen, Dinkel) gepflügten Variante mit rauer Winterfurche feststellbar (Tab. 2). Dies zeigte sich vor allem in einer steigenden Biomasse der Regenwürmer, die ein Maß für ihre Leistungen z.B. zur Durchmischung, Belüftung und Dränung des Bodens ist.

Die exemplarischen Ergebnisse zeigen, dass Regenwürmer von Bodenruhe sowie von Verfahren profitieren, die mit Zwischenfruchtanbau Lücken in der Fruchtfolge schließen und in Reihenkulturen für eine durchgehende Mulchbedeckung sorgen. Für eine gute Wirksamkeit einer klassischen Mulchsaat für den Erosionsschutz

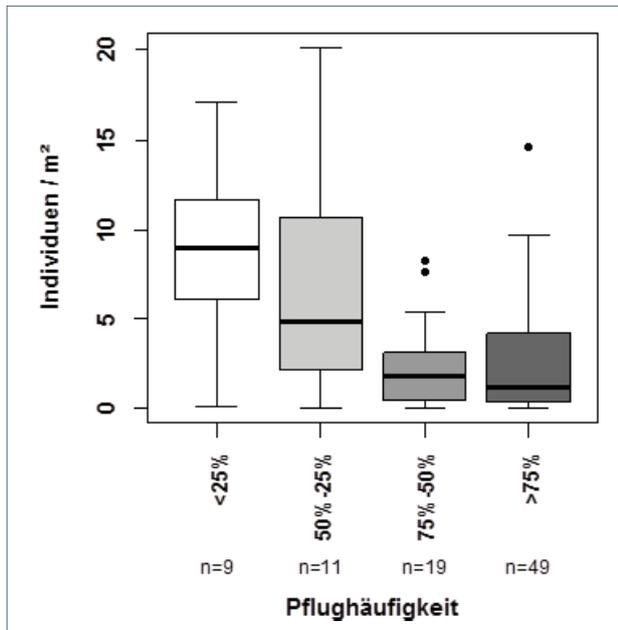


Abb. 6: Siedlungsdichte adulter Individuen von *Lumbricus terrestris* in Abhängigkeit von der Pflughäufigkeit für die Boden-Dauerbeobachtungsflächen von Äckern in Bayern für einen Betrachtungszeitraum von jeweils 15 Jahren vor der dritten Probenahmeserie

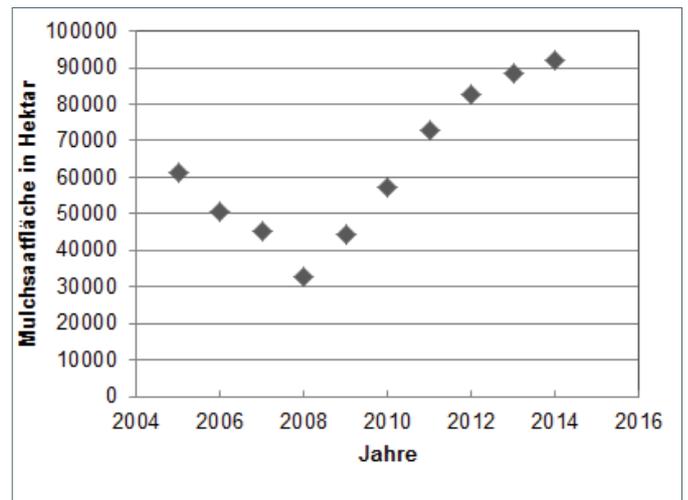


Abb. 7: Entwicklung der im Kulturlandschaftsprogramm (KULAP) geförderten Mulchsaatfläche in Bayern seit 2005 (Quelle: InVeKoS Daten, Auswertung M. Treisch, R. Brandhuber, LfL)

bedarf es der Entwicklung eines guten Zwischenfruchtbestandes und einer nicht zu intensiven und häufigen Bodenbearbeitung im Frühjahr vor der Saat der Reihenfrüchte (KISTLER et al. 2013). Dies fördert auch

den Regenwurmbestand, insbesondere die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris*, die ein ausreichendes Angebot an Streu- und Rottematerial an der Bodenoberfläche benötigt (KRÜCK et al. 2001).

Standort		Pflug	Mulchsaat	Strip-Till
Rottenbauer, Mai 2013	Individuen/m ²	26,7	54,3	102,7
	Biomasse g/m ²	8,6	30,7	39,5
Gerbrunn, Mai 2014	Individuen/m ²	91	99	365
	Biomasse g/m ²	15,6	26,6	35,9

Tab. 2: Regenwurmbestand: Vergleich Pflug, Mulchsaat, Strip-Till zu Zuckerrübe auf zwei Feldstücken von Praxisbetrieben bei Würzburg (Mittelwerte, n=6 Stichproben je Variante und Standort, Untersuchungen erfolgten in Kooperation mit der Südzucker AG, V. Nübel)

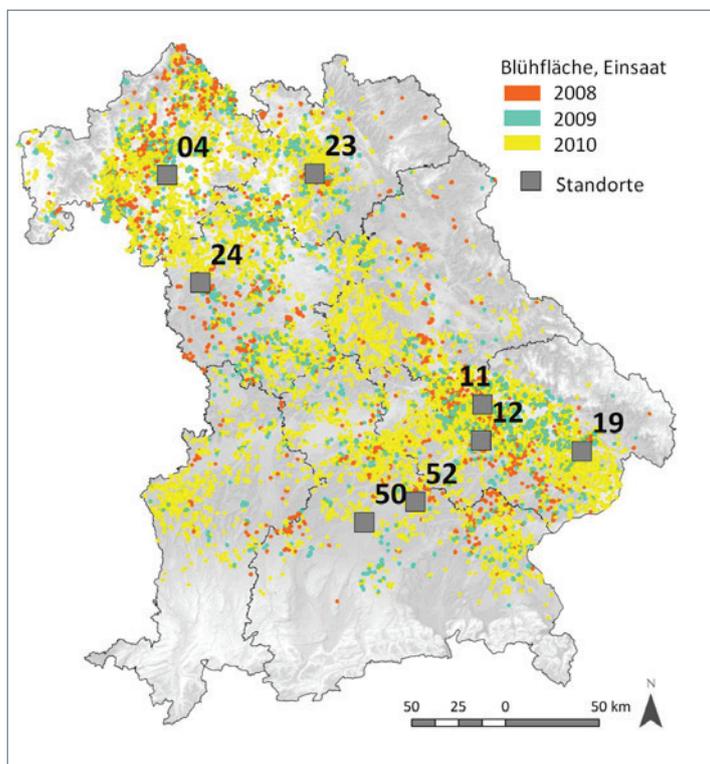


Abb. 8: Eingesäte Blühflächen in Bayern und Lage der auf Regenwürmer untersuchten Standorte

7. Blühflächen

Als eine agrarökologische Maßnahme des Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms sollen mit blütenreichem Saatgut eingesäte Ackerflächen (Blühflächen) einen Beitrag zur Biodiversität und zum Bodenschutz leisten. Bis 2011 wurden in Bayern über 20 000 Blühflächen auf einer Fläche von fast 25 000 ha angelegt (Abb. 8), die über fünf Jahre nicht genutzt werden. Im Rahmen einer faunistischen Evaluierung der Blühflächen (Wagner et al. 2014) erfolgte auch eine Evaluierung des Regenwurmbestandes von zweijährigen Blühflächen im Vergleich zum Acker (Walter 2014). Auf acht Standorten in Bayern (Abb. 8) wurde die Blühfläche und der weiterhin als Acker bewirtschaftete Teil desselben Feldstücks beprobt.

Alle Blühflächen wiesen nach zwei Jahren bereits deutlich höhere Regenwurm-Individuendichten als ihre jeweiligen Vergleichsäcker auf und bei sieben von acht untersuchten Flächen wurden auch höhere Biomassewerte festgestellt. Im Mittel der Standorte lag auf den Blühflächen sowohl die Siedlungsdichte der Regenwürmer mit 216 Individuen/m² als auch ihre Biomasse mit 56 g/m² um das Dreifache signifikant höher als

	Individuen/m ²				Biomasse (g/m ²)			
	Acker	Blühfläche	Differenz Blühfläche-Acker	Wilcoxon-test	Acker	Blühfläche	Differenz Blühfläche-Acker	Wilcoxon-test
Juvenile Tiere								
<i>Lumbricus spec.</i>	6,7	40,1	33,4	p < 0,05	12,5	23,9	11,4	p < 0,05
Sonstige Juvenile*	51,2	111,3	60,1	p < 0,01				
Adulte Tiere								
epigäische Arten	1,8	9,4	7,6	p < 0,01	0,6	1,8	1,2	p < 0,1
endogäische Arten	13,9	48,8	34,9	p < 0,01	3,9	13,4	9,5	p < 0,01
anezische Arten	0,4	6,7	6,3	p < 0,05	1,4	16,9	15,5	p < 0,05
Mittelwert	74,1	216,4	142,3	p < 0,01	18,3	56	37,7	p < 0,01

Tab. 3: Individuendichte und Biomasse der ökologischen Lebensformen der Regenwürmer von zweijährigen Blühflächen im Vergleich zum Acker (Mittelwerte von acht Standorten, n=8, Wilcoxon-Test mit gepaarten Stichproben)

* v.a. flachgrabende Arten

im Acker (74 Individuen/m² und 18 g Regenwurmbiomasse/m², Tab. 3). Blühflächen verbessern somit die Lebensbedingungen der Regenwürmer, wobei alle drei ökologischen Lebensformen (epigäische, endogäische und anezische) gefördert werden. Signifikant war dies für die flachgrabenden (endogäische) und tiefgrabenden (anezische) Regenwürmer. Dennoch zeigte sich eine Verschiebung des Dominanzspektrums zugunsten der *Lumbricus* Arten, so dass ein besonders starker Einfluss der Blühflächen für die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* angenommen werden kann. Nach zwei Jahren lag die Artenzahl der Regenwürmer auf den Blühflächen mit 4,6 Arten tendenziell höher als im Acker mit 3,6 Arten.

Entscheidend für die Steigerung des Regenwurmbestands von Blühflächen ist weniger die Anzahl der eingesäten Pflanzenarten (GORMSEN et al. 2004), als vielmehr die Bodenruhe und permanente Bodenbedeckung mit Vegetation und Streu, die günstige Lebens- und Nahrungsbedingungen schaffen. Dies bestätigen die deutlichen Zunahmen der Regenwurmdichten von stillgelegten Äckern und Ackerbrachen (ANDRIUCA et al. 2012, BESSEL & SCHRADER 1998, PIZL 1992, SCHEU 1992, WESTERNACHER-DOTZLER 1992) sowie von eingesäten

Grasstreifen oder Feldrainen im Vergleich zum Acker (EHRMANN 1996, HOF & BRIGHT 2010). Den Effekt der höheren Siedlungsdichten kann man noch mehrere Meter in die angrenzende Äcker hinein beobachten (HOF & BRIGHT 2010, SMITH et al. 2008).

8. Grünlanderhalt

Von 1979 bis 2013 nahm die landwirtschaftliche Nutzfläche in Bayern um ca. 11% ab (Tab. 4). Während die Ackerfläche weitgehend unverändert blieb, betraf der Verlust von ca. 350.000 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche vor allem das Grünland.

Äcker sind im Vergleich zum Grünland, insbesondere aufgrund der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung, durch eine deutlich höhere Dynamik in ihrer Bewirtschaftung gekennzeichnet. Dies spiegelt sich in der Siedlungsdichte der Regenwürmer und in ihrer Artenzusammensetzung wieder. So haben Grünlandflächen einen durchschnittlich höheren Regenwurmbestand mit höherer Artenvielfalt als Äcker (Ehrmann 2012a, Römbke et al. 2012, Walter & Burmeister 2011). Dies zeigten auch Untersuchungen in Bayern von 124 Acker- und 31 Grünlandflächen, die von 2010 bis 2014 überwiegend

Jahr	Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF)	Darunter Ackerfläche	Darunter Dauergrünland
1979	3.538,8	2.009,9	1.408,9
1987	3.443,6	2.091,0	1.326,5
1995	3.394,6	2.148,2	1.226,2
2003 ¹⁾	3.269,1	2.104,5	1.147,4
2005	3.248,2	2.087,0	1.145,9
2007	3.220,9	2.079,1	1.127,7
2011 ²⁾	3.143,3	2.063,3	1.065,5
2013 ³⁾	3.136,2	2.065,6	1.057,0

Tab. 4: Entwicklung der landwirtschaftlich genutzten Fläche in 1000 ha seit 1979 in Bayern (aus: Bayerischer Agrarbericht 2014, Quelle: LfStD)

¹⁾ Erhebungsänderung – untere betriebliche Erfassungsgrenze wurde seit 1999 von 1 ha auf 2 ha LF angehoben.

²⁾ Erhebungsänderung – untere betriebliche Erfassungsgrenze wurde 2010 auf 5 ha LF angehoben.

³⁾ Agrarstrukturerhebung 2013

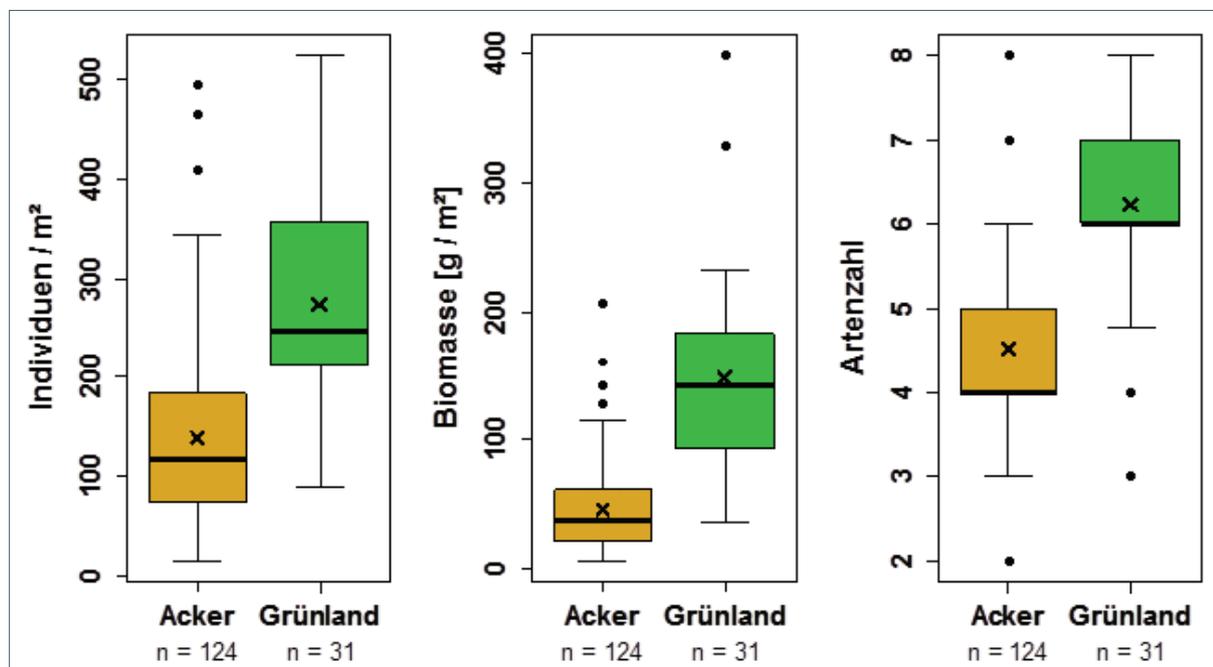


Abb. 9: Durchschnittliche Individuendichte, Biomasse und Artenzahl der Regenwürmer von Acker und Grünland in Bayern von 2010 bis 2014 (überwiegend Boden-Dauerbeobachtungsflächen)

auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen durchgeführt wurden (Abb. 9).

Bodenruhe, ganzjährige Bodenbedeckung, höhere Niederschlagssummen in den grünlanddominierten Gebieten (Alpenvorland, Bayerischer Wald) sowie in der Regel eine organische Düngung der meist milchviehhaltenden Grünlandbetriebe sind für den höheren Regenwurmbestand im Grünland verantwortlich. Von einer Grünlandnutzung profitiert insbesondere die Gattung *Lumbricus* mit ihren streubewohnenden und tiefgrabenden Regenwurmarten. Nur wenige Äcker erreichen bei reichhaltiger Fruchtfolge mit viel Klee gras oder pflugloser Bewirtschaftung einen ähnlich hohen Regenwurmbestand wie Grünland. Die Erhaltung von Grünland dient somit auch der Förderung eines reichhaltigen Regenwurmbestandes im Boden.

