

Untersuchung von Regenwürmern und Regenwurmröhren am Standort Efringen-Kirchen des Systemvergleichs Bodenbearbeitung



Bild: Die Untersuchungen wurden kurz vor der Ernte des Körnermaisbestandes durchgeführt.
Das Foto zeigt die Mulchvariante nach dem Ausbringen von Brilliant Blue.

im Auftrag des
LTZ Augustenberg

Dr. Otto Ehrmann
Büro für Bodenmikromorphologie und Bodenbiologie
97993 Creglingen - Münster
Dezember 2011

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 eine nahe gelegene Wiese beprobt

Die Untersuchungen fanden im Herbst 2011 im Rahmen des Systemvergleichs Bodenbearbeitung am Standort Efringen-Kirchen statt. Diese 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

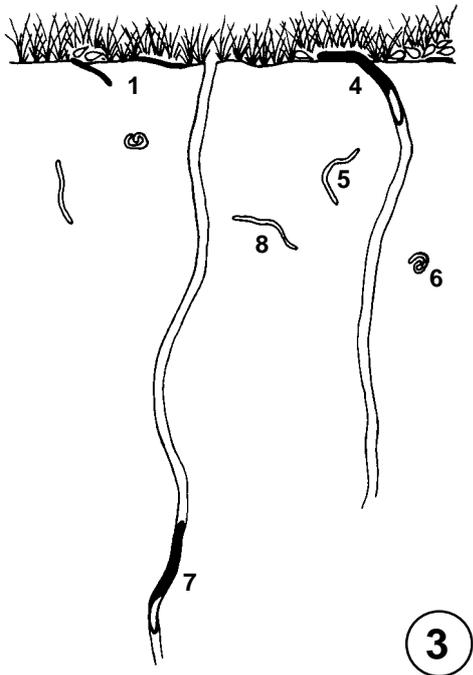
Die Regenwürmer können vereinfacht in drei ökologische Gruppen eingeteilt werden:

a) die meist kleinen **epigäischen** Arten leben nahe der Bodenoberfläche und in Streuaufgaben 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.

Fotos von verschiedenen Arten sind auf Bildtafel 1 zusammengestellt.



Bildtafel 1: Beispiele zu ökologischen Gruppen von Regenwürmern

Bild 1: *Lumbricus rubellus* in einem Hohlraum unter einem (entfernten) Stein.

Dieser epigäische Wurm ist aufgrund seiner oberflächennahen Lebensweise durchgehend dunkel pigmentiert. Das Vorhandensein eines Clitellums (rötliche Stelle am Ende des ersten Drittels) weist auf ein geschlechtsreifes Tier hin.

Bild 2: Zwei anezische *Lumbricus terrestris* bei der Paarung an der Bodenoberfläche.

Die Regenwürmer tauschen bei der Paarung Sperma aus. Die Befruchtung der Eizelle erfolgt erst bei der Kokonbildung. Die Tiere bleiben bei der Paarung mit dem Hinterteil in der Röhre, bei Störungen können sie sich schnell zurückziehen.

Bild 3: Schematische Darstellung der Lebensbereiche verschiedener ökologischer Gruppen.

Das Bild wurde aufgrund eigener Erfahrungen und Kenntnissen aus der Literatur gezeichnet. Epigäische Arten (1) sind durchgehend dunkel gezeichnet, bei anezischen (4, 7) ist nur das Hinterteil hell, wohingegen von den endogäischen Regenwürmern (5, 6, 8) nur die Umrißlinien gezeichnet sind. Epigäische Regenwürmer leben meist an der Bodenoberfläche, die endogäischen im Oberboden. Anezische Regenwürmer kommen zur Paarung und Nahrungsaufnahme an die Bodenoberfläche, sie können sich aber tief in den Unterboden zurückziehen. Die Zahlen neben den Regenwürmern weisen auch darauf hin, dass ein Bild mit der gleichen Nr. vorhanden ist.

Bild 4: *Lumbricus terrestris* beim Einziehen eines Laubblattes.

Anezische Regenwürmer legen eine dauerhafte, ± senkrecht orientierte Wohnröhre mit Mündung zur Bodenoberfläche an. Dorthin kommen sie zur Nahrungsaufnahme, verlassen dabei aber in der Regel ihre Wohnröhre nur mit dem Vorderteil, so daß die Fläche, von der sie Nahrung sammeln können, begrenzt ist.

Die **Bilder 5 und 6** zeigen endogäische Regenwürmer.

Auf Bild 5 ist *Aporrectodea rosea* im Ruhestadium zu sehen. Das Tier hat eine kleine Höhle gebildet und sie mit Schleim ausgekleidet. Darin kann es Trockenperioden überdauern.

Aporrectodea icterica (Bild 6) wurde in natürlicher Lage im Oberboden aufgenommen. Dieses Exemplar hat kein Röhrensystem und konnte deshalb auch seine Position nicht verlassen. *A. icterica* frißt sich durch den Boden und verfüllt die Röhre am Hinterteil wieder.

Bild 7: *Lumbricus terrestris* am unteren Ende seiner Wohnröhre in 130 cm Tiefe.

Vom Tier ist nur die Kopfspitze zu sehen, der Körper ist noch in der Röhre, deren Ende bis ins Stauwasser reicht. Das Tier kann sich lange im Wasser aufhalten, wenn ausreichend Sauerstoff darin gelöst ist. Die Röhre hebt sich aufgrund der dunklen Humustapete deutlich von der umgebenden Bodenmatrix ab.

Bild 8: *Octolasion lacteum*, ein großer endogäischer Wurm (Länge ca. 15 cm).

Typisch für die meisten Exemplare von *O. lacteum* ist das fast völlige Fehlen einer Pigmentierung und die gelbe Schwanzspitze. Normalerweise lebt diese Art im Boden. Das Foto wurde in der Nacht nach einem Starkregen aufgenommen. Der Regenwurm nutzt die feuchten Bedingungen an der Bodenoberfläche zur Wanderung und Besiedelung neuer Habitats.

