

Untersuchung von Regenwürmern und Regenwurmröhren am Standort Dossenheim des Systemvergleichs Bodenbearbeitung

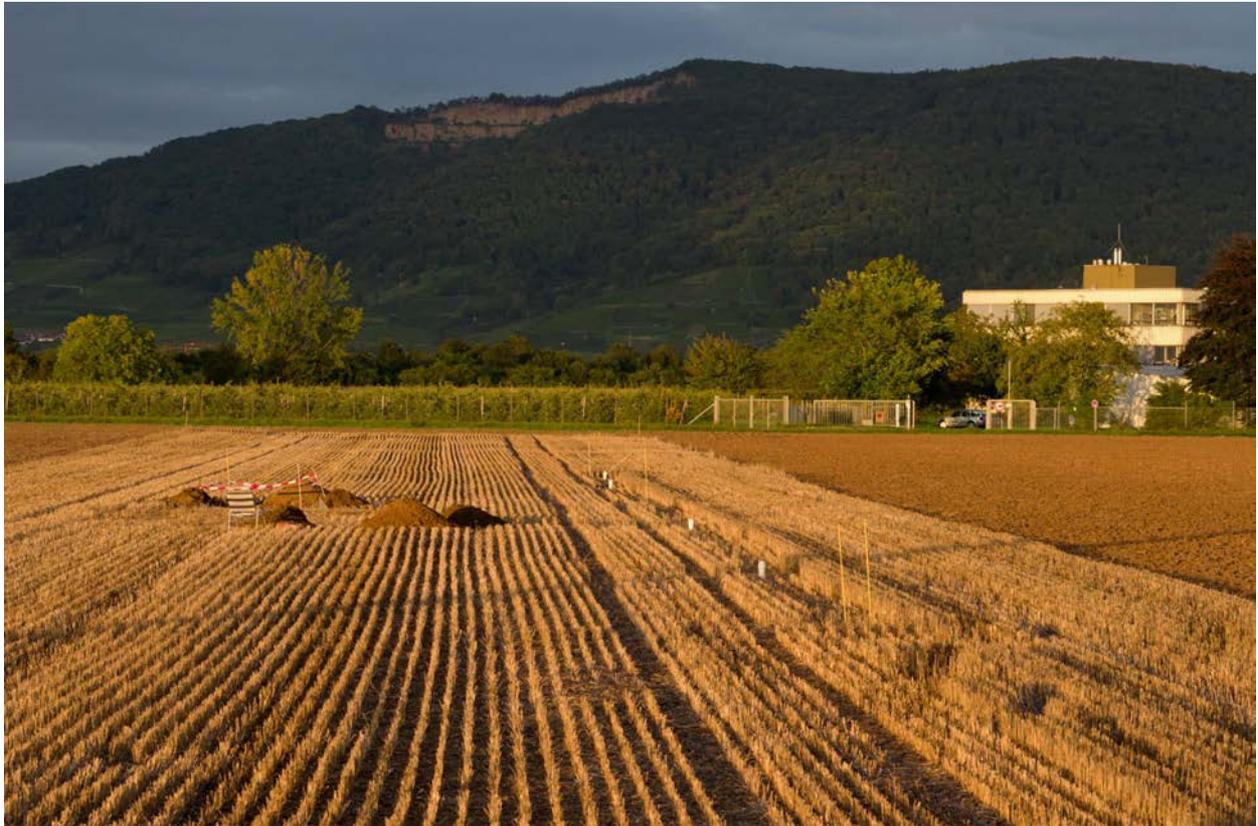


Bild 1: Dossenheim Direktsaatfläche Mitte September 2014. Im Hintergrund ist der Odenwald zu sehen. Die Versuchsfläche grenzt an das JKI-Institut.

im Auftrag des
LTZ Augustenberg

Dr. Otto Ehrmann
Büro für Bodenmikromorphologie und Bodenbiologie
97993 Creglingen - Münster

Januar 2015

1. Einleitung

Regenwürmer sind in vielen Böden Mitteleuropas die Tiergruppe mit der höchsten Biomasse (DUNGER 1983). Aufgrund ihrer Lebensweise können Regenwürmer den Boden wesentlich beeinflussen. Sie bringen organisches Material in den Boden ein und vermischen es mit dem Boden. Dies hat zur Folge, dass stabile Ton-Humus-Komplexe entstehen, die dem Boden zu einer stabileren Krümelstruktur verhelfen (Pulleman et al. 2005). Die tiefreichenden Röhren der anezischen Arten sorgen für einen schnellen Abfluss der Niederschläge in den Unterboden und verringern so die Erosionsgefahr (EDWARDS 1992, Ehlers 1975). Auch verbessern diese Röhren die Durchwurzelung und Durchlüftung des Unterbodens. Ein hoher Regenwurmbesatz wird in der Landwirtschaft daher positiv beurteilt.

Das Vorkommen der Regenwürmer wird zum einen von Boden und Klima (LEE 1985, Ehrmann et al. 2002), aber bei Ackerflächen in hohem Maße auch von der Nutzung bestimmt (Übersicht siehe Edwards 1980). Einen großen Einfluss hat dabei die Bodenbearbeitung, da sie die Regenwürmer direkt schädigen kann (KRÜGER 1952) und ihren Lebensraum verändert (LOW 1972).

In dieser Arbeit werden die Auswirkungen von unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Regenwurmpopulationen und Regenwurmröhren untersucht. Untersucht wurden folgende Varianten:

- Pflugeinsatz
- Mulchsaat
- Direktsaat
- zusätzlich wurde noch ein Grünlandstandort beprobt

Die Untersuchungen fanden im Herbst 2014 im Rahmen des Systemvergleichs Bodenbearbeitung statt. Die Versuchsfläche wird seit 1995 unterschiedlich bewirtschaftet. Dies ist ein ungewöhnlich langer Zeitraum für einen Feldversuch und bietet sehr gute Voraussetzungen für einen Vergleich der verschiedenen Varianten.

1.1. Beschreibung der 3 ökologischen Gruppen der Regenwürmer

Die Regenwürmer können vereinfacht in drei ökologische Gruppen eingeteilt werden:

a) die meist kleinen **epigäischen** Arten leben nahe der Bodenoberfläche und in Streuauflagen von Wäldern. Dort haben sie auch ihren Verbreitungsschwerpunkt, im Äckern sind sie eher selten. Sie sind ± durchgehend dunkel pigmentiert.

b) die tiefgrabenden **anezischen** Arten sind die größten einheimischen Regenwürmer. Sie sind immer am Vorderende dunkel pigmentiert, das Hinterende - mit dem sie in der Regel in ihrer Röhre bleiben - ist oft deutlich geringer pigmentiert. Sie haben tiefreichende Röhren (Bild 7) mit einer Öffnung an der Bodenoberfläche. Sie können daher zur Nahrungsaufnahme an die Bodenoberfläche kommen, sich aber bei Gefahr oder Trockenheit in den Unterboden zurückziehen. Manche anezischen Regenwürmer (z.B. *L. terrestris*, selten aber *Aporrectodea longa*) sammeln Streu an der Bodenoberfläche und ziehen sie im Lauf der Zeit in den Boden. Sie tragen damit wesentlich zur Streueinarbeitung bei, dies ist besonders bei Direktsaat wichtig, weil bei dieser Variante die maschinelle Streueinarbeitung entfällt.

c) die kleinen bis mittelgroßen **endogäischen** Arten leben normalerweise im Oberboden. Diese Regenwürmer haben in der Regel kein Röhrensystem mit einer Öffnung an der Bodenoberfläche. Die Nahrung wird im Boden aufgenommen und besteht vorwiegend aus humosem Mineralbodenmaterial. Da sie den Boden nur selten verlassen sind sie nicht oder nur wenig pigmentiert.

2. Material und Methoden

2.1. Lage der Versuchsfläche

Die Versuchsfläche des "Systemvergleichs Bodenbearbeitung" liegt in der Neckaraue, ca. 3 km südöstlich von Ladenburg und ca. 2 km westlich von Dossenheim. Die untersuchte Grünlandvergleichsfläche liegt am Südrand von Ladenburg (Abb. 1).



Abb.1: Ausschnitt aus der topographischen Karte (1:10 000). Die Untersuchungsflächen sind mit roten Kreisen markiert. Die eigentliche Versuchsfläche liegt westlich des JKI, die Grünlandvergleichsfläche am südlichen Ortsrand von Ladenburg.

Die Versuchsfläche weist (von Südost nach Nordwest) die Varianten Direktsaat - Mulchsaat - Mulchsaat betriebsüblich - Pflug auf. Die Versuchsfläche ist auf drei Seiten von geteerten Wegen umgeben, im Südosten setzt sich der Acker fort.

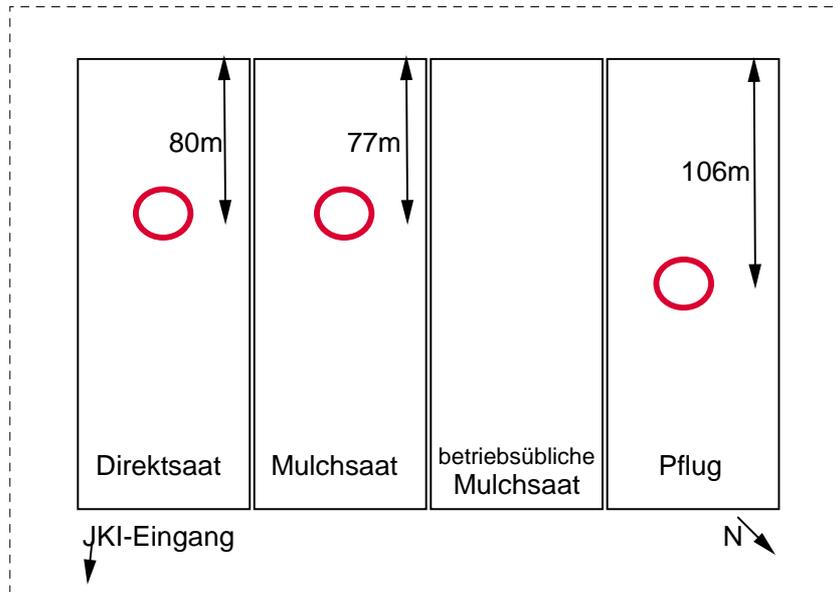


Abb. 2: Skizze der Versuchsfläche

Als Grünland wurde eine 2-schürige Wiese ca. 2,5 km nordwestlich der Versuchsfläche am Ortsrand von Ladenburg untersucht (Bild 2). Dieses Grünland wird seit mindestens 15 Jahren als solches genutzt, vorher waren es drei schmale Ackerflächen mit einzelnen Obstbäumen in der Mitte. Die Nutzungsintensität ist gering, es wird nur zweimal im Jahr gemäht, der Aufwuchs wird an Pferden verfüttert. Die genaue Lage der Probestellen in Acker und Wiese ist in Abb. 2 und Tab. 1 angegeben.

Die Bewirtschaftung und Fruchtfolge der Versuchsflächen ist in Tab. 6 im Anhang zusammengestellt. Die Direktsaatfläche wurde sporadisch mit einem Flachgrubber bearbeitet. Im Jahr 2014 wurde Winterweizen angebaut, davor Winterraps.



Bild 2: Beprobung der Wiese bei Ladenburg am 18.10.2014

2.2. Boden der Versuchsflächen

Ausgangsmaterial der Böden sind Sedimente des Neckars und vermutlich auch Sedimente von kleinen Seitenbächen aus dem Odenwald. In dieser fast ebenen Landschaft fließt der Neckar nur ca. 500 m entfernt an der Versuchsfläche vorbei und hat früher vermutlich häufiger den Bereich der Versuchsfläche überschwemmt.

Die Ackerzahl des Schlages liegt nach Unterlagen der LTZ zwischen 80 und 85. Die Versuchsfläche ist – obwohl sie praktisch eben ist – aufgrund der Lage in der Neckaraue nicht homogen. Nach der Reichsbodenschätzung sind die Böden an den südwestliche, nordwestlichen und nordöstlichen Rändern der Versuchsfläche sowie im Westen des Schlages schluffreicher (Einstufung L3AI72/85, Rest des Schlages aber LT3AI68/80).