9. Fazit

Regenwürmer unterstützen viele wichtige Funktionen des Bodens wie eine intakte Bodenstruktur, die

Wasserversickerung und den Nährstoffkreislauf. Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass vielfältige Einflussfaktoren auf das Bodenleben wirken und es deshalb wichtig ist, das gesamte Bewirtschaftungssystem zu betrachten.

Entgegen der weitverbreiteten Meinung, es werde alles immer schlimmer, wurde gerade im Bereich des Bodenschutzes in den letzten Jahrzehnten einiges erreicht. Beispielsweise der Rückgang der Pflughäufigkeit zur Grundbodenbearbeitung und die gezielte Förderung von Mulchsaatverfahren in Reihenkulturen für den Erosionsschutz sowie die Anlage von Blühflächen zur Steigerung der Biodiversität zeigten auch eine positive Wirkung auf Regenwürmer, die stellvertretend für den Bodenzustand stehen können. Auch ist der Erhalt von Grünland, mit seinem ungestörten Boden und Bodenprozessen eine der besten Möglichkeiten einen reichhaltigen Regenwurmbestand zu erhalten. Die Düngung mit Biogasgärresten ist für Regenwürmer nicht generell schädlich, sondern fördert sogar ihren Bestand im Vergleich zu einer ausschließlich mineralischen Düngung,

ohne allerdings die Wirkung von Rindergülle zu erreichen. Doch sollte man nicht die Augen vor der Belastung für die Regenwürmer verschließen, die von einer Intensivierung der Landwirtschaft ausgeht. Schwere Maschinen sind hier nur ein Beispiel.

Insgesamt kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass durch Grünlanderhalt, Bodenruhe, bodenschonende Bewirtschaftung mit geringerer Pflughäufigkeit und geringer mechanischer Bodenbelastung, ganzjährige Bodenbedeckung (z.B. Mulch, Zwischenfrüchte, Blühflächen) sowie eine organische Düngung die Bestandsdichte der Regenwürmer und damit ihre vielseitigen Leistungen im Boden gefördert werden können. Um in Zukunft biologisch aktive, fruchtbare Böden mit einem reichhaltigen Regenwurmbestand und intakter Bodenstruktur zu fördern gilt es den positiven Entwicklungstrend fortzuführen.

Literatur

- AID INFODIENST (Hrsg.) (2015): Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. – Heft, 118 S.
- ANDRIUCA, V., GIRLA, D., IORDACHE, M. (2012): Comparative earthworm research in various ecosystems with different anthropic impact. – *Research Journal on Agricultural Science* 44(3), 149-153.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2012): Biogasgärreste. – Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. – LfL-Information. http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_31972.pdf (Zugriff: 27.03.2015)
- BERMEJO, G. (2012): Agro-ecological aspects when applying the remaining products from agricultural biogas processes as fertilizer in crop production. Dissertation Humboldt Universität zu Berlin, S.106.
- BESSEL, H., SCHRADER, S. (1998): Regenwurmzönosen auf Ackerbrachen in Abhängigkeit von der Brachedauer. – *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 7, 169-180.
- BEYLICH, A., OBERHOLZER, H.R., SCHRADER, S., HÖPER, H., WILKE, B.-M. (2010): Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological process in soil. – *Soil & Tillage Research* 109, 133-143.
- BLOUIN, M., HODSON, M.E., DELGADO, E.A., BAKER, G., BRUSSAARD, L., BUTT, K.R., DAI, J., DENDOoven, L., PERES, G., TONDOH, J.E., CLUZEAU, D., BRUN, J.-J. (2013): A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. – *European Journal of Soil Science* 64, 161-182.
- BIERI, M., CUENDET, G. (1989): Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. Schweiz. – *Landwirtschaftliche Forschung, Recherche agronomique en Suisse* 28(2), 81-96.
- CAPELLE V. C., SCHRADER, S., BRUNOTTE, J., HEINRICH, J. (2012): Wie Bodentiere auf unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren reagieren. Bodenleben erhalten und fördern. – *Landwirtschaft ohne Pflug* 1/2, 17-22.
- CAPOWIEZ, Y., CADOUX, S., BOIZARD, H. (2009): Evidence of the role of earthworms in the regeneration of compacted soils under field conditions. – Tagungsbeitrag der DBG am 20.-21.03.2009, Trier, Berichte der DBG <http://www.dbges.de>.
- CLEMENTS, L. J. (2013): The suitability of anaerobic digesters on organic farms. Dissertation University Southampton, S.196.
- DUNGER, W. (2008): Tiere im Boden. – Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 280 S.
- EHRMANN, O., BABEL, U. (1991): Quantitative Regenwurmfassung – ein Methodenvergleich. – *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 66(I), 475-478.
- EHRMANN, O. (1996): Regenwürmer in einigen südwestdeutschen Agrarlandschaften: Vorkommen, Entwicklung bei Nutzungsänderungen und Auswirkungen auf das Bodengefüge. – *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte*, Heft 35, 135 S.
- EHRMANN, O. (2012a): Der unterirdische Mitarbeiterstamm. Bedeutung von Regenwürmern für den Ackerbau. – *Landwirtschaft ohne Pflug* 11, 25-34.
- EHRMANN, O. (2012b): Auswirkungen des Klimawandels auf die Regenwürmer Baden-Württembergs. Hrsg. LUBW., 64 S. – http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ID_Umweltbeobachtung_U13-M315-N08 (Zugriff: 12.3.2015).
- ELSTE, B., J. RÜCKNAGEL & O. CHRISTEN (2011): Einfluss von Biogasgärrückständen auf Abundanz und Biomasse von Lumbriciden. In: ELSÄSSER, M., M. DIEPOLDER, O. HUGUENIN-ELIE, E. PÖTSCH, H. NUSSBAUM & J. MESSNER (Ed.), *Gülle 11 - Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland*, 213-217.
- FRØSETH, R. B., A. K. BAKKEN, M. A. BLEKEN, H. RILEY, R. POMMERESCHE, K. THORUP-KRISTENSEN & S. HANSEN

- (2014): Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *European Journal of Agronomy* 52, 90-102.
- FRÜND, H.-C., JORDAN, B. (2003): Regenwurmfassung mit Senf oder Formalin? Versuche zur Eignung verschiedener Senfzubereitungen für die Austreibung von Regenwürmern. - *Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen* 29, 97-102.
- GORMSEN, D., HEDLUND, K., KORTHALS, G. W., MORTIMER, S. R., PIZL, V., SMILAUEROVA, M., SUGG, E. (2004): Management of plant communities on set-aside land and its effects on earthworm communities. - *European Journal of Soil Biology* 40, 123-128.
- GRAFF, O. (1983): Unsere Regenwürmer – Lexikon für Freunde der Bodenbiologie. - Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 112 S.
- HOF, A.R., BRIGHT, P.W. (2010): The impact of grassy field margins on macro-invertebrate abundance in adjacent arable fields. - *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 280-283.
- JOSCHKO, M., SÖCHTIG W., LARINK, O. (1992): Functional relationship between earthworm burrows and soil water movement in column experiments. - *Soil Biology and Biochemistry* 24(12), 1545-1547.
- JOSSI, W., ZIHLMANN, U., ANKEN, T. DORN, B., VAN DER HEIJDEN, M. (2011): Reduzierte Bodenbearbeitung schont die Regenwürmer. - *Agrarforschung Schweiz* 2(10), 432-439.
- KISTLER, M., BRANDHUBER, R. MAIER, H. (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen. Ergebnisse einer Feldstudie. - *Schriftenreihe LfL* 8/2013.
- KLADIVKO, E.J. (2001): Tillage systems and soil ecology. - *Soil and Tillage Research* 61, 61-76.
- KRAMER, S., WEISSKOPF, P., OBERHOLZER, H.-R. (2008): Status of Earthworm populations after different compaction impacts and varying subsequent soil management practices. - 5Th International Soil conference ISTRO Czech Branch, 249-256.
- KRÜCK, S., NITZSCHE, O. SCHMIDT, W. (2001): Verbesserte Regenverdaulichkeit durch Regenwurmkaktivität - Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. - *Landwirtschaft ohne Pflug* 1, 18-21.
- LANGMAACK, M., SCHRADER, S., RAPP-BERNHARDT, U., KOTZKE, K. (1999): Quantitative analysis of earthworm burrowing systems with respect to biological soil-structure regeneration after soil compaction. - *Biol. Fert. Soils* 28, 219-229.
- MAURER-TROXLER C., CHERVET, A., RAMSEIER, L., STRUNEY, W.G. (2006): Zur Bodenbiologie nach 10 Jahren Direktsaat und Pflug ähnlich wie auf Dauergrünland. - *LOP* 6, 14-19.
- PELOSI, C., BERTRAND, M., CAPOWIEZ, Y., BOIZARD, H., ROGER-ESTRADE, J. (2009): Earthworm collection from agricultural fields: Comparisons of selected expellants in presence/absence of hand-sorting. - *European Journal of Soil Biology* 45, 176-183.
- PIZL, V. (1992): Succession of earthworm populations in abandoned fields. - *Soil Biology and Biochemistry* 24(12), 1623-1628.
- PLUM, N.M., FILSER, J. (2005): Floods and drought: Response of earthworms and potworms (Oligochaeta: Lumbricidae, Enchytraeidea) to hydrological extremes in wet grassland. - *Pedobiologia* 49, 443-453.
- REINHOLD, G., V. KÖNIG, L. HEROLD (2004): Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Eigenschaften der Gärsubstrate. Veröffentlichung im Rahmen des VDLUFA-Kongresses, 13.-17. September 2004, Rostock. URL: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/bio10904.pdf> (Zugriff: 27.03.2015).
- RÖMBKE, J., ROSS-NICKOLL, M., TOSCHKI, A., HÖFER, H., HORAK, F., RUSSEL, D., BURKHARDT, U., SCHMITT, H. (2012): Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie. - *UBA TEXTE* 33/2012.
- SCHEU, S. (1992): Changes in the lumbricid coenosis during secondary succession from a wheat field to a beechwood on limestone. - *Soil Biology and Biochemistry* 24(12), 1641-1646.
- SHUSTER, W.D., McDONALD, L.P., MCCARTNEY, D:A., PARMELEE, R.W., STUDER, N.S., STINNER, B.R. (2002): Nitrogen source and earthworm abundance affected runoff volume and nutrient loss in a tilled-corn agroecosystem. - *Biol. Fert. Soils* 35, 320-327.
- SMITH, J., POTTS, S., EGGLETON, P. (2008): The value of sown grass margins for enhancing soil macrofaunal biodiversity in arable systems. - *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127, 119-125.

- SÖCHTIG, W., LARINK, O. (1992): Effect of soil compaction on activity and biomass of endogeic lumbricids in arable soils.- *Soil Biology and Biochemistry* 24 (12), 1595-1599.
- WAGNER, C., BACHL-STAUDINGER, M., BAUMHOLZER, S., BURMEISTER, J., FISCHER, C., KARL, N., KÖPPL, A., VOLZ, H., WALTER, R., WIELAND, P. (2014): Faunistische Evaluierung von Blühflächen. -Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 1/2014, 1-150.
- WALTER, R., BURMEISTER, J. (2011): 25 Jahre Regenwurmfassung auf landwirtschaftlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern. - In: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Den Boden fest im Blick - 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern, 10-22.
- WALTER, R. (2014): Evaluierung des Regenwurmbestands zweijähriger Blühflächen. In: WAGNER, C., BACHL-STAUDINGER, M., BAUMHOLZER, S., BURMEISTER, J., FISCHER, C., KARL, N., KÖPPL, A., VOLZ, H., WALTER, R., WIELAND, P. (2014): Faunistische Evaluierung von Blühflächen, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 1/2014, 33-43.
- WENDLAND, M. (2014): Nährstoffemissionen aus der Tierhaltung in Bayern und die Novellierung der Düngeverordnung. In: FAHN, C., W. WINDISCH (Ed.): 52. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V. – „Tierernährung und Umwelt“. Eigenverlag BAT e.V. Freising. S. 1-6.
- WESTERNACHER-DOTZLER, E. (1992): Earthworms in arable land taken out of cultivation. – *Soil Biology and Biochemistry* 24(12), 1673-1675.
- WRAGGE, V. (2013): Gärprodukte aus Biogasanlagen im pflanzenbaulichen Stoffkreislauf. Dissertation Humboldt Universität zu Berlin, S.153.

5. Nachhaltiger Schutz vor Bodenerosion durch ackerbauliche Maßnahmen

Dr. Walter Schmidt

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Waldheimer Straße 219, D-01683 Nossen

1. Einleitung

Boden gehört zu den wichtigsten nicht vermehrbaren Ressourcen der Land- und Forstwirtschaft. Böden dienen nicht nur der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie von nachwachsenden Rohstoffen. Vielmehr binden Böden Nährstoffe und sind einer der größten Kohlenstoffspeicher der Welt. Böden reinigen und speichern Wasser und sind damit ein wichtiger Baustein für den Hochwasserschutz. Weltweit gehen Tag für Tag wertvolle Böden durch Erosion, Versalzung, Wüstenbildung und Versiegelung verloren. Aus diesen Gründen hat die UNO das Jahr 2015 zum Internationalen Jahr des Bodens erklärt. Damit soll die Bedeutung der Böden für die Ernährungssicherung in der Welt und für den Wohlstand unserer Gesellschaft verdeutlicht werden. Das bedeutet: Der Schutz unserer Böden ist lebensnotwendig und der Boden ist für die Landwirtschaft der wichtigste und daher im Besonderen schützenswerte Produktionsfaktor (BMEL, 2015).

Im Zusammenhang mit dem Schutz von Böden ist Bodenerosion durch Wasser und Wind sowohl weltweit als auch in Deutschland das bedeutendste Problemfeld des landwirtschaftlichen Bodenschutzes. So sind 25 % der Ackerflächen Deutschlands winderosionsgefährdet (BGR, 2014a) und ein Drittel der Ackerfläche weist eine mittlere bis sehr hohe Wassererosionsgefährdung auf (BGR, 2014b). Bodenerosion durch Wasser (Abb. 1) führt zu einem irreversiblen Verlust an fruchtbarem Ackerboden, an Humus sowie an Nährstoffen (On-Site Schaden).

Das verringert unumkehrbar die Ertragsfähigkeit von Böden und führt auch in Deutschland in Trockenjahren, z. B. in Kuppen- und Hangbereichen mit nur noch geringen Bodenaufträgen, zu spürbaren Ertragsseinbußen (AID, 2015). Außerhalb von Ackerflächen kann abgetragenes Bodenmaterial und abfließendes Wasser zu erheblichen Schäden und Kosten führen. So werden z. B. Straßen verunreinigt, Gräben verfüllt, Gebäude beschädigt sowie Gewässer durch Nährstoffe und Sediment belastet (Abb. 2) (AID, 2015).

Sowohl für den dauerhaften Erhalt der Ertragsfähigkeit der Ackerböden als auch im Hinblick auf die Erfüllung gesetzlicher Anforderungen (z. B. BBodSchG, BBodSchV, Cross Compliance-Regelungen, EU-WRRL) müssen wirksame Maßnahmen gegen Bodenerosion durch Wasser und durch Wind umfassend und konsequent angewendet werden.

Ein weiterer Grund für die Umsetzung erosionsmindernder und -verhindernder Maßnahmen ist der Klimawandel. Projektionen zum Klimawandel für verschiedene Regionen Deutschlands zeigen, dass, neben einer Abnahme der Niederschläge im Frühjahr und Sommer, eine Zunahme der Intensität von Starkregenereignissen zu erwarten ist. Aus letzterem ergibt sich ein verstärkter Handlungsbedarf zur Vorsorge gegen Wassererosion. Gleichzeitig muss mit Niederschlagswasser effizienter umgegangen werden. Dies bedeutet, dass auf Ackerflächen möglichst viel Wasser versickern muss. Auf geneigten Ackerflächen ist dies mit einem



Abb. 1: On-Site-Schäden durch Wassererosion (Foto LfULG)



Abb. 2: Off-Site-Schäden durch Wassererosion (Foto LfULG)

reduzierten bzw. gänzlich unterbundenen Oberflächenabfluss verbunden, wodurch die Wassererosion vermindert oder verhindert wird.

