

Konservierende Bodenbearbeitung und biologische Aktivität

CLAUS HEISLER, HELMUT ROGASIK, JOACHIM BRUNOTTE und MONIKA JOSCHKO

Institut für Betriebstechnik

Einleitung

Ziel der Weiterentwicklung technischer Lösungsansätze für landwirtschaftliche Produktionsverfahren der pflanzlichen Produktion ist, mit möglichst geringem Energie- und Kostenaufwand einen möglichst hohen Ertrag bei guter Produktqualität zu erzeugen und gleichzeitig die Funktionen des Bodens nachhaltig in ihrer Leistungsfähigkeit zu erhalten oder wiederherzustellen. Basis ist die 'gute fachliche Praxis', die in dem Entwurf zum Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) angesprochen wird.

Gute fachliche Praxis nach § 17 BBodSchG meint die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource. Als wichtige Stichworte werden in diesem Sinne aufgeführt:

- Bodenbearbeitung standortangepaßt durchführen
- Bodenabtrag und Bodenverdichtungen vermeiden
- Bodenstruktur und biologische Aktivität erhalten oder fördern.

Diese Kernforderungen des BBodSchG stellen u.a. die Bodenbearbeitung in den Mittelpunkt. Empfehlungen zu guter fachlicher Praxis bei der Bodenbearbeitung (KTBL-Arbeitsgruppe, 1998) zielen darauf ab,

- einen wesentlichen Beitrag für leistungsfähige, umweltschonende und qualitätssichernde Produktionsverfahren durch kostensparende, gefügeschonende Reduzierung des mechanischen Eingriffs in den Boden zu leisten;
- Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource nachhaltig durch Maßnahmen zum Schutz seiner Produktions-, Regelungs- und Lebensraumfunktion zu sichern.

Boden ist ein Drei-Phasen-System aus Feststoffen, Luft und Wasser. Die räumliche Anordnung dieser Bodenbestandteile, das Bodengefüge, ist von großer Bedeutung für die Funktionen des Bodens (Altemüller, 1991). Hierdurch werden die Luft- und Wasserzügigkeit, die Durchwurzelbarkeit, die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen und auch die Abbauvorgänge von organischen Rückständen, die Humusbildung im Boden entscheidend beeinflusst.

Dieses Bodengefüge wird von Bodentieren wie den Regenwürmern, aber auch von sehr kleinen Bodentieren wie Enchyträen und Collembolen durch Anlage von Gängen, Umlagerung von Bodenpartikeln (Bioturbation), Bildung der sehr wichtigen Ton-Humus-Komplexe, Verkleben von Bodenpartikeln oder Veränderung des Mikroreliefs mitgestaltet bzw. beeinflusst (Joschko, 1989; Heisler et al. 1996; Schrader et al. 1996). Nach

Santos & Whitford (1981) bewirken Bodentiere direkt oder indirekt ca. 53% der Streuzersetzung, auf landwirtschaftlichen Flächen also z.B. von Ernterückständen. Der Makrofauna (Regenwürmer) kommt große Bedeutung für die Umlagerung von Boden (Bioturbation) zu, während die durch die Mesofauna (Collembolen) gesteuerten Mikroorganismen-Gesellschaften am wichtigsten für die Mineralisationsprozesse sind (Heisler, 1994b).

Die wendende Lockerung des Bodens durch den Pflug verändert das Gefüge des Oberbodens und erhöht die Gefahr von Erosionen durch Wasser oder Wind. Außerdem wird durch die Überlockerung die Tragfähigkeit, also die Befahrbarkeit, des Bodens vermindert; dies ist häufig an den tiefen Fahrspuren deutlich zu erkennen (Wollenweber & Brunotte, 1997). Die Gefahr der Entstehung von Schadverdichtungen ist groß.

Durch die wendende Arbeitsweise des Pfluges werden fast alle Formen der Bodenfauna z. B. Regenwürmer, Collembolen und Raubmilben in ihren Abundanzen vermindert und in ihrem Artenspektrum eingeschränkt (Söchtig & Larink, 1992; Heisler, 1994a). Außerdem ist das Pflügen für den Landwirt ein sehr zeit- und kostenintensiver Arbeitsgang. Ein Verzicht auf das Pflügen führt nach Köllner (1994) zu einer deutlichen Minderung des Arbeitszeit- und Energiebedarfs um etwa 50 % bis 70 %. Die Verwendung eines wegen der schweren Zugarbeit entsprechend leistungsfähigen Schleppers mit hohem Eigengewicht führt unter Umständen zu Bodenverdichtungen im Unterboden, da beim herkömmlichen Pflügen der Schlepper mit einem Rad in der Furche (Schlepperradsole) fährt. Die unter dem Furchenrad ermittelte 'Druckzwiesel' kann bei feuchten Bedingungen etwa um die Pflugtiefe weiter in den Boden hinabreichen.

Daher wird heute verstärkt versucht, den Ackerboden ohne wendende Geräte zu lockern. Parapflug oder Schichtengrubber sind hierfür geeignete Geräte, die den Boden krumentief schonend lockern ohne ihn aber zu wenden. Die vertikale Zonierung des Bodens bleibt weitgehend bestehen. Eine solche Lockerung kann fruchtfolgespezifisch erfolgen oder es wird sogar ganz darauf verzichtet (**Abbildung 1**).

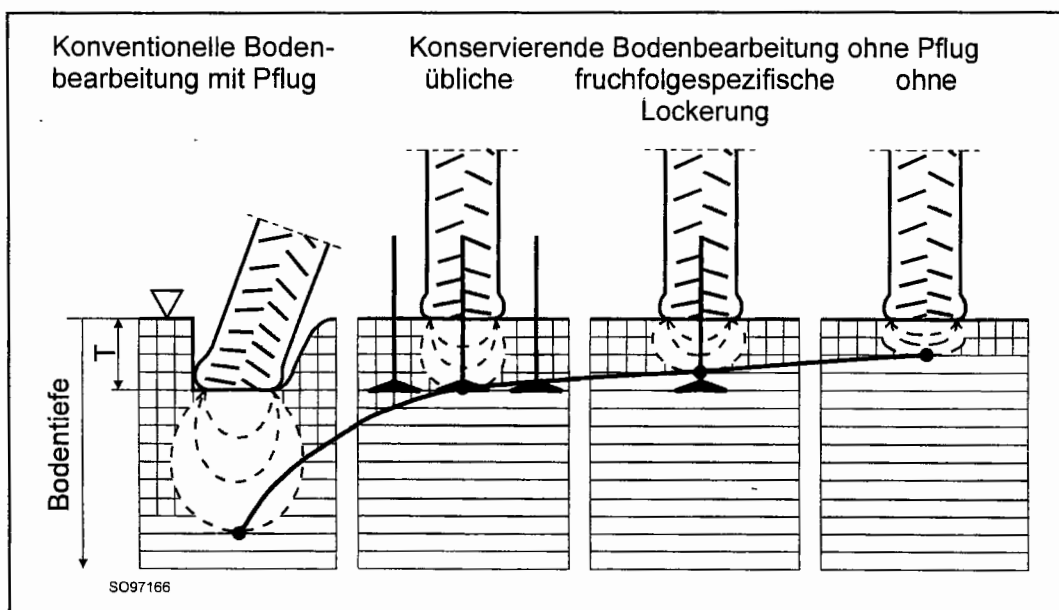


Abbildung 1: Zur Tiefenwirkung des Bodendrucks in Abhängigkeit von Bodenbearbeitungsverfahren und Geräteeinsatz. (Die Untersuchungen erfolgten auf den Parzellen ganz links und ganz rechts).

Problemstellung

Vor diesem Hintergrund wurde das Konzept der konservierenden Bodenbearbeitung entwickelt (Sommer et al., 1998 b). Es hat mit dem Baustein Mulchsaat dort Eingang in die Praxis gefunden, wo Bodenerosion insbesondere durch Wasser häufig auftritt (Brunotte und Sommer, 1996). Dagegen stößt der Baustein schonende Bodenlockerung noch kaum auf Akzeptanz in der Praxis. Aus betriebstechnischer Sicht sind andererseits die Voraussetzungen gegeben, auch diesem zweiten Grundgedanken des Konzeptes zu folgen. Mit dem Parapflug, Schichtengrubber o.ä. stehen geeignete Geräte für schonende, d. h. nichtwendende Lockerung zur Verfügung, deren positive Wirkungen auf das Bodengefüge nachgewiesen ist (Ehlers und

richtete Arbeitsgruppe vergleicht konservierende Bodenbearbeitung und Bodenbearbeitung mit Pflug auf einem Lößstandort unter Zuckerrüben im Hinblick auf die Besatzdichten von Regenwürmern, Collembolen und Raubmilben. Ziel der Untersuchung ist, die beiden Bearbeitungssysteme im Hinblick auf die biologische Aktivität eines Standortes zu bewerten.

Material und Methoden

Boden:

Der Boden des Versuchsstandortes Adenstedt ist eine schwach pseudovergleyte erodierte Parabraunerde aus Löß, die Bodenart toniger Schluff (Tabelle 1).

Tabelle 1: Adenstedt: Charakterisierung der Boden- und Standorteigenschaften (nach Brunotte, 1990).

Eigenschaften des Ap-Horizontes				
Textur			pH in CaCl ₂	organische Substanz
Ton	Schluff	Sand		
%	%	%		%
15,4	82,0	2,6	7,3	2,1
Standortbewertung			Hangcharakteristik	
Bodenart	Bodenzahl	Ackerzahl	Hangneigung %	Hangneigung Mittelwert %
U ₃	75	69	1,0 - 5,0	3,0

Bearbeitung und Fruchtfolge:

Die Pflugvariante wird - für diesen Standort typisch - im Frühjahr mit Packer gepflügt. Als Vorrucht stand Winterweizen auf der Fläche. Nach der Weizernte erfolgte im Oktober 1996 die Stoppelbearbeitung, so daß die Ackerfläche über Winter mit den Strohrefen als Oberflächenschutz verblieb. Aufgrund der späträumenden Vorrucht wurde keine Zwischenfrucht (Senf, Phacelia) angebaut, sondern die Variante Strohmulch gewählt. Sie spielt nach Winterweizen und Winterroggen bzw. in Trockengebieten eine entscheidende Rolle (Abbildung 2).