Vor den Regenwurmuntersuchungen wurden daher alle potentiellen Probestellen mit Bohrstöcken auf gleiche Bodenart geprüft, die Probestelle in der Pflugvariante wurde als Folge der Bohrstockuntersuchung um ca. 30 m Richtung Nordost versetzt. In den Unterlagen der LTZ ist die Bodenart des Schlages mit uL bis IT angegeben. Bei den eigenen Untersuchungen (Fingerprobe) wurde an den untersuchten Standorten aber nie die Hauptbodenart Ton gefunden. Als Bodenart im Oberboden wurde ein Lt2 (schwach toniger Lehm) ermittelt, im Unterboden hingegen meist ein Lu (schluffiger Lehm). Die Böden sind praktisch steinfrei, bei allen Varianten wurde im Unterboden Kalkmycel gefunden.

Die Suche nach einer Grünlandfläche mit vergleichbaren Bodeneigenschaften war aufwändig und schwierig. Die Raine entlang der geteerten Feldwege um die Versuchsfläche sind extrem schmal und damit ungeeignet für Regenwurmuntersuchungen. Ursprünglich war daher die Untersuchung einer Grünlandfläche auf dem Gelände des angrenzenden JKI (Institut für Pflanzenschutz in Obst- und Weinbau) geplant, die ausgewählte Fläche wies aber untypische geringe Humusgehalte im Oberboden und überdurchschnittliche Konzentrationen an Pb (Autobahn) und Cu (Fungizide, Obstbau) auf. Ansonsten befand sich in der unmittelbaren Umgebung der Versuchsfläche kein für Regenwurmuntersuchungen geeignetes Grünland. Grünland in dieser Landschaft ist mittlerweile sehr selten – abgesehen von für Regenwurmuntersuchungen ungeeignete Pferdekoppeln. Größere Grünlandflächen gibt es noch unmittelbar am Neckar (alle untersuchten Flächen waren wie erwartet zu sandig) und in feuchten Senken (alle Standorte zu tonig, zu nass).

Daher wurde auf Empfehlung des Versuchsbetreuers Herrn Ibach ein ca. 2,5 km entferntes Grünland am Ortsrand von Ladenburg geprüft. Die Bodenart dieser Fläche war sowohl im Ober- als auch im Unterboden (nach Fingerprobe) die gleich wie in der Versuchsfläche.

2.3. Klima, Witterung & Probenahmetermin

Die Fläche liegt in der Rheinebene zwischen Neckar und Odenwald. Aufgrund der geringen Höhenlage (105 mm ü NN) liegt nach den Daten aus dem LTZ-Überblick zum Systemvergleich (von ca. 2010) die Jahresdurchschnittstemperatur bei 10,2° und die jährliche Niederschlagssumme liegt bei nur 670 mm. Diese Daten sind aber vermutlich nicht mehr aktuell. Eine eigene Neuberechnung mit den frei verfügbaren Daten der LTZ-Station Ladenburg ergab für den Zeitraum 1995-2014 durchschnittliche Jahresniederschläge von 801mm und eine Durchschnittstemperatur von 11,2 °C.

Das Untersuchungsjahr 2014 war ungewöhnlich warm (12,6°C) und relativ trocken (nur 626 mm Niederschlag). Vor allem die erste Jahreshälfte wies deutlich weniger Regen auf (Abb. 3). Im April gab es eine Trockenperiode, weil vom 27.3. bis zum 24.4 nur 21 mm Niederschlag fielen. Daraufhin ging ein Teil der Regenwürmer ins Ruhestadium (siehe Bild 3). Vom 25.4. bis zum 13.5. regnete es dann 70 mm, infolgedessen war der Boden wieder vollständig durchfeuchtet. Da an mindestens genauso trockenen Standorten bei Forst alle Regenwürmer aktiv waren, wurde am 16.5.2014 in Dossenheim ein Regenwurmfang durchgeführt. Beim Nachgraben (letzter Teil der Methodenkombination) wurden vor allem im Bereich von 30-60 cm Tiefe zahlreiche Regenwürmer im Ruhestadium festgestellt – trotz feuchtem Bodens. Damit können auch noch weiter unten (< 60 cm) Regenwürmer vorkommen. Die Ruhestadien waren eine Folge der Frühjahrstrockenheit, ungewöhnlich war aber, dass die Regenwürmer nach der Wiederbefeuchtung im Ruhestadium blieben. Dadurch wurde die Regenwurmzahl bei dieser Probenahme deutlich unterschätzt. Das Ergebnis konnte daher nicht verwendet werden. Der Fang musste wiederholt werden.

Aufgrund ergiebiger Sommerniederschläge bei abgeerntetem Acker (=geringe Verdunstung) waren die Bedingungen ab Mitte September günstig für Regenwurmfänge (im Hochsommer war es zu warm). Die Regenwurmuntersuchungen im Acker wurden am 17. und 22.9. durchgeführt, das Grünland wurde am 18.10. beprobt. Der Boden war bei der Probenahme feucht und es wurden keine Regenwürmer im Ruhestadium gefunden. Die Untersuchung der Regenwurmröhren erfolgt praktisch zeitgleich mit dem Regenwurmfang.

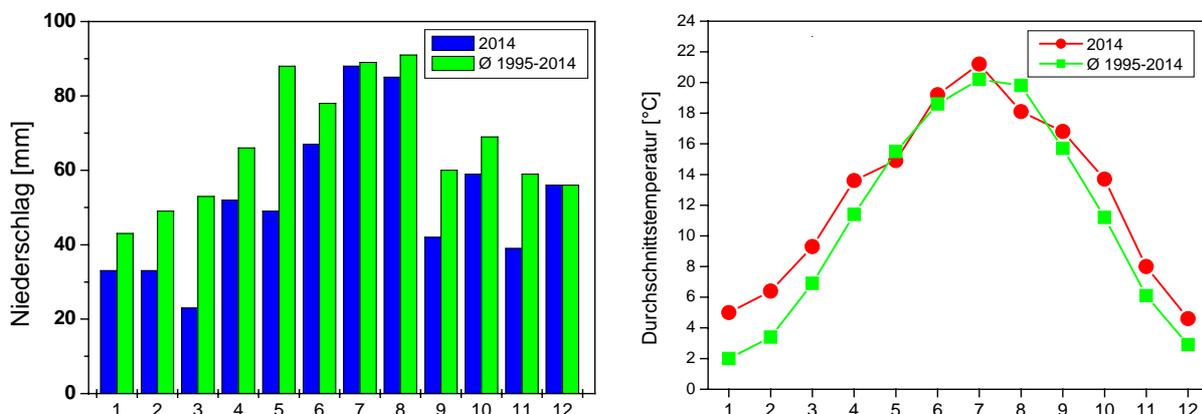


Abb. 3: monatliche Niederschläge 2014 (links) und monatliche Durchschnittstemperaturen 2014 (rechts) im Vergleich zum Mittel 1995-2014

Tab. 1: Temperatur und Bodenfeuchte bei Probenahme

	Termin		Bodenfeuchte**	Luft- u. Bodentemperatur**			Lage Probestellen	
	Regenwurmfang	Regenwurm-röhren		10-30 cm* pF	Uhrzeit	Boden in 10 cm Tiefe [°C]	Luft in +100 cm [°C]	Rechtswert
Pflug	17.09.14	22.9.-26.9.14.	2,7	10. ⁰⁰	17	21	3473749	5479246
Mulch	17.09.14.		2,7	10. ⁰⁰	17	21	3473751	5479190
Direktsaat	22.09.14		2,5	10. ⁰⁰	17	13	3473766	5479175
Grünland	18.10.14	18.10.14.	2,5	10. ⁰⁰	14	15	3472448	5481431

* ermittelt mittels Fingerprobe. Die Bodenoberfläche und die obersten 5 cm waren im Acker bei allen 3 Varianten deutlich trockener ** am Termin des Regenwurmfanges

2.4. Methoden zur Erfassung der Regenwürmer

Alle Regenwurmfänge wurden mit einer Kombination von drei Methoden durchgeführt. Nach einem Elektrofang (je 1/8 m²; Thielemann 1986) wurde von einer Teilfläche (1/30 m²) eine Handauslese durchgeführt (siehe Bild 4). Die Handauslese erfolgte in den Ackervarianten bis zur Untergrenze des Ap-Horizontes (maximal 20 cm), im Grünland wurde 25 cm tief nachgegraben. Nach der Handauslese wurde das Loch der Handauslese auf 1/8 m² erweitert und eine Austreibung mit AITC (Allylisothiocyanat, 100 mg AITC je Liter Wasser, 20 l Lösung je m², Zaborski, 2003) durchgeführt. Jede Variante wurde mit 6 Wiederholungen beprobt.

2.5. Bestimmung der Regenwürmer

Ermittelt wurden Abundanzen und Biomassen (Frischgewicht, ausgekotet). Die Bestimmung der Regenwürmer erfolgte am lebenden Tier, adulte und juvenile Tiere wurden bis zur Art bestimmt. Nur bei einigen sehr kleinen juvenilen Regenwürmern und wenigen verletzten Tieren sowie bei juvenilen Octolasion war dies nicht möglich. Für die Bestimmung wurden die Schlüssel von Graff (1953) und Zicsi (1994) verwendet



Bild 3: Aporectodea caliginosa im Ruhestadium



Bild 4: Geräte für Elektrofischfang und Handauslese. Das Foto wurde im Herbst 1998 am Standort Efringen-Kirchen aufgenommen. Energiequelle für den Elektrofischfang ist eine 12V-Bleibatterie. Das Regenwurmfanggerät (vorne links) wandelt den 12V Gleichstrom in Wechselstrom-Impulse von 100-600 V (regelbar) um. Diese werden von 8 kreisförmig angebrachten Metallstäben in den Boden geleitet. Rechts vorne ist ein Sammelgefäß. Die Regenwürmer werden auf feuchtem Fließpapier gehältert und bis zur Bestimmung gekühlt. Hinten rechts sind Spaten und Eimer für die Handauslese (der Spezialspaten neben dem Eimer wurde 2014 nicht verwendet).

2.6. Präparation und Zählung der Regenwurmröhren

Die Regenwurmröhren wurden in allen 3 Bodenbearbeitungsvarianten und in der Wiese untersucht. Dazu wurden horizontale Flächen (70 cm x 50 cm) präpariert. Bei allen Varianten wurden diese Flächen in 40 und 70 cm Tiefe angelegt. Schon die erste Tiefe liegt unterhalb des aktuellen bzw. früheren gepflügten Bereiches. So ist sichergestellt, dass Röhren nicht direkt durch Bearbeitung gestört wurden. Jede Variante wurde aufgrund des hohen Aufwandes mit 4 Wiederholungen untersucht.

Vor dem Aufgraben des Bodens wurde eine Brilliant-Blue-Lösung (30 l /m²) mit der Gießkanne in der Intensität eines Starkregens ausgebracht (Bild 10). Dabei wurde soweit wie möglich Oberflächenabfluss vermieden. Dadurch kann ± zwischen Röhren mit Kontakt zur Bodenoberfläche (= blaugrün gefärbt) und Röhren ohne Kontakt zur Bodenoberfläche (ungefärbt, meist älter) unterschieden werden.