In Deutschland besteht ein großer Handlungsbedarf bezüglich der Vermeidung von Bodenerosion. Im Folgenden wird dargestellt, wie Ackerflächen vor Erosion geschützt werden können. Auf Grund des Umfangs der Wassererosionsgefährdung wird hierbei ein Schwerpunkt auf Maßnahmen gegen Wassererosion gelegt. Diese Maßnahmen wirken in gleicher Weise gegen Winderosion.

2. Maßnahmen gegen Wassererosion auf Ackerflächen

Gemäß § 17 Bundesbodenschutzgesetz soll Erosion möglichst vermieden werden. In diesem Sinne sind wirksame und – wegen der Nichtvorhersagbarkeit von Erosionsereignissen – vorsorgende Schutzmaßnahmen gegen Wasser- und Winderosion auf Ackerflächen anzuwenden (AID, 2015). Diese Vorsorgemaßnahmen sind situations- und standortbezogen einzeln oder in Kombination zu ergreifen, wenn ein potenzielles oder

tatsächliches Erosionsrisiko besteht. Dies bedeutet, dass auf Ackerschlägen, die aufgrund geringer Hangneigung als potenziell wenig gefährdet eingestuft werden, z. B. beim Anbau von Mais wegen des hohen Nutzungsrisikos trotzdem Erosionsschutzmaßnahmen durchgeführt werden sollten. Dem Landwirtschaftsbetrieb stehen die in Übersicht 1 zusammengestellten acker- und pflanzenbaulichen sowie ergänzenden Maßnahmen zur Verfügung, um Bodenabträge durch Wassererosion im Sinne der Vorsorge zu vermeiden (AID, 2015).

2.1 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Eine Bodenbedeckung schützt den Ackerboden vor dem Aufprall der Regentropfen. Das vermindert bzw. verhindert den Zerfall von Bodenaggregaten und die damit verbundene versickerungshemmende Bodenverschlammung (Abb. 3). Aus diesen Gründen wird Wassererosion auf Ackerflächen durch eine möglichst dauerhafte Bodenbedeckung sowie eine stabile Bodenstruktur vermindert bzw. verhindert (NITZSCHE et al., 2000; DEUMLICH und FUNK, 2012; AID, 2015). Durch eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung lassen sich im Fruchtfolgeverlauf die Zeiträume ohne Bodenbedeckung reduzieren. Ökonomische Rahmenbedingungen

Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen gegen Wassererosion	Ergänzende Maßnahmen gegen Wassererosion
<ul style="list-style-type: none"> • Konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat und Streifenbearbeitung im Sinne des Belassens einer bodenschützenden Mulchauflage sowie des Erhalts stabiler Bodenaggregate möglichst im gesamten Fruchtfolgeverlauf, mindestens jedoch zu einzelnen, von Erosion besonders betroffenen Fruchtarten (insbesondere Mais, Zuckerrüben) im Sinne eines flächenhaft wirkenden Schutzes • Minimierung der Zeitspannen ohne Bodenbedeckung u.a. durch Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfrüchte sowie Untersaaten • Vermeidung oder Intervallbegrünung hangabwärts gerichteter Fahrspuren 	<ul style="list-style-type: none"> • Schlagunterteilung bzw. Hanggliederung durch Fruchtartenwechsel • Dauerbegrünung von besonders gefährdeten Acker(teil)flächen bzw. Hangdellen und -rinnen • Auf den Schutz vor Bodenerosion ausgerichtete Flurneuordnungsverfahren: Bewirtschaftung quer zum Hang, Anlage quer zum Gefälle laufender Grün- sowie Flurgehölzstreifen, Anlage von Wegseitengräben und ausreichend dimensionierten Durchlässen, ggf. Schaffung von Sedimentationsraum im Hangbereich • Vermeiden von Fremdwasserzutritt auf Ackerflächen durch fachgerechte Wasserableitung vom Oberlieger

Übersicht 1: Einzelne bzw. in Kombination anwendbare Maßnahmen der Guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Wassererosion (nach AID, 2015)



Abb. 3: Verschlammung durch Bodenaggregatzerfall nach ergiebigen Regenfällen mit der Folge hoher Erosionsanfälligkeit (Foto LfULG)



Abb. 4: In Mulchsaat ohne Saatbettbereitung gesäeter Mais (Foto LfULG)

können allerdings einer in diesem Sinn gestalteten Fruchtfolge entgegenstehen. Ein Landwirt kann jedoch durch Zwischenfruchtanbau, durch das Belassen von Stroh und Ernteresten (z. B. in Verbindung mit der pfluglosen – konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaat) sowie durch das Belassen von Untersaaten nach Ernte der Deckfrucht eine erosionsmindernde Bodenbedeckung sicherstellen (AID, 2015).

Besonders erosionsmindernd wirkt eine flächendeckende, den Boden gut bedeckende und damit beschützende Mulchauflage (Abb. 4). Sie bremst zusätzlich den Abfluss und verbessert dadurch die Wasserinfiltration. Eine Mulchbedeckung von 30 – 50 % gewährt meist einen ausreichenden Erosionsschutz (FRIELINGHAUS, 1998; AID 2015). Sehr gut erreicht werden kann dies durch das Zurücklassen von Pflanzenrückständen (z. B. Stroh) und/oder durch den Anbau von Zwischenfrüchten mit einer nachfolgenden Mulchsaat, d. h. der Aussaat der Folgefrucht unter aufliegende Pflanzenreste im Rahmen der nichtwendenden bzw. konservierenden Bodenbearbeitung.

2.1.1 Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat

Wesentliches Kennzeichen der pfluglosen – konservierenden Bodenbearbeitung (s. Übersicht 2) ist der Einsatz nichtwendender Bodenbearbeitungsgeräte (z. B. Grubber, Scheibeneggen, zapfwellengetriebene Geräte). Sie belassen den Ackerboden weitgehend in seinem Aufbau. Gleichzeitig verbleiben Ernterückstände, wie z. B. Stroh oder Reste von Zwischenfrüchten (= Mulchmaterial), an der Bodenoberfläche oder werden flach eingearbeitet (Abb. 5). Die Aussaat der Folgefrucht erfolgt mit spezieller Mulchsaattechnik unter die aufliegende Mulchschicht. Eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung nach der vorangegangenen Ernte wird als Direktsaat bezeichnet (Abb. 6). Hierfür sind spezifische Direktsämaschinen erforderlich. Diese ziehen Säschlitze, in die das Saatgut abgelegt wird. Als Folge des Verzichts auf jegliche Bodenbearbeitung zeichnen sich Direktsaatflächen durch eine dichte Bedeckung aus Pflanzenresten aus.

Konventionelle – wendende Bodenbearbeitung

Die wendenden Systeme haben die höchste Bodenbearbeitungsintensität. Die Störung des Oberbodens auf Krumentiefe bis 35 cm Tiefe ist sehr hoch. Die Grundbodenbearbeitung wird mit wendenden Werkzeugen wie z. B dem Streichblechpflug durchgeführt.

Konservierende – nichtwendende Bodenbearbeitung (Abb. 5)

Die nichtwendenden Systeme haben durch ihre lockernde und mischende Arbeitsweise eine geringere Arbeitsintensität. Es wird in nichtwendende Systeme mit krumentiefer Lockerung bis auf 25 cm sowie Systeme ohne Lockerung, bei denen auf die Grundbodenbearbeitung verzichtet wird und deren Arbeitstiefe auf 10 bis 15 cm begrenzt ist, unterschieden.

Direktsaat (Abb. 6)

Das System der Direktsaat hat die geringste Bearbeitungsintensität. Die Saatgutablage erfolgt ohne vorherige Bodenbearbeitung im ungestörten Boden. Bei der Saat werden weniger als ein Drittel der Reihenweite bearbeitet. Die Bearbeitungstiefe entspricht der Tiefe der Saatgutablage.

Übersicht 2: Definition der Bodenbearbeitungs- und Bestellsysteme (KTBL 2014)



Abb. 5: Konservierende Bodenbearbeitung (Foto LfULG)



Abb. 6: Direktsaat (Foto LfULG)

		Pflug	Konservierend	Direktsaat
Infiltrationsrate ¹⁾	[%]	40	70	86
Rel. Bodenabtrag ²⁾	[%]	100	20	2
Mulchbedeckung	[%]	1	13	77
Humus ³⁾	[%]	2,0	2,2	2,5
Mikrobielle Biomasse	[$\mu\text{g C}_{\text{mic}}/\text{g TS Boden}$] ³⁾	415	626	575
Aggregatstabilität	[%]	20	22	25
Regenwürmer	Anzahl pro m ²	125	312	358
davon Tiefgräber	L. terrestris	4	37	29
Makroporen ⁴⁾	Zahl pro m ²	264	493	775

Tab. 1: Auswirkung der Bodenbearbeitung auf Bodenparameter (Bodenbearbeitungsversuch der Südzucker AG in Lüttewitz, Sächsisches Lößhügelland (Bodenart Ut3/Ut4), Beregnungssimulation 2000 (8. Versuchsjahr); Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Winterweizen, keine Strohabfuhr) (nach NITZSCHE et al. 2002)

Arbeitstiefen [cm]: Pflug: 30; Konservierend: 20 (mit Grubber); Direktsaat: 0

¹⁾ Beregnungsversuch: 38 mm Niederschlag in 20 Min = 100 %

²⁾ Bodenabtrag Pflug: 536,3 g/m² = 100 %

³⁾ Bodenschicht 0 – 5 cm

⁴⁾ Porendurchmesser > 1 mm

Im Gegensatz zur konservierenden Bodenbearbeitung wird mit dem Pflug der Boden bis auf Krumentiefe (i. d. R. bis 30 cm Bodentiefe) gewendet und gelockert (s. Übersicht 2). Pflanzen- bzw. Erntereste, Unkräuter usw. werden in den Boden eingearbeitet. Dadurch hinterlässt das Pflügen eine reststofffreie, vegetationslose Ackeroberfläche als Voraussetzung für die Aussaat der Folgefrucht mit herkömmlicher Drilltechnik. In Folge der Bearbeitung mit dem Pflug kommt es, im Gegensatz zu Mulchsaatflächen, bei Starkregenereignissen zu Bodenerosion durch Wasser auf Ackerflächen (s. Abb. 1). Entscheidende Voraussetzung für den wirksamen Schutz von Ackerflächen vor Wassererosion ist die dauerhafte Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung bzw. der Direktsaat. In Tabelle 1 sind die erosionsmindernden Effekte der konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaat dem Pflugeinsatz gegenübergestellt.

Die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat sind die wirkungsvollsten Maßnahmen gegen Bodenerosion durch Wasser und Wind auf Ackerflächen (SOMMER 1999; BRUNOTTE 2003; AID, 2015). Durch den Verzicht auf die Bodenwendung mit dem Pflug verbleiben stabile Bodenaggregate sowie bodenbedeckendes Mulchmaterial (Ernte- und Strohrückstände) an der Oberfläche. Diese Mulchauflage schützt den Ackerboden insbesondere in einem aufwachsenden Pflanzenbestand mit noch geringem Bedeckungsgrad (z. B. Zuckerrüben, Abb. 7) aber auch zu einem späteren Zeitpunkt (s. Abb. 4). Neben der Bodenbedeckung ist dafür auch die im Vergleich zu gepflügten Flächen deutlich gesteigerte Wasserinfiltration als Folge der Änderungen wichtiger Bodenparameter verantwortlich. So wird auf dauerhaft konservierend bestellten Ackerflächen z. B. die Verschlammungsanfälligkeit des Bodens durch die Verbesserung und Stabilisierung der Struktur der Bodenaggregate und durch höhere Humusgehalte im oberen Krumbereich sowie eine schützende Mulchauflage an der Bodenoberfläche vermindert.

Die Mulchauflage erhöht zudem den Regenwurmbesatz und die mikrobiologische Aktivität (KRÜCK et al. 2001, NITZSCHE et al. 2002; Tab. 1). Der höhere Regenwurmbesatz (und hier insbesondere grobporenerzeugende



Abb. 7: Bodenerosion infolge von Oberflächenabfluss auf gepflügter, dadurch verschlammter Ackerfläche mit geringer Infiltration (linker Bildbereich) im Vergleich zu konservierend bearbeiteter, strukturstabiler Ackerfläche mit hoher Infiltration (rechter Bildbereich) (Gewitterniederschlag mit 55 mm Regen/45 min, Sächsisches Lößhügelland, Bodenart Ut3) (Foto LfULG)

tiefgrabende Regenwürmer (Krück et al., 2001)) sorgt darüber hinaus für eine größere Zahl wasserableitender, infiltrationsverbessernder Grob- bzw. Makroporen. Infolgedessen vermindert die konservierende Bodenbearbeitung die Bodenerosion durch Wasser auf Ackerflächen und den damit verbundenen P-Austrag im Vergleich zu gepflügten Flächen um bis zu 90 %. Im Einzelfall werden durch die konservierende Bodenbearbeitung bzw. die Direktsaat sowohl die Wassererosion als auch der P-Austrag ganz verhindert. Die verbesserte Wasserinfiltration sorgt zudem für eine effizientere Nutzung von Niederschlägen. Dies kann im Hinblick auf den Klimawandel und den damit evtl. verbundenen ausgeprägten Trockenperioden von Bedeutung sein (AID, 2015). Diese in vielen Versuchen nachgewiesene erosionsmindernde Wirkung konservierender Bodenbearbeitung wird durch Beobachtungen in der Praxis bestätigt (Abb. 7).

Eine unverzichtbare Maßnahme ist in diesem Zusammenhang auch die bedarfsgerechte Kalkung der Ackerböden. Sie fördert ebenso das Bodenleben, sorgt für stabile Bodenaggregate und wirkt so gegen die Verschlammung (AID, 2015).

2.1.2 Anpassungsstrategien bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung

Erosionsschadensfälle belegen, dass nur die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung im gesamten Fruchtfolgeverlauf für einen nachhaltig wirksamen Erosionsschutz sorgt. Dadurch stellen sich die infiltrationsfördernden, und in Folge abtragsmindernden bzw. -verhindernden Wirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung (Strukturstabilisierung, Aufbau und Erhalt eines dichten Grobporensystems, Sicherung einer ausreichend dichten Mulchbedeckung usw., s. Tab. 1) ein und werden erhalten. Ein einmaliger Pflugeinsatz beseitigt diese erosionsmindernden Effekte der konservierenden Bodenbearbeitung. Dies belegt Abbildung 7: hier wurde nach acht Jahren nichtwendender Bestellung der linke Bereich des Schlags erstmalig wieder gepflügt.

Die erosionsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung ist u. U. differenziert zu betrachten. So kann eine dauerhaft flache Bearbeitung, z. B. mit dem Grubber (Arbeitstiefe < 10 cm), bei bestimmten Böden zur Ausbildung infiltrationshemmender und in Folge zu erosionsverstärkenden Verdichtungsschichten unterhalb des Bearbeitungshorizontes führen. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob eine einmalige, etwas tiefer gehende Lockerung Abhilfe schaffen kann (AID, 2015). Eine zu intensive Bearbeitung (z. B. in Form mehrerer Grubberarbeitsgänge) kann die Wassererosion infolge steigender Verschlämmungsanfälligkeit aufgrund zu geringer Mulchbedeckung erhöhen. Der Erhalt der Bodengare und der Mulchbedeckung der Vorfrüchte erfordert daher situationsbedingt eine Begrenzung der Anzahl der Arbeitsgänge und der Bearbeitungsintensität sowie -tiefe bei der konservierenden Bodenbearbeitung.



Abb. 8: Streifenbearbeitung vor der Maisaussaat (Foto LfULG)

Dies bedeutet: Für einen wirksamen Erosionsschutz muss die bearbeitungsbedingte Eingriffsintensität auf das im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung acker- und pflanzenbaulich notwendige Maß reduziert werden.