2 Methoden

2.1. Erfassung der Regenwürmer

Alle Regenwurmfänge wurden mit einer Kombination von drei Methoden durchgeführt. Nach einem Elektrofang (je $1/8 \text{ m}^2$; Thielemann 1986) wurde von einer Teilfläche ($1/30 \text{ m}^2$) eine Handauslese durchgeführt (siehe Bild 9). Die Handauslese erfolgte bis zu einer Tiefe von 35 cm (Wiese nur 25 cm). Die Tiefe von 35 cm war notwendig, weil im Acker relativ tief gepflügt wird und Regenwürmer an den auf der Pflugsohle liegenden Ernterückständen vorkommen. Nach der Handauslese wurde das Loch der Handauslese auf $1/8 \text{ m}^2$ erweitert und eine Austreibung mit AITC (Allylisothiocyanat, 100 mg AITC je Liter Wasser, 20 l Lösung je m^2 , Zaborski, 2003) durchgeführt.

Jede Variante wurde mit 6 Wiederholungen beprobt.

Anmerkung: Der Einsatz von AITC erbrachte auf dem Acker keinen einzigen zusätzlichen Regenwurm. Hingegen wurden in der Wiese 1 *Aporrectodea longa* und 5 *Lumbricus terrestris* mit zusätzlich 11g Biomasse erfasst.

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 war dies nicht möglich.



Bild 9: Geräte für Elektrofang und Handauslese. Das Foto wurde im Herbst 1998 am Standort Efringen-Kirchen aufgenommen. Energiequelle für den Elektrofang ist eine 12V-Bleibatterie. Das Regenwurmfangergerät (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 gehalten und bis zur Bestimmung gekühlt. Hinten rechts sind Spaten und Eimer für die Handauslese (der Spezialspaten neben dem Eimer wurde 2011 nicht verwendet)

2.2. 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) in vierfacher Wiederholung präpariert. Bei allen Varianten wurden diese Flächen in 40 cm Tiefe angelegt. Diese Tiefe liegt unterhalb des aktuellen bzw. früheren gepflügten Bereiches und stellt so sicher dass Röhren nicht direkt durch Bearbeitung gestört wurden.

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 (=gefärbt) und "blinden" Röhren (=ungefärbt) 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 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.



Bild 10: Boden nach Aufbringung der Brilliant-Blue-Lösung
(2. Wiederholung der Mulchvariante)

3. Standort & Klima

Untersucht wurden die drei Bewirtschaftungsvarianten auf der Versuchsfläche Efringen-Kirchen und eine angrenzende Wiese. Da es sich bei dem unmittelbar angrenzenden Grünland um einen stillgelegten Acker handelte, wurde eine ca. 250 m entfernte zweischürige Wiese als Probestelle ausgewählt. Diese wird seit mindestens 20 Jahren als Grünland bewirtschaftet (mündliche Mitteilung Landwirt Weiss). Die Wiese liegt etwas tiefer als der Acker und fällt zum Wald hin ab, deutliche Hinweise auf hydromorphe Merkmale (Hinweise auf Gley) wurden an der Probestelle aber nicht gefunden. Die Bodenart ist (nach Fingerprobe) gleich wie im Acker, der Steingehalt (Kies) ist etwas höher als der im Acker. Die genaue Lage der Probestellen in Acker und Wiese ist in Tab. 1 angegeben.

Der Boden am Standort Efringen-Kirchen ist tiefgründig und weist die günstige Bodenart sandiger Lehm-Lehm auf. Daher liegt die Ackerzahl bei 80. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei ca. 9,5 ° C. Die Angaben über die Jahressumme der Niederschläge sind nicht eindeutig. Laut LTZ-Daten liegt sie bei nur 650 mm¹. Im Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (Umweltministerium 2007) ist die Fläche auf der detaillierten Karte aber dem Bereich 800-900 mm zugeordnet. Die DWD Station am Isteiner Klotz (Kleinkems) weist eine durchschnittliche Jahressumme von 748 mm (1961-90) auf. Trotz hoher Wasserspeicherfähigkeit des Bodens sind an diesem Standort trockenere Phasen mindestens im Oberboden möglich.

Das Jahr 2011 war gekennzeichnet durch eine ungewöhnliche Niederschlagsverteilung. Im Frühjahr und im Herbst gab es ausgeprägte Trockenperioden, der Sommer war hingegen deutlich feuchter. So fielen vom 1.3. – 30.5. nur 80 mm Niederschläge². Da es gleichzeitig relativ warm war (der Mai war fast genauso warm wie die Monate Juni und Juli), trockneten die Oberböden frühzeitig aus. Ab Ende Mai (31.5.) setzten ergiebige Regenfälle ein, vom 31.5 – 31.8 fielen insgesamt 295 mm Niederschlag. Vom 20. Oktober bis Ende November 2011 regnete es praktisch überhaupt nicht mehr (Summe: 5 mm).

Die Jahresniederschläge lagen in den Vorjahren (2008-2010) an der Station Fischingen jeweils ziemlich genau bei 850mm In den Jahren 2009 und 2010 gab es auch niederschlagsarme Phasen im Frühjahr, sie waren aber deutlich weniger ausgeprägt als 2011.

Für die Regenwürmer waren die Bedingungen im Frühjahr/Sommer 2011 vermutlich nicht besonders ungünstig. Aufgrund der hohen Wasserspeicherfähigkeit des Standortes und der sich spät entwickelnden Kultur (die Transpiration eines Maisbestandes ist frühestens ab Mitte Mai relevant) trocknete vermutlich im Frühjahr nur die oberste Bodenschicht aus, daher wurde die Regenwurmfauna vermutlich durch die Frühjahrstrockenheit nur wenig beeinträchtigt.