Das Aufgraben des Bodens erfolgte frühestens 1 Stunde nach dem Ausbringen der Brilliant-Blue-Lösung. Die Grube wurde dabei mit Spaten und Schaufel vorgegraben und anschließend mit einer Maurerkelle auf knapp Endtiefe gebracht. Die letzten 5 –10 mm wurden mit einem scharfen Maurerkelle sorgfältig (ohne Verschmieren) entfernt. Anschließend wurde die Fläche mit einem Handstaubsauger vorsichtig abgesaugt. Die so präparierte Fläche wurde mit einer hochauflösenden Spiegelreflexkamera fotografiert. Nach einer Farb- und Formkorrektur wurden die Röhren dann am PC-Monitor gezählt. Die Röhren wurden in 3 Klassen eingeteilt: 3-5 mm, >5-7 mm und >7 mm Durchmesser. Erfasst wurden nur Röhren die mindestens zu 50 % offen waren. Unterschieden wurde zwischen gefärbten und ungefärbten Röhren

3. Ergebnisse der Regenwurmuntersuchungen

Die Untersuchung der Regenwurmpopulation ergab folgende Ergebnisse:

- Die Gesamtbiomasse der Regenwürmer ist in der Direktsaat (265 g/m²) und im Grünland (303 g/m²) außergewöhnlich hoch (Abb. 4). In Baden-Württembergischen Äckern wurden bisher nur einmal höhere Regenwurmbiomassen gefunden (Abb. 5).
- Die meisten Arten wurden nicht wie erwartet im Grünland (5 Arten) sondern in der Direktsaat (7 Arten) gefunden. In der Pflugvariante wurden noch 5 Arten gefunden, dabei waren zwei Arten (*A. rosea* und *A. longa*) allerdings mit nur je einem juvenilen Exemplar vertreten. Die Mulchsaat war mit 3 Arten am artenärmsten (Tab. 2).
- Hinsichtlich Biomasse dominierte bei der Pflug- und Mulchvariante deutlich die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris*, daneben war noch die Biomasse von *A. caliginosa* und *A. chlorotica* relativ hoch. Bei der Direktsaat war erstaunlicherweise die Biomasse von *A. caliginosa* größer als die Biomasse von *L. terrestris* (Abb. 6).
- Epigäische Regenwurmart haben an diesem Standort nur eine sehr geringe Bedeutung.
- Die Direktsaat weist von den Ackervarianten die meisten Regenwürmer und die größten Biomassen auf. Die Unterschiede zum Pflug (Faktor 5!) und zur Mulchvariante (Faktor 3,7) sind sehr deutlich. Die Unterschiede zwischen Direktsaat und den anderen beiden Ackervarianten sind bei den anezischen und überraschenderweise auch bei den endogäischen Arten sehr deutlich (Abb. 7).
- Hingegen sind die Unterschiede zwischen Pflug- und Mulchvariante gering, bei der Gesamtzahl der Regenwürmern sind sie gleich, bei der Biomasse weist die Mulchvariante etwas höhere Werte auf.
- Das Grünland weist noch etwas höhere Biomassen als die Direktsaat auf aber die Anzahl der Regenwürmer ist etwas geringer.

Trotz relativ geringer Niederschläge ist der Standort Dossenheim aufgrund des tiefgründigen lehmigen Bodens sehr günstig für Regenwürmer. Bei günstiger Bewirtschaftung (Wiese bzw. Direktsaat) erreichen die Regenwürmer weit überdurchschnittliche Abundanzen und Biomassen.

Durch Bodenbearbeitung werden die Regenwürmer stark beeinträchtigt. Bedenklich ist dass auch am Standort Dossenheim die Mulchvariante praktisch nicht mehr Regenwürmer als die Pflugvariante aufweist. Auch an den Standorten Efringen-Kirchen und Grünsfeldhausen war die Mulchvariante schon nicht günstiger für Regenwürmer als die Pflugvariante. Daraus könnte man schließen dass in ihrer aktuellen Ausprägung die Mulchvariante keinen Vorteil für Regenwürmer gegenüber der Pflugvariante bietet.

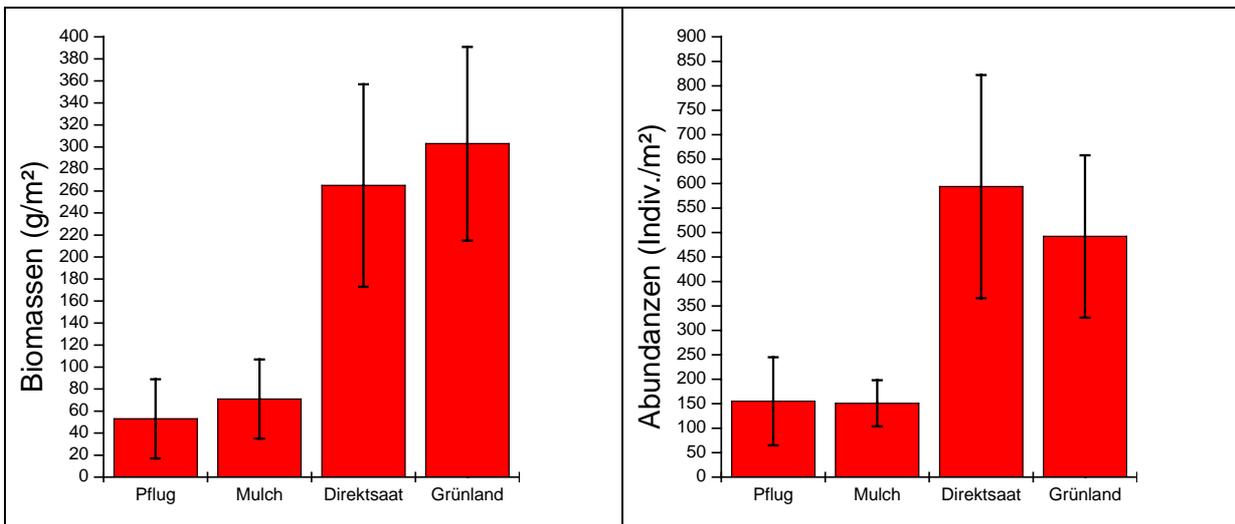


Abb. 4: Biomassen und Abundanzen von Regenwürmern bei Pflug, Mulch, Direktsaat und Grünland

Tab. 2: Artenliste Dossenheim

	Pflug	Mulch	Direktsaat	Grünland
epigäische				
Lumbricus castaneus	-	-	•	•
Lumbricus rubellus	-	-	•	-
endogäische				
Aporrectodea caliginosa	•	•	•	•
rosea	(•)	-	•	•
Allolobophora chlorotica	•	•	•	-
anezische				
Lumbricus terrestris	•	•	•	•
Aporrectodea longa	(•)	-	(•)	•
Summe Arten	5	3	7	5

• = nachgewiesenes Vorkommen (•) Vorkommen unsicher (nur juvenile, nicht sicher bestimmbare Tiere) - = kein Vorkommen

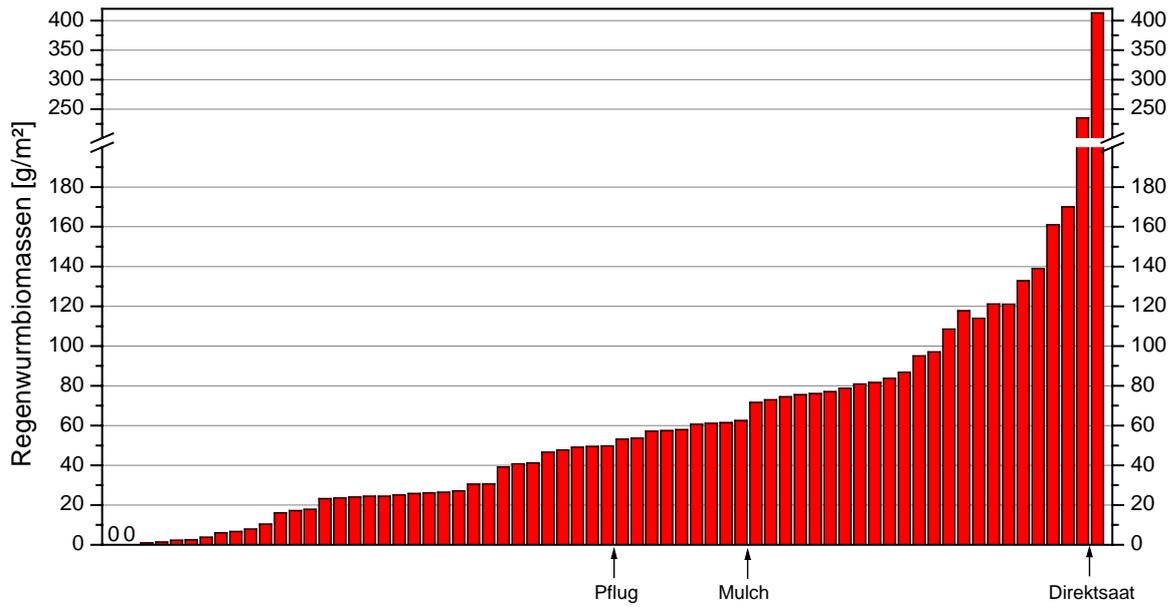


Abb. 5: Vergleich der Regenwurmbiomassen mit anderen Ackerstandorten in Baden-Württemberg (67 verschiedene Standorte, davon 7 Direktsaatflächen; Zeitraum 1989 – 2011; Quelle: Ehrmann unveröffentlicht)