Die höchste Wasserversickerung und der geringste Bodenabtrag durch Wassererosion finden sich auf Direktsaatflächen mit dichter

Mulchbedeckung und vielen stabilen Bodenkrümeln (s. Tab. 1 und Abb. 9a). Dies bedeutet: Je weniger eine Mulchsaatfläche bearbeitet wird, desto größer sind die infiltrationsverbessernden und erosionsmindernden Wirkungen.

Direktsaat und eine zielgerichtete Bearbeitung zur angebauten Fruchtart können sehr gut bei der Streifenbearbeitung kombiniert werden. Bei diesem

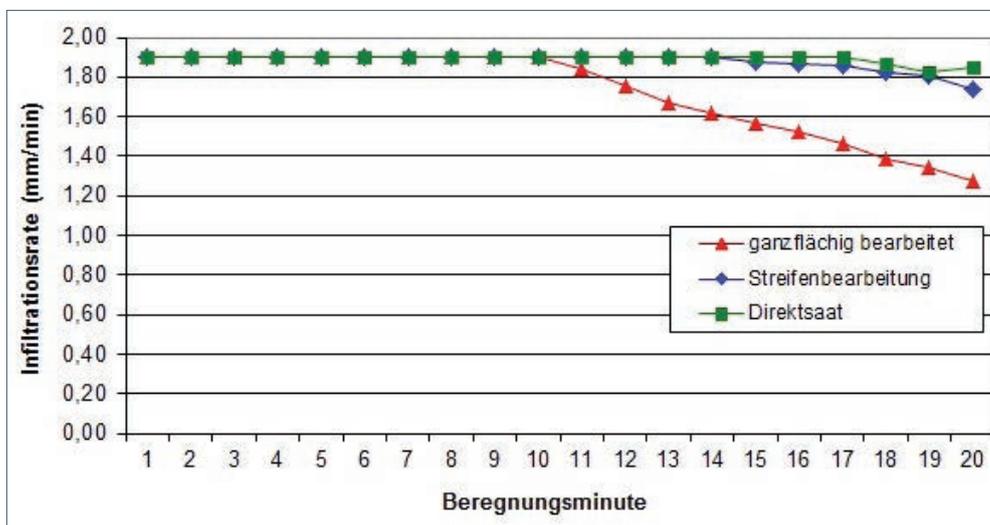


Abb. 9a: Infiltration bei Beregnungssimulation (38 mm/20 min) nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Mulchsaatfläche

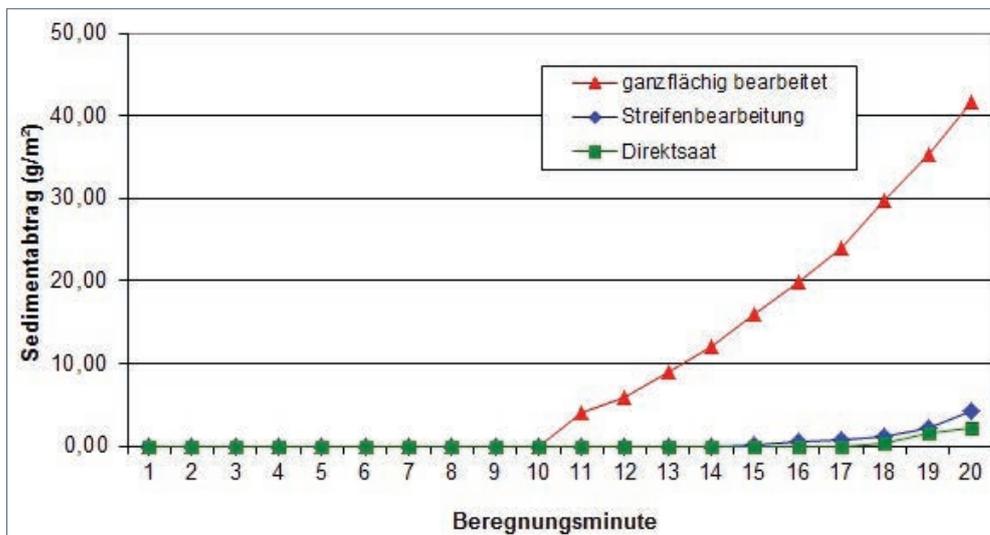


Abb. 9b: Sedimentabtrag bei Beregnungssimulation (38 mm/20 min) nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Mulchsaatfläche

Bestellverfahren wird die Bodenbearbeitung, z. B. zu Mais, zu Zuckerrüben und zu Raps, auf die Ackerflächenbereiche beschränkt, in denen die Aussaat erfolgt. In Folge dessen bleiben mindestens 60 – 70 % und damit der größere Teil der Ackerfläche mulchbedeckt (Abb. 8). Untersuchungen belegen: Im Gegensatz zur ganzflächigen Saatbettbearbeitung kann durch Streifenbearbeitung eine mit Direktsaatflächen vergleichbare sehr gute Wasserversickerung (Abb. 9a) erreicht werden. Boden-erosion findet kaum noch statt (Abb. 9b) (AID, 2015). Insgesamt ist darauf hinzuweisen, dass die dauerhaft konservierende Bestellung als zentrale Maßnahme eines nachhaltigen Erosions- und Bodengefügeschutzes in der Landwirtschaft veränderte bzw. neue Anbaustrategien verlangt. Der Bodengefügeschutz stellt zudem Anforderungen an die Landtechnik.

Daher sind nach AID (2015) hier in vielen Bereichen noch Wissens- und Erfahrungslücken zu schließen, insbesondere bezüglich

- Umgang mit Stroh auf abgeernteten Feldern (Häckselqualität, Strohverteilung),
- Stoppel- und Grundbodenbearbeitung sowie Saatbettbereitung,

- Durchwuchs-, Unkraut-, Ungras-, Krankheits- und Schädlingsbekämpfung,
- Krankheits- (z. B. Fusariuminfektionen) und Schädlingsmanagement (z. B. Schnecken, Mäuse),
- Auswahl und Beschaffung geeigneter Sätechnik,
- Düngungsstrategie,
- eine spezifische, möglichst vielgestaltige Fruchtfolge,
- die Anwendung neuer erosionsmindernder Anbauverfahren (z. B. Gleichstandsart (DEMMELE et al., 2000 in AID, 2015).

Hierzu werden u. a. von den landwirtschaftlichen Fachbehörden des Bundes und der Länder Lösungen und Empfehlungen erprobt und entwickelt. Sie bilden die Grundlage für die umfassende und dauerhafte Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung im gesamten Fruchtfolgeverlauf.

So kann z. B. der Herbizidaufwand im Rahmen der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung durch vielgestaltige Fruchtfolgen mit dem stetigen Wechsel von Blatt- und Halmfrucht und unter der Voraussetzung der gezielten Bekämpfung von Problemunkräutern in der Halmfrucht bzw. von Ungräsern in der

Variante	Wochen nach Aussaat			Frühling
	4	8	12	
Kontrolle	72.5 a ¹	66.5 a	54.5 a	58.8 a
Rauhafer	18.5 a	17.0 a	5.5 c	0,0 b
Gelbsenf	21.0 a	15.5 a	10.0 bc	2,5 b
Phacelia	25.0 a	39.0 a	11.0 bc	3.8 b
Gemenge	68.5 a	78,5 a	44.0 ab	36.3 a

Tab. 2: Einfluss der Zwischenfrüchte sowie des Ernte- bzw. Boniturzeitpunktes auf die Anzahl an Unkräutern und Ausfallgetreide auf Ackerland (BRUST und GERHARDS, 2012)

¹ Mittelwerte mit gleichem Buchstaben in einer Spalte weisen bei einem Signifikanzniveau von $\alpha \geq 0,05$ keine signifikante Differenz auf.



Abb. 10: Aussaat von Winterweizen in mit Messerwalze bearbeiteten Zwischenfruchtbestand (Foto LfULG)

Blattfrucht gesenkt werden. Durch den Wechsel zwischen Winterung und Sommerung können unkrautunterdrückende abfrierende Zwischenfrüchte angebaut werden (s. Tab. 2), wodurch die nachfolgende Direktsaat der Sommerung ggf. ohne vorherigen Herbizideinsatz möglich wird. Zusätzlich ist z. B. durch die mechanische Unkraut-/Ungrasbekämpfung auf Stoppelflächen mit weiter- bzw. neu entwickelten GPS-gesteuerten Flachgrubbern bzw. Hackgeräten, durch den Einsatz von Sensortechnik zur teilschlagspezifischen und ggf. einzeldüsengesteuerten Unkraut- und Ungrasbekämpfung sowie durch die Beachtung von Witterung, Spritzbrühenbeschaffenheit, Düsenauswahl usw. ein Ackerbau mit weniger Herbiziden möglich.

Eine Herbizideinsparung kann auch durch die Aussaat von z. B. Winterweizen ohne Saatbettbearbeitung direkt in mechanisch mit einer Messerwalze bearbeitete Zwischenfruchtbestände (Abb. 10) erreicht werden. Erfolgt die Zwischenfruchtaussaat sofort nach der Raps- bzw. nach einer frühen Wintergetreideernte, dann unterdrücken konkurrenzstarke Zwischenfrüchte bzw. Zwischenfruchtgemenge auch im relativ kurzen Zeitraum

bis zur Aussaat von z. B. Winterweizen die aufwachsenden Ausfallpflanzen sowie Unkräuter. Die auf dem Boden aufliegenden Zwischenfruchtreste verhindern zudem nach der Getreideaussaat den Aufwuchs von Unkräutern und Ungräsern.

Praktikererfahrungen belegen, dass auf diese Weise ohne vorherigen Herbizideinsatz gleichmäßige Getreidebestände mit guten Erträgen etabliert werden können. Der Nachbau von Wintergetreide nach einer frühräumenden Wintervorfrucht wie z. B. Raps ist auf diese Weise trotz des schmalen Zeitfensters für den Zwischenfruchtanbau mit Hilfe von Zwischenfrüchten ohne Herbizideinsatz bei sicherer Bekämpfung von Ausfallpflanzen, Unkräutern und Ungräsern möglich (Schmidt und Lorenz, 2014). Nach Schmidt et al. (2013) hat der Zwischenfruchtanbau zudem keinen negativen Einfluss auf die Wasserversorgung der Folgefrucht. Untersuchungen deuten an, dass sich durch die verdunstungshemmende Wirkung des Zwischenfruchtmulches der unproduktive Wasserverlust von Ackerböden weiter reduzieren lässt (SCHMIDT et al., 2013).

Weitere Hinweise zu Strategien für die erfolgreiche dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitung werden in der Aid-Broschüre Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz (AID, 2015) dargestellt. Die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat sind durch weitere ackerbauliche Maßnahmen zu ergänzen (AID, 2015). Untersaaten bedecken z. B. in Maisbeständen den Boden und können für die Mulchsaat von Folgefrüchten genutzt werden. Erosionsmindernd wirkt zudem das Vermeiden hangabwärts gerichteter Fahrspuren, die oftmals Auslöser von Bo-

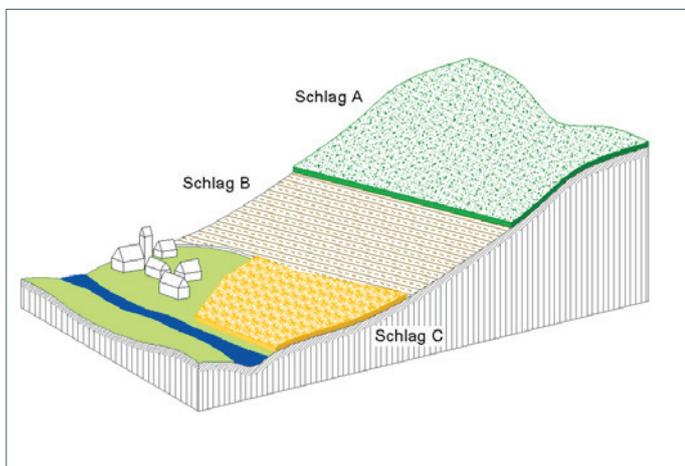


Abb. 11: Schlagunterteilung an einem erosionsgefährdeten Hang durch Fruchtwechsel im Hangverlauf (Voss et al., 2010)

denabtrag durch dort abfließendes Wasser sind. Durch die Intervallbegrünung lässt sich die Wassererosion in hangabwärts gerichteten Fahrspuren bzw. Fahrgassen um bis zu 80 % vermindern. Wirksam gegen hangabwärts gerichtete Fahrspuren ist auch die Hangquerbearbeitung bzw. der Einsatz bodenschonender Bereifung in Verbindung mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (AID, 2015).

2.2 Ergänzende Schutzmaßnahmen

Die acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen können durch die nachstehenden Schutzmaßnahmen ergänzt werden (AID, 2015; Übersicht 1):

- Hanggliederung bzw. Schlagunterteilung/-neugestaltung durch Fruchtartenwechsel (Abb. 11).



Abb. 12: Begrünte Hangrinne (Foto LfULG)

- Dauerbegrünung von Hangdellen bzw. -rinnen und von gefährdeten Acker(teil)flächen durch Anlage von Grünland (Abb. 12), Anbau schnellwachsender Hölzer (Kurzumtriebsplantagen).
- Anlage querlaufender Grünstreifen bzw. Stilllegungsstreifen bzw. Ranken auf der Ackerfläche oder zwischen Ackerfläche und z. B. einem Gewässer (Abb. 13), Flurgehölzstreifen oder Wege mit Wegseitengräben.

Unter Schlagunterteilung versteht man die Gliederung eines Ackerschlags in Teilbereiche quer zum Hang, die abwechselnd mit Winter- bzw. Sommerkulturen bestellt werden (Voss et al. 2010; Abb. 11). Bei der Schlagunterteilung bleibt die ackerbauliche Nutzung des Ackerschlags erhalten. Der Anbau unterschiedlicher Fruchtarten verhindert, dass sich der gesamte Hang in einem einheitlichen, möglicherweise abflussbegünstigenden Bodenzustand befindet (z. B. Saatbettzustand der Ackerfläche mit fehlender oder nur geringer Bedeckung). Wichtig ist jedoch, dass der wasserrückhaltende und damit erosionsmindernde Effekt der Schlagunterteilung nur in Kombination mit der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat zu allen im Verlauf einer geeigneten Ackerfläche angebauten Fruchtarten optimiert werden kann. Bei einer infolge Pflugeinsatzes verschlammten Ackeroberfläche wird durch Schlagunterteilung nur eine geringe Erosionsminderung erreicht.



Abb. 13: Stilllegungsstreifen (Foto LfULG)

Dies gilt auch für die Begrünung von reliefbedingten schlaginternen Tiefenlinien bzw. Hangrinnen, in denen Oberflächenabfluss zusammenfließt und dort aufgrund der hohen Abflussfülle mit hoher Transportkapazität zu ausgeprägten linearen Erosionsformen mit starker Tiefenerosion bis hin zum Grabenreißen führt (Voss et al.