¹ Angaben nach LTZ-Datenblatt

² alle aktuellsten Witterungsdaten sind von der Station Fischingen. Die Station liegt ca. 3 km östlich der Versuchsfläche auf 272 m ü. NN (die Versuchsfläche liegt nur ca. 245 m ü. NN) Die Daten sind dem Infodienst der Landwirtschaftsverwaltung, LTZ Augustenberg entnommen (www.wetter-bw.de).

Für den Regenwurmfang hingegen waren die Bedingungen im Frühjahr/Sommer 2011 weniger günstig. Die am Standort dominierende Art *Aporrectodea longa* ist nach früheren Erfahrungen auch in feuchteren Jahren spätestens Ende Mai vor allem in der Pflugvariante ± im Ruhestadium. Da es vor Ende Mai zu trocken war und Ende Mai vermutlich die meisten *A. longa* schon im Ruhestadium waren, unterblieben die Untersuchungen im Frühjahr. Sie wurden erst im Herbst kurz vor der Ernte des Bestandes durchgeführt. Aufgrund ergiebiger Niederschläge vor der Probenahme und einem abreifenden Maisbestand (geringere Transpiration) konnte die Probenahme bei optimalen Bodenfeuchten durchgeführt werden (siehe Tab. 1).

Für den Maisanbau war die Niederschlagsverteilung 2011 günstig, die Erträge lagen in der Pflugvariante bei über 150 dt (bezogen auf 86 % TM).

Tab. 1: Temperatur und Bodenfeuchte bei Probenahme

	Termin 2011		Bodenfeuchte 0-30 cm* pF	Luft- u. Bodentemperatur**			Lage Probestellen	
	Regen- wurmfang	Regen- wurm- röhren		Uhr- zeit	Boden in 10 cm Tiefe	Luft in +100 cm	Rechts- wert 339....	Hoch- wert 527....
Pflug	27.09.	29.9. bis 1.10.	2,7	14.00	15,4	26,4	2712	8519
Mulch	28.09.		2,7	14.00	15,4	26,4	2700	8510
Direkts.	28.09.		2,7	14.00	15,4	26,4	2686	8505
Wiese	01.10.	12.10.	2,7	10.00	14,1	16,5	2651	8778

* ermittelt mittels Fingerprobe, die Bodenoberfläche war im Acker bei allen 3 Varianten am Nachmittag stellenweise trocken

** am Termin des Regenwurmfanges

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Regenwurmarten (Tab. 2 u. Abb. 1)

Vorbemerkungen: Bestimmungsprobleme gab es bei zwei Arten. Nicht bestimmt werden konnten mit den deutschen Schlüsseln (Graff 1953) die Arten *Nicodrilus nocturnus* und *Allolobophora georgii*. Daher wurden zusätzlich Bestimmungsschlüssel aus Österreich (Zicsi 1994), Schweiz (Cuendet 1995) und Frankreich (Bouche 1972) verwendet. Während die erste Art sicher zugeordnet werden konnte, blieb die Bestimmung von *A. georgii* etwas unsicher.

In der **Wiese** kommen 10 Regenwurmarten vor. Dies ist ein ungewöhnlich großer Wert. Im Durchschnitt kommen in Baden-Württembergischen Wiesen nur etwas über 5 und in Äckern nur etwas über 4 Arten vor (Ehrmann unveröffentlicht).

In der Wiese dominieren (hinsichtlich Biomasse) die tiefgrabenden Arten *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa* und *Nicodrilus nocturnus* mit insgesamt 86 %. Typische endogäische Arten (*A. chlorotica*, *A. icterica*, *A. rosea* und *O. cyaneum*) haben nur einen Anteil von 11 %. Die einzige epigäische Art *L. rubellus* hat einen Anteil von 3 %.

In der **Pflug-** und in der **Mulchvariante** sind die Verhältnisse gänzlich anders. Es kommen nur noch drei Arten vor. Dies ist weniger als ein Drittel der Artenzahl der Wiese und zeigt welch großer Eingriff die Bewirtschaftung für die Regenwürmer sein kann. Endogäische Arten (*A. rosea* und vor allem *A. icterica*) haben hier mit etwas über 50 % einen deutlich größeren Anteil – sie kommen mit der Bewirtschaftung besser zurecht als die meisten tiefgrabenden anezischen Arten. Relativ gut mit der Bewirtschaftung zurecht kommt noch die tiefgrabende Art *A. longa*.

Die **Direktsaat** weist 5 Arten auf, dies ist deutlich mehr als Pflug und Mulch, aber viel weniger als in der Wiese vorkommen. Bei der Direktsaat dominiert mit ca. 80 % die tiefgrabende Art *A. longa*. Daneben hat mit 14 % die endogäische Art *A. icterica* einen höheren Anteil. Die beiden endogäischen Arten *A. rosea* und *O. cyaneum* sowie die tiefgrabende Art *N. nocturnus* haben geringe Anteile.

Sehr auffällig ist das Fehlen der tiefgrabenden Art *L. terrestris* und der endogäischen Art *A. caliginosa* im Acker bei allen Varianten – auch bei der Direktsaat. Diese beiden Arten haben in Äckern Baden-Württembergs die mit Abstand höchsten Biomassen und mit 90 % (*A. caliginosa*) eine sehr hohe bzw. mit 66 % (*L. terrestris*) eine hohe Stetigkeit (Quelle: unveröffentlichte Zusammenstellung von Ehrmann auf der Basis von über 60 Standorten). Der Ackerboden in Efringen-Kirchen ist ohne Zweifel für beide Arten als Lebensraum geeignet – in der Wiese kommen sie ja auch in höheren Anteilen vor. Daher ist das Fehlen beider Arten sehr auffällig. Eine mögliche Erklärung könnte die Mais-Monokultur sein. Der Körnermais liefert sehr hohe Ernterückstände aber von vermutlich mäßiger Qualität (grobe Struktur und weites C/N-Verhältnis). Dies könnte vor allem für die streusammelnde Art *L. terrestris* ein Problem sein, weil der Zeitraum für die Vorzersetzung der Streu – vorher ist sie für die Art nicht nutzbar – viel zu lange dauert. Ein anderer Grund könnte auch die relativ starke Konkurrenz durch *A. longa* sein. Als Folge des Fehlens von *L. terrestris* werden keine großen tiefreichenden Röhren angelegt (siehe 3.3). Hier zeigt sich dass regionale Untersuchungen der Regenwurmpopulation notwendig sind.