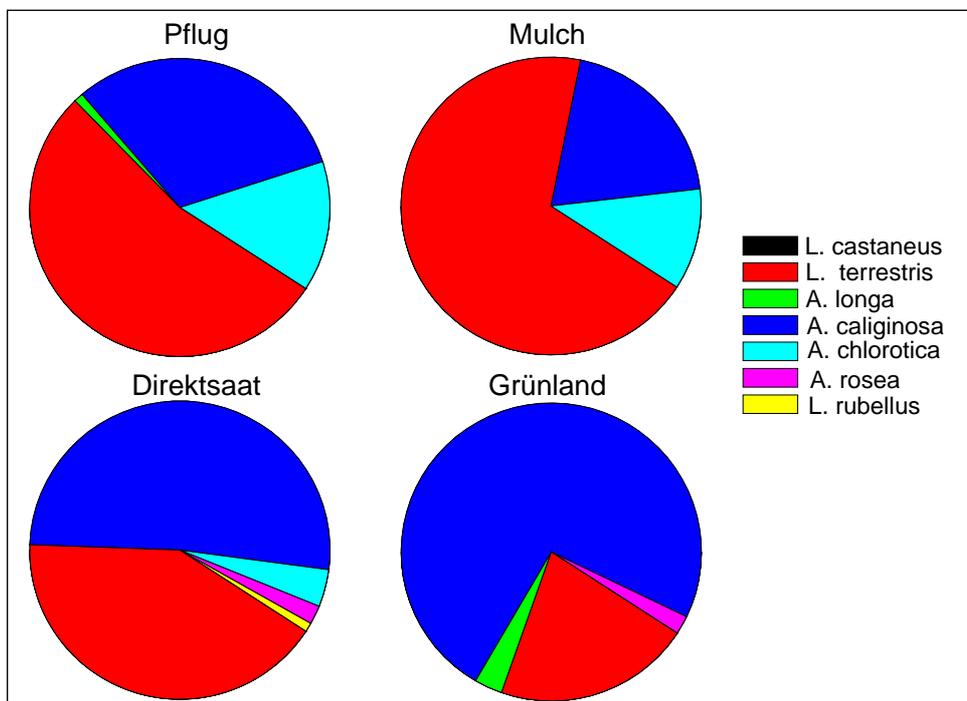


Abb. 6: Anteil der verschiedenen Regenwurmart an der Biomasse im Herbst 2014

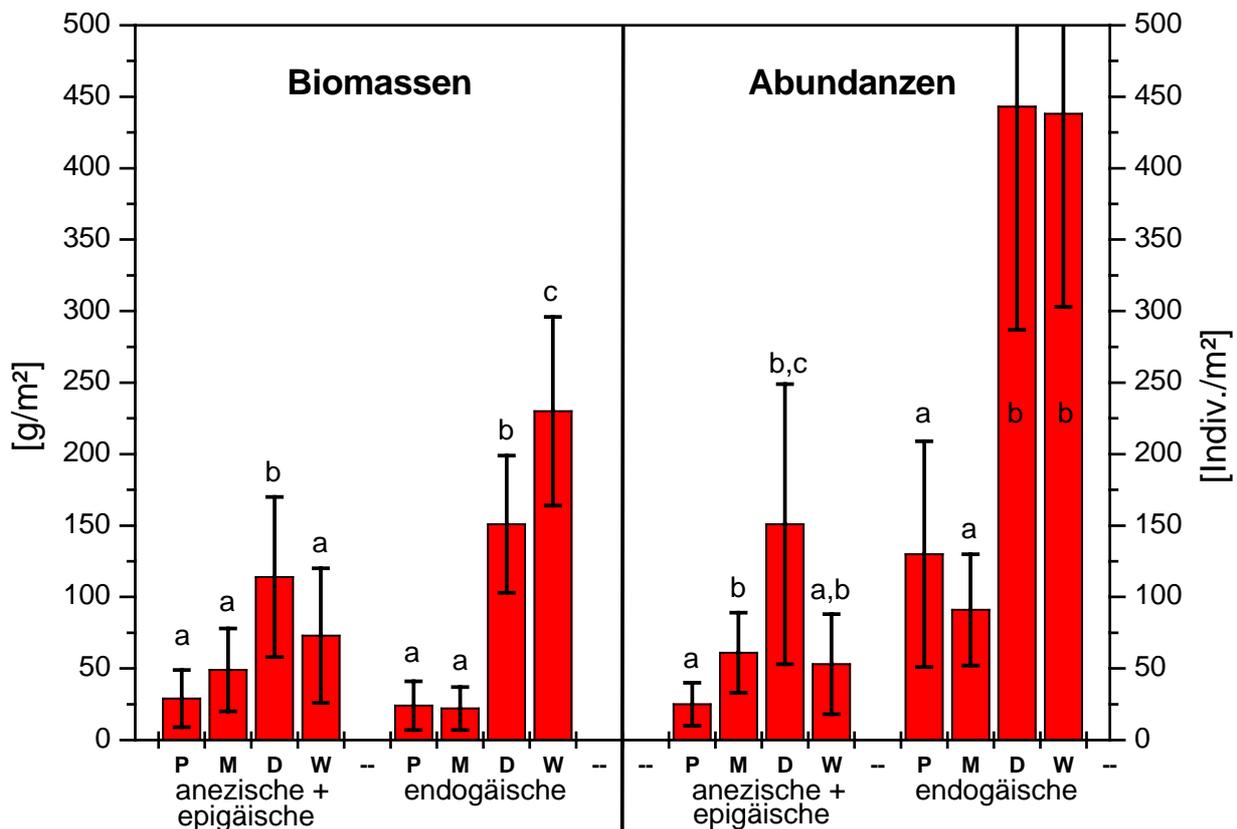


Abb. 7: Biomassen und Abundanzen bei Pflug (P), Mulch (M), Direktsaat (D) und Grünland (W) differenziert nach ökologischen Gruppen. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind mit Kleinbuchstaben dargestellt (unterschiedliche Kleinbuchstaben = Unterschied stat. gesichert, U-Test, $\alpha=0,05$). Die Unterschiede zwischen Direktsaat und Pflug/Mulch sind mit Ausnahme der Anzahl epigäischer+anezischer Regenwürmer in der Mulchvariante jeweils signifikant.

Deutliche Unterschiede zwischen Direktsaat und Pflug wurden auch bei anderen Untersuchungen gefunden (z.B. Barnes & Ellis 1979, Henke 1989, Jossi et al. 2011). Hier zeigte sich auch die nachteilige Wirkung von Bodenbearbeitung auf Regenwürmer – normalerweise vor allem auf die größeren anezischen Arten. Diese werden nicht nur direkt geschädigt, sondern auch ihre Nahrungsquelle (Streu an der Bodenoberfläche) wird vergraben. Am Standort Dossenheim scheint aber die endogäische Art *A. caliginosa* durch Bodenbearbeitung noch stärker beeinträchtigt zu werden (Abb. 6).

Feldraine und bewirtschaftetes Grünland weisen bei gleichem Boden in der Regel deutlich größere Abundanzen, Biomassen und Artenzahlen als Äcker auf (Ehrmann 1994). Jossi et al. (2011) fanden z.B. in Grünland mehr Regenwürmer als im Acker - auch im Vergleich zur Direktsaat. Am relativ trockenen Standort Dossenheim sind die Unterschiede zwischen Direktsaat und Grünland gering (das Grünland verbraucht im Jahreslauf idR mehr Wasser als Getreide, dies ist weniger günstig für Regenwürmer), die Differenz zur Pflug- und Mulchvariante ist aber sehr groß.

3.1. Vergleich mit anderen Standorten des Systemvergleichs

In den Vorjahren wurden schon 2 Standorte des Systemvergleichs untersucht (Herbst 2011: Efringen Kirchen, Frühjahr 2013: Grünsfeldhausen). Efringen-Kirchen weist Niederschläge in ähnlicher Höhe wie Dossenheim auf und hat ebenfalls eine Ackerzahl von ca. 80 auf, der Boden in Dossenheim ist aber toniger und der Standort ist fast 1° C wärmer. Grünsfeldhausen ist ein sehr flachgründiger Standort im Muschelkalk (Ackerzahl nur 35). Der Standort ist zudem niederschlagsärmer (nur 615 mm) und ähnlich warm wie Efringen Kirchen.

Die Abundanzen und Biomassen der Regenwürmer sind am Standort Dossenheim ähnlich groß wie bei Efringen-Kirchen (Ausnahme: höhere Abundanz in der Direktsaat in Dossenheim). Erstaunlicherweise sind die Abundanzen und Biomassen am Standort Grünsfeldhausen nicht drastisch geringer als an den beiden anderen Standorten mit den viel besseren Böden, bei der Pflugvariante sind sie sogar gleich groß (Abb.8).

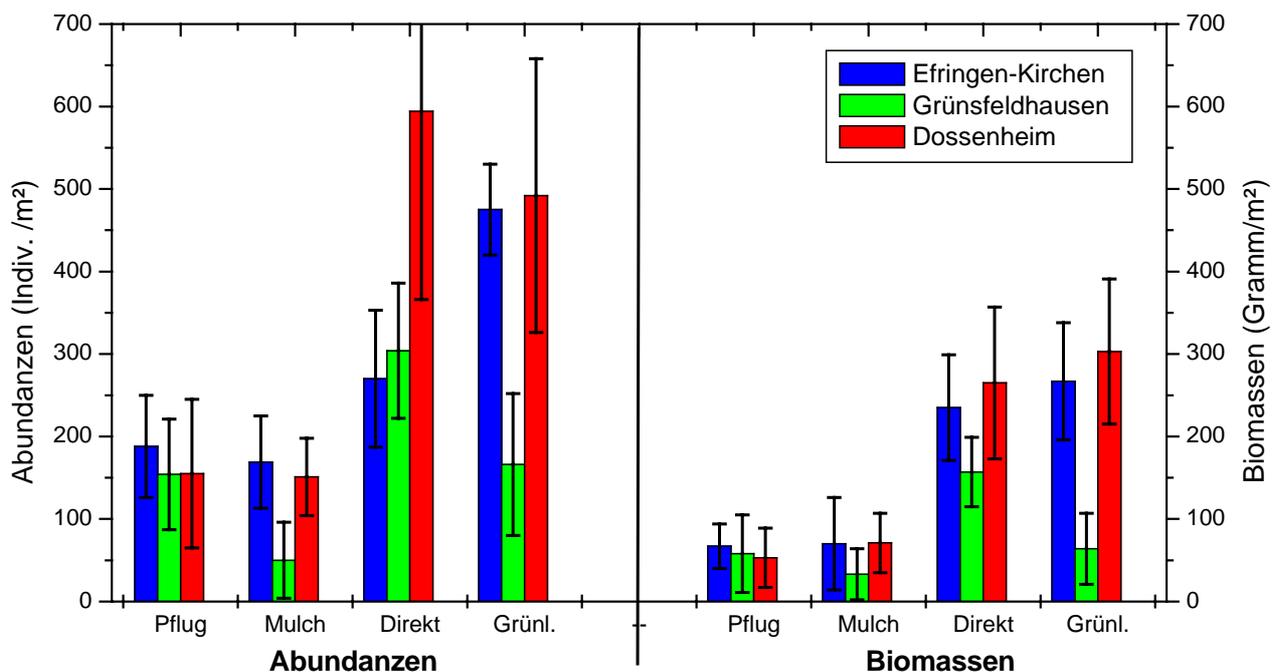


Abb. 8: Vergleich der Regenwurmpopulation von Dossenheim mit Dossingen, Efringen-Kirchen und Grünsfeldhausen

4. Ergebnisse der Untersuchung der Regenwurmröhren

Die Untersuchung der Regenwurmröhren in **40 cm Tiefe** ergab folgende Ergebnisse (Abb. 9):

- 3-5 mm Durchmesser: Mulch < Pflug < Direktsaat < Grünland.
- 5-7 mm Durchmesser: Mulch < Pflug << Grünland < Direktsaat.
- >7 mm Durchmesser: Pflug = Mulch < Grünland < Direktsaat.

Kein Unterschied ist statistisch gesichert (U-Test, $\alpha=0,05$; Anmerkung: die Anforderungen sind bei $n=4$ hoch, es müssen alle 4 Einzelwerte einer Variante über der Vergleichsvariante liegen). Pflug und Mulch unterschieden sich nur wenig, die Werte in der Direktsaat und im Grünland waren meist höher.

Hingegen gibt es in **70 cm Tiefe** deutliche Unterschiede zwischen den Varianten (Abb. 10). Im Acker gibt es bei allen drei Größenklassen immer die Abfolge:

- Pflug < Mulch < Direktsaat.

Das Grünland weist bei den kleinen und mittleren Röhren die niedrigsten Werte auf, bei den großen Röhren liegt es etwas unter der Mulchsaat. Ein Teil der Unterschiede ist bei Röhren von 5-7 und > 7 mm Durchmesser statistisch gesichert.

Vergleicht man die **Röhrenzahl beider Tiefen** (Abb. 12) so zeigt sich dass kleine Röhren mit zunehmender Tiefe abnehmen, mittlere Röhren \pm gleich bleiben und größere Röhren deutlich zunehmen. In 40 cm Tiefe kommen mehr kleinere Regenwürmer vor, in 70 cm findet man vor allem die Bauten der großen tiefgrabenden Art *L. terrestris*. Deren Anzahl ist im Unterboden nicht deswegen höher weil sie dort mehr Röhren graben, sondern weil die Röhren dort einfach viel länger halten.

Differenziert man die Regenwurmröhren nach **gefärbt/ungefärbt** so zeigt sich, dass bei den ungefärbten (eher älteren) Röhren die Unterschiede zwischen den Varianten ziemlich gering sind (Abb. 11), bei den gefärbten (vermutlich jüngeren) Röhren gibt es bei beiden Tiefen und allen drei Größenklassen die Abfolge:

- Pflug < Mulch < Direktsaat.

Die Wiese liegt bei den gefärbten Röhren unter der Direktsaat.

In 40 cm Tiefe ist der Anteil der gefärbten Röhren in der Regel höher als in 70 cm Tiefe, bei der Direktsaat sind mehr Röhren gefärbt als bei der Pflugvariante (Abb. 13).

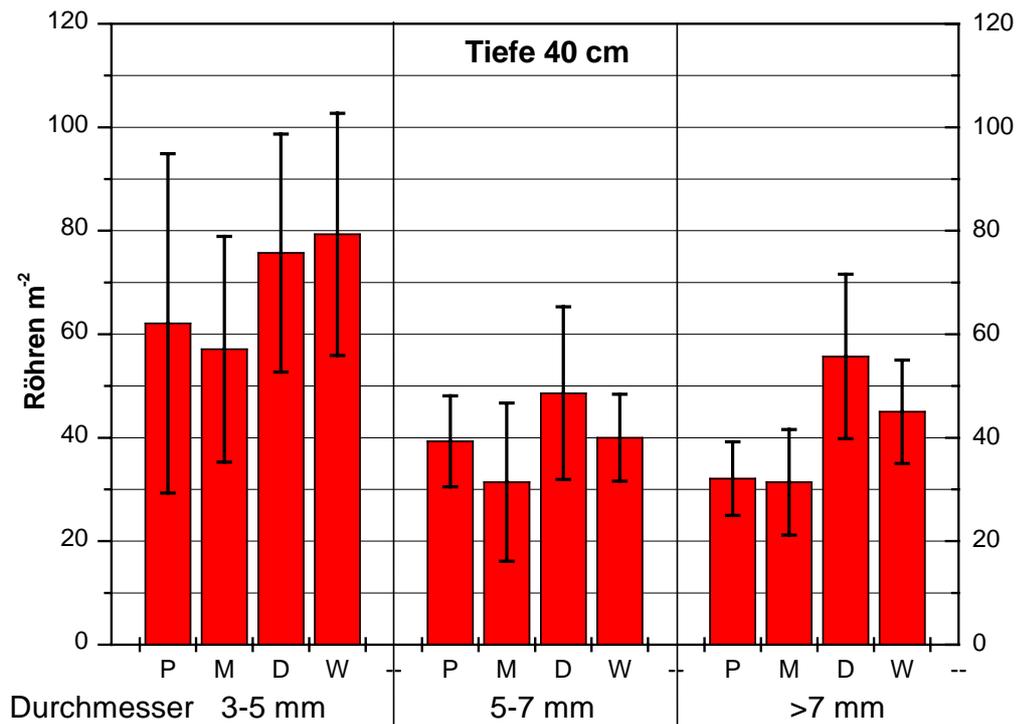


Abb. 9: Anzahl von Regenwurmröhren bei Pflug (P), Mulch (M), Direktsaat (D) und Grünland (W) in 40 cm Tiefe. Die Unterschiede zwischen allen Varianten sind bei allen drei Größenklassen immer nicht signifikant (U-Test, $\alpha=0,05$).