2010). Durch die Begrünung mit permanenter Vegetation (Grünland (Abb. 12), schnellwachsende Hölzer uvm.) kann sowohl die Bodenoberfläche in der Hangrinne zusätzlich gegen die erosive Kraft des abfließenden Wassers geschützt als auch durch die erhöhte Rauigkeit eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit erreicht werden. Die Hangrinnenbegrünung schützt jedoch nicht die an die Hangrinne angrenzenden Ackerflächenbereiche vor Wassererosion. Deshalb muss, wie vorab ausgeführt, die Hangrinnenbegrünung unbedingt mit der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat auf den umgebenden Ackerflächen kombiniert werden. Sowohl im Verlauf von geneigten Ackerflächen als auch im Ackerrandbereich angelegte Grün-, Brache- und Flurgehölzstreifen mindern nur in geringem Umfang die Wassererosion auf den Ackerflächen selbst. In Abhängigkeit der Oberflächenabflussgeschwindigkeit und der Rauigkeit des Grünstreifens (Abb. 13) kann es zu einer Sedimentation mitgeführter Bodenteilchen im Grünstreifen kommen. Dies mindert bzw. verhindert den Bodenaustrag in angrenzende Bereiche (Gewässer, Straßen usw.). Ein wirksamer Schutz der oberhalb eines

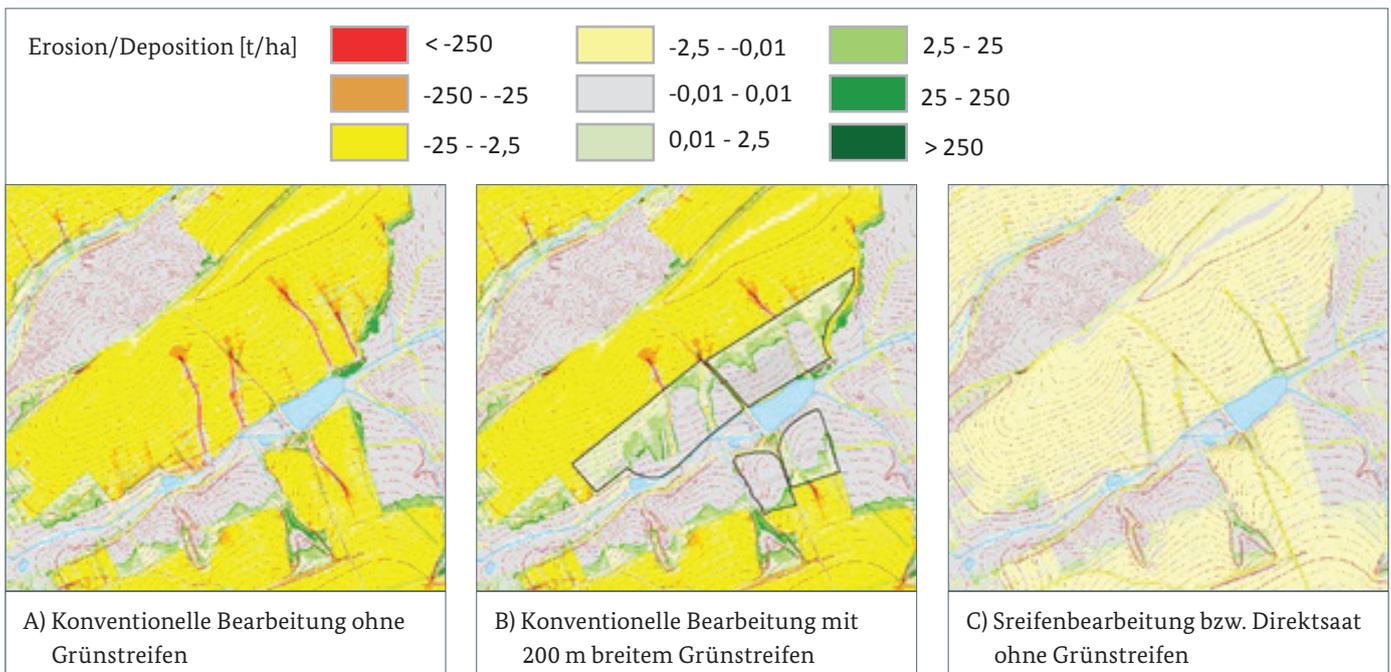


Abb. 14: Prüfung der erosionsmindernden Wirkung von Grünstreifen (GS) auf konventionell bearbeiteter Ackerfläche (B) im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung ohne GS (A) und zur Streifenbearbeitung/Direktsaat ohne GS (C) mit EROSION-3D-Simulation (10-jährliches Regenereignis, Fruchtart Mais im Mai, mittlere Bodenfeuchte, Bodenart Ut3)

Grünstreifens liegenden Ackerflächen vor Wassererosion ist wiederum nur durch die konservierende Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat zu erreichen.

Entscheidend im Hinblick auf die Begrünung von Hangrinnen sowie die Anlage von Stilllegungsstreifen sind Fragen der dadurch bedingten Bewirtschaftungseinschränkung auf Ackerflächen, acker- und pflanzenbauliche Auswirkungen (z. B. von Randstreifen ausgehende Verunkrautung/Verungrasung bzw. Besiedlung von Ackerflächen durch Mäuse, Schnecken usw.), Ertragsverluste infolge der durch die Begrünung bedingten Verluste an Ackerflächen, Fragen der Besitzverhältnisse (Flächenbesitzer muss der evtl. mit geringeren Pachteinnahmen verbundenen Umwandlung von Acker in Grünland bzw. der Nutzungsänderung zustimmen) uvm. Im Einzelfall kann durch die Nutzung von Fördermitteln ein entsprechender finanzieller Ausgleich geschaffen werden. Die Begrünung von Hangrinnen, die Anlage von Grünstreifen usw. können im Rahmen des Greenings geltend gemacht werden.

Die Klärung der Frage, inwieweit, in Ergänzung zur konservierenden Bodenbearbeitung, eine Hang- bzw. Schlaggliederung, die Begrünung von Hangrinnen oder die Anlage eines Grünstreifens einen zusätzlichen Erosionsschutz bewirken, kann am besten mit Modellen geprüft werden. Hierzu steht das Erosionssimulationsmodell EROSION-3D zur Verfügung. Es handelt sich um ein prozessorientiertes, physikalisch begründetes Modell zur Simulation der Erosion durch Wasser einschließlich des Eintrages in z. B. angrenzende Gewässer (SCHMIDT et al. 1996). Mit Hilfe von EROSION-3D können Erosionssimulationskarten (Beispiel s. Abb. 14) erstellt und die Wirkung von acker- und pflanzenbaulichen und von ergänzenden Erosionsschutzmaßnahmen abgeschätzt sowie weiterer Handlungsbedarf ermittelt werden.

Aktiver Erosionsschutz kann auch darin bestehen, dass auf den Anbau von Reihenfrüchten verzichtet wird (z. B. Anbau von Klee gras oder Luzerne statt Mais) oder dass besonders gefährdete Ackerflächen zugunsten anderer, weniger empfindlicher Nutzungen, wie z. B. Grünland oder Wald, aufgegeben werden (AID, 2015).

Zusammenfassung

Um die Ertragsfähigkeit der Ackerböden zu erhalten und um gesetzliche Regelungen (BBodSchG, Cross Compliance, EU-WRRL uvm.) zum Boden- und Erosionsschutz umzusetzen, ist die Anwendung wirksamer Erosionsschutzmaßnahmen auf durch Wassererosion gefährdeten Ackerflächen unerlässlich. Die wirksamsten Maßnahmen eines nachhaltigen und vorsorgenden Erosionsschutzes mit direkten Wirkungen für den Gewässer- und Hochwasserschutz sowie zur Klimafolgenanpassung sind die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat einschließlich der Streifenbearbeitung. Sie werden von den Fachbehörden des Bundes und der Länder zur Anwendung empfohlen. Die konservierende Bodenbearbeitung (im Einzelfall ergänzt durch weitere Erosionsschutzmaßnahmen wie Hangrinnenbegrünung, Schlagteilung usw.) muss bezüglich ihrer erosionsmindernden Wirkung optimiert werden. Dazu zählt ihre dauerhafte Anwendung bei gleichzeitiger Reduktion der bearbeitungsbedingten Eingriffsintensität mit Hilfe der Streifenbearbeitung bis hin zur Direktsaat. Die Neuartigkeit der pfluglosen Anbauverfahren macht die Optimierung der acker- und pflanzenbaulichen Anbaustrategien und des Pflanzenschutzes sowie die Prüfung und Demonstration neuer Technik erforderlich. Der vorsorgende Bodenschutz, die Umsetzung der EU-WRRL sowie die Anpassung an den Klimawandel erfordern eine noch umfassendere, über den heutigen Stand hinausgehende Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaat. Dies muss durch die Demonstration der nichtwendenden Anbauverfahren und den damit verbundenen Wissenstransfer, über Arbeitskreise, Demonstrationsversuche, durch Schulung von Landwirten und im Rahmen der Ausbildung an den landwirtschaftlichen Hoch- und Fachschulen erreicht werden.

Literatur

AID (2015): Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Heft 3612/2015. Hrsg.: aid Infodienst – Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz e. V., Heilsbachstraße 16, 53123 Bonn (gefördert durch das BMEL).

- BGR (2014a): Karte der potentiellen Winderosionsgefährdung. http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Ressourcenbewertung-management/Bodenerosion/Wind/PEG_wind_node.html.
- BGR (2014b): Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser. http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Ressourcenbewertung-management/Bodenerosion/Wasser/Karte_Erosionsgefahr_node.html
- BMEL (2015): Internationales Jahr des Bodens. http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/JahresBodens/JahresBodens_node.html.
- BRUNOTTE, J. (2003): Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis: Bodenerosion mindern, Bodenleben fördern. Landbauforschung Völkenrode, Tagungsband zum FAL-Symposium am 16.10.2003, Hrsg. R. Artmann und F.-J. Bockisch, Sonderheft 256, S. 79-86.
- BRUST, J. und R. GERHARDS (2012): Unkraut und Ausfallgetreide unterdrücken. Landwirtschaft ohne Pflug, 7/2012, S. 34-39.
- DEMME, M., HAHNENKAMM, O., KORNMANN, G. und M. PETERREINS (2000): Gleichstandsart bei Silomais. Landtechnik 3/2000 (55. Jhrg.), S. 201 – 211.
- DEUMLICH, D. und R. FUNK (2012): Schutzgut Boden im Maisanbau – Möglichkeiten und Grenzen der guten fachlichen Praxis. Mais, 4/2012 (39. Jhrg.) S. 156-161.
- FRIELINGHAUS, M. (1998): Bodenbearbeitung und Bodenerosion. In: Bodenbearbeitung und Bodenschutz. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.). KTBL-Arbeitspapier 266, S. 31-55.
- KRÜCK, S., NITZSCHE, O. und W. SCHMIDT (2001): Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. Landwirtschaft ohne Pflug, 1/2001, S. 18-21.
- KTBL (2014): Bodenbearbeitung und Bestellung – Definition von Bodenbearbeitungs- und Bestellsystemen. Autorenkollektiv, KTBL, Darmstadt.
- NITZSCHE, O., KRÜCK, S., ZIMMERLING, B. und W. SCHMIDT (2002): Boden- und gewässerschonende Landwirtschaft in Flusseinzugsgebieten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 11 – 7. Jahrgang, S. 1-22.
- SCHMIDT, A., BÖTTCHER, F. und M. SCHMIDT (2013): Gründüngung mit vielen Vorteilen. Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 06/2013, S. 28-35.
- SCHMIDT, J., VON WERNER, M., MICHAEL, A. und W. SCHMIDT (1996): EROSION 2D/3D - Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser: Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg/Sachsen.
- SCHMIDT, W. und B. LORENZ (2014): Weniger Menge, mehr Ackerbau. DLG-Mitteilungen, Heft 7/2014, S. 15-17.
- SOMMER, C. (1999): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Bodenschutz 1/1999, S. 15-19.
- VOSS, J., SCHWAN, A., HEYNE, W. und N. MÜLLER (2010): Entwicklung von Umsetzungsstrategien und -planungen für eine natur- und bodenschutzgerechte dauerhafte Begrünung von besonders erosionswirksamen Abflussbahnen. Schriftenreihe des LfULG, 13/2010.

6. Wirtschaftsdünger und Bodenfruchtbarkeit – Möglichkeiten und Grenzen

Dr. Matthias Wendland

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,

Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

Lange Point 12, D-85354 Freising

1. Zusammenfassung

Bodenfruchtbarkeit aus der Sicht der Pflanzenernährung bedeutet eine ausreichende Nährstoffversorgung für wirtschaftliche Höchstträge und die Vermeidung von Überversorgung mit ökologisch negativen Auswirkungen.

Voraussetzungen dafür sind eine an die Fläche angepasste Tierhaltung, die Einhaltung von Nährstoffkreisläufen und eine am Bedarf orientierte Düngplanung. Es gibt Indizien dafür, dass in Regionen mit intensiver Tierhaltung und Biogasproduktion sehr hohe Nährstoffmengen anfallen. In Bayern überschreiten bei näherer Betrachtung einige Regionen die N-Obergrenze von 170 kg/ha aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft. Dies gilt vor allem für Regionen mit intensiver Rinderhaltung. Bei Schweinen ist zu berücksichtigen, dass gerade in intensiven Gebieten eine gewisse Anzahl von Tieren nicht über den Mehrfachantrag erfasst ist. Summiert man den Nährstoffanfall aller Tierarten auf und bezieht auch die Nährstoffe der pflanzlichen Biogasgärreste mit ein, fallen in einigen Gemeinden bzw. Landkreisen mehr als 200 kg N/ha (netto) an. Ein sinnvoller Nährstoffexport aus diesen Gebieten ist im Sinne einer nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit notwendig. Zahlen für einen maximal möglichen Viehbesatz werden dargestellt. In intensiven Biogasbetrieben ist auf die Einhaltung eines ausgewogenen Nährstoffkreislaufes zu achten. Das gilt besonders beim Zukauf

von Substraten für die Anlage, auch unter dem Aspekt, dass ein gewisser Anteil des Nährstoffbedarfs durch Mineraldünger gedeckt werden sollte. Wesentliche Voraussetzung ist eine Düngplanung, die sich am Bedarf orientiert und die Nährstofflieferung der organischen Dünger realistisch berücksichtigt.

2. Situation in Bayern

Der Netto-Nährstoffsaldo der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Bayern (Abb. 1) zeigt im Durchschnitt einen ausgeglichenen Saldo bei Phosphat und einen Überschuss von ca. 40 kg bei Stickstoff. Die Berechnungsgrundlagen sind die vom Bayerischen Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung veröffentlichten Flächen, Erträge und Zahlen der Tierhaltung. Ab 2010 wurden zusätzlich die Daten des Mehrfachantrages einbezogen. Die Biogasanlagen wurden den Veröffentlichungen des Institutes für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur „Biogas nach Zahlen- Statistik zur bayerischen Biogasproduktion“ entnommen. Je kW wurde ein Anfall von 95 kg N angerechnet. Ansonsten wurden die Basisdaten der Düngverordnung und des „Gelben Heftes“ verwendet. Für die Nährstoffabfuhr der Grundfutterflächen wurde die Nährstoffaufnahme der Tiere angesetzt. Für die Berechnung des Nettosaldos sind die nach der gültigen Düngverordnung zugestandenen Stall-, Lager- und Ausbringverluste berücksichtigt.