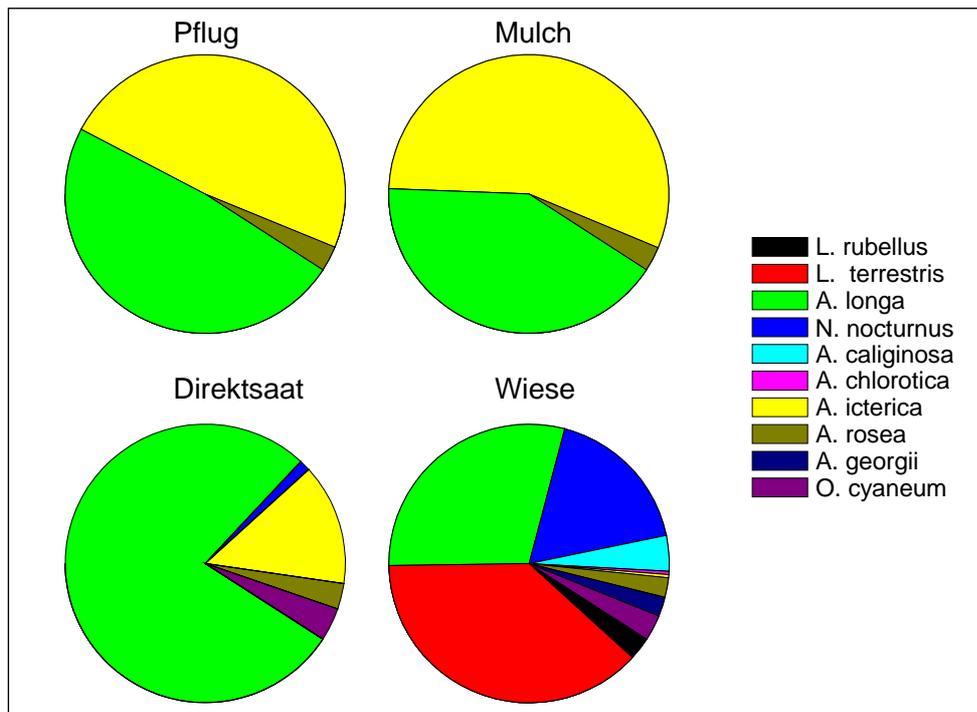


Abb. 1: Anteil der verschiedenen Regenwurmart an der Biomasse im Herbst 2011

Tab. 2: Artenliste Herbst 1997 und Herbst 2011

	Herbst 1995-97*			Herbst 2011			
	Pflug	Mulch	Direkts.	Pflug	Mulch	Direkts.	Wiese
epigäische							
Lumbricus rubellus	-	-	-	-	-	-	(•)
endogäische							
Aporrectodea caliginosa	33	-	-	-	-	-	•
icterica	100	100	100	•	•	•	(•)
rosea	-	-	-	•	•	•	•
Allolobophora chlorotica	-	-	-	-	(•)	-	•
georgii ?	-	-	-	-	-	-	•
Octolasion cyaneum	-	-	33	(•)	-	•	•
anezische							
Lumbricus terrestris	-	-	-	-	-	-	•
Aporrectodea longa	100	100	100	•	•	•	•
Nicodrillus nocturnus	-	33	67	-	-	•	•
Summe Arten	2,3	2,3	3,0	4	4	5	10

* angegeben ist die Stetigkeit in %, 100 % = kamen in allen drei Jahren vor

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

4.2. Abundanzen und Biomassen

Vergleicht man die Biomassen von Pflug, Mulch und Direktsaat mit anderen Äckern in Baden-Württemberg, so sieht man dass die Werte der Pflug- und Mulchvariante im Mittelfeld liegen (Abb. 2). In der Direktsaatfläche wurde die zweithöchste Biomasse aller bisher untersuchten Äcker gemessen, nur ein mehrjähriger Luzerneschlag bei Hohenheim wies eine größere Regenwurmbiomasse auf.