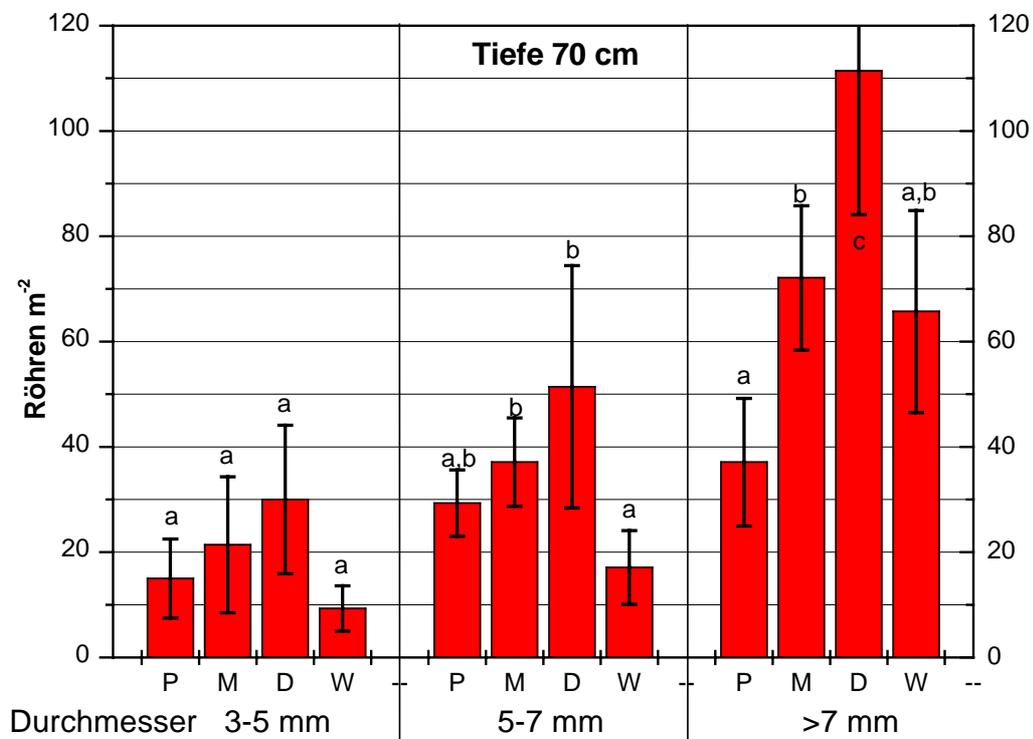


Abb. 10: Anzahl von Regenwurmröhren bei Pflug (P), Mulch (M), Direktsaat (D) und Grünland (W) in 70 cm Tiefe. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind mit Kleinbuchstaben dargestellt (unterschiedliche Kleinbuchstaben = Unterschied stat. gesichert, U-Test, $\alpha=0,05$).

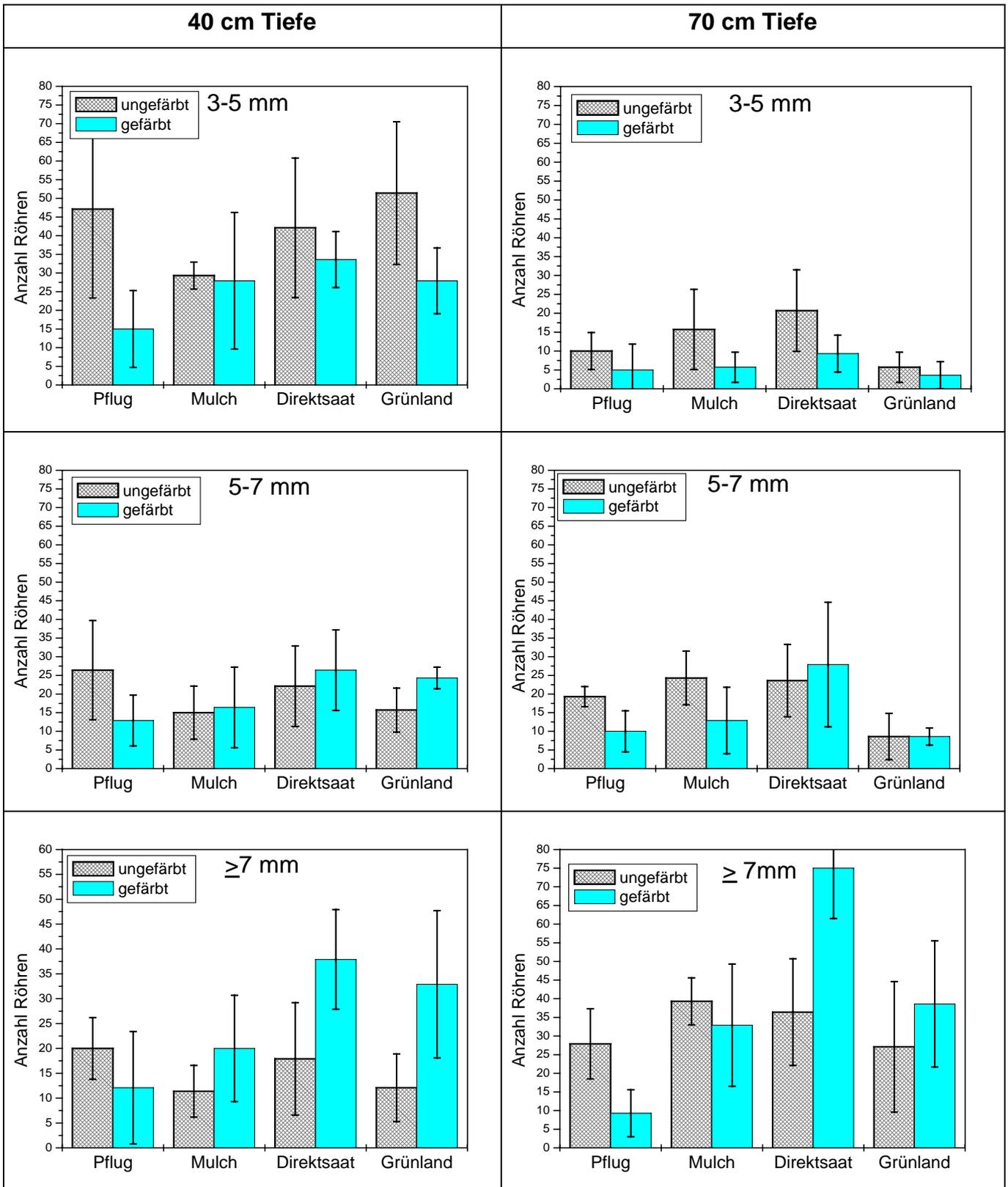


Abb. 11: gefärbte und ungefärbte Regenwurmröhren in 40 und 70 cm Tiefe. Die Regenwurmröhren sind nach Größenklassen unterteilt.

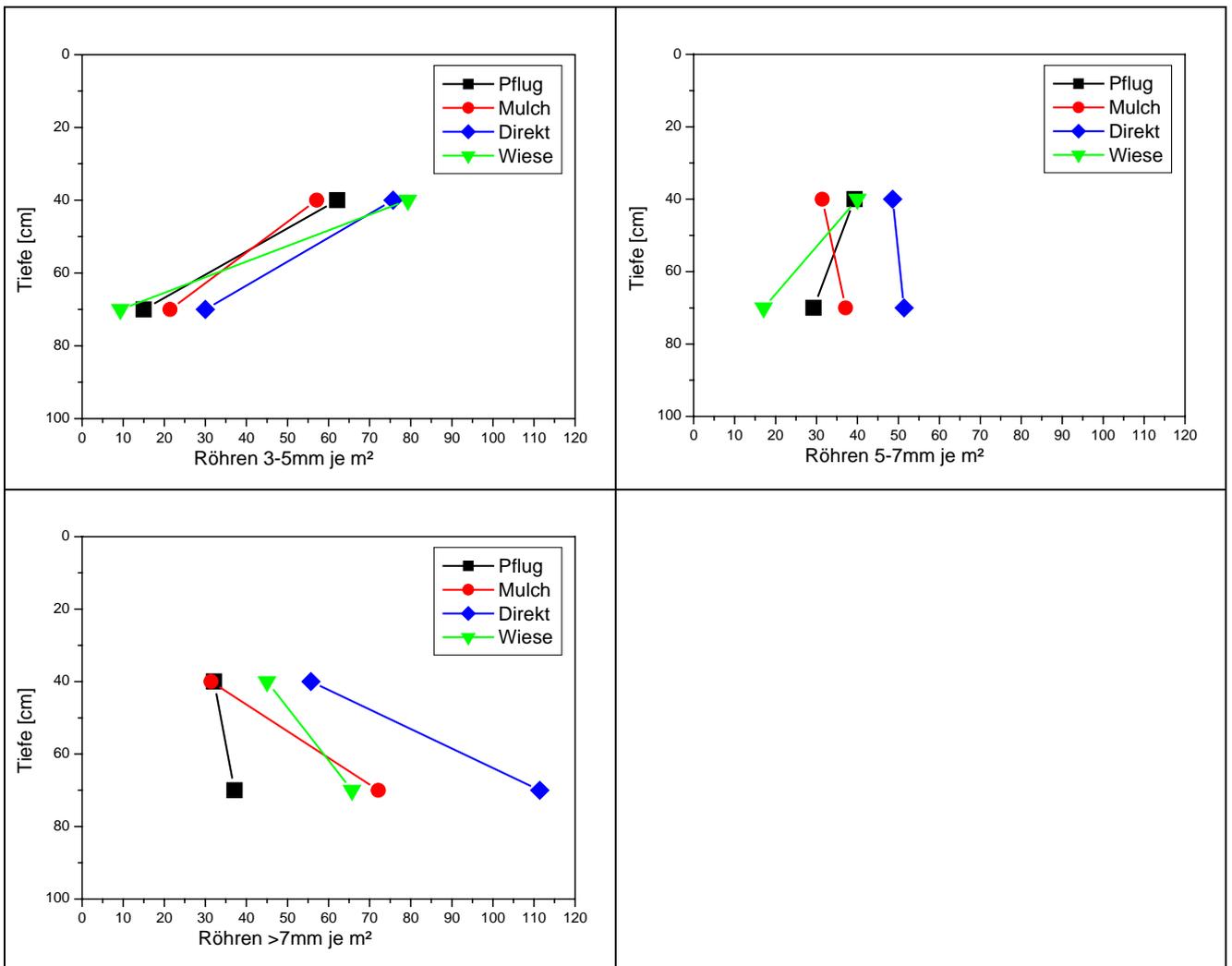


Abb. 12: Veränderung der Röhrenzahl von 40 auf 70 cm Tiefe

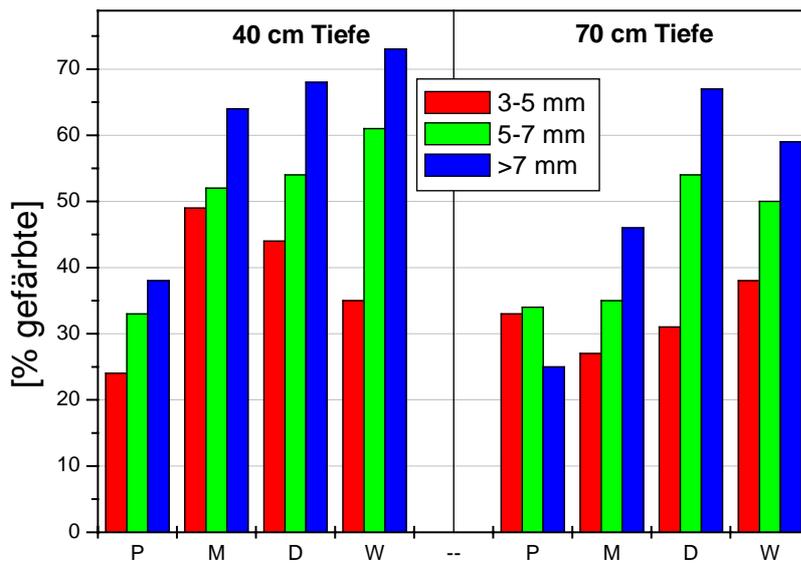


Abb. 13: Anteil der gefärbten Regenwurmröhren in Abhängigkeit von Tiefe, Bewirtschaftung und Größenklasse