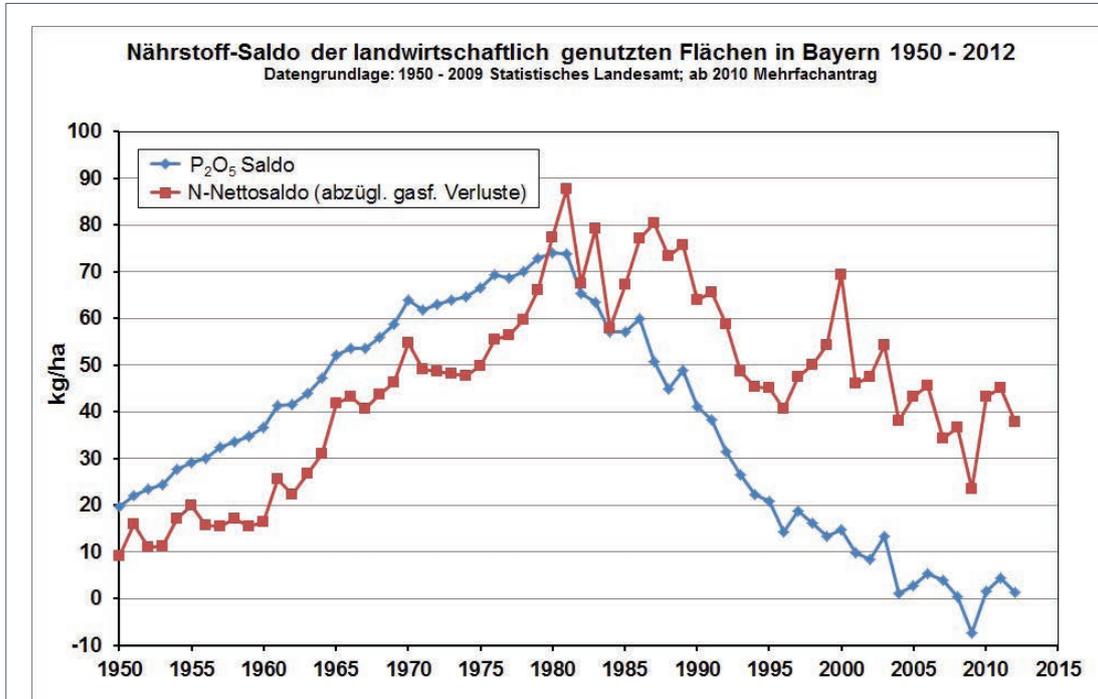


Abb. 1: Nährstoffsaldo der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Bayern 1950 bis 2012

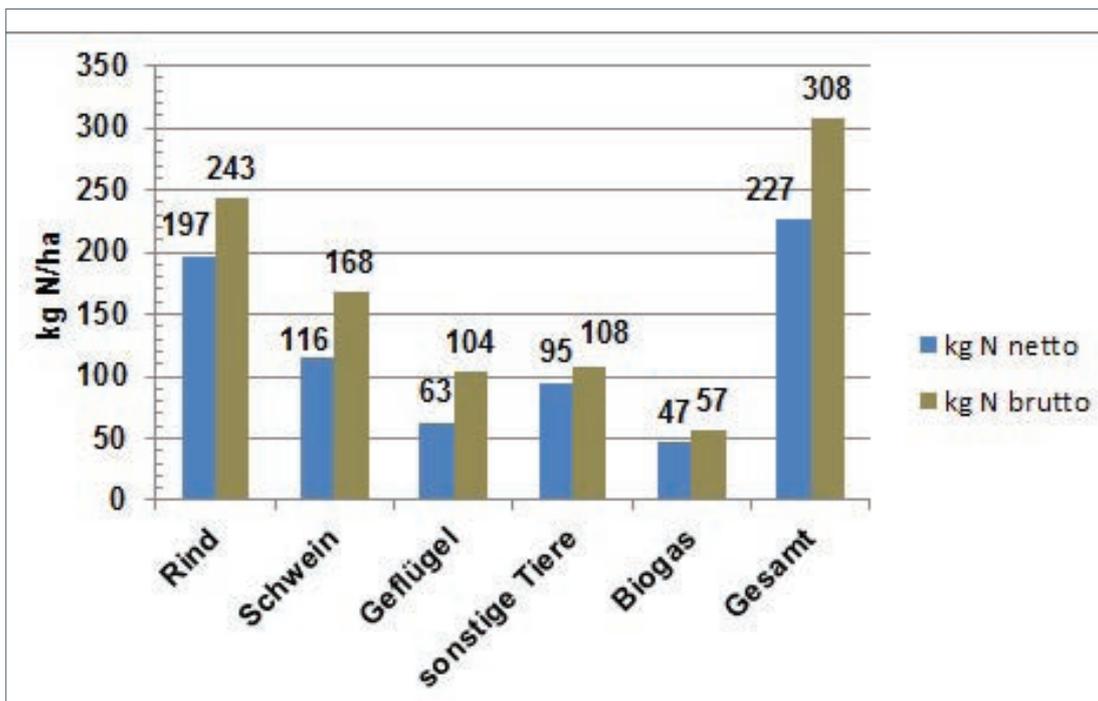


Abb. 2: Maximaler N-Anfall je Tierart in Gemeinden/Landkreisen Bayerns

Der Saldo spiegelt nur die durchschnittliche Situation in Bayern wieder. In einzelnen Landkreisen bzw. Gemeinden kann der Nährstoffanfall aus Wirtschaftsdüngern bereits an die Grenzen der nach Düngeverordnung zugestanden Werte gehen. In Abbildung 2 ist für die jeweilige Tierart der Stickstoffanfall in der Gemeinde mit dem größten Besatz dargestellt. Daraus geht hervor, dass in einigen Landkreisen mit starker Rinderhaltung die Grenzen der Düngeverordnung nur mit der Derogationsregelung eingehalten werden können. Betrachtet man den Landkreis mit dem größten Anfall aller Wirtschaftsdünger unter dem Aspekt, dass bei der Novellierung der Düngeverordnung alle organischen Dünger in die Grenze 170 kg N/ha einbezogen werden sollen, wird klar, dass hier ein Export von Nährstoffen in Gebiete mit Bedarf notwendig sein wird.

3. Der Nährstoffkreislauf als Indikator

Ein ausgeglichener Nährstoffkreislauf kann als guter Indikator für eine angepasste Düngung gelten. Am besten lässt sich das am Nährstoffkreislauf eines Maisschlages mit Produktion für eine Biogasanlage nachvollziehen (Abb. 3). Bei einem Entzug von 220 kg Stickstoff werden nach Abzug der Lager- und Ausbringverluste 179 kg N auf die Fläche zurückgefahren. Die negative Bilanz von 41 kg und der nach Düngeverordnung erlaubte Überschuss von derzeit 60 kg eröffnen die Möglichkeit, 101 kg N aus externen Quellen (Mineraldünger bzw. Biogasgärreste aus zugekauftem Material) zuzuführen.

Aus langjährigen Versuchen geht hervor, dass ein hohes Ertragsniveau nur mit einer Kombination aus organischer und mineralischer Düngung erhalten werden kann. Wird die gleiche zu ergänzende Nährstoffmenge nur mit organischen Düngern ausgebracht, steigen die Überschüsse der Nährstoffbilanz stark an, die organische Substanz im Boden nimmt stark zu und kann zu einem schwer kontrollierbaren N-Pool werden.

4. Phosphat als begrenzender Nährstoff

Die Bestandsaufnahme der Wasserrahmenrichtlinie weist für Bayern viele Gewässer aus, die aufgrund der Phosphatbelastung in einem schlechten ökologischen Zustand sind. Phosphat wird über die Erosion,

Oberflächenabfluss und über Drainagen in die Oberflächengewässer eingetragen. Ziel muss es daher sein, den Phosphatgehalt der Böden nicht über die Versorgungsstufe C anzuheben. Mit Wirtschaftsdüngern fallen in den Gemeinden mit dem jeweils höchsten Viehbesatz die in Abb. 4 gezeigten Phosphatmengen an. Mit einer intensiven, ertragreichen Fruchtfolge werden ca. 90 kg P₂O₅ vom Feld abgefahren. Es kann daher in viehstarken Betrieben vor allem bei einem zusätzlichen Mineraldüngereinsatz und einer ungleichmäßigen Verteilung auf den Flächen zu sehr hohen Anreicherungen im Boden kommen.

Der bereits vom Stickstoff bekannte Nährstoffkreislauf einer Maisfläche zeigt, dass Phosphat für die Ausbringung nicht auf dem Betrieb erzeugter organischer Dünger begrenzender wirkt als Stickstoff (Abb. 5). Phosphat geht in einer Biogasanlage nicht verloren, es werden die vom Feld abgefahrenen Nährstoffmengen wieder auf die Fläche zurückgebracht.

Nach der derzeit gültigen Düngeverordnung ist ein Überschuss im sechsjährigen Durchschnitt von 20 kg P₂O₅/ha erlaubt. Diese Grenze wird bei Mais oft schon durch die Unterfußdüngung ausgeschöpft. Unterstellt man einen durchschnittlichen P₂O₅-Gehalt von 2,3 kg in Gärresten, können nur knapp 10 m³ Gärrest zusätzlich auf der Fläche ausgebracht werden.

Mit der Novellierung der Düngeverordnung könnte die Ausbringung phosphathaltiger Dünger auf hoch und sehr hoch versorgte Flächen eingeschränkt werden.

Die Auswertung der Bodenuntersuchungsergebnisse aus den Jahren 2007 bis 2012 ergibt, dass 36 % der Ackerflächen und 16 % der Grünlandflächen in den Versorgungsstufen D (hoch) und E (sehr hoch) sind. In den Versorgungsstufen A und B sind es 18 % der Acker- und 48 % der Grünlandflächen. Daraus geht hervor, dass viele Landwirte immer noch nach dem Prinzip „Das Grünland ist die Mutter des Ackerlandes“ handeln und vom Grünland abgefahrte Nährstoffe mit der Gülle auf Ackerflächen ausbringen. Hier wird in Zukunft ein Umdenken stattfinden und eine gleichmäßige Verteilung der organischen Dünger auf alle Flächen erfolgen müssen.

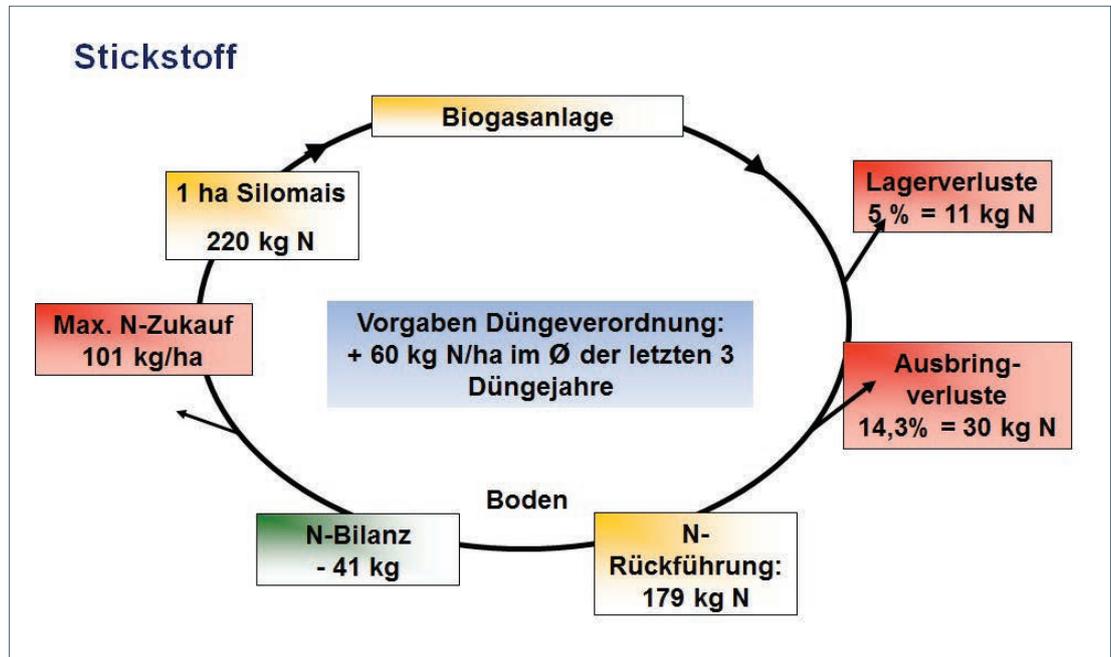


Abb. 3: Beispiel eines Nährstoffkreislaufes für Stickstoff

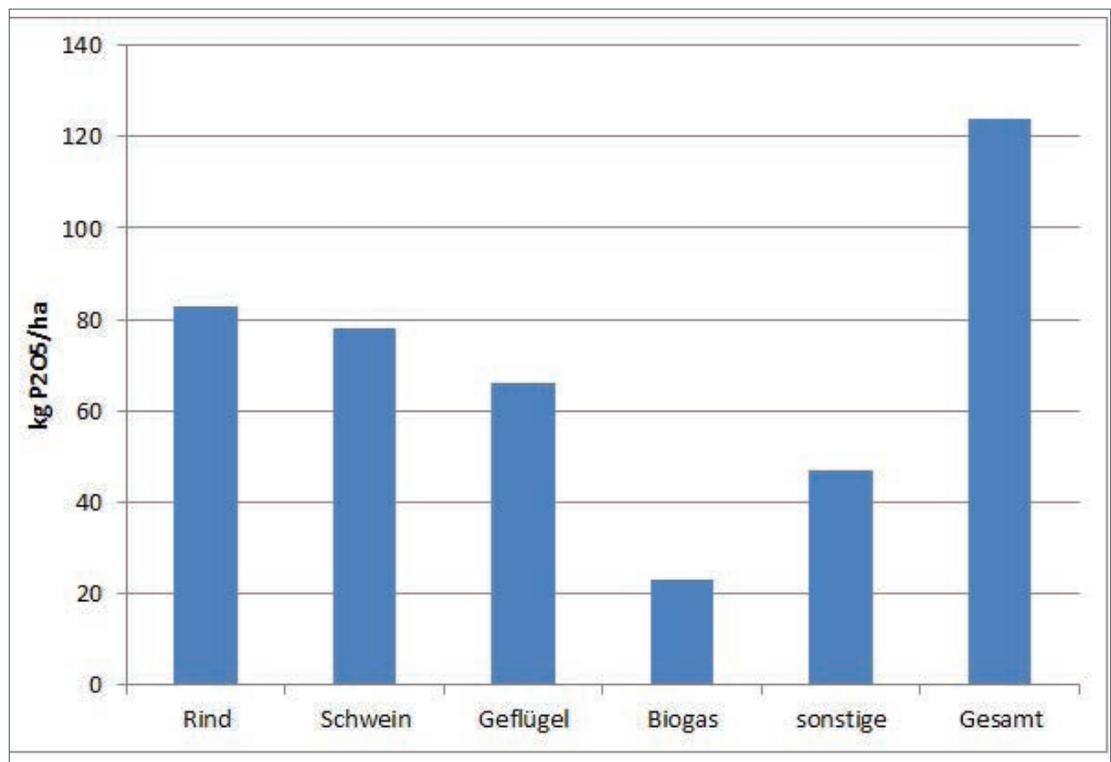


Abb. 4: Maximaler P₂O₅-Anfall in Gemeinden/Landkreisen Bayerns

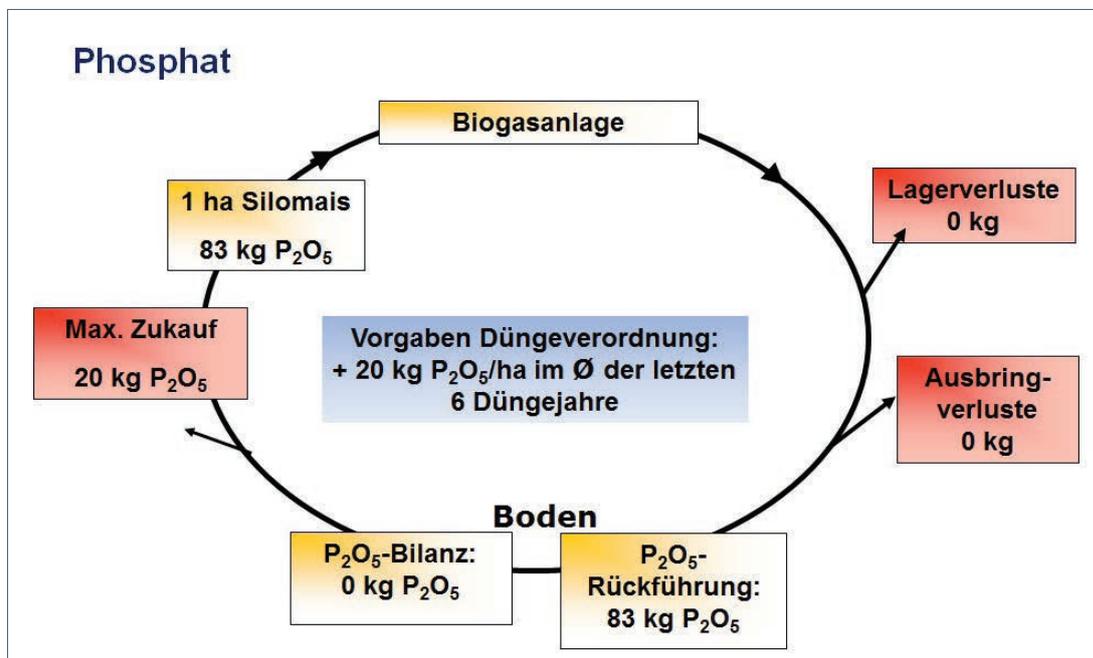


Abb. 5: Beispielhafter Nährstoffkreislauf für Phosphat

5. Fazit

Zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit aus der Sicht der Pflanzenernährung ist es wichtig,

- eine Düngedarfsermittlung unter Berücksichtigung der tatsächlichen Erträge und einer fachlich richtigen Anrechnung aller organischen Dünger zu erstellen,
- bei hohem Anfall von Wirtschaftsdüngern bzw. Bodenversorgungsstufen den Mineraldüngereinkauf zu reduzieren,
- zusätzliche Flächen zu pachten oder Wirtschaftsdünger abzugeben,
- die Wirtschaftsdünger anders als bisher bzw. gleichmäßig auf allen Betriebsflächen zu verteilen.