Baeumer, 1988), und für die bei geschicktem, fruchfolgespezifischem Einsatz sehr viel weniger Energie eingesetzt werden muß (Brunotte und Biller, 1997).

In dieser Situation ist es angebracht, der Forderung des BBodSchGes „die biologische Aktivität des Bodens erhalten und zu fördern“ Aufmerksamkeit zu schenken. Eine zoologisch - bodenphysikalisch - betriebstechnisch ausge-

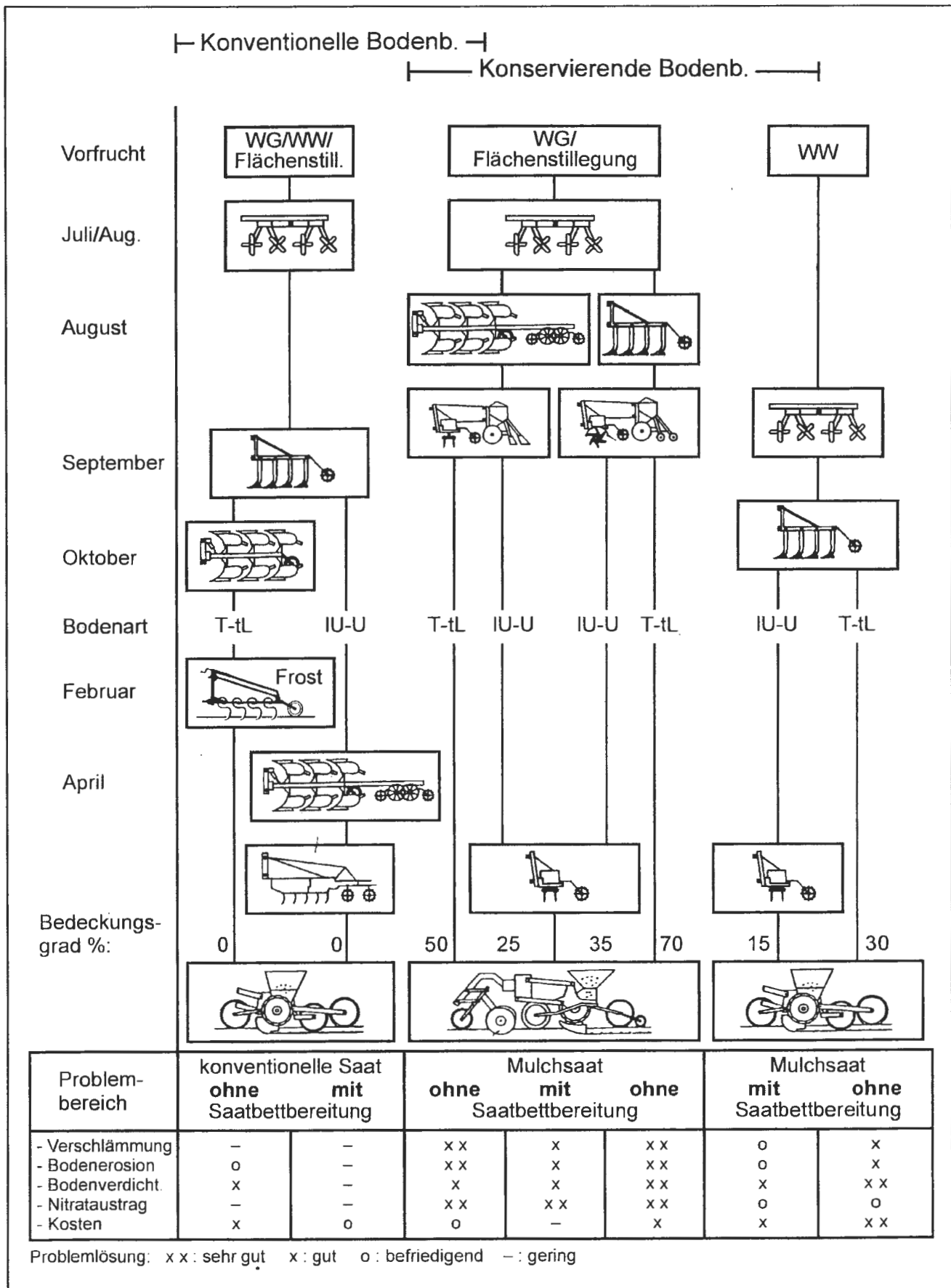


Abbildung 2: Geräteeinsatz bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung.

Beprobung:

Die Beprobung zur Untersuchung des Bodengefüges sowie des Besatzes mit Regenwürmern und Mikroarthropoden fand zur Zeit des Aktivitätsmaximums der Regenwürmer im Herbst (23.10.1997) vor der Zuckerrübenenernte statt; alle Proben wurden in unmittelbarer Nähe zueinander entnommen. Aus den Bodenbearbeitungs-Varianten des Versuchsfeldes wurden die beiden extremen Varianten ausgewählt (Konventionell = Pflugsinsatz in jedem Jahr; konservierend ohne Lockerung = Mulchsaat).

Bodenphysikalische Untersuchungen:

Für die Darstellung des Bodengefüges wurden je zwei ungestörte Bodenproben von je 100 mm Höhe und Durchmesser aus der Oberkrume in 6-16 cm Tiefe nach der Methode von Rogasik et al. (1997) entnommen. Anschließend erfolgten ohne jegliche weitere Vorbehandlung die röntgen-computertomographischen Untersuchungen zur Charakterisierung der Morphologie und Topologie des Gefüges (Rogasik et al., 1994 und 1995; Brunotte et al., 1996; Brunotte et al., 1998). Dabei wurden die in einem Plexiglaszylinder befindlichen Bodensäulen kontinuierlich und lückenlos in horizontaler Position gescannt. Die Schichtdicke betrug 1 mm; es wurden je Bodensäule etwa 100 Röntgenschnittbilder erstellt, die über eine Differenzierung in der Graustufenverteilung einen Eindruck vom Aufbau des Bodengefüges vermitteln. Auf der Grundlage der vollständigen Datensätze der Bodensäulen, jeder Graustufenwert wird durch einen Meßwert, die sogenannte Hounsfieldeinheit charakterisiert, wurde nach Joschko et al. (1991), eine dreidimensionale Darstellung des Makroporensystems vorgenommen.

Regenwürmer:

Für die Bonitierung der Regenwurmfaua wurden pro Variante der Boden unter je vier Quadratrahmen mit einer Kantenlänge von 0,50 m (= 0,25 m²) bis in eine Tiefe von 20 cm ausgehoben. Aus diesem Boden wurden dann per Handaus-

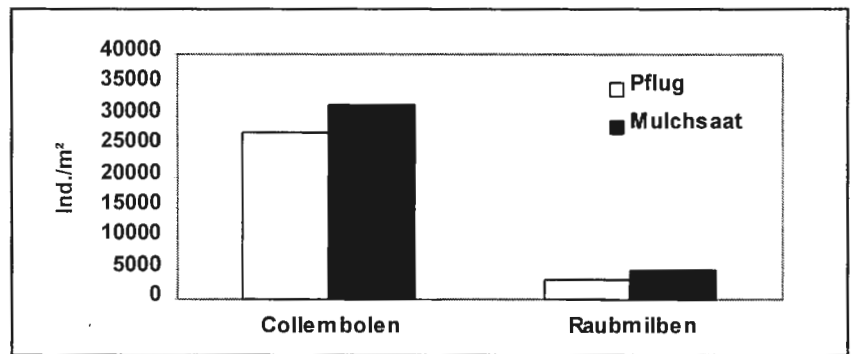


Abbildung 3: Adenstedt - Zuckerrüben: Besatzdichte [Ind./m²] von Collembolen und Raubmilben in Parzellen mit Pflugbewirtschaftung bzw. Mulchsaat (n = 8).

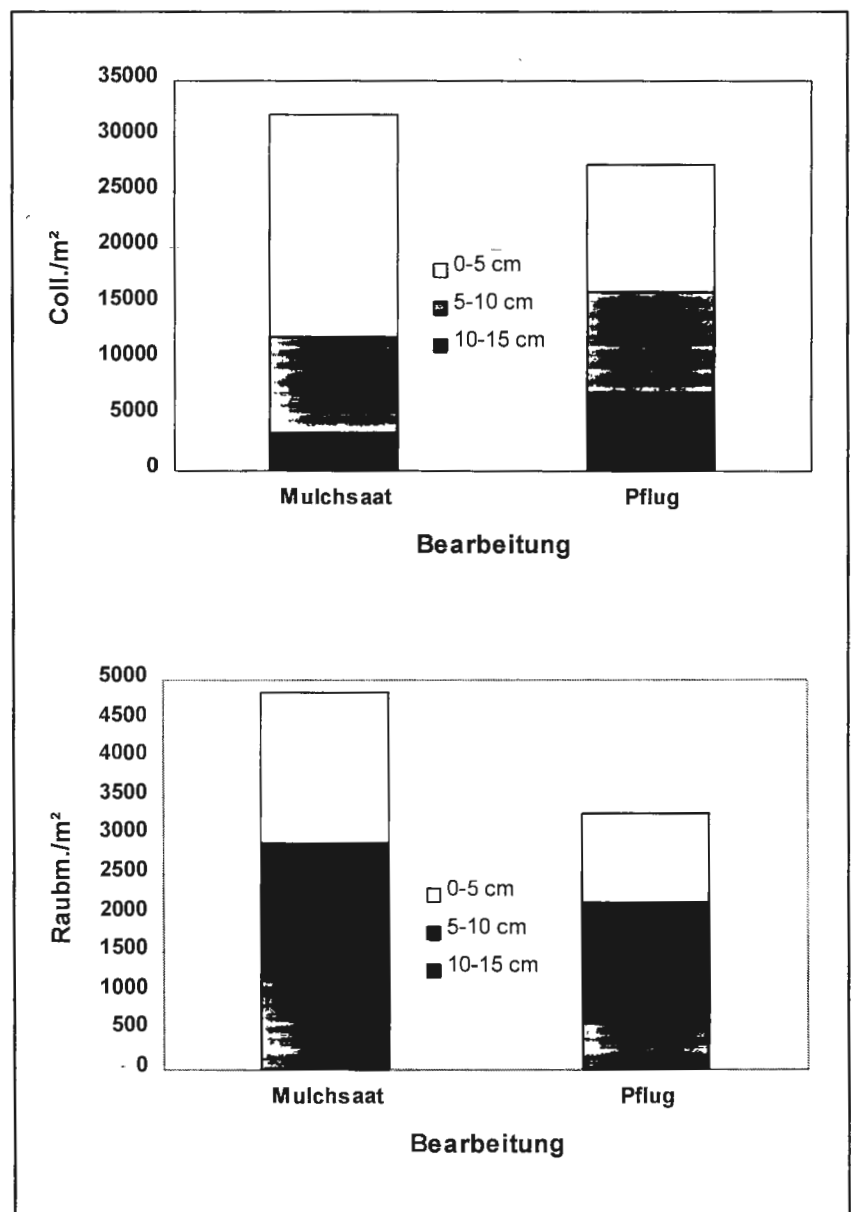


Abbildung 4: Adenstedt - Zuckerrüben: Tiefenverteilung von Collembolen (oben) und Raubmilben (unten) unter Mulchsaat bzw. Pflugbestellung zu Zuckerrüben (n = 8).