5. Korrelation Regenwurmröhren – Regenwürmer

Am Standort Dossenheim wurden unter gleichen Standortsbedingungen, in nur wenigen Metern Abstand zueinander, jeweils Regenwürmer und Regenwurmröhren untersucht. (da beide Methoden destruktiv sind können solche Untersuchungen nicht exakt an der gleichen Stelle durchgeführt werden). Daher kann eine Korrelation zwischen Anzahl der Regenwurmröhren und der Anzahl Regenwürmer berechnet werden. Sinnvoll ist dies aber nur für Regenwurmröhren ≥ 7 mm Durchmesser:

- Regenwurmröhren mit einem Durchmesser von ≥ 7 mm werden am Standort Dossenheim nur von adulten oder subadulten *Lumbricus terrestris* angelegt. Deren Anzahl ist bekannt. Daher ist die Berechnung einer Korrelation möglich.
- Röhren < 7 mm Durchmesser können von verschiedenen Arten angelegt werden, z.B. von adulten *A. caliginosa* oder juvenilen *Lumbricus terrestris*. Daher ist die Erstellung einer Korrelation bei Röhren < 7 mm nicht besonders sinnvoll.

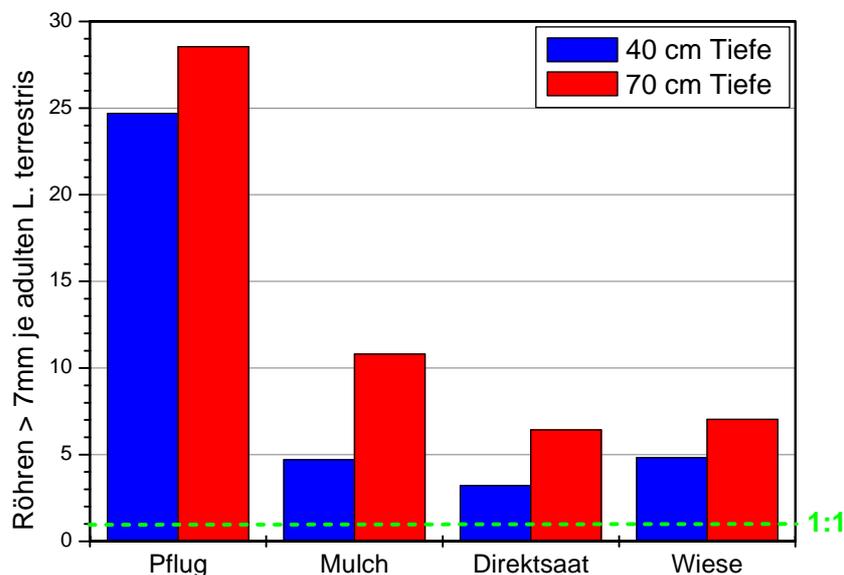


Abb. 14: Anzahl an großen Regenwurmröhren in Abhängigkeit von der Anzahl großer adulter *Lumbricus terrestris*.

Die Berechnungen mit Röhren > 7 mm Durchmesser zeigen folgende Ergebnisse (Abb. 14 und Abb 15):

- In beiden Tiefen des Unterbodens gibt es je Fläche wesentlich mehr Regenwurmröhren als tiefgrabende Regenwürmer. Dies gilt für alle Varianten. Besonders eklatant ist der Unterschied in der Pflugvariante. Dort gibt es in 40 cm Tiefe fast 25-mal mehr Röhren und in 30 cm Tiefe fast 30-mal mehr Röhren als Regenwürmer.
- In beiden Tiefen gibt es eine eindeutige positive Korrelation zwischen der Anzahl der adulten Regenwürmer und der Gesamtzahl der Regenwurmröhren ≥ 7 mm Durchmesser. Das R^2 liegt dabei immer über 0,85. Die Gerade für „alle Röhren“ (gefärbte und ungefärbte Röhren; rote Linie) verläuft aber eindeutig nicht durch den Nullpunkt. Es gibt also in beiden Tiefen einen Grundbestand an Röhren der nicht mit der aktuellen Regenwurmpopulation zusammenhängt. Betrachtet man nur die „gefärbten“ Röhren (blaugrüne Linie) dann ist das R^2 sogar noch etwas höher und die Gerade verläuft in 70 cm Tiefe - nicht aber in 40 cm Tiefe - \pm durch den Nullpunkt

- Die Steigung der Gerade ist innerhalb einer Tiefe für „gefärbte“ und „alle Röhren“ praktisch gleich, zwischen den beiden Tiefen 40 und 70 cm aber sehr verschieden. In 40 cm liegt die Steigung der Gerade bei 1,6-1,7, in 70 cm Tiefe ist der Anstieg mit 4,1-4,4 deutlich steiler.

Erläuterungen

Die Anlage einer tiefreichenden Röhre ist aufwändig, daher haben Bauten tiefgrabender Regenwürmer zwar Verzweigungen an der Bodenoberfläche aber in der Regel nur eine Röhre im Unterboden. Auch verlassen tiefgrabende Regenwürmer vermutlich höchst selten ihre Wohnröhre und legen eine neue an – die Investitionen in den Bau der Röhre und die an der Oberfläche gesammelte Streu wären verloren.

Die relative höhere Anzahl von Röhren im Unterboden erklärt sich vielmehr durch die lange Haltbarkeit von Röhren in tieferen Bodenschichten. Die Röhre bleibt dort auch nach dem Absterben des Regenwurms noch längere Zeit offen. Die Haltbarkeit ist umso besser je tiefer sich die Röhren im Boden befinden und je weniger Störungen erfolgen. In 40 cm Tiefe werden Regenwurmröhren z.T. durch die Losungen anderer Regenwürmer verschlossen und vielleicht werden sie auch eher durch Verdichtungen zerstört. In 70 cm Tiefe sind diese Einflüsse geringer. Daher findet man in 70 cm Tiefe besonders viele Regenwurmröhren.

Schlussfolgerungen

Die Gesamtzahl der großen Regenwurmröhren im Unterboden ist also in der Regel eine Folge der Bewirtschaftung der letzten Dekaden und nicht nur eine Folge der aktuellen Bewirtschaftung. Maßnahmen welche die Anzahl der tiefgrabenden Regenwürmer verändern wirken sich daher kurzfristig kaum auf die Anzahl der Regenwurmröhren im Unterboden aus, längerfristig sind aber Veränderungen zu erwarten.

Eine dauerhafte Reduktion der Anzahl tiefgrabender Regenwürmer würde zu einer allmählichen Verschlechterung des Unterbodengefüges an Standorten an denen potentiell tiefgrabende Regenwürmern vorkommen können führen. Die Folgen sind dann eine allmählich zunehmende Staunässe wg. verringerter Infiltration, eine zunehmende Trockenheitsanfälligkeit von Beständen aufgrund eingeschränkter Durchwurzelung und eine Zunahme der Erosion bei Starkregen. Betroffen davon sind vor allem die besten Böden (z.B. Parabraunerden), in Sandböden oder flachgründigen Muschelkalkrendzinen wird dies kaum Bedeutung haben.

Problematisch ist dass die Auswirkungen einer Verminderung der Anzahl von Regenwurmröhren im Unterboden weder von den Landwirten noch im Rahmen von üblichen mehrjährigen Feldversuchen erkannt werden können – die Zeitachse der Veränderungen (Dekaden) ist einfach viel zu lang. Alle Feldversuche bei denen unterschiedliche Bewirtschaftungen geprüft werden die einen deutlichen Einfluss auf tiefgrabende Regenwürmer haben und die nur über einige Jahre durchgeführt werden liefern letztendlich falsche Ergebnisse hinsichtlich Bodengefüge. Sogar bei dem hier vorgestellten 20-jährigen Versuch sind die Veränderungen des Unterbodengefüges noch nicht abgeschlossen! Die Unterschiede zwischen den Varianten werden in den Folgejahren noch größer werden.

Besorgt ist der Autor hinsichtlich der drastischen Veränderungen die in der Landwirtschaft in den letzten 50 Jahren erfolgt sind. Einige Veränderungen sind sicher positiv für Regenwürmer (bessere Düngung, höhere Erträge, Verzicht auf Pflug). Andere Maßnahmen sind aber sicher negativ (z.B: stark zunehmende Achslasten der landwirtschaftlichen Maschinen, zunehmender Pestizideinsatz, vermehrter Einsatz von rotierenden Bodenbearbeitungsgeräten). Besonders negativ ist der weitgehende Verlust

des mehrjährigen Feldfutters und die Substitution durch Silomais bzw. die Zunahme von Energiemais. Die für Regenwürmer beste Kultur wurde durch die ungünstigste ausgetauscht.

Anzuraten wäre In Baden-Württemberg die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen für Regenwürmer. Im Gegensatz zu anderen Bundesländer werden in Baden-Württemberg bisher nur Wälder regelmäßig untersucht.

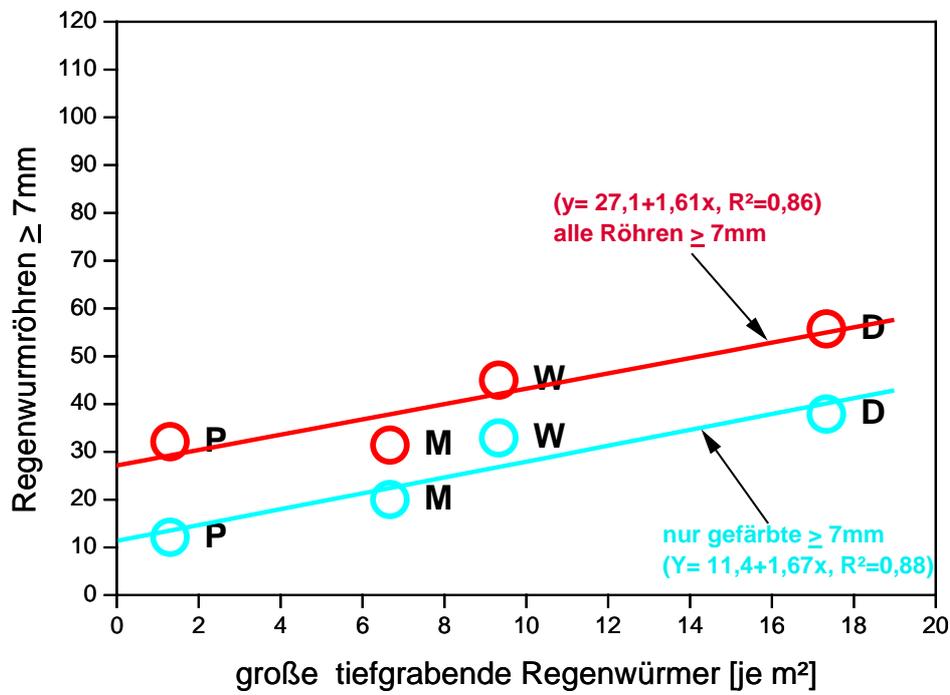


Abb. 15a: Korrelation zwischen der Anzahl von großen Regenwurmröhren und der Anzahl großer Regenwürmer in 40 cm Tiefe (P = Pflug, M = Mulch, D = Direktsaat, W = Wiese)