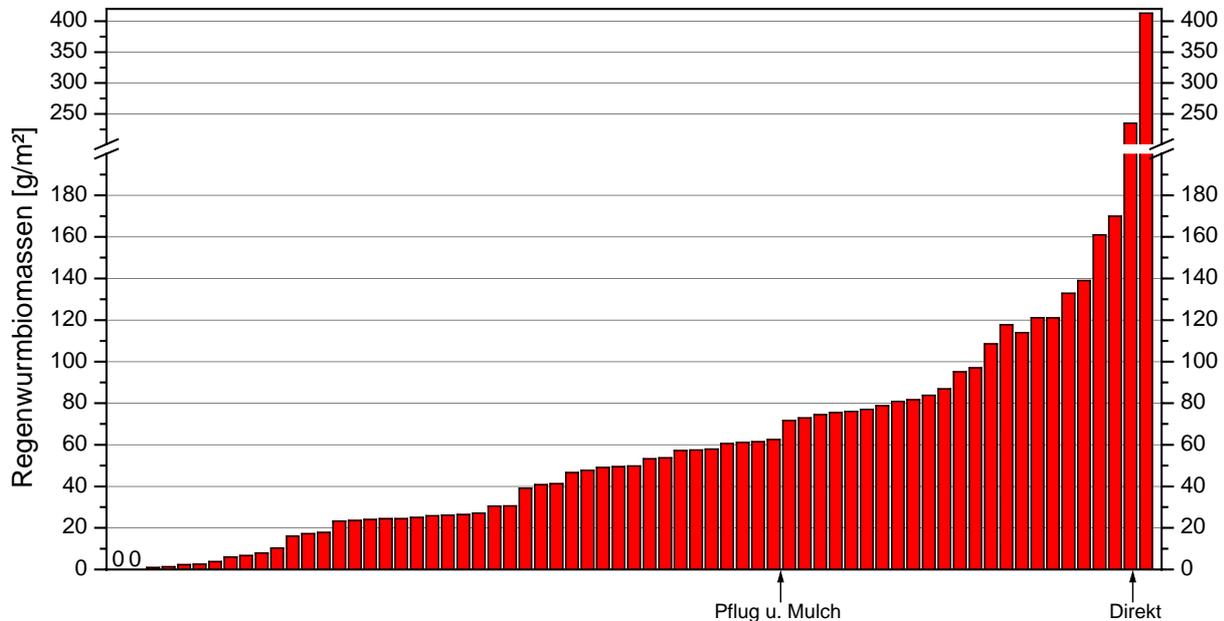


Abb. 2: Vergleich der Regenwurmbiomassen mit anderen Ackerstandorten in Baden-Württemberg (67 verschiedene Standorte, davon 7 Direktsaatflächen; Zeitraum 1989 – 2011; Quelle: Ehrmann unveröffentlicht)

Vergleicht man die Biomassen der drei Anbauvarianten miteinander (Abb.3), so erkennt man bei den endogäischen Arten nur geringe Unterschiede (kein Unterschied ist signifikant). Dramatisch sind hingegen die Unterschiede bei den anezischen Arten. Bei der Direktsaat wurde ein ca. 5-6x größere Biomasse und Anzahl als bei Pflug und Mulch gefunden!! Pflug- und Mulchvariante unterschieden sich hingegen kaum.

Deutliche Unterschiede zwischen Direktsaat und Pflug wurden auch bei anderen Untersuchungen gefunden (z.B. Barnes & Ellis 1979, Henke 1989, Jossi et al. 2011). Hier zeigt sich die nachteilige Wirkung von Bodenbearbeitung auf Regenwürmer - vor allem auf die größeren anezischen Arten. Diese werden nicht nur direkt geschädigt, sondern auch ihre Nahrungsquelle (Streu an der Bodenoberfläche) wird vergraben. Der geringe Unterschied zwischen Pflug und Mulch verwundert – normalerweise ist die Mulchvariante günstiger. Allerdings wurden an der Bodenoberfläche der Mulchvariante kaum Streu gefunden, was auf eine ungewöhnlich tiefe Bearbeitung der Mulchvariante hinweist (Bild 11b).

Vergleicht man die Daten vom Herbst 2011 mit den alten Aufnahmen der Jahre 1995-97 (Abb. 4 u. Abb. 5) so fällt vor allem der deutliche Anstieg bei der Direktsaat auf – die Biomassen haben sich fast verdoppelt. Aber auch die Pflugvariante hat zugelegt. Die Unterschiede beruhen bei der Pflugvariante auf einer Zunahme der Biomasse von *A. icterica*, in der Direktsaat haben *A. longa* und *A. icterica* zugelegt. In der Mulchvariante nahm die Biomasse von *A. longa* ab und die von *A. icterica* zu. Als Folge dessen ist die Regenwurmpopulation von Pflug und Mulchvariante im Jahr 2011 praktisch gleich.

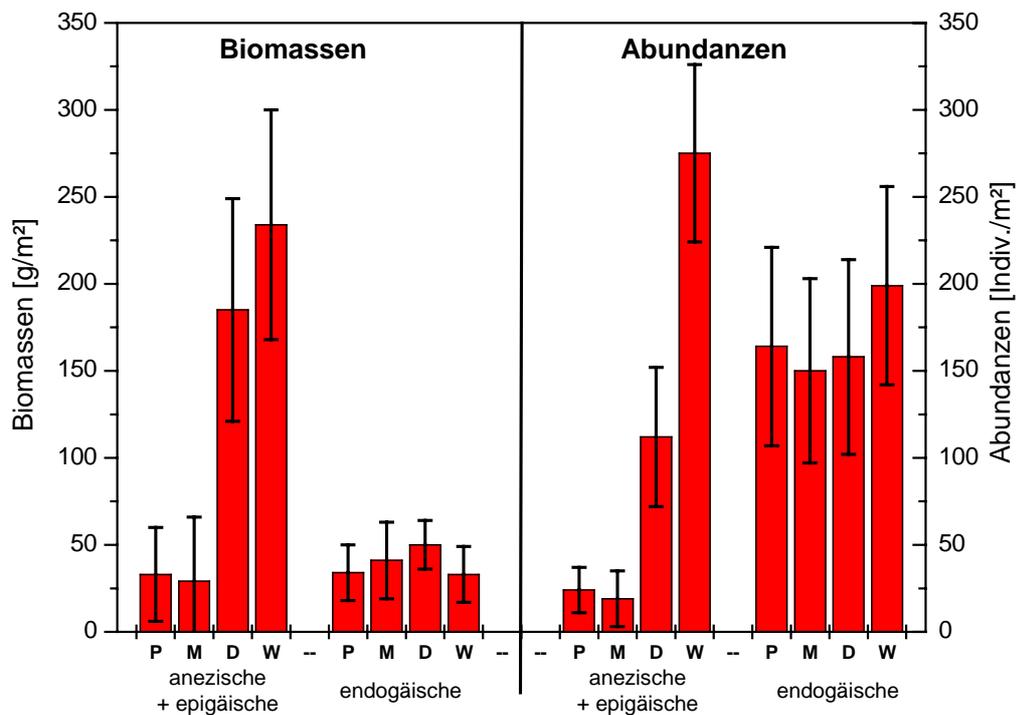


Abb. 3: Vergleich der Regenwurmbiomassen und -abundanzen von Pflug (P), Mulch (M), Direktsaat (D) und Wiese (W). Die Unterschiede zwischen Direktsaat und Pflug/Mulch sind bei den anezischen Regenwürmern jeweils hoch signifikant ($\alpha=0,01$). Bei den endogäischen Arten gibt es keine signifikanten Unterschiede. Die statistischen Untersuchungen wurden mit dem U-Test durchgeführt