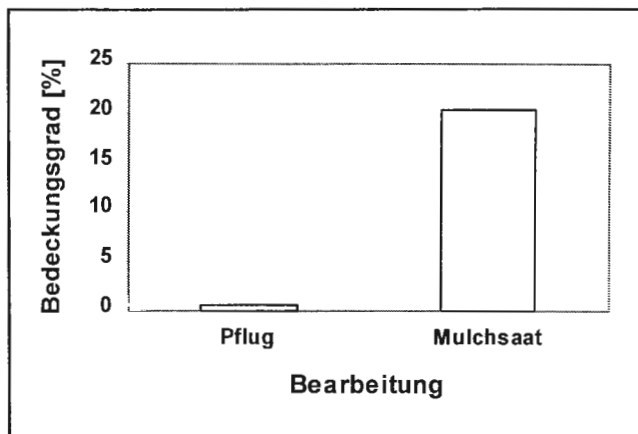


Abbildung 5: Adenstedt - Zuckerrüben: Bedeckungsgrad [%] der Bodenoberfläche mit organischen Reststoffen auf den Parzellen 'Pflug' und 'Mulchsaat' (nach Wagner unveröffentlicht).

lese die Regenwürmer aussortiert. Mit der Handauslese werden alle vorhandenen und nicht nur die aktiven Regenwürmer erfaßt. Im Labor wurden später Art und Biomasse bestimmt.

Mikroarthropoden:

Die Bodenprobennahme für die Extraktion der Mikroarthropoden Collembolen und Raubmilben erfolgte in unmittelbarer Nähe zu den Probestellen für die Regenwürmer.

In jeder der beiden Varianten wurden je acht Bodenkerne von je 4 cm Durchmesser und 15 cm Tiefe entnommen und in drei Tiefenstufen von 5 cm unterteilt.

Aus diesen 24 Einzelproben pro Untersuchungsvariante wurde die Mesofauna im Labor in einem nach Macfadyen (1961) modifizierten Extraktor in einem Wärme- bzw. Feuchtgradienten ausgetrieben. Während der zehntägigen Extraktion wurde die Temperatur von 20° C auf 45° C erhöht.

Die Populationsdichten von Collembolen und Raubmilben wurden durch Auszählen unter dem Binokular ermittelt.

Ergebnisse

Mikroarthropoden:

Sowohl die Populationsdichte der Collembolen als auch die der Raubmilben ist nach dem Mulchsaat-Verfahren höher als auf der gepflügten Fläche (Abbildung 3).

Bei den Collembolen sind unter der Mulchsaat-Variante knapp 17 % mehr Tiere vorhanden als nach Pflugfurche. Der Unterschied bei den Raubmilben ist noch deutli-

cher: hier konnte eine Steigerung der Individuendichte von 47 % in der Mulchsaat - gegenüber der Pflugvariante nachgewiesen werden.

Die Tiefenverteilung der Collembolen läßt einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Parzellen erkennen (Abbildung 4 oben). In der Mulchsaatparzelle bevorzugen die Tiere mit über 62 % die obere Bodenschicht (0-5 cm). Die Schicht 5-10 cm wurde von 27 % und die tiefste Schicht (10-15 cm) nur noch von 10% der Collembolen bewohnt. Diese Unterschiede sind zwischen allen drei Tiefenstufen signifikant (χ^2 -Test; $p < 0,01$).

Die Tiefenverteilung der Collembolen in der Pflug-Variante ist zwischen den drei Horizonten nicht so stark verschieden. Aber auch hier ist eine deutliche Abnahme von oben (41,2 %) nach unten (25,4 %) zu sehen. In der Pflugvariante ist nur der Unterschied zwischen der oberen und der unteren Schicht signifikant. Diese eindeutige Bevorzugung der oberen Bodenschicht (0-5 cm) in der Mulchsaatvariante durch die Collembolen wird wahrscheinlich durch das auf der Bodenoberfläche verbliebene organische Material (Stroh) gesteuert. In der Mulchsaat-Variante sind 20,3 % der Bodenoberfläche damit bedeckt, in der Pflugvariante nur 0,7% (Abbildung 5).

Bei den Raubmilben (Abbildung 4 unten) hielten sich in der Mulchsaatparzelle 40 % der Tiere in der oberen Bodenschicht und je 30 % in den beiden anderen Schichten auf. Die Anzahl der Raubmilben in der oberen Schicht ist signifikant von der der beiden anderen Schichten verschieden (χ^2 -Test; $p < 0,01$). In der Pflugparzelle bevorzugten 47 % der Individuen die mittlere Tiefe (5-10 cm), 35 % bewohnten die obere (0-5 cm) und nur 17 % die untere beprobte Schicht (10-15 cm). Hier ist nur der Unterschied zwischen der mittleren Tiefe (5-10 cm) und der unteren Schicht (10-15 cm) signifikant.

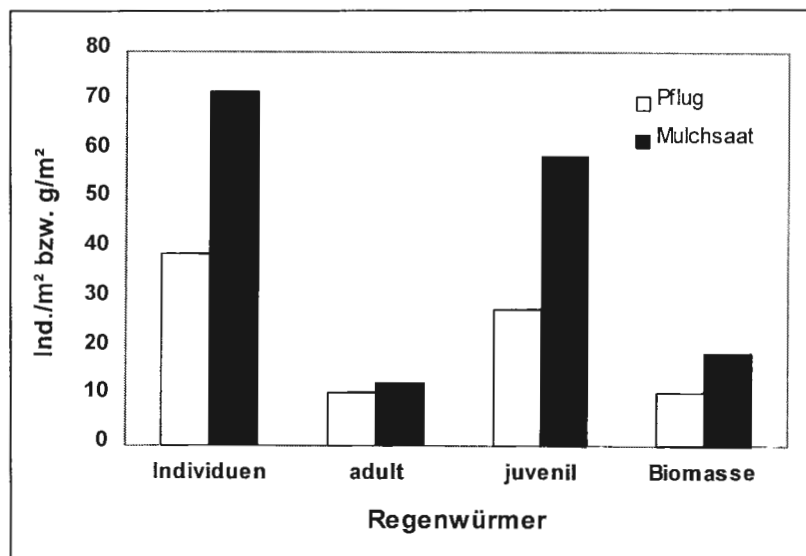


Abbildung 6: Adenstedt - Zuckerrüben: Besatzdichte von Regenwürmern [Ind./m²] insgesamt (Individuen) sowie getrennt nach adult und juvenil und Gesamtbiomasse [g/m²] in Parzellen mit Pflugbewirtschaftung bzw. Mulchsaat zu Zuckerrüben (n = 4).

Regenwürmer:

In der Mulchsaat-Variante wurden mit 72 Regenwürmer pro Quadratmeter fast doppelt so viele gezählt wie in der Pflug-Variante mit 39 (Abbildung 6). Dieser große Unterschied ist vor allem auf den hohen Anteil von juvenilen Regenwürmern in der Mulchsaat-Variante zurückzuführen, während sich die Anzahl der adulten Regenwürmer in beiden Flächen kaum unterscheidet. Unter Mulchsaat ist mit 59 juvenilen Regenwürmern gegenüber 28 unter der gepflügten Variante der Anteil junger Regenwürmer mehr als doppelt so groß (Abbildung 6). Das Verhältnis zwischen adulten (geschlechtsreifen) und juvenilen Regenwürmern beträgt in der Mulchsaat-Variante 1 : 4,5 und in der gepflügten Parzelle 1 : 2,5. Unter Mulchsaat machen die juvenilen Regenwürmer knapp 82 % der Gesamtanzahl aus, in der gepflügten Variante 72 %.

Die Regenwurmbiomasse ist mit 18,9 g pro Quadratmeter in der Mulchsaat-Parzelle und 10,9 g in der Pflugparzelle ebenfalls deutlich unterschiedlich (Abbildung 6).

Auch das Artenspektrum nach Mulchsaat bzw. konventioneller Saat ist deutlich anders (Abbildung 7). Während unter Mulchsaat die anektische Art (Tiefgräber) *Lumbricus terrestris* mit knapp 10 % der Tiere vertreten ist, fehlt sie in der gepflügten Parzelle völlig. Die anderen drei noch vorkommenden Arten gehören alle zur ökologischen Gruppe der endogäischen (flachgrabenden) Würmer. Diese weisen unterschiedliche relative Anteile am Artenspektrum auf, in Abhängigkeit von der Pflugfurche. Dort wo der Pflug zum Einsatz kam ist *Aporrectodea caliginosa* mit einem Anteil von 74 % vertreten, unter Mulchsaat nur mit 39 %. Die Art *A. chlorotica*, die unter der Pflugvariante 21 % der Tiere stellte, wurde unter Mulchsaat nur noch mit einem Artenanteil von 1 % nachgewiesen. Bei *A. rosea* ist es genau entgegengesetzt: unter der Pflugvariante nur mit 5 % der Tiere vorhanden, steigert diese Art ihren Anteil unter Mulchsaat auf 51 % und stellt auf dieser Fläche somit mehr als die Hälfte aller gefundenen Regenwürmer.

Bodengefüge:

Der Unterschied der Lagerungsdichten der Bodensäulen aus den beiden Bodenbearbeitungsvarianten war vergleichsweise gering, tendenziell war die der Variante 'Mulchsaat' geringer (Tabelle 2).