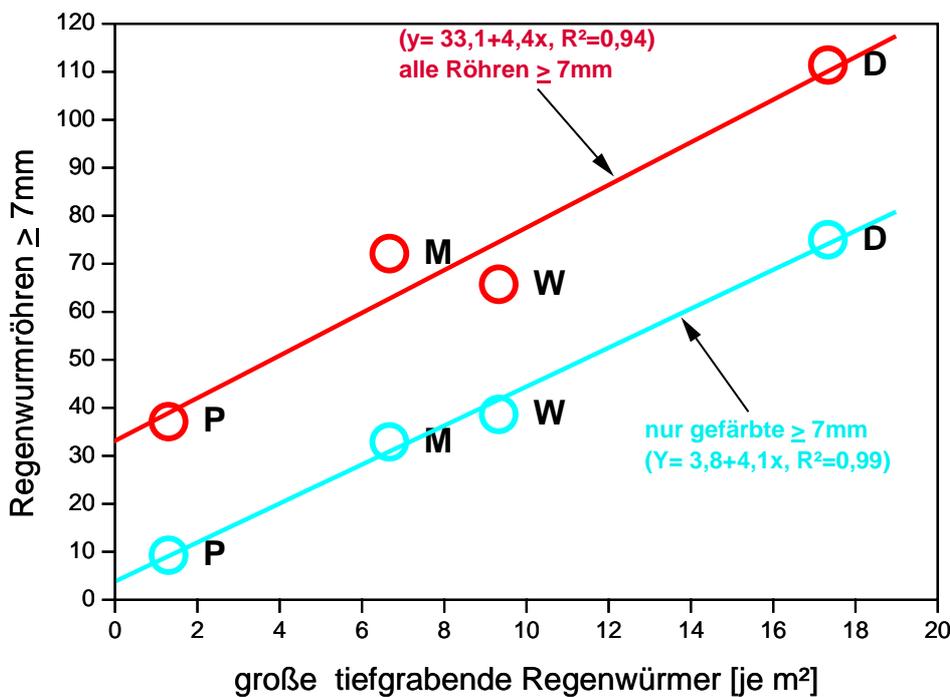


Abb. 15b: Korrelation zwischen der Anzahl von großen Regenwurmröhren und der Anzahl großer Regenwürmer in 70 cm Tiefe (P = Pflug, M = Mulch, D = Direktsaat, W = Wiese)

5.1. Können Regenwürmer Unterbodenverdichtungen lockern?

Regenwürmern können beachtliche Mengen an Losungen auf die Bodenoberfläche legen. Unter günstigen Umständen werden mehr als 5 kg Losungen in einem Jahr auf der Bodenoberfläche abgelegt (Ehrmann 1996). Dadurch wird der Boden gelockert. Der allergrößte Anteil stammt aber aus dem Oberboden – effektiv durch Regenwürmer gelockert werden nur die obersten 10-30 cm.

Das Unterbodengefüge wird flächig nur unter bestimmten Bedingungen (z.B. wie sie an den Standorten der Schwarzerden gegeben sind) allmählich durch Regenwürmer verändert/verbessert – in mitteleuropäischen Böden ist dies idR. kurz- und mittelfristig nicht relevant. In einheimischen Böden beschränkt sich der Einfluss der Regenwürmer im Unterboden im wesentlichen auf die Anlage von Röhren. Das Gesamtvolumen aller Regenwurmröhren lag an den für Regenwürmern günstigen Standort Dossenheim in der günstigsten Variante (Direktsaat) bei unter 1 % des Bodenvolumens. Daraus folgt dass Regenwürmer in Mitteleuropa einen verdichteten Unterboden nicht wieder lockern können.

Anmerkung: Ein verdichteter Unterboden eines schluffreichen Bodens (unsere fruchtbarsten Böden) wird in Mitteleuropa in absehbarer Zeit nicht von alleine wieder locker. Andere biotischen Prozesse (z.B: Wurzeln, andere Bodenfauna) können den Unterboden nicht lockern. Der Einfluss von Frost beschränkt auf den Oberboden. Selten reichen Fröste tiefer als 30 cm und auch dann haben sie nur eine Wirkung wenn genügend Wasser für die Bildung von Eis vorhanden ist. Quellen und Schrumpfen spielt in Lössböden nur eine geringe Rolle.

Tab. 3: Flächenanteil von Regenwurmröhren an der horizontalen Bodenfläche in 40 und 70 cm Tiefe

	40 cm Tiefe [%]				70 cm Tiefe [%]			
	3-5	5-7	>7	Summe	3-5	5-7	>7	Summe
Pflug	0,08	0,11	0,16	0,35	0,02	0,08	0,19	0,29
Mulch	0,07	0,09	0,16	0,32	0,03	0,10	0,36	0,49
Direktsaat	0,10	0,14	0,28	0,51	0,04	0,15	0,56	0,74
Grünland	0,10	0,11	0,23	0,44	0,01	0,05	0,33	0,39

5.1.1. Regenwurmröhren & mechanische Unterbodenlockerung

Der hohe Anteil an gefärbten Röhren in 70 cm Tiefe zeigt dass die Regenwurmröhren über größere Strecken im Unterboden kontinuierlich sind – sonst wären nicht so viele Röhren gefärbt. Eine mechanische Unterbodenlockerung zerstört die Regenwurmröhren mindestens teilweise und unterbricht auf jeden Fall Ihre Kontinuität. Eine Unterbodenlockerung sollte daher in Böden mit einem größeren Vorkommen von Regenwurmröhren im Unterboden (z.B. Parabraunerden) möglichst vermieden werden.

6. Literatur

- Barnes, B.T. und F.B. Ellis (1979): Effects of different methods of cultivation and direct drilling, and disposal of straw residues on populations of earthworms. *Journal of Soil Science* 30, 669-679.
- Dunger, W. (1983): *Tiere im Boden*. Die Neue Brehm Bücherei 327, Ziemsen Verlag, Wittenberg.
- Edwards, W.M.; Shipitalo, M.J.; Traina, S.J.; Edwards, C.A. und L.B. Owens (1992): Role of *Lumbricus terrestris* (L.) burrows on the quality of infiltrating water. In: Kretzschmar, A. (ed.): 4th International Symposium on Earthworm Ecology - Soil Biol. & Biochem. 24, 1555-1462.
- Ehlers, W. (1975): Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soils. *Soil Sci.* 119, 242-249.
- Ehrmann, O. 1994: Regenwürmer in Acker und Feldrain. - *Verh. Ges. Ökol.* 23: 89-93.
- Ehrmann, O. (1996): Regenwürmer in einigen südwestdeutschen Agrarlandschaften: Vorkommen, Entwicklung bei Nutzungsänderungen und Auswirkungen auf das Bodengefüge. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 35, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Stuttgart.
- Ehrmann, O., Sommer, M. und T. Vollmer (2002): Regenwürmer in Wäldern Baden-Württembergs: In: Sommer, M., Ehrmann, O., Friedel, J.K., Martin, K., Vollmer, T. und G. Turian: Böden als Lebensraum für Organismen – Regenwürmer, Gehäuselandschnecken und Bodenmikroorganismen in Wäldern Baden-Württembergs. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 63, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Stuttgart.
- Graff, O. (1953): *Die Regenwürmer Deutschlands*. - *Schr. R. d. Forstsch. Braunschweig*, 81 S.
- Henke, (1989): Lumbriciden und deren Aktivität bei differenzierter Bodenbearbeitung. In Henke (ed): *Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden*, 99 - 108, Symposium Universität Gießen.
- Jossi, W., Zihlmann, U., Anken, T., Dorn, B., von der Heijden, M. u R. Tschachtli (2011): Reduzierte Bodenbearbeitung schont die Regenwürmer *Agrarforschung Schweiz* 2 (10): 432–439
- Krüger, W. (1952): Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Tierwelt der Felder. *Z. Acker u. Pflanzenbau* 95, 261-302.
- Lee, K.E. (1985): *Earthworms - their ecology and relationships with soils and land use*. - Academic Press, London.
- Low, A.J. (1972): The effect of cultivation on the structure and other physical characteristics of grassland and arable soils. *J. Soil Science* 23, 263-280
- Pulleman, M.M., Six, J., van Breemen, N., u. A.G.Jongmans (2005): Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agriculturalmanagement and earthworm activity *M. M. European Journal of Soil Science* 56, 453–467
- Thielemann, U., 1986: Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. - *Pedobiologia* 29: 296-302.
- Zaborski, E.R. (2003): Allyl isothiocyanate: an alternative chemical expellant for sampling earthworms. *Applied Soil Ecology* 22, 87–95
- Zicsi, A. (1994): Die Regenwürmer Österreichs (Oligochaeta: Lumbricidae) mit Bestimmungstabellen der Arten. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 131, 37-74.

7. Anhang

Tab. 4: Regenwurmabundanzen und –biomassen (Mittelwerte)

	Abundanzen (Indiv./m ²)				Biomassen (Gramm/m ²)			
	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.
epigäische								
Lumbricus castaneus	/	/	5,0	2,7	/	/	0,6	0,4
Lumbricus rubellus	/	/	1,3	/	/	/	1,8	/
endogäische								
Aporrectodea caliginosa	69,3	43,5	305,7	389,3	16,3	14,3	134,5	221,7
rosea	1,3	/	46,7	44,0	0,1	/	5,7	7,5
Allolobophora chlorotica	59,0	47,0	86,0	/	7,6	8,1	10,2	/
endogäische juvenile*	/	/	5,0	5,0	/	/	0,7	0,4
anezische								
Lumbricus terrestris	24,0	60,5	122,5	29,0	28,2	49,1	107,3	62,8
Aporrectodea longa	1,3	/	1,3	6,7	0,5	/	0,4	8,2
epig. + anez. juvenile	/	/	20,8	15,0	/	/	3,4	1,8
Gesamt*	155,0	151,0	594,3	491,7	52,7	71,5	264,7	302,7
Gesamt Standardabweichung	90	47	228	166	36	36	92	88

*nicht weiter bestimmbar **Die Kleinbuchstaben geben die statistische Sicherung der Unterschiede an (U-Test, $\alpha = 0,05$).

Tab. 5: Anzahl der Regenwurmröhren in 40 und 70 cm Tiefe

Durchmesser	Mittelwerte (je m ²)				Standardabweichung (je m ²)			
	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.
<i>Tiefe 40 cm</i>								
3 - 5 mm	62,1	57,1	75,7	79,3	32,8	21,8	23,0	23,4
5 - 7 mm	39,3	31,4	48,6	40,0	8,8	15,3	16,7	8,4
> 7 mm	32,1	31,4	55,7	45,0	7,1	10,2	15,9	10,0
<i>Tiefe 70 cm</i>								
3 - 5 mm	15,0	21,4	30,0	9,3	7,5	12,9	14,1	4,3
5 - 7 mm	29,3	37,1	51,4	17,1	6,3	8,4	23,0	7,0
> 7 mm	37,1	72,1	111,4	65,7	12,1	13,7	27,3	19,2

Tab. 6: angebaute Kultur und Bodenbearbeitung

	Kultur	Primärbodenbearbeitung		
		Pflugvariante	Mulchsaat	Direktsaat
2014	Winterweizen	Pflug	Kurzscheibenegge	keine
2013	Winterraps	Pflug	Kurzscheibenegge	keine
2012	Winterweizen	Pflug	Flachgrubber	keine
2011	Winterraps	Pflug	Flachgrubber	keine
2010	Winterweizen	Pflug	Flachgrubber	Flachgrubber!
2009	Silomais	Pflug	Flachgrubber	keine

Dank

Das Aufgraben von 16 Gruben bis zu einer Tiefe von 70 cm - und das anschließende Wiederverfüllen – wurde vor allem von Alexander Möller und von Jens Hofmann durchgeführt. Vielen herzlichen Dank für die Übernahme dieser sehr anstrengenden Arbeit!