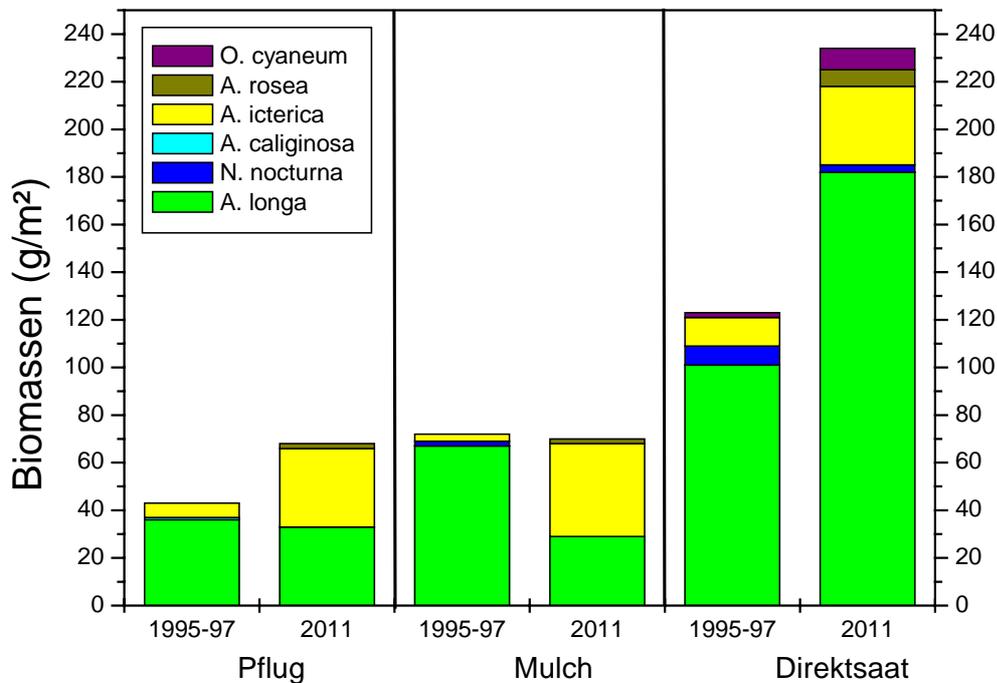


Abb. 4: Anteil verschiedener Regenwurmart an der Biomasse. Verglichen werden die Durchschnittswerte der Fänge im Herbst 1995-1997 mit den aktuellen Daten vom Herbst 2011

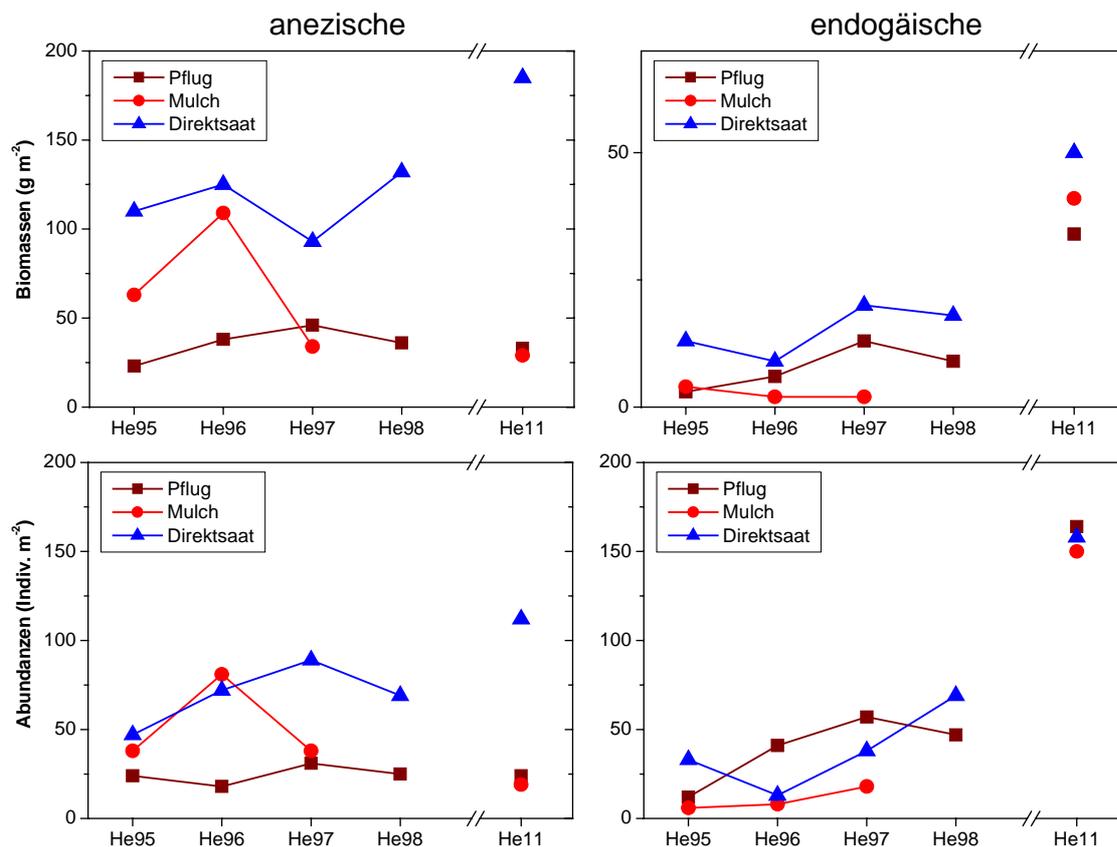


Abb. 5: Entwicklung der Regenwurmpopulation. Verglichen werden die Aufnahmen vom Herbst 1995 – Herbst 1998 mit den Aufnahmen vom Herbst 2011. Im Herbst 1998 wurde die Mulchvariante nicht untersucht (die Finanzierung war 1997 beendet).