In den Bodensäulen der Varianten 'konventionelle Bodenbearbeitung' (Pflug) und 'Mulchsaat' zeigte sich eine

Tabelle 2: Lagerungsdichte der CT-Bodensäulen von den Varianten 'Pflug' und 'Mulchsaat' bei Zuckerrüben (n = 2).

Bodenbearbeitung	Lagerungsdichte [g cm ⁻³]
Pflug	1,395 ± 0,082
Mulchsaat	1,342 ± 0,111

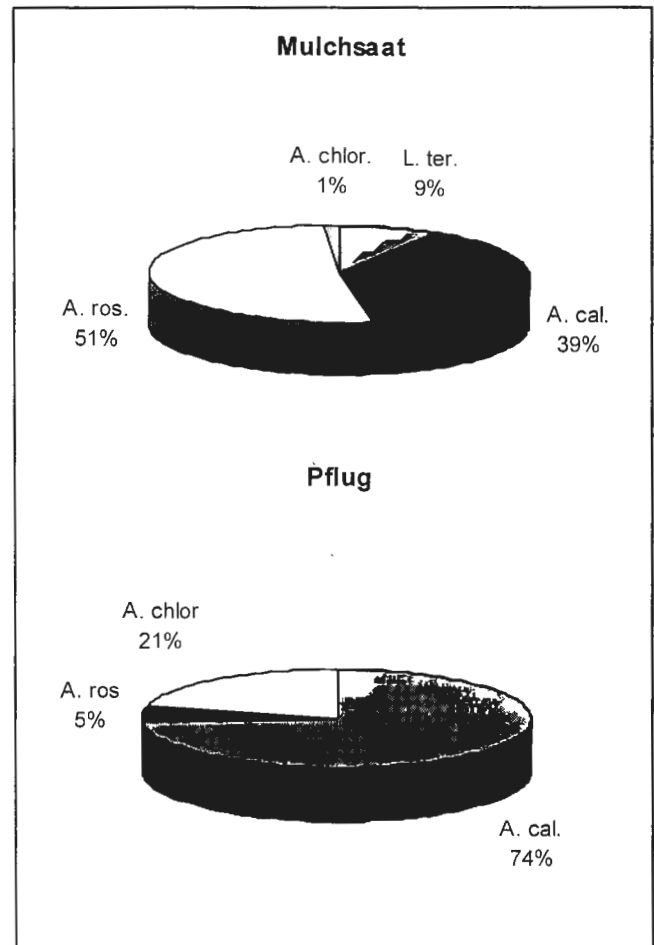


Abbildung 7: Adenstedt - Zuckerrüben: Artenspektrum der Regenwürmer unter Mulchsaat (oben) und Pflugbewirtschaftung (unten) (n = 4). *A. cal.*: *Aporrectodea caliginosa*; *A. ros.*: *Aporrectodea rosea*; *A. chlor.*: *Aporrectodea chlorotica*; *L. ter.*: *Lumbricus terrestris*.

starke Variabilität in der Gefügestruktur. Zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten traten markante Differenzierungen im Gefüge auf.

Die 3D-Visualisationen des Makroporensystems und die ausgewählten Röntgen-Schichtbilder vom Querschnitt der Bodensäulen zeigen typische Merkmale einer Gefügedifferenzierung zwischen der Variante 'Pflug' und 'Mulchsaat'. So ist die Variante 'Mulchsaat' - unabhängig von der vorgefundenen Variation in der Lagerungsdichte - im Vergleich immer durch stärker vertikal-kontinuierliche Makroporen bzw. Rißsysteme gekennzeichnet (Abbildungen 8 bis 11).

Bei den Bodenproben höherer Lagerungsdichte zeigen die ausgewählten Röntgen-Schichtbilder der Variante 'Pflug' ein vergleichsweise sehr dichtes, wenig gegliedertes Gefüge (Abbildung 8). Das Nebeneinander von dominierend dichtem Gefüge mit lockeren Bereichen weist auf Wiederverdichtung durch Druckbelastung hin. Im Gegensatz dazu ist die Mulchsaat-Variante durch eine ausgepräg-

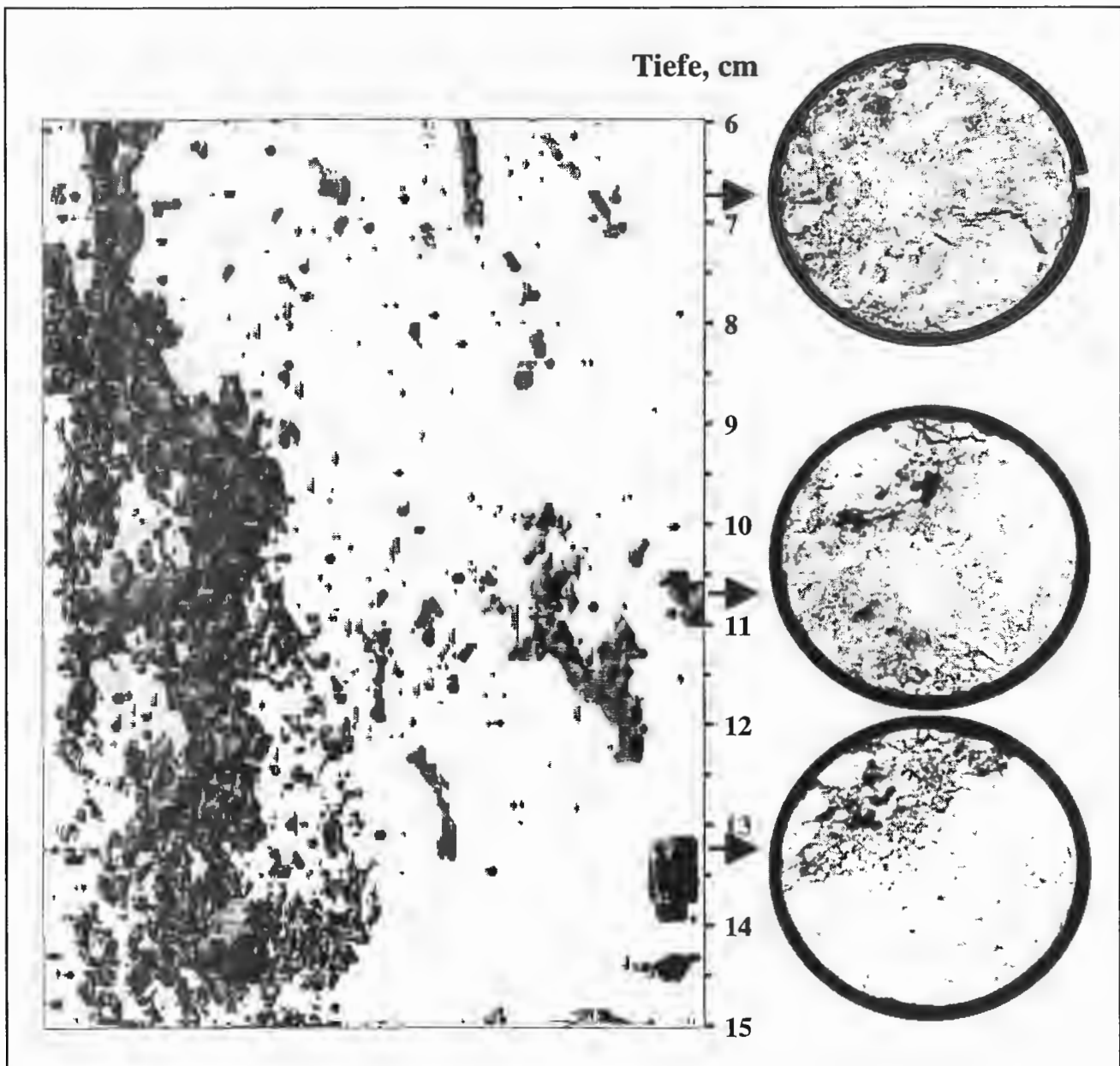


Abbildung 8: Adenstedt - Zuckerrüben: 3D-Visualisation der Makroporosität in der Bodensäule der Variante konventionelle Bodenbearbeitung im Vergleich zu ausgewählten horizontalen Röntgenschnittbildern (heller Grauton = Bodenmatrix, schwarze bis dunkelgraue Partien = luftgefüllte Makroporen, $\text{dB} = 1,453 \text{ g cm}^{-3}$).

te Makroporosität gekennzeichnet (**Abbildung 9**). In den entsprechenden Röntgen-Schnittbildern heben sich Aggregate aufgrund des helleren Graustufenwertes räumlich und farblich noch gut ab.

Die Bodenprobe niedrigerer Lagerungsdichte ist bei der Variante 'Pflug' auch durch ein gewisses Maß an Vertikalporosität gekennzeichnet (**Abbildung 10**), doch handelt es sich dabei - wie die Schichtbilder zeigen - im wesentlichen um Bereiche mit einer Art „Trümmergefüge“, die von hochverdichteten Zonen umgeben sind. Typisch für die sehr locker gelagerte Bodenprobe der Variante 'Mulchsaat' (**Abbildung 11**) ist eine ausgeprägte Makroporosität, die aber deutlich von einer Porenstruktur abweicht. Es zeigen sich

deutliche Rißstrukturen, die ihren Ursprung wahrscheinlich noch in der Bodenbearbeitungsmaßnahme haben.