Bei Frau Katharina Bodmar möchte ich mich sehr herzlich für die tatkräftige Mithilfe bei den Regenwurmfängen bedanken.

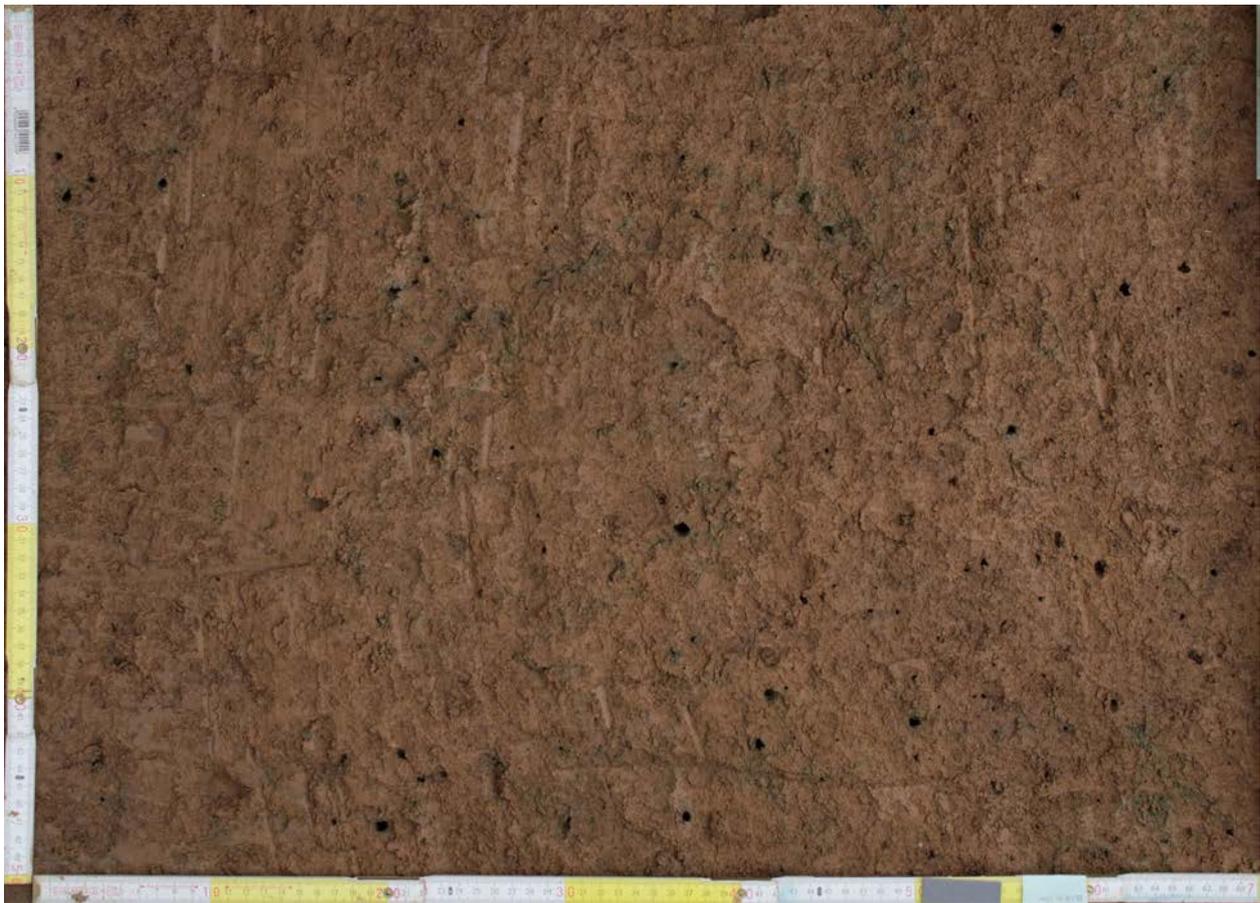


Bild 5: horizontaler Bodenschnitt Pflug (Wiederholung 1, ca. 38 cm Tiefe)

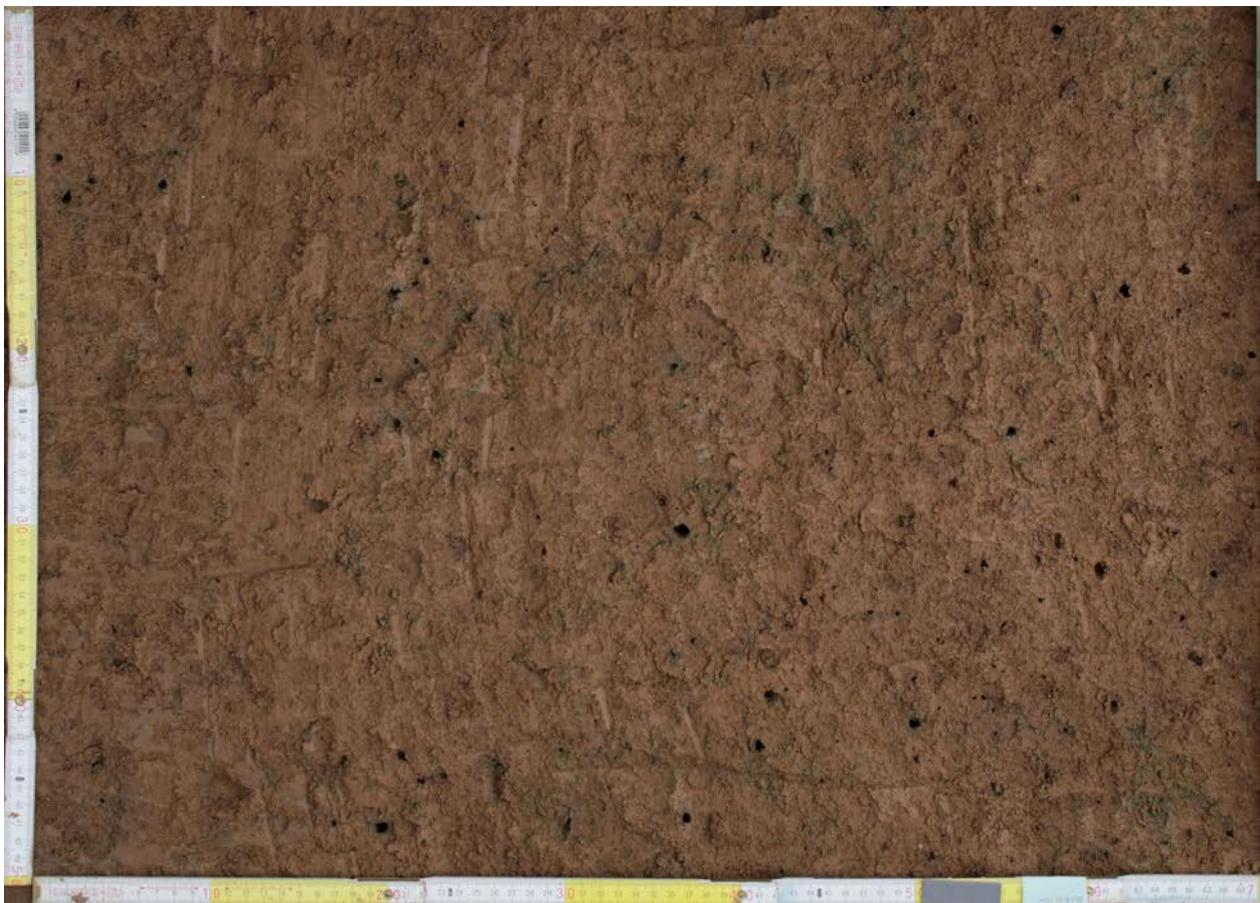


Bild 6: horizontaler Bodenschnitt Mulchsaat (Wiederholung 4, ca. 37 cm Tiefe)



Bild 7: horizontaler Bodenschnitt Direktsaat (Wiederholung 4, ca. 40 cm Tiefe)



Bild 8: horizontaler Bodenschnitt Grünland (Wiederholung 3, ca. 39 cm Tiefe).



Bild 9: horizontaler Bodenschnitt Pflug (Wiederholung 2, ca. 68 cm Tiefe)



Bild 10: horizontaler Bodenschnitt Mulchsaat (Wiederholung 3, ca. 68 cm Tiefe)

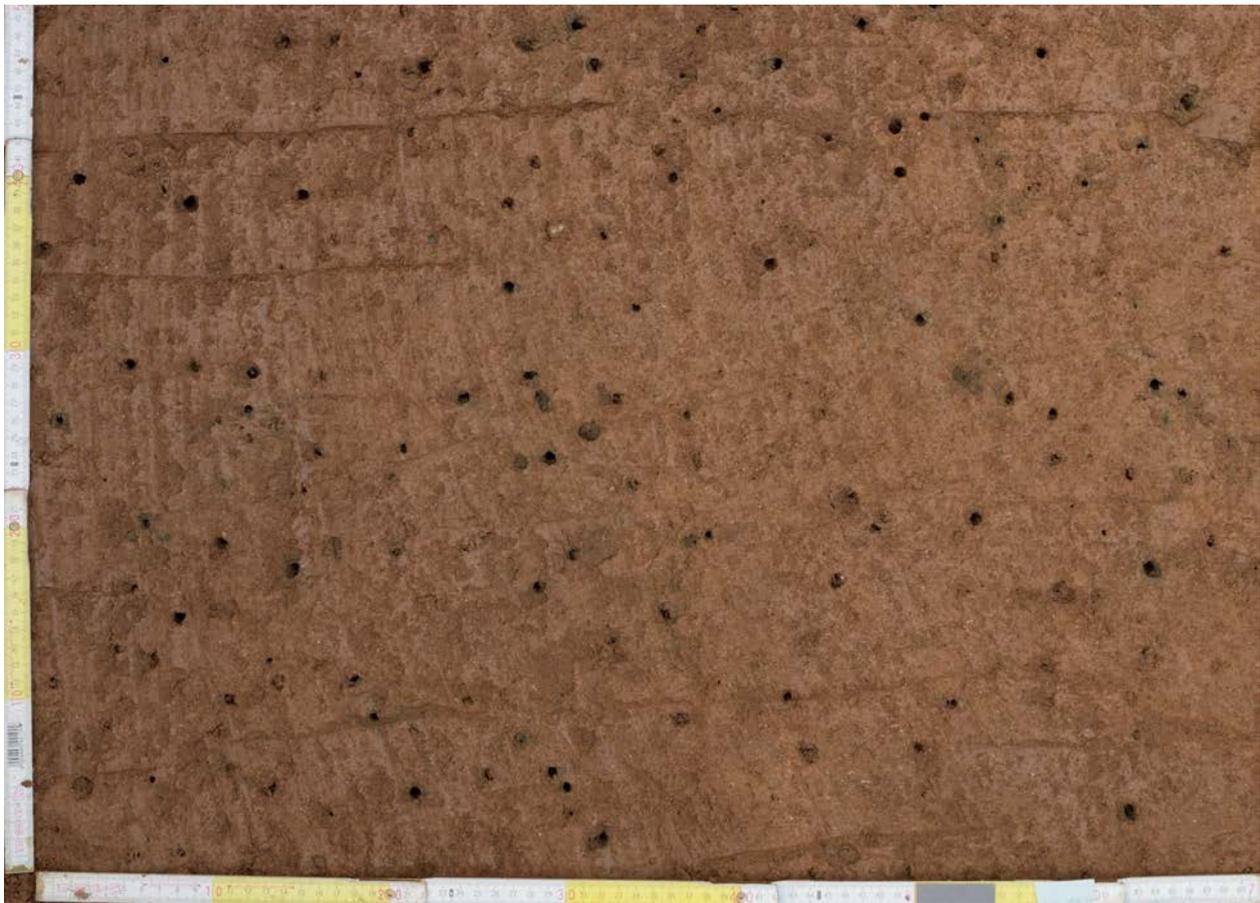


Bild 11: horizontaler Bodenschnitt Direktsaat (Wiederholung 2, ca. 70 cm Tiefe)



Bild 12: horizontaler Bodenschnitt Grünland (Wiederholung 1, ca. 70 cm Tiefe).