Literatur:

- BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE ZUR EVALUIERUNG DER DÜNGEVERORDNUNG (2012). Evaluierung der Düngerverordnung - Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung, Braunschweig.
- DLG (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere, 2. Auflage (2014). Arbeiten der DLG Band 199, Frankfurt am Main.
- BAYERISCHER AGRARBERICHT (2012). www.agrarbericht-2012.bayern.de.
- BAYER. LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft. 10. unveränderte Auflage 2012.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG, 2012, Statistik kommunal, Gebiet und Flächennutzung, <https://www.statistik.bayern.de/>.
- BAYER. LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2012): Biogas in Zahlen – Statistik zur bayerischen Biogasproduktion 2012. <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/031607/>.

7. Notwendige Maßnahmen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit in Deutschland

Dr. Karl Severin
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
 Rochusstraße 1, D-53123 Bonn

1. Einleitung

Die Generalversammlung der Vereinten Nationen hat das Jahr 2015 zum Internationalen Jahr des Bodens erklärt. Im Internationalen Jahr des Bodens soll die Bedeutung des Böden für die Ernährungssicherung in der Welt und für den Wohlstand in unserer Gesellschaft verdeutlicht werden.

Das Ziel der Bundesregierung ist es, die Nutzung der Böden durch die Land- und Forstwirtschaft nachhaltig zu gestalten. Deshalb engagiert sich Deutschland national und international für den Bodenschutz.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) vertritt zuständigkeitsgemäß die Umweltaspekte im Bereich Boden. Das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL) besetzt vor allem die Themen „Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft“ und „Standort für die Erzeugung gesunder Lebensmittel.“

Boden mit seinen natürlichen, Nutzungs- und Produktionsfunktionen ist Voraussetzung für die Sicherung einer ausreichenden, hochwertigen und preisgünstigen Ernährung der stetig steigenden Weltbevölkerung. Dieses setzt eine hohe Bodenfruchtbarkeit voraus. Die Bodenfruchtbarkeit beschreibt die Ertragsfähigkeit und Ertragssicherheit von Böden. Auf vielen Böden der Welt muss zur Erfüllung einer ausreichenden Lebens- und

Futtermittelproduktion die Fruchtbarkeit verbessert werden.

In Deutschland, wie auch in den anderen Ländern Mitteleuropas weisen die landwirtschaftlichen Böden eine hohe natürliche Fruchtbarkeit auf. Die Niederschläge sind für das Pflanzenwachstum gut über die Vegetationsperiode verteilt.

Die Bewirtschaftung der Böden hat einen sehr hohen Standard erreicht. Dieses sind Gründe, dass die Erträge in Deutschland fast dreimal so hoch sind wie die weltweiten Erträge. Das Thema Bodenfruchtbarkeit schließt für das BMEL die Umweltaspekte ein.

Für die landwirtschaftlichen Betriebe ist der Boden zentrale Grundlage für die Einkommenserwirtschaftung. Dieses ist Grund genug, dass die Landwirte die Fruchtbarkeit ihrer Böden schonen und verantwortungsvoll mit dem Boden umgehen wollen und müssen - Und dieses schon vor Inkrafttreten des Bundesbodenschutzgesetzes.

So begegnete die Landwirtschaft im letzten und vorletzten Jahrhundert der Wassererosion in bergigen Regionen Deutschlands durch Anlage von Terrassen. Zur Einschränkung von Bodenverlusten durch Winderosion wurden in Norddeutschland Knicks und Hecken angelegt. Im Mittelalter mussten Ackerstandorte jedoch aufgegeben werden, weil Wassererosion klimatisch

bedingt zu großen Verlusten nährstoff- und humushaltigen Bodenmaterials führte.

Im letzten und vorletzten Jahrhundert mussten bedingt durch das starke Bevölkerungswachstum viele unserer Böden zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit melioriert werden. Zu den Meliorationsmaßnahmen gehörten die Entwässerung und Dränung von Acker- und Grünlandflächen insbesondere auf grundwasserbeeinflussten Standorten Norddeutschlands sowie Stauwasserböden in ganz Deutschland, dem Brechen von Ortsstein und Orterden in Norddeutschland und die Verbesserung der Nährstoffvorräte auf nahezu allen Standorten durch Zufuhr von Hauptnährstoffen, Kalk und je nach Standort auch Spurennährstoffen. Die Anhebung der Nährstoffgehalte auf ein optimales Niveau dauerte bedingt durch die weltkriegsbedingten Aushagerungen bis weit in die sechziger Jahre. Auch die Humusvorräte mussten auf vielen Standorten angehoben werden.

Erst in der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde die Bodenfruchtbarkeit für die Produktion hoher Erträge mit guten Qualitäten erreicht. Die Ertragsleistung in Deutschland hat sich in den letzten 50 Jahren bei Getreide verdreifacht und bei Hackfrüchten verdoppelt, wobei neben dem Boden auch der technische und züchterische Fortschritt hierzu beigetragen haben.

Heute hat die Landwirtschaft das Ziel die geschaffene hohe Bodenfruchtbarkeit zu erhalten, ohne dass negative Einflüsse auf die Umwelt eintreten.

2. Begriffsbestimmungen

2.1 Boden

Aus bodenkundlicher Sicht wird Boden (Pedosphäre) als Durchdringungssphäre von Lithosphäre (Gesteinschicht) mit der Biosphäre, der Erdatmosphäre und der Hydrosphäre bezeichnet. Boden entsteht aus Gestein durch klima- und vegetationsabhängige bodenbildende Prozesse. Die Pedosphäre setzt sich aus der mineralischen Bodensubstanz (ca. 47 %), der organischen Bodensubstanz (ca. 3 %), dem Bodenwasser (ca. 25 %) und der Bodenluft (ca. 25 %) zusammen.

Durch Eingriffe des Menschen entwickelt sich ein Kulturboden

2.2 Bodenfunktionen nach Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)

Der Boden erfüllt im Sinne dieses Gesetzes

natürliche Funktionen als

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen;
- Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen;
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,

Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie

Nutzungsfunktionen als

- Rohstofflagerstätte,
- Fläche für Siedlung und Erholung,
- Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
- Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung

2.3 Bodenfruchtbarkeit

Hierfür besteht keine eindeutige wissenschaftliche Definition. Häufig werden Bodenfruchtbarkeit, Ertragsfähigkeit und Produktivität synonym gebraucht, eine alte synonyme Bezeichnung ist „Bodengare“: Andererseits wird differenziert zwischen Bodenfruchtbarkeit und Standortproduktivität, wobei Ersteres der auf die Bodeneigenschaften zurückzuführende Anteil der Ertragsfähigkeit ist und Zweiteres außerdem Klimafaktoren, Pflanzeigenschaften und Pflanzenbaumaßnahmen mit einschließt.

Eine treffende Definition geben ELMER et al.2012: Bodenfruchtbarkeit als Funktion und Durchdringungssphäre bodenchemischer, bodenphysikalischer und bodenbiologischer Zustandsgrößen. Die Zustandsgrößen sind für

- die Bodenchemie organische Substanz, Nährelemente, Schadelemente

- die Bodenphysik Bodenstruktur, Wasserhaushalt, Lufthaushalt, Wärmehaushalt
- für die Bodenbiologie Bodenfauna, Bodenflora und phytopathogenes Potential

Übergeordnetes Ziel der Bodenfruchtbarkeit ist eine ausgewogene Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Ziele (Bodenkultur).

3. Rechtliche Vorgaben zum Bodenschutz

3.1 National

Das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) sind 1999 in Kraft getreten. Im BBodSchG § 17 ist die „Gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft“ vorgegeben. Bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung wird die Vorsorgepflicht nach § 7 durch die gute fachliche Praxis erfüllt. Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource.

Im Zuge des Erlassens von BBodSchG und BBodSchV wurden in den Bundesländern Gesetze und Verordnungen zum Bodenschutz verabschiedet.

Weitere spezielle Vorgaben bestehen in der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung des Bundes und Länder mit Verordnungen zum Erosionsschutz sowie GAP/CC-Vorgaben zur Erhaltung des guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands für die Schwerpunkte „Erhalt der organischen Substanz“ und der „Struktur der Böden“ sowie „Dauergrünlanderhaltung“. Das eingeführte Greening sieht verschiedene Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit vor. Die Fruchtartendiversität soll unter anderem zur Verbesserung der Humusbilanz. Die Schaffung von ökologischen Vorrangflächen auf 5 Prozent der Ackerflächen der Vermeidung von Wind- und Wassererosion und der Humusversorgung dienen.

3.2 EU – Bodenschutzrahmenrichtlinie BRRL

Der Entwurf einer Bodenschutzrahmenrichtlinie (BRRL) wurde von der EU-Kommission 2014

zurückgezogen, weil er im Rat keine Mehrheit fand. Die Bundesregierung lehnte den Entwurf aus Subsidiaritäts- und Kostenerwägungen ab

4. Sicherung der Bodenfruchtbarkeit in Deutschland

4.1 Vielfalt der Böden in Deutschland

Die Böden in Deutschland zeichnen sich durch eine sehr große Vielfalt aus. Im Norden Deutschlands sind Küstenmarschen mit fruchtbaren Grünland- und Ackerböden, auf den Geestplatten und Endmoränen weniger fruchtbare Sandböden sowie Moorböden, in Mitteleuropa die Lößbecken und Lößböden mit natürlich hoch fruchtbaren Parabraunerden und Schwarzerden, in den Regionen des Berglandes mit zum Teil staunassen Braunerden, Parabraunerden, bis zu reinen Tonböden und Verwitterungsböden und in den hohen Mittelgebirgslagen und den Alpen montane Böden anzutreffen.

Ausschlaggebend für die Nutzung als Grünland oder Ackerland sind der Wasserhaushalt mit Grundwasserhöhe, Staunässeausprägung, und Wasserhaushalt, Moore, die Gründigkeit, die Erosionsgefährdung und die Höhenlage. So werden im Küstenbereich weit über 50% der Böden als absolutes Grünland genutzt, die Lößböden in den Börde- und Beckenlandschaften zu nahezu 100 % als Ackerland.

Auf Sandböden reicht das natürliche Wasserdargebot für eine ausreichende wirtschaftliche Ertragsfähigkeit nicht aus. Auf diesen Standorten wurden Berechnungstechnologien ständig weiter entwickelt, so dass durch gezielte der Bodenart und dem Wetter angepasste Berechnung Kartoffeln, Zuckerrüben, Getreide bedarfsgerecht Wasser zugeführt werden bei gleichzeitigem Erreichen einer hohen Düngungseffizienz.

Auch die für die Standortproduktivität verantwortlichen Klimaunterschiede sind in Deutschland sehr groß. Zu nennen ist u.a. mildes maritimes Klima in Nordwestdeutschland mit relativ langen Vegetationszeiten, hohen Niederschlägen und die Ostdeutschen kontinentalen Trockenstandorte.

4.2 Gute fachliche Praxis der Bodennutzung erhält die Bodenfruchtbarkeit

Im Rahmen der nachhaltigen Bewirtschaftung der Böden ist eine Vielzahl an Einzelfaktoren zu berücksichtigen. In Ihrem Zusammenwirken ergeben sie die gute fachliche Praxis der Bodennutzung.

Die Einzelfaktoren betreffen insbesondere

- die Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen,
- die Verhinderung von Bodenabträgen,
- die Förderung der biologischen Aktivität des Bodens durch Fruchtfolgegestaltung,
- die langfristige Sicherung des standorttypischen Humusgehaltes und
- pflanzenbedarfsgerechte, standortangepasste Düngung sowie Kalkung.

Die Grundsätze für die gute fachliche Praxis der Bodennutzung und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen müssen standortangepasst sein, wissenschaftlich abgesichert sein, landesweit verfügbare Daten müssen dem sachkundigen Anwender zugänglich sein, aufgrund praktischer Erfahrungen geeignet, durchführbar, als notwendig anerkannt und wirtschaftlich tragbar sein, mit Schätzmodellen überprüfbar sein,

4.3 Wirksame Maßnahmen zum Schutz vor Bodenerosion durch Wind oder Wasser unumgänglich

Die Sandböden in Norddeutschland sind vor allem durch Winderosion, die mittelschweren Böden in den Berglagen durch Wassererosion betroffen. Nullerosion kann es nicht geben, da die natürliche und witterungsbedingte Standortgunst nicht völlig ausgeschaltet werden kann. Erosionsereignisse treten besonders dann auf, wenn die Böden nicht mit einer Pflanzendecke bedeckt sind.

Durch Bodenabträge geht vor allem Bodenmaterial mit Nährstoffen und Humus verloren. Dies führt zur Verringerung der Ertragsfähigkeit mit spürbaren Mindererträgen. Bei Außerhalb der betroffenen Ackerflächen kommt es zu Verunreinigungen von Straßen, Zuschüttungen von Gräben, Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit durch Stäube einerseits. Andererseits belasten abgetragene Nährstoffe und Sediment Oberflächengewässer.

Zur Erhaltung der Produktionsgrundlage betreibt die Landwirtschaft Vorsorgemaßnahmen durch

- standortangepasste Humus- und Kalkversorgung,
- standortangepasste Fruchtfolge mit Zwischenfruchtanbau zur Minimierung der bedeckungsfreien Zeit,
- standortangepasste Bodenbearbeitung; konservierende Bodenbearbeitung, Streifenbearbeitung und -saat, Direktsaat

Zurzeit sind rund 70 % der Ackerflächen in Deutschland während der erosionsgefährdeten Zeit über Winter aktiv mit Pflanzen bedeckt u.a. mit Ackerkulturen, und Zwischenfrüchten.

Auf rund 40 % der Flächen wird konservierende Bodenbearbeitung betrieben.

Auf erosionsgefährdeten Flächen besteht bei der Gefahr der Wassererosion ein Pflugverbot vom 1. Dezember bis 15. Februar und bestimmte Einschränkungen bei der Bodenbearbeitung vom 16. Februar bis zum 30. November. Für winderosionsgefährdete Flächen darf ab dem 1. März nicht mehr gepflügt werden.

Die Schaffung von ökologischen Vorrangflächen nach dem Greening soll zur Verminderung der Wasser- und Winderosion beitragen.

4.4 Bodenschadverdichtungen

Eine weitere wichtige Einflussgröße auf die Bodenfruchtbarkeit haben Bodenschadverdichtungen. Diese treten ein durch überhöhte Radlasten, überhöhten Reifeninnendruck und häufiges Überfahren besonders in Zeiten hoher Bodenwassersättigung. Schadverdichtungen sind nur schwer wieder durch technische Maßnahmen rückgängig zu machen. In der Regel muss sich der Boden natürlich regenerieren, was einen längeren Zeitraum in Anspruch nimmt.

Der jetzige Stand des Wissens beruht vor allem auf langjährigen wissenschaftlichen Untersuchungen des Thünen-Institutes des BMEL.

Vorsorgemöglichkeiten bestehen aus 3 Säulen:

- Angewendete Pflanzenbauverfahren wie ausreichend weite Fruchtfolgen zur Schaffung ausreichender Zeitfenster und optimaler Feuchte bei Bearbeitung

und Ernte, Zwischenfruchtanbau, konservierende Bodenbearbeitung und ausreichende Humus- und Kalkversorgung;

- geeignete Arbeitsverfahren bei der Bodennutzung wie leistungsfähige Technik, Schlaglänge und Bunkerkapazität aufeinander abstimmen, Streifenbearbeitung;
- technische Möglichkeiten zur Minderung der Belastungen im Boden wie maximale Kontaktfläche durch breite Radialreifen oder Bandfahrwerke oder Reifeninnendruckverstellung.

Ein gutes Beispiel für den vorsorgenden Schutz vor Bodenabträgen und schädlichen Bodenverdichtungen ist der Zuckerrübenanbau: Zwischenfruchtanbau mit konservierender Bodenbearbeitung im Frühjahr bei der Aussaat und just-in-time Ernte und Abtransport der Rüben im Herbst. Es wird nicht bei jedem Wetter und nicht bis kurz vor Weihnachten gerodet. Im Gegensatz zu vor über 20 Jahren wird leistungsfähige Technik mit ausgewählten Fahrwerken mit Breitreifen und niedrigem Reifeninnendruck, bei optimalem Bodenzustand eingesetzt. Auf nicht zu langen Schlägen werden die Rüben an den Vorgewenden abgesetzt und mit bodenschonenden Ladeverfahren auf festen Fahrwegen stehenden Transportfahrzeugen übergeladen. Rechtzeitig vor Aufsättigung der Böden sind alle Rübenflächen gerodet. Es wird nicht nach Kalender sondern nach Bodenzustand geerntet.