Diskussion

Die röntgen-computertomographischen Untersuchungen des Bodengefüges in der Saatbettbearbeitungszone (6-16 cm Tiefe) zeigen Differenzierungen zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten, die als Summenwirkung aufzufassen sind. Die Unterschiede in der Gefügestruktur sind das Ergebnis

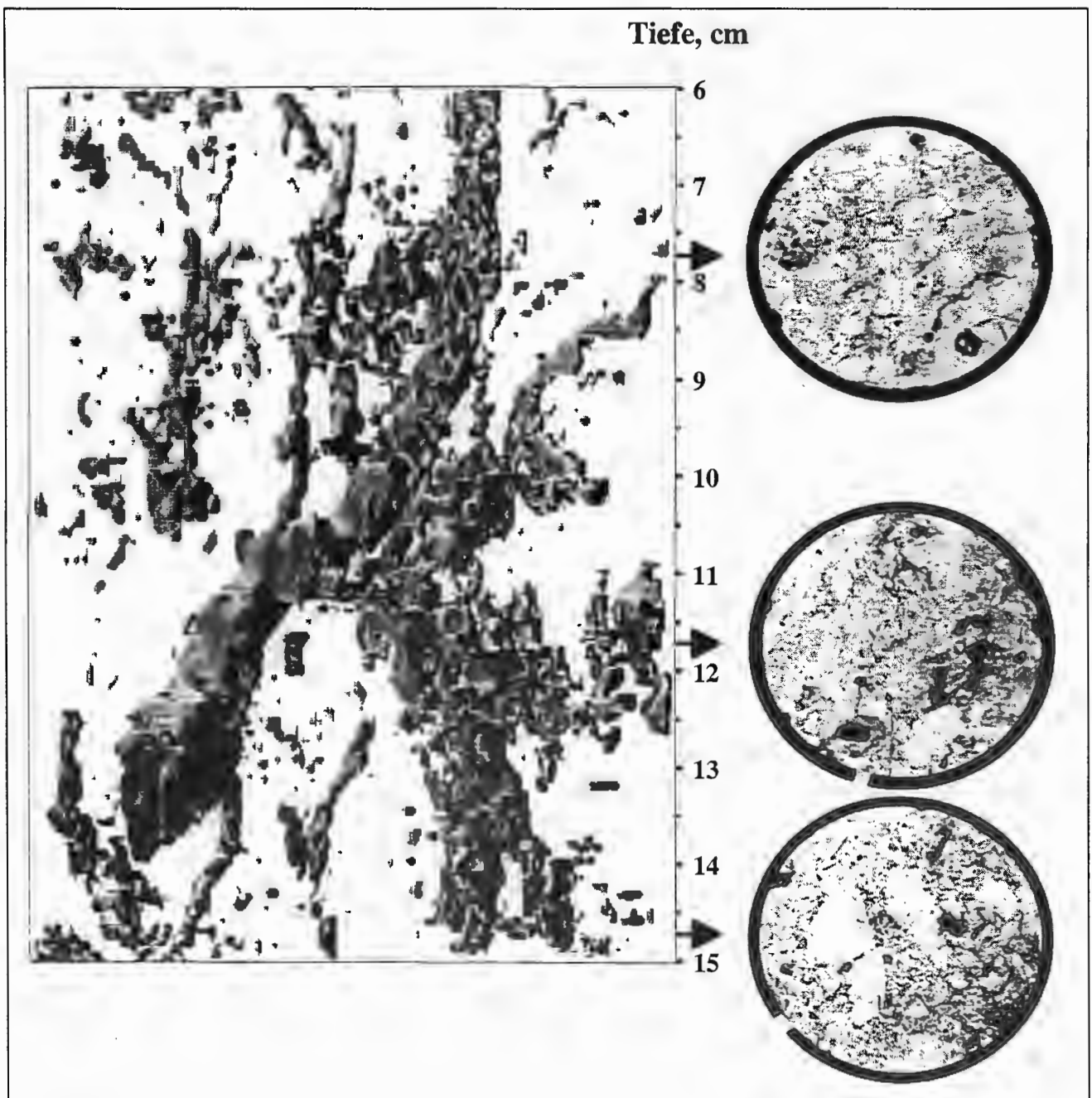


Abbildung 9: Adenstedt - Zuckerrüben: 3D-Visualisation der Makroporosität in der Bodensäule der Variante konservierende Bodenbearbeitung im Vergleich zu ausgewählten horizontalen Röntgenschnittbildern (heller Grauton = Bodenmatrix, schwarze bis dunkelgraue Partien = luftgefüllte Makroporen, $\delta B = 1,422 \text{ g cm}^{-3}$).

- der Intensität des mechanischen Eingriffes beim Arbeitsgang 'Bodenbearbeitung', abhängig vom gewählten Bearbeitungssystem,
- von Setzungsprozessen,
- der Druckbelastung von Fahrwerken bei Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestandesführung,
- des Einflusses der Bodenfauna besonders der Regenwürmer.

Dennoch lassen sich im Einzelfall die dominierenden Einflußfaktoren identifizieren.

Die hier vorgestellten Ergebnisse stimmen grundsätzlich mit den Erhebungen des Vorjahres überein (Brunotte et al., 1998). Auch dort war bei nahezu gleichem Lagerungsdichteniveau zu verzeichnen, daß die Variante 'Mulchsaat' durch ein Makroporensystem deutlich höherer Kontinuität, Konnektivität und Tortuosität gekennzeichnet ist.

Diese vertikal orientierten, gerichteten Gefügeelemente spielen als präferentielle Fließwege eine wichtige Rolle für den Wasser- und Gasaustausch, unabhängig von der Dichte der sie umgebenden Bodenmatrix. Außerdem erhöhen sie auch die Gefügestabilität, weil Strukturen gegenüber

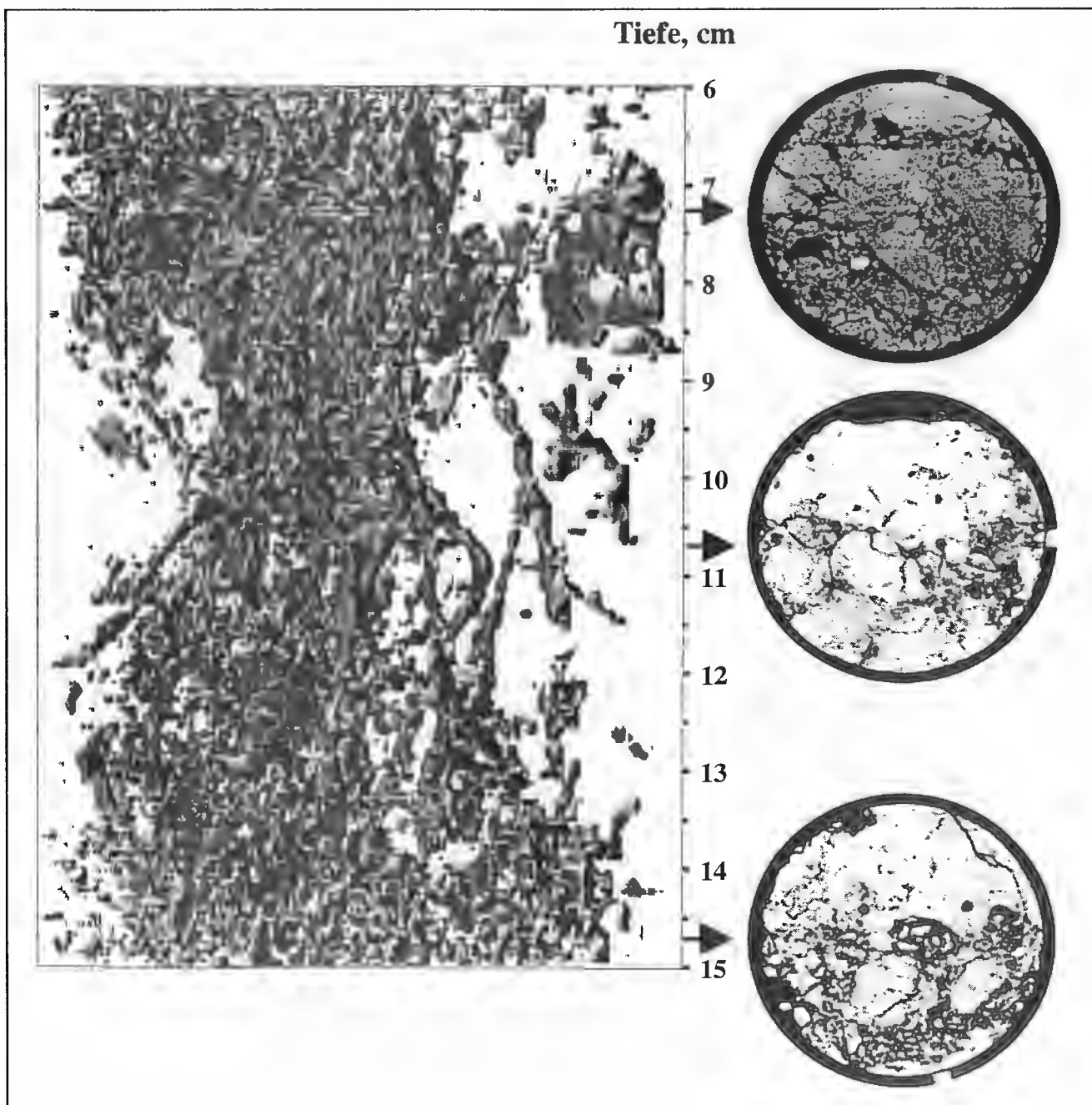


Abbildung 10: Adenstedt - Zuckerrüben: 3D-Visualisation der Makroporosität in der Bodensäule der Variante konventionelle Bodenbearbeitung im Vergleich zu ausgewählten horizontalen Röntgenschnittbildern (heller Grauton = Bodenmatrix, schwarze bis dunkelgraue Partien = luftgefüllte Makroporen, $\delta B = 1,336 \text{ g cm}^{-3}$).

Druckbelastung um so stabiler sind, je ausgeprägter sie in Richtung der einwirkenden Belastungsimpulse ausgerichtet sind (Hartge und Sommer, 1980; Kirby und Blackwell, 1989; Blackwell et al., 1990; Ball und Robertson, 1994).