Die Wiese weist insgesamt die größten Abundanzen und Biomassen auf. Bei der Gruppe der endogäischen Regenwürmer sind aber die Werte sogar etwas geringer (Biomassen) bzw. nur etwas größer (Abundanzen) als bei den Ackervarianten. Der Unterschied ist auch nie signifikant. Bei den anezischen Arten wurde hingegen in der Wiese sehr große Abundanzen und Biomassen gefunden. Der Unterschied bei der Anzahl ist auch im Vergleich zur Direktsaat hochsignifikant, bei der Biomasse ist nur der Unterschied zu Pflug und Mulch hoch signifikant, zur Direktsaat ist er nicht signifikant. Grünland weist im Mittel in Baden-Württemberg ca. doppelt so hohe Abundanzen und Biomassen als Äcker auf (Ehrmann, unveröffentlicht). Direkt an Äcker angrenzende Feldraine (=gleicher Bodentyp) wiesen immer deutlich höhere Abundanzen, Biomassen und Artenzahlen als Äcker auf (Ehrmann 1994). Auch Jossi et al. (2011) fanden in Grünland mehr Regenwürmer als im Acker - auch im Vergleich zur Direktsaat.

Grünland ist aufgrund der Bodenruhe, des nicht vorhandenen oder viel geringeren Pestizideinsatzes und der größeren Vielfalt der Vegetation wesentlich günstiger für Regenwürmer. Ein Grünland ist damit auch ± eine Referenzfläche in einer Agrarlandschaften und sollte daher regelmäßig mit untersucht werden.



Bild 11a-11c: Bodenoberfläche bei Pflug (oben), Mulch (Mitte) und Direktsaat (unten).

4.3. Regenwurmröhren

Die Röhren von tiefgrabenden Regenwurmartens sind im Unterboden von Äckern aufgrund

- ihrer Größe (meist > 7mm; die Wurzeln der Kulturpflanzen haben im Unterboden in aller Regel viel kleinere Durchmesser),
- ihrer Kontinuität (sie erreichen Tiefen von > 100 cm) und
- ihrer Dauerhaftigkeit (die Wandbeläge stabilisieren die Röhren, so dass so oft noch lange nach dem Ableben des Wurmes erhalten bleiben)

in der Regel die wichtigsten Sekundärporen. In den fruchtbaren Lössböden findet man im Unterboden oft mehrere hundert Röhren je Quadratmeter. In tonigen Böden ist ihre Anzahl – vermutlich aufgrund der Zerstörung durch Quellen und Schrumpfen - erheblich geringer. Bei sehr sandigen Böden fehlen tiefgrabende Regenwürmer, daher fehlen auch die Röhren (Ehrmann & Schwarz 2002).

Große Regenwurmröhren können schnell überschüssiges Wasser von der Bodenoberfläche ableiten (Ehlers 1975), wodurch Oberflächenabfluss und Erosionsgefahr verringert werden. Wenn diese Poren nicht wassergefüllt sind, verbessern sie die Durchlüftung des Unterbodens und erleichtern Wurzeln den Zugang in den Unterboden.

In der Regel findet man wesentlich mehr große Röhren als große Regenwürmer obwohl ein Regenwurm im Unterboden nur eine Röhre anlegt. Dies weist auf eine längere Haltbarkeit der Röhren hin. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen: Zum einen dauert es auch bei optimalen Bedingungen für Regenwürmer sehr lange (Jahrzehnte?) bis das standortspezifische Maximum an Röhren erreicht ist. Umgekehrt gibt es auch nach dem Ausfall der Regenwürmer noch lange Jahre Röhren im Unterboden – es sei denn sie werden z.B. durch eine Tiefenlockerung zerstört. Daher sind hinsichtlich Unterboden-Bodenstruktur sehr langjährige Versuche notwendig. Der seit 1995 durchgeführte Systemvergleich Bodenbearbeitung ist hierfür hervorragend geeignet.

Ergebnisse Efringen-Kirchen (Abb. 6)

Röhren > 7mm Durchmesser: Diese Röhren wurden fast nur in der Wiese gefunden. Im Ackerboden von Efringen-Kirchen fehlen sie bei allen drei Varianten praktisch vollständig.

Röhren < 7mm Durchmesser: Diese Röhren kommen in allen Varianten vor. Zwischen den unterschiedlich bewirtschafteten Flächen im Acker gibt es eine deutliche Abfolge: **Direktsaat > Mulch > Pflug.**

Ungefähr die Hälfte der Röhren war mit dem Farbstoff Brilliant Blue gefärbt, der andere Teil war nicht an der Infiltration von Wasser beteiligt. Bei den größeren Röhren war der Anteil der gefärbten Röhren bei Direktsaat (nur 5-7mm Ø) und Wiese (5-7mm und >7mm Ø) jeweils deutlich größer.

Eine absolute Bewertung der Anzahl der Regenwurmröhren (viel, wenig) ist derzeit nicht möglich, da Referenzwerte für Röhren < 7 mm fehlen.

Das Fehlen der in Baden-Württemberg häufigsten tiefgrabenden Art *Lumbricus terrestris* bei allen Ackervarianten (siehe 3.1) wirkt sich deutlich aus. Es fehlen große Röhren die Wasser besonders effektiv ableiten können (Ehlers 1975) und es fehlen auch die typischen Streuhäufchen (Bild 11c). Die in Efringen-Kirchen dominierende Art *A. longa* zieht zwar an diesem Standort auch etwas Streu an der Oberfläche zusammen, aber bei weitem nicht so effektiv und deutlich voneinander abgegrenzt wie bei *L. terrestris*. Auch sind die Röhren wesentlich kleiner und es ist zu vermuten dass sie auch nicht so tief reichen, weil die Strategie zur Überdauerung trockener Zeiten unterschiedlich ist. *L. terrestris* zieht sich bei Trockenheit in den feuchten Unterboden zurück, muss also ggf. sehr tief graben, *A. longa* überdauert den Sommer im Ruhestadium in kleinen Höhlungen die sich oft nahe der Bodenoberfläche befinden. Daher entfällt für diese Art die Notwendigkeit einer tiefen Wohnröhre³.