4.5 Humusgehalt als bedeutender Faktor für die Bodenfruchtbarkeit

Der Humusgehalt ist standort- und bewirtschaftungsabhängig und wird vor allem bestimmt durch Klima und Wasserhaushalt, Bodenart und Ausgangssubstrat und Bewirtschaftung. Selbst bei gleichen Bodentypen sind die Humusgehalte in Deutschland klimatisch bedingt sehr unterschiedlich. Der „standorttypische Humusgehalt“ lässt sich wegen der komplexen Einflussgrößen nicht mit Zahlen fassen. Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sind die Humusgehalte zu fördern und zu pflegen.

Die wichtigste Maßnahme ist eine ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz durch Belassen der Ernterückstände auf dem Feld, Anbau von

Zwischenfrüchten/Gründüngung und Düngung mit Wirtschaftsdüngern und organischen Düngemitteln. Eine ausreichende Versorgung der Böden mit Nährstoffen und Kalk ist auch unerlässlich.

Eine Vielzahl von Humusuntersuchungen in Deutschland zeigte, dass die Humusgehalte der Ackerböden bei gleichen Produktionssystemen in den letzten über 10 Jahren praktisch nicht abgenommen hat.

Für nachhaltig hohe und stabile Erträge sowie Anforderungen an den Umweltschutz muss der anbau- und fruchtartenspezifische Humusbedarf durch Zufuhr von organischer Düngung (Stroh, Gründüngung, Wirtschaftsdünger, organische Düngemittel) ausgeglichen werden (Humusbilanz). Für die Berechnung der Humusbilanz ist die leicht anwendbare Methode nach dem VDLUFA-Standpunkt ANONYM(2)(2014) heranzuziehen. Die Methode ist sowohl für integrierten als auch für ökologischen Landbau anwendbar

4.6 Düngung erhält die Bodenfruchtbarkeit

Zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit müssen die mit den Ernteprodukten abgeführten Nährstoffe sowie durch unvermeidliche Emissionen auftretenden Verluste durch Düngung ausgeglichen werden. Dies gilt für Haupt- und Spurennährstoffe sowie Kalk. Grundlage für die Düngebedarfsermittlung sollte das Gehaltklassen-System des VDLUFA mit den zugeordneten pflanzenart- und standortabhängigen Düngermengen sein. Instrumente für die Düngebedarfsermittlung sind ertragsabhängige Entzugswerte, die Bodenuntersuchung sowie die entwicklungspezifische Pflanzenuntersuchung. Ziel ist die Einstellung von Bodengehalten/ pH-Werten der Klasse C. Dies gilt sowohl im konventionellen Anbau wie auch im ökologischen Anbau. Als Düngemittel kommen Wirtschaftsdünger, wie Stallmist oder Gülle, Mineraldünger (haupt- Sekundär-, Spurennährstoffdünger) und organische Düngemittel (Klärschlamm, Kompost u.a.) in Betracht. Grundsätzlich darf in Deutschland nur so viel gedüngt werden, wie die Pflanzen für ihr Wachstum benötigen. Die deutsche Düngeverordnung schafft dafür den rechtlichen Rahmen.

Mit Düngemitteln Reststoffdüngern sollen nicht nur die Nährstoffe auf den Boden aufgebracht werden, ganz gleich ob sie düngewirksam sind oder nicht, sondern wie die Expertise des Wissenschaftlichen Beirates für Düngungsfragen aufführt, soll z.B. Phosphat hoch pflanzenwirksam in ammonicitratlöslicher und wasserlöslicher Form in Düngemitteln (z.B. Aschen) vorliegen. Erste Ansätze zur Angabe der löslichen Phosphatformen wird es in der neuen Düngemittelverordnung geben. Hiernach sollen neben Gesamt-Phosphatgehalten auch die genannten P-Löslichkeitsformen gekennzeichnet werden. So kann der Verbraucher den für ihn besten P-Dünger auswählen.

4.7 Schadstoffkontaminationen und Verringerung der Bodenfruchtbarkeit

Schadstoffkontaminationen in Böden schränken die landwirtschaftliche Produktion ein und führen zu Bewirtschaftungsschwernissen. In Deutschland gibt es nennenswerte Anteile an Böden - vor allem im Bereich der Flusssauen, die von Flüssen z.B. des Erzgebirges oder Harzes gespeist werden, die mit Schwermetallen Cadmium, Blei und oder Arsen aus vorindustrieller (Mittelalterlicher Bergbau) und industrieller Zeit belastet sind. Diese Bodenschadstoffbelastungen führen zu Einschränkungen der Erzeugung von Nahrungs- und Futterpflanzen. Dies betrifft vor allem die Produktqualität mit Überschreitungen der lebensmittel- und futtermittelrechtlichen Höchstwerte und bei sehr hohen Schadstoffgehalten auch die Pflanzenerträge. Zur Gefahrenabwehr sind hier Verminderungen des carry-over der Schadstoffe vom Boden in die Pflanze durch Wahl der Kulturart, Getreideart und -sorte sowie erhöhte Kalkung erforderlich.

Schadstoffeinträge mit Düngemitteln werden durch Schadstoffgrenzwerte in der deutschen Düngemittelverordnung und Frachten durch die Düngeverordnung auf ein unvermeidliches Maß gesenkt. Dies betrifft vor allem organische und organisch-mineralische Düngemittel sowie mineralische Reststoffdünger und Bodenhilfsstoffe, die nach deutschem Düngerecht in den Verkehr gebracht werden. In der EG-Düngemittelverordnung fehlen dagegen Höchstgehalte für Schadstoffe. Der Landwirt sollte im eigenen Interesse

nur Düngemittel mit niedrigen Schadstoffgehalten anwenden. Zur Schadstoffminimierung am Markt trägt ganz stark die Pflichtangabe der Schadstoffgehalte bei, die bei Überschreiten der „Kennzeichnungsschwelle“ wirksam ist.

Punktuell treten in Deutschland erhöhte Gehalte an polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) sowie dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (dl-PCB) in Böden auf. Dies betrifft zurzeit die Grünlandnutzung mit Beweidung und Futtergewinnung und z.B. auch die Freilandgeflügelhaltung. Diese Kontaminanten werden nicht von Pflanzen aktiv aufgenommen sondern werden, an Bodenpartikel adsorbiert, an die Pflanzenoberfläche angelagert. Bei diesen Kontaminanten können bereits leicht erhöhte Gehalte im Boden eine landwirtschaftliche Nutzung unmöglich machen.

Zur Minimierung des Schadstoffübergangs vom Boden in die Pflanze sind vor allem ein ausreichender Kalkgehalt und Humusgehalt einzustellen sowie Verschmutzungen des Erntegutes bei der Ernte so weit als möglich zu vermeiden

4.8 Präzisionslandwirtschaft

Weitere Fortschritte in Bezug auf Düngung bringt die Präzisionslandwirtschaft. Grundlage hierfür sind Bodeninformationssysteme. Es gelingt nicht nur durch Übereinanderlegen von z.B. Nährstoffkarten, Ertragskarten und Austragskarten die Düngeeffizienz zu verbessern sondern es besteht auch die Möglichkeit durch Verschneiden von Boden- und Witterungskarten die für den Boden optimalen Zeitfenster für Bestell- und Erntearbeiten zu ermitteln.

5. Bodenforschung - Bodenmonitoring durch das BMEL

Im Bereich landwirtschaftlicher Bodenschutz betreibt das BMEL eine intensive Ressortforschung. 2014 hat das BMEL eine „Stabstelle Boden“ beim Thünen-Institut (TI) in Braunschweig eingerichtet. Diese Stabstelle übernimmt die Koordinierung der Bodenaktivitäten für die Bundesregierung. Wissenschaftler aus dem

Thünen- und dem Julius-Kühn-Institut sind eingebunden. Die Stabstelle ist Anlaufstelle mit hoher Kompetenz für Wissenschaftler als auch für Praktiker und die Politik.

Landwirtschaftlich genutzte Böden gehören in Deutschland zu den wichtigsten Treibhausgasquellen. Um eine konsistente Berichterstattung auf einer aktuellen nationalen Datengrundlage zu gewährleisten, ist eine aktuelle, deutschlandweite, systematisch in einem Raster erhobene Untersuchung für landwirtschaftlich genutzte Böden, eine Bodenzustandserhebung (BZE) zweckmäßig.

Die BZE verfolgt folgende Ziele:

- die Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden ermitteln,
- den Einfluss von Klima, Nutzung, Bewirtschaftung und Bodeneigenschaften auf die Kohlenstoffvorräte verstehen,
- Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenkohlenstoffvorräte prognostizieren,
- mögliche Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte durch Änderungen in der Nutzung und in der Bewirtschaftung prognostizieren.

Erste regionale Schätzungen von Nutzungseinflüssen und Trends der Kohlenstoffvorräte sind bis Ende 2016, erste nationale Auswertung bis Ende 2018 verfügbar.

6. Bodenbildung, Bodenberatung, Bodenkommunikation

Die Bewirtschaftung der Böden setzt gut ausgebildete Landwirte mit Kenntnissen in Bodenkunde und Bodenökologie voraus. Darüber hinaus müssen sie sich spezielle Kenntnisse für den eigenen Standort vor allem durch eigene langjährige Erfahrung aneignen. Sie setzt aber auch die Anwendung und Verfügbarkeit moderner Technik voraus, was auf den Betrieben hohe Investitionen verursacht. Auch die moderne Landwirtschaft baut auf altes und neues bodenkundliches und agrilkulturchemisches Wissen auf.

Beratungsempfehlungen müssen auf Grundlage abgesicherter wissenschaftlicher Ergebnisse und Erfahrungen am speziellen Standort abgeleitet werden.,

Beratungsempfehlungen müssen in der Landwirtschaft und im nicht landwirtschaftlichen Bereich kommuniziert und für Jedermann verfügbar gemacht werden. Die Empfehlungen müssen weiterentwickelt und an den technischen und biologischen Fortschritt angepasst werden. Eine sachgerechte Bodennutzung mit dem Ziel des Erhalte der Bodenfunktionen deutschlandweit und weltweit erfordert die Präsenz einer Bodenforschung auf hohem Niveau.

Regelmäßig werden vom BMEL initiierte Broschüren in Auftrag gegeben, wie die bereits 2001 erstmals aufgelegte Broschüre „Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion“, die jetzt bereits in der 3. wesentlich überarbeiteten Fassung zuletzt 2014 neu gedruckt wurde mit dem Namen: „Gute fachliche Praxis Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz“.

Daneben gibt es eine Reihe von Broschüren des aid, in denen die verschiedenen Bodentypen oder andere Besonderheiten und Bewirtschaftungspraktiken unserer Böden beschrieben werden. Hierbei spielt auch insbesondere die Verbindung des Produktionsstandortes Boden mit der Erzeugung gesunder Lebensmittel eine wesentliche Rolle.

7. Zusammenfassung

In Deutschland, wie auch in den anderen Ländern Mitteleuropas weisen die landwirtschaftlichen Böden eine hohe natürliche Fruchtbarkeit auf. Die Niederschläge sind für das Pflanzenwachstum gut über die Vegetationsperiode verteilt.

Die Bewirtschaftung der Böden hat einen sehr hohen Standard erreicht. Dieses sind Gründe, dass die Erträge in Deutschland sind fast dreimal so hoch wie die weltweiten Erträge. Das Thema Bodenfruchtbarkeit schließt für das BMEL die Umweltaspekte ein. Zukünftig gilt es den Stand der Bodenfruchtbarkeit zu halten und in Details zu verbessern.

Die gute fachliche Praxis der Bodennutzung setzt sich aus einer Vielzahl an Einzelfaktoren zusammen:

- Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen,

- die Verhinderung von Bodenabträgen,
- die Förderung der biologischen Aktivität des Bodens durch Fruchtfolgegestaltung,
- die langfristige Sicherung des standorttypischen Humusgehaltes und
- pflanzenbedarfsgerechte, standortangepasste Düngung sowie Kalkung.

Diese Einzelfaktoren müssen auf den Einzelstandort durch angewendete Pflanzenbauverfahren, geeignete Arbeitsverfahren bei der Bodennutzung und moderne technische Möglichkeiten umgesetzt werden. Bei der Vielfalt der Böden und der Klimaunterschiede in Deutschland ist jeder Standort bei den Einzelfaktoren unterschiedlich betroffen. Die angewendeten Bodennutzungsverfahren lassen sich deshalb nicht im Verhältnis 1:1 auf allen Standorten umsetzen sondern müssen jede für sich an dem jeweiligen Standort angepasst angewendet werden.

Für die gute fachliche Praxis der Bodennutzung müssen Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, die standortangepasst sind, wissenschaftlich abgesichert sind, aufgrund praktischer Erfahrungen geeignet, durchführbar, als notwendig anerkannt, wirtschaftlich tragbar sowie transparent, für jedermann zugänglich und mit Schätzmodellen überprüfbar sind. Diese Handlungsempfehlungen müssen dem Wissensstand und dem Stand der Technik angepasst werden.

Weitere Fortschritte bei der guten fachlichen Praxis bringt die Präzisionslandwirtschaft. Grundlage hierfür sind die vorhandenen Bodeninformationssysteme. Es gelingt nicht nur durch Übereinanderlegen von z.B. Nährstoffkarten, Ertragskarten und Austragskarten die Düngeneffizienz zu verbessern sondern es besteht auch die Möglichkeit durch Verschneiden von Boden- und Witterungskarten die für den Boden optimalen Zeitfenster für Bestell- und Erntearbeiten zu ermitteln oder erosionsgefährdete Teilflure zu erkennen

Die Bewirtschaftung der Böden setzt gut ausgebildete Landwirte mit Kenntnissen in Bodenkunde und Bodenökologie voraus. Darüber hinaus müssen sie sich spezielle Kenntnisse für den eigenen Standort vor allem

durch eigene langjährige Erfahrung aneignen. Der Stand des Wissens muss ihnen von Fachschulen, Hochschulen Universitäten und in Weiterbildungsveranstaltungen von z.B. Landwirtschaftskammern, DLG vermittelt werden. Für die Bodenforschung müssen weiterhin Einrichtungen der Universitäten, Hochschulen und der Bundesforschung zur Verfügung stehen, die neben der Grundlagenforschung angewandte Forschung betreiben und für Wissensdefizite bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung Lösungen anbieten.

Der Zustand der Bodenfruchtbarkeit der landwirtschaftlichen Böden und seine Veränderungen sind durch ein dynamisiertes Bodenmonitoring zu begleiten. In Deutschland bestehen hierfür z.B. die Dauerbeobachtungsflächen in den Länder und die Bodenzustandserhebung des BMEL. Für die Betreiber gilt die Harmonisierung der Methoden, Fortschreibung mit modernen Methoden und die Aufnahme neuer Fragestellungen.

Literatur

ANONYM (1)(2014): Humusbilanzierung – Eine Methode zur Analyse und Bewertung

der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Obere Langgasse 40, 67346 Speyer

ANONYM(2)(2014): Gute fachliche Praxis Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. aid infodienst, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz e.V. Heilsbachstraße 16, 53123 Bonn

ELLMER, F., GÄBERT T. & BAUMECKER, M. (2012): Was sagen uns Dauerversuche über den Fruchtbarkeitsstatus der Böden? Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 21-24.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Ernährung und
Landwirtschaft (BMEL)
Postfach 14 02 70
53107 Bonn
Tel.: + 49 (0) 228 99529 3782
511@bmel.bund.de

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Lange Point 12
85354 Freising
Tel.: + 49 (0) 8161 71 3640
agraroekologie@LfL.bayern.de

Gestaltung

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Referat 421, Medienkonzeption und -gestaltung

Druck

BMEL

Stand

Mai 2015

Diese Broschüre wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des BMEL kostenlos herausgegeben. Sie darf nicht im Rahmen von Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