Diese luftgefüllten Makroporen dienen den kleinen grabunfähigen Bodentieren als Lebensraum. Daher hat der Verzicht auf den Pflug bei den hier untersuchten Bodentiergruppen (Collembolen, Raubmilben) hinsichtlich ihrer Besatzdichte einen fördernden Effekt: die Tiefenverteilung der Collembolen und Raubmilben mit ihren der jeweiligen

Bodentiefe angepassten Lebensformtypen wird nicht 'auf den Kopf' gestellt und die Regenwurmgänge werden nicht zerstört. Außerdem verbleiben die Ernterückstände der Vorfrucht zum größten Teil im Bereich der Bodenoberfläche. Nach Wagner (unveröffentlicht) sind auf der Mulchsaat-Parzelle 20% der Bodenoberfläche mit organischen Reststoffen bedeckt, während auf der Pflug-Parzelle weniger als 1% bedeckt ist (Abbildung 5). Hiervon profitiert besonders die Regenwurmart *L. terrestris*. Auch Bode (1997) fand diese Regenwurmart nur in nicht gepflügtem Boden. Dagegen kann der Befund von Bode

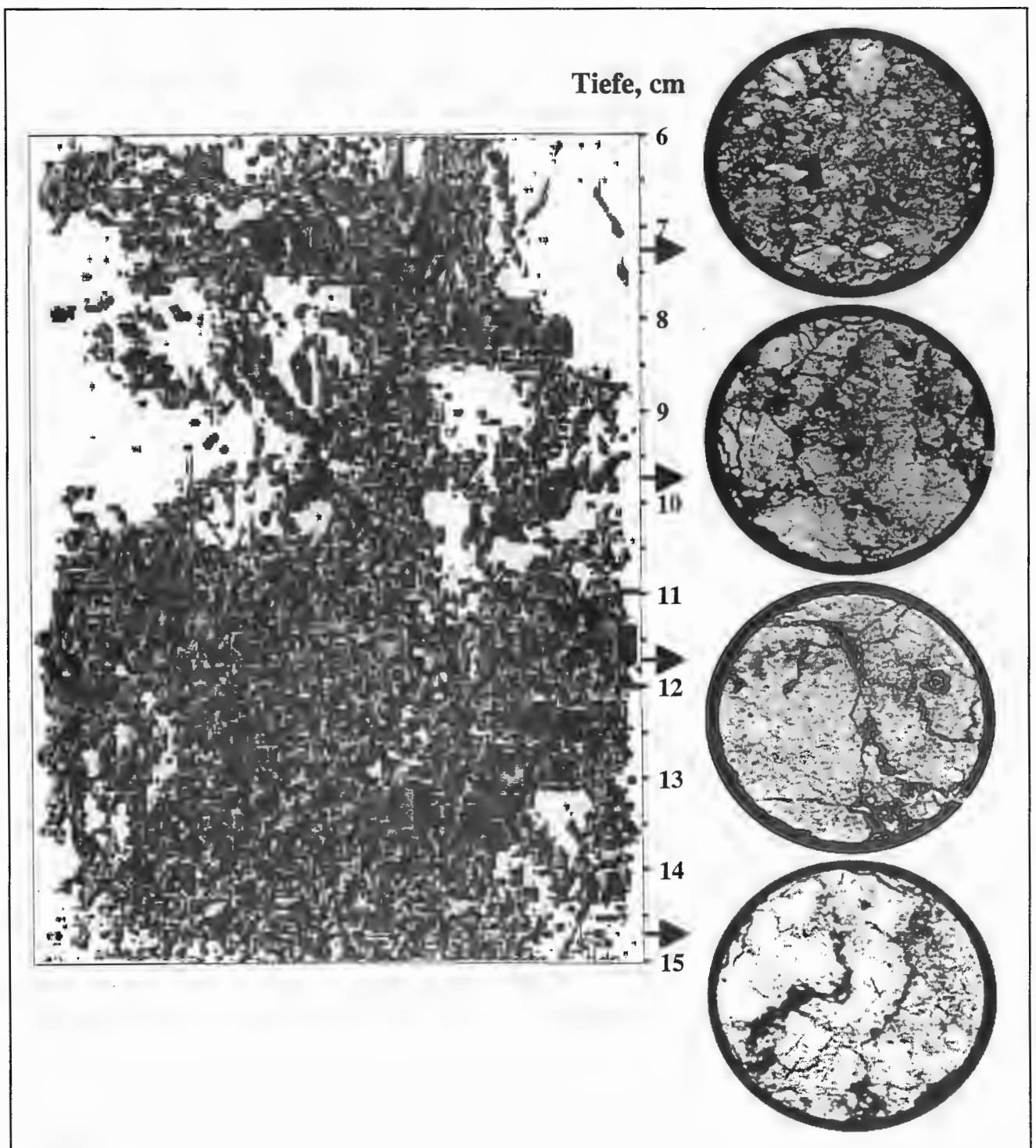


Abbildung 11: Adenstedt - Zuckerrüben: 3D-Visualisation der Makroporosität in der Bodensäule der Variante konservierende Bodenbearbeitung im Vergleich zu ausgewählten horizontalen Röntgenschnittbildern (heller Grauton = Bodenmatrix, schwarze bis dunkelgraue Partien = luftgefüllte Makroporen, $\delta B = 1,262 \text{ g cm}^{-3}$).

(1997), daß die Individuenzahl der Regenwürmer unter reduzierter Bodenbearbeitung geringer war als beim Pflugeinsatz, durch diese Untersuchungen in Adenstedt nicht bestätigt werden. In der Mulchsaat-Parzelle wurden deutlich mehr Regenwürmer mit einer höheren Gesamtbio-masse gefunden als in der Pflug-Parzelle.

Der weit höhere Bedeckungsgrad der Bodenoberfläche mit organischen Resten (Weizenstroh) auf der Mulchsaat-parzelle ist auch der Grund für die Bevorzugung des oberen Bodenhorizontes (0-5 cm) durch die Collembolen. In der Pflugparzelle liegt nur die übliche Tiefenverteilung (Ab-nahme der Individuendichte mit zunehmender Bodentiefe) vor, die sich auf Grund des 'Lebensformtyps' ergibt.

Da bei Anwendung des Mulchsaat-Verfahrens nach Sommer et al. (1998 a) keine Mindererträge zu erwarten sind, nach Larink und Horn (1998) auf ungepflügten Parzellen höhere Erträge gemessen wurden, stellt diese Methode eine echte Alternative zum jährlichen Pflugeinsatz dar, zumal der Landwirt nach Köller (1994) dadurch auch noch kräftig Kosten einsparen kann, und außerdem bei Anwendung der Mulchsaat auch noch 'gute fachliche Praxis' verwirklicht, wie sie nach dem neuen BBodSchG verlangt wird.

Unter Zuckerrüben werden - verglichen mit Kulturen von Winterweizen oder Wintergerste - gewöhnlich geringere Besätze der Bodenfauna gefunden. Dies wird meistens mit dem hohen Insektizideinsatz (z. B. im Saatgut) und dem späten Reihenschluß der Zuckerrüben erklärt (Larink et al., 1995). Die hier aufgezeigten Ergebnisse belegen, daß Mulchsaat zu Zuckerrüben diese sonst übliche drastische Verminderung von Mikroarthropoden und Regenwürmern unter dieser Frucht einigmaßen verhindert.

Auch unter Winterweizen stellten Heisler und Brunotte (1998) eine deutliche Förderung der Mesofauna in nicht gepflügten Flächen fest. Regenwurmgänge werden nach Wickenbrock und Heisler (1997) von Mikroarthropoden (Collembolen) als Wohnraum bevorzugt. Dies erklärt die hohen Abundanzen von Collembolen und Raubmilben bei hoher Regenwurmdichte. Da Collembolen direkt und in weit stärkerem Umfang indirekt - nämlich über die selektive Beweidung von Pilzhyphen - zum Abbau von organischen Reststoffen beitragen sowie nach Heisler et al. (1996) das Mikrogefüge des Bodens mitgestalten, sind sie eine wichtige Tiergruppe im Boden (Heisler, 1994b). Raubmilben stehen als Konsumenten am Ende der Nahrungsketten des Bodens und regulieren die Besatzdichte von kleinen Bodentieren z. B. Collembolen. Nur wenn ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Mikroflora (Pilze, Bakterien), Mesofauna (z. B. Collembolen) und Raubmilben besteht, verlaufen Dekomposition und Mineralisierung optimal. Bei zu geringer Raubmilbendichte kann es zu 'Overgrazing'-Effekten (Kahlfraß) durch Collembolen an der mikrobiellen Biomasse kommen, wodurch die Mikroorganismen in ihrem Wachstum gehemmt werden. Als Folge hiervon wird der Abbau von organischen Reststoffen durch diese Mikroorganismen stark vermindert. Raubmilben sind nach Siedentop (1993) ein wichtiges Regulativ für Collembolen. Da einige Raubmilben-Arten sich ausschließlich oder überwiegend von Nematoden ernähren (z. B. Karg, 1961), spielen sie bei der Kontrolle dieser für den Landwirt problematischen Bodentiergruppe eine bedeutende Rolle, zumal Bewirtschaftungsstrategien fast keine Auswirkungen auf Nematoden haben. Maßnahmen, die die Raubmilben fördern, sind daher zu begrüßen. Eine dieser Maßnahmen ist, im Verlaufe der Fruchtfolge öfter mal auf den Pflug zu verzichten. Nach Hendrix et al. (1986) gibt es zwei verschiedene Wege, wie die Mineralisationsprozesse ablaufen: sind viele Regenwürmer vorhanden (wie bei pflugloser Bestellung) so laufen die Mineralisationsprozesse über Bodenpilze, Pilzfresser wie

Collembolen und die Regenwürmer. Sind Regenwürmer selten oder fehlen (wie bei Pflugbestellung), so geht der Abbau über Bodenbakterien, bakterienfressende Nematoden und Enchyträen. Die Ergebnisse von Overhoff (1990) scheinen dies zu bestätigen: in einem Feldversuch in Gießen wiesen die nicht gepflügten und dadurch strukturstabileren Parzellen geringere Abundanzen an pflanzenpathogenen Nematoden auf. Das bedeutet, den Pflug weniger oft einzusetzen, heißt nicht nur Förderung der Regenwürmer, Collembolen und Raubmilben sondern gleichzeitig Schwächung der Nematoden. Im Sinne eines integrierteren Pflanzenschutzes ist das ein sehr beachtenswerter Zusammenhang.

Die nur auf der Mulchsaat-Variante nachgewiesene Regenwurmart *L. terrestris* ist auf Pflanzenrückstände auf der Bodenoberfläche als Nahrung angewiesen, da sie zur ökologischen Gruppe der Tiefgräber mit permanenten senkrechten Wohnröhren gehört (Graff, 1983). Fehlen diese organischen Rückstände auf der Oberfläche, so fehlt auch dieser Regenwurm, oder er ist nur in wenigen Exemplaren zu finden. Eine wenig geschlossene Pflanzendecke zur Hauptaktivitätszeit der Regenwürmer im April und Mai - wie bei Zuckerrüben üblich - bedeutet ein zu geringes Nahrungsangebot vor allem für den Tiefgräber *L. terrestris*. Aber nur diese Art ist in der Lage, verdichtete Zonen z. B. Schlepperradsohlen zu durchstoßen und nach Vetter und Lichtenstein (1968) Unterbodenverdichtungen, die durch normales Befahren bei der Bewirtschaftung entstehen, aufzulockern. Da *L. terrestris* eine ziemlich große Art ist, steigt auf den Flächen, auf denen sie vorkommt, auch die Biomasse entsprechend an.