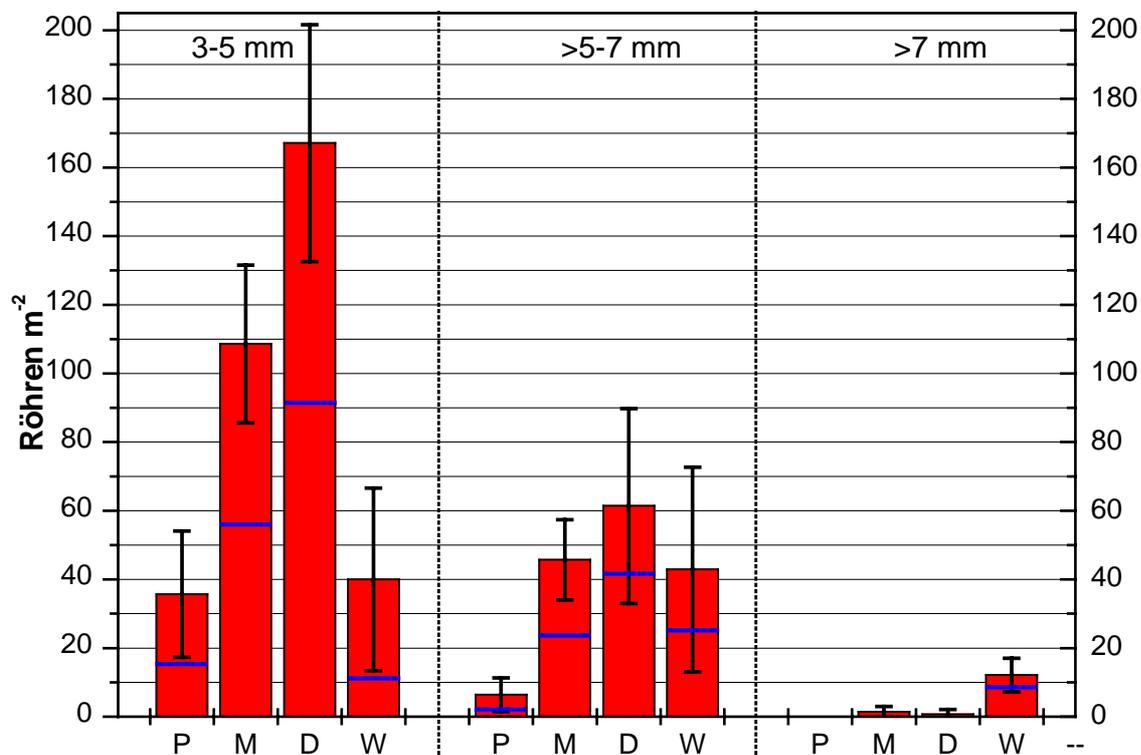


Abb. 6: Anzahl von Regenwurmröhren bei Pflug (P), Mulch (M), Direktsaat (D) und in der Wiese (W) im Herbst 2011. Der Röhrenanteil unterhalb des blauen Striches war mit dem Farbstoff Brilliant Blue gefärbt. Die Unterschiede sind bei der Gesamtzahl dieser Röhren zwischen den 3 Varianten jeweils signifikant ($\alpha=0,05$ da "nur" 4 Wiederholungen). Differenziert man zwischen 3-5 mm bzw. >5-7mm so sind jeweils nur die Unterschiede zwischen Pflug und Mulch bzw. zwischen Pflug und Direktsaat gesichert, nicht aber zwischen Mulch und Direktsaat. In der Wiese ist die Anzahl dieser Röhren deutlich geringer als bei Direktsaat oder Mulch

³ Diese Beobachtungen stammen von Äckern um Hohenheim, die südbadische Varianten von *A. longa* sind deutlich größer, sie können sich ggf. auch etwas anders verhalten.

Vergleich Regenwurmabundanz - Regenwurmröhren

Vergleicht man die Regenwurmabundanz/-biomassen (Abb. 3) mit der Anzahl der Regenwurmröhren (Abb. 6) sind folgende Punkte auffallend:

- die Mulchvariante hat ähnlich wenig Regenwürmer wie die Pflugvariante aber viel mehr Regenwurmröhren. Vermutlich waren die Bedingungen in der Mulchvariante früher günstiger, was zu einer größeren Zahl an Regenwurmröhren führte. Derzeit wird die Mulchvariante relativ tief bearbeitet. Es finden sich daher auch kaum Ernterückstände an der Bodenoberfläche.
- die Wiese weist zwar die meisten anezischen Regenwürmer auf, hat aber deutlich weniger Röhren als Mulch und Direktsaat. Ein ähnliches Ergebnis wurde auch bei einer anderen Untersuchung in Hegau gefunden. Vor einer Interpretation sollten weitere Standorte verglichen werden.

Mögliche Auswirkungen auf Infiltration, Durchlüftung und Durchwurzelung

Diese Parameter wurden nicht untersucht. Es ist aber anzunehmen, dass mit der Zunahme von ± kontinuierlichen Röhren auch die Durchlüftung und Durchwurzelung des Unterbodens besser wird. Auch verbessern die Röhren die Entwässerung. In Kombination mit der stabileren Oberflächenstruktur (Bild 11) ist daher die Erosionsgefahr bei Direktsaat deutlich geringer als bei gepflügten Böden. Am untersuchten Standort ist die Erosionsgefahr allerdings aufgrund der praktisch ebenen Lage sehr gering. Der gleiche Boden am Hang wäre aber stark erosionsgefährdet.



Bild 12a: Horizontalschnitt Pflugvariante in 40 cm Tiefe