Seine senkrechten und an der Bodenoberfläche offenen Gänge, die bis in etwa 3 m Tiefe hinabreichen können, nehmen bei Starkregen einen Großteil des Wassers auf und verhindern dadurch den Oberflächenabfluß, der wertvolle Ackerkrume abschwemmen kann.

Kontinuierliche Bioporen, wie alte Wurzelkanäle und vor allem Regenwurmgänge, verzahnen Ober- und Unterboden miteinander. Nach Richter und Terbrügge (1997) führt das in Flächen unter reduzierter Bodenbearbeitung, weil diese biogenen Sekundärporen hier nicht zerstört werden, zu einer intensiveren Durchwurzelung des Unterbodens. Diese Bioporen bieten als Wege des geringsten Eindringwiderstandes, verbunden mit hervorragenden Möglichkeiten des Gasaustausches und der nährstoffreichen Wandauskleidungen der Regenwurmgänge (Kottapete) sehr günstige Bedingungen für das Wurzelwachstum.

Die anderen drei Regenwurmartarten gehören zu den flachgrabenden (endogäischen) Regenwürmern, die sich durch den Boden hindurchfressen und die mit dem mineralischen Boden aufgenommene organische Substanz verdauen. Diese endogäischen Regenwürmer können verdichteten Boden deutlich lockern, wie Larink et al. (1995) in Laborversuchen feststellten. Sie sind nicht auf Pflanzenmaterial auf der Bodenoberfläche angewiesen. Deshalb findet man sie auch im gepflügten Acker recht zahlreich, und sie gelten aus diesem Grund als ziemlich anpassungsfähig

gegenüber landwirtschaftlichen Bodennutzungsformen (Graff, 1983).

Der auffallend hohe Anteil von juvenilen Regenwürmern in der Mulchsaat-Fläche belegt, daß Regenwürmer in nicht gepflügtem Ackerboden über ein größeres Vermehrungspotential verfügen als in gepflügtem. Das Vermehrungspotential der endogäischen Regenwürmer (z. B. *A. caliginosa*) liegt nach D u n g e r (1983) bei maximal 27 Kokons pro Tier und Jahr, das der anektischen Art *L. terrestris* bei maximal 8 Kokons. Endogäische Regenwurmarten verfügen demnach über eine mehr als dreimal so hohe potentielle Vermehrungsrate, und sie können deswegen schneller auf für sie günstige Bedingungen hinsichtlich Nahrungsangebot und Bodenstruktur reagieren. Das heißt, wird die Ackerbewirtschaftung von der Bestellung mit dem Pflug auf Mulchsaat umgestellt, so wirkt sich das umgehend in einer Erhöhung der Abundanz dieser Regenwürmer aus.

Dies alles ist typisch für Tiere, die zur Gruppe der r-Strategen gehören; diese können auf veränderte Lebensumstände (Nahrungsangebot; Wohnraum) sehr schnell reagieren und sind dadurch sehr anpassungsfähig. *L. terrestris* scheint eher dem Typ der K-Strategen zu entsprechen, die auf möglichst konstante Bedingungen in ihrem Lebensraum angewiesen sind.

Unter einem Quadratmeter Bodenoberfläche legen Regenwürmer nach B o u c h é (1972) ein Gangsystem von bis zu 400 m Gesamtlänge an und schaffen hierdurch eine innere Oberfläche von etwa 5 Quadratmetern; in diesem beachtlichen Gangsystem leben z. B. ca. 43 % der nicht-symbiontischen N-Fixierer. W h a l l e y et al. (1995) sprechen in diesem Zusammenhang auch von 'physikalischer Bodenfruchtbarkeit' und meinen die Grabtätigkeit der Regenwürmer, die sich der Landwirt unbedingt zu Nutzen machen sollte.

Auch als Wohnraum für etliche Gruppen der Mesofauna z.B. Collembolen (W i c k e n b r o c k & H e i s l e r, 1997) sowie als Leitbahnen für Pflanzenwurzeln durch verdichtete Bereiche hindurch sind diese biogenen Sekundärporen ziemlich wichtig, um z. B. an Wasser im Unterboden zuzugang, wie S o m m e r (1988) in Laborversuchen feststellte. Nach B a u c h e n ß (1983) sind 90 % der fossilen nicht mehr von Regenwürmern bewohnten Gänge von Collembolen besiedelt.

Wenn auf einer gepflügten Fläche die Regenwurmart *L. terrestris* nicht gefunden wird, stellt sich die Frage, wie kommt diese Art wieder in diese Fläche hinein, wenn auf Mulchsaat umgestellt wird. Dies könnte ja nur durch Einwanderung und/oder Einschleppen von Regenwürmern bzw. ihren Kokons erfolgen. Eine Einwanderung aus einem Reservoir unter Grünlandstreifen, wie sie Grabenböschungen und Wegraine darstellen, bis in die Mitte der wiederzubesiedelnden Ackerfläche würde aber Jahre beanspruchen, denn die natürliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Regenwürmern bei der Besiedelung neuer Habitats liegt zwischen 2 bis 15 m im Jahr (D u n g e r, 1969; H o o g e r k a m p et al., 1983; M a r i n i s s e n und v a n d e n B o s c h, 1992). Eine passive Verfrachtung von Regen-

würmern bzw. ihren Kokons in Wasser, Boden, mit Pflanzen, durch Maschinen oder Tiere spielt eine ganz wichtige Rolle bei der Wiederbesiedelung (z. B. M a r i n i s s e n und v a n d e n B o s c h, 1992).

Auch bei einer Collembolenart (*Hypogastrua nivicola*) wurden im Herbst und Frühling nächtliche Überlandwanderungen beobachtet, die pro Saison maximal 25 m betragen (L y f o r d, 1975). Eine Wiederbesiedelung mit Collembolen durch Einwanderung würde also auch einen längeren Zeitraum erfordern. Bei diesen kleinen leichten Tieren ist allerdings auch eine Verfrachtung durch die Luft möglich, wodurch die Wiederbesiedelung erheblich beschleunigt würde.

Da einmaliger Pflugeinsatz vermutlich nie alle Exemplare von *L. terrestris* vernichtet, ist es ratsam, den Pflug nie mehrere Jahre hintereinander einzusetzen, damit inselartig verteilte Restpopulationen dieser Regenwurmart bestehen bleiben, die dann als Ausgangspunkte für eine Neubesiedelung der Gesamtfläche dienen können.

Ähnliches gilt aber auch für andere wichtige Gruppen der Bodenfauna z. B. die Mikroarthropoden. So ist aber der punktuelle Einsatz des Pfluges sinnvoll, wenn Wintergerste nach Winterweizen angebaut wird.

Zusammenfassung

Unter der Kulturfrucht Zuckerrübe auf einer erodierten Parabraunerde wurden vergleichend Parzellen unter Pflugbewirtschaftung bzw. Mulchsaat hinsichtlich Bodengefüge, Regenwurmfauna sowie Mesofauna (Collembolen und Raubmilben) untersucht. Die Besatzdichten aller drei untersuchten Bodentiergruppen waren in der Mulchsaat-Parzelle wesentlich höher als in der gepflügten. Unter Mulchsaat wurde auch die anektische Regenwurmart *L. terrestris* mit einem Anteil von 10 % nachgewiesen, die in der gepflügten Parzelle völlig fehlte. In der Mulchsaat-Parzelle wurden wesentlich mehr juvenile Regenwürmer gefunden als in der Pflug-Variante; das läßt auf ein größeres Vermehrungspotential bei Mulchsaat zu Zuckerrüben aufgrund des vorhandenen Nahrungsangebotes an der Bodenoberfläche schließen.

Die Populationsdichte der Raubmilben ist unter Mulchsaat um fast 50 % höher als unter der gepflügten Parzelle, die der Collembolen um fast 20%. In der Mulchsaat-Variante bevorzugen die Collembolen eindeutig die obere Bodenschicht.

Mulchsaat zu Zuckerrüben leistet einen hohen Beitrag zur Erhaltung der biologischen Aktivität im Boden und gleichzeitig für den Erosionsschutz (organische Reststoffe auf der Oberfläche).

Die Reduzierung der Intensität der Bodenbearbeitung hat in der Oberkrume der Variante 'Mulchsaat' im Vergleich zur Variante 'Pflug' zu einem offensichtlich stabileren Gefüge geführt. Es zeichnet sich durch eine ausgeprägt vertikal-kontinuierliche Makroporosität aus. Das insgesamt etwas niedrigere Niveau der Bodendichte weist auf eine geringere Beeinflussung durch Druckbelastungen von

schweren Maschinen hin. So stellt die Mulchsaat ein Beispiel dar, 'gute fachliche Praxis' vor dem Hintergrund des BBodSchGes zu verwirklichen und damit wichtige Bodenfunktionen wie die Produktions-, Lebensraum- und Filterfunktion vorsorgend zu erhalten.

Danksagung

Bei Frau Beutler vom Institut für Mikrobielle Ökologie und Bodenbiologie und bei Frau Onasch vom Institut für Bodenlandschaftsforschung des ZALF Müncheberg bedanken wir uns für die gewährte Unterstützung.

Conservation tillage and biological activity

Soil structure, earthworms, springtails, and predatory mites of a Parabraunerde were studied in plots under conventional (plough) and conservation tillage (mulchseed) with sugar beet as standing crop. The treatment conservation tillage resulted in a more stable soil structure in the upper part of the topsoil because of a reduced tillage intensity. The more stable soil structure is characterized by a distinct vertically orientated macroporosity. The lower bulk density level is the result of limited efficiency of compaction stresses.

The abundances of all three groups of the soil fauna (earthworms, springtails, predatory mites) were higher in the plot with conservation tillage than in that with conventional tillage. The biomass of the earthworms in the plot with conservation tillage was higher too.

The earthworm species *L. terrestris* was only found in the plot with mulchseed, because the soil surface was covered with organic residues.

Mulchseed for sugar beets is a good strategy against soil erosion and for protecting biological activity in soil.

Literatur

Altemüller, H.-J. (1991): Der mikroskopische Bau des Bodens in Abhängigkeit vom Bodentyp und der Bodennutzung. - Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 204 'Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit Bd. 2: Bodengefüge': S. 12-23.

Ball, B. C.; Robertson, E. A. G. (1994): Effects of uniaxial compaction on aeration and structure of ploughed or direct drilled soils. - Soil and Tillage Research 31: S. 135-148.

Bauchhennß, J. (1983): Die Bedeutung der Bodentiere für die Bodenfruchtbarkeit und die Auswirkung landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Bodenfauna. - Kali-Briefe Bünthof 16 (9): S. 529-538.

Blackwell, P. S.; Green, T. W.; Mason, W. K. (1990): Response of biopore channels from roots to compression by vertical stresses. - Soil Sci. Soc. Am. J. 54: S. 1088-1091.

Bode, M. (1997): Was leisten Bodenorganismen unter dem Einfluß von Bodenbearbeitung und Düngung? -

Zuckerrübe 46/1: S. 14-17.

Bouché, M. B. (1972): Lombriciens de France. Ecologie et Systématique. Paris, I.N.R.A.: 671 S.

Brunotte, J. (1990): Landtechnische Maßnahmen zum bodenschonenden und bodenschützenden Zuckerrübenanbau. - Dissertation Universität Kiel: 206 S.

Brunotte, J. und Biller, R. H. (1997): Flächenstilllegung - zielorientiert und kostengünstig. - Zuckerrübe 46 (4): S. 202-205.

Brunotte, J.; Joschko, M.; Rogasik, H. (1998): Mulchsaat standortangepaßt - fester Baustein heutiger Zuckerrübenproduktion. - Zuckerrübe 47 (4): S. 199-202.

Brunotte, J.; Joschko, M.; Rogasik, H.; Sommer, C. (1996): Dem Boden „ins Maul geschaut“. Konservierende Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben. - Zuckerrübe 45: S. 20-24.

Brunotte, J. und Sommer, C. (1996): Gute fachliche Praxis bei der Bodennutzung - Bodenbearbeitung standortangepaßt und bodenschutzorientiert. - Zuckerrübe 45 (6): S. 278-281.

Dunger, W. (1969): Fragen der natürlichen und experimentellen Besiedelung kulturfeindlicher Böden durch Lumbriciden. - Pedobiologia 9: S. 146-151.

Dunger, W. (1983): Tiere im Boden. Die Neue Brehm-Bücherei 327. Ziemsen, Wittenberg: 280 S.

Ehlers, W. und Baeumer, K. (1988): Effect of the paraplow on soil properties and plant performance. - Proc. 11th Intern. Soil & Tillage Res. Conf.: S. 637-642.

Graff, O. (1983): Unsere Regenwürmer - Lexikon für Freunde der Bodenbiologie. - Verl. Schaper, Hannover, 112 S.

Hartge, K.H.; Sommer, C. (1980): The effect of geometric patterns of soil structure on compressibility. - Soil Science 130: S. 80-185.

Heisler, C. (1994a): Auswirkungen von Bodenverdichtungen auf die Bodenmesofauna: Collembola und Gamasina - ein dreijähriger Feldversuch. - Pedobiologia 38: S. 566-576.

Heisler, C. (1994b): Bedeutung von Mikroflora, Meso-fauna und Makrofauna für den Abbau von Strohmatte in unterschiedlich verdichteten Ackerböden. - Zool. Anz. 233: S. 153-172.

Heisler, C. und Brunotte, J. (1998): Beurteilung der Bodenbearbeitung mit Pflug und der konservierenden Bodenbearbeitung hinsichtlich der biologischen Aktivität mittels des Köderstreifen-Tests nach von Törne sowie der Populationsdichten von Collembolen und Raubmilben. - Landbauforschung Völkenrode 48 (2): S. 78-85.

Heisler, C.; Wickenbrock, L.; Lübbers, B. (1996): Oberflächenstruktur, Aggregatstabilität sowie Durchwurzelbarkeit des Bodens unter dem Einfluß ausgewählter Bodentiergruppen. - Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 5: S. 97-105.

Hendrix, P.F.; Parmelee jr., R. W.; Coleman, D. C.; Odum, E. P.; Groffman, P. M. (1986): Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. - Bio Science 36: S. 374-380.

- Hoogerkamp, M.; Rogaar, H.; Eijsackers, H. J. P. (1983): Effects of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. - In: J. E. Satchell (ed.) *Earthworm Ecology - from Darwin to Vermiculture*; Chapman und Hall, London: S. 85-105.
- Joschko, M. (1989): Einfluß von Regenwürmern (*Lumbricidae*) auf verdichteten Boden: Modellversuche. - Dissertation TU Braunschweig: 190 S.
- Joschko, M.; Graff, O.; Müller, P. C.; Kotzke, K.; Lindner, P.; Pretschner, D. P.; Larink, O. (1991): A non-destructive method for the morphological assessment of earthworm burrow systems in three dimensions by X-ray computed tomography. - *Biol. Fert. Soils* 11: S. 88-92.
- Karg, W. (1961): Ökologische Untersuchungen von edaphischen Gamasiden (Acarina, Parasitiformes). 1. und 2. Teil. - *Pedobiologia* 1: S. 53-74 & S. 77-98.
- Kirby, J. M.; und Blackwell, P. S. (1989): Design of soil slots to resist wheel track compaction. - *Soil Technology* 2: S. 147-161.
- Köller, K.-H. (1994): Welches Gerät für welchen Zweck und auf welchem Boden? - *dlz-Agrarmagazin* 45/9: S. 38-43.
- KTBL-Arbeitsgruppe (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz - Empfehlungen für gute fachliche Praxis. KTBL-Arbeitspapier: (im Druck)
- Larink, O.; Heisler, C.; Söchtig, W.; Lübben, B.; Wickenbrock, L. (1995): Einfluß verdichteter Ackerböden auf die Bodenfauna und ihr Beitrag zur Bodenlockerung. - *KTBL-Schrift* 362 'Bodenverdichtung': S. 142-156.
- Larink, O.; und Horn, R. (1998): Ackerböden unter Druck - Verdichtung führt zu Ertragsverlust. - *Mitteilungen der DFG* 1 (2): S. 32-34.
- Lyford, W.H. (1975): Overland migration of collembola (*Hypogastrura nivicola* Fitch) colonies. - *The American Midland Naturalist* 94: S. 205-209.
- Macfadyen, A. (1961): Improved funnel-type extractor for soil arthropods. - *J. Animal Ecology* 30: S. 77-98.
- Marinissen, J. C. Y.; und van den Bosch, F. (1992): Colonization of new habitats by earthworms. - *Oecologia* 91: S. 371-376.
- Overhoff, A. (1990): Einfluß von Bewirtschaftungssystem und Bodenbearbeitung auf die Populationsdichte von Nematoden - mit besonderer Berücksichtigung antagonistischer Wirkung von Regenwürmern und nematophagen Pilzen. - Dissertation Universität Gießen: 198 S.
- Richter, U. und Tebrügge, F. (1997): Bearbeitung von Lehm Böden und Gefügeveränderungen. - *Landbauforschung Völknerode Sonderheft* 178 'Konservierende Bodenbearbeitung auf Lehm Böden': S. 27-42.
- Rogasik, H.; Joschko, M.; Brunotte, J. (1994): Nutzung der Röntgen-Computertomographie zum Nachweis von Gefügeveränderungen durch Mulchsaat. - *Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Ges.* 73: S. 111-114.
- Rogasik, H.; Joschko, M.; Wendroth, O.; Kainz, M. (1995): Bodenphysikalische und bodenbiologische Untersuchungen der Gefügeentwicklung im A-Horizont dreier Landnutzungssysteme. - *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* 76: S. 61-64.
- Rogasik, H.; Weinkauff, H.; Seyfarth, M. (1997): Methodik und Technologie zur Entnahme ungestörter Bodenproben. *Archiv f. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 41 (3): S. 201-210.
- Santos, P.F.; Whitford, W. G. (1981): The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. - *Ecology* 62: S. 1654-1653.
- Schrader, S.; Langmaack, M.; Helming, K. (1996): Beitrag der Mesofauna zur Entwicklung des Bodenmikroreliefs - Eine Quantifizierung mittels Laserpunktriangelation. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 81: S. 33-36.
- Siedentop, S. (1993): Laboruntersuchungen zum Abbau organischen Materials durch die Bodenmesofauna - Einfluß verschiedener Faktoren auf die Abbauintensität. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 69: S. 163-166.
- Söchtig, W.; und Larink, O. (1992): Effect of soil compaction on activity and biomass of endogeic lumbricids in arable soils. - *Soil Biol. Biochem.* 24: S. 1595-1599.
- Sommer, C. (1988): Soil compaction and water uptake of plants. - *Catena Supplements* 11: S. 107-111.
- Sommer, C.; Brunotte, J.; Biller, R. H. (1998 a): Mulchsaat - Ein Baustein Konservierender Bodenbearbeitung. - *Landwirtschaft ohne Pflug* 1: S. 12-14.
- Sommer, C.; Steinkampf, H. und Brunotte, J. (1998 b): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. - *Bodenschutz* 3 (1): S. 12-16.
- Vetter, H. und Lichtenstein, H. (1968): Die biologische Auflösung von Unterbodenverdichtungen. - *Landwirtschaftliche Forschung Sonderheft* 22: S. 85-88.
- Whalley, W. R.; Dumitru, E.; Dexter, A. R. (1995): Biological effects of soil compaction. - *Soil Till. Res.* 35: S. 53-68.
- Wickenbrock, L.; und Heisler, C. (1997): Influence of earthworm activity on the abundance of collembola in soil. - *Soil Biology and Biochemistry* Vol. 29 No. 3/4: S. 517-521.
- Wollenweber, D.; und Brunotte, J. (1997): Mulchsaat mit Saatbettbereitung zu Zuckerrüben nach Getreidevorfrucht: Vergleich ausgewählter Verfahren zur Bestellung von Zuckerrüben in Strohmulch. (Diplomarbeit Univ. Kassel) - Bericht aus dem Institut für Betriebstechnik der FAL 237: 74 S.
- Verfasser: Heisler, Claus, Dr. rer. nat.; Brunotte, Joachim, Dr. sc. agr., Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Leiter: PD Dr.-Ing. habil. Claus Sommer;
- Rogasik, Helmut, Dr., Institut für Bodenlandschaftsforschung; Joschko, Monika, Dr. rer. nat., Institut für Mikrobielle Ökologie und Bodenbiologie, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF), Eberswalder Straße 84, D-15374 Müncheberg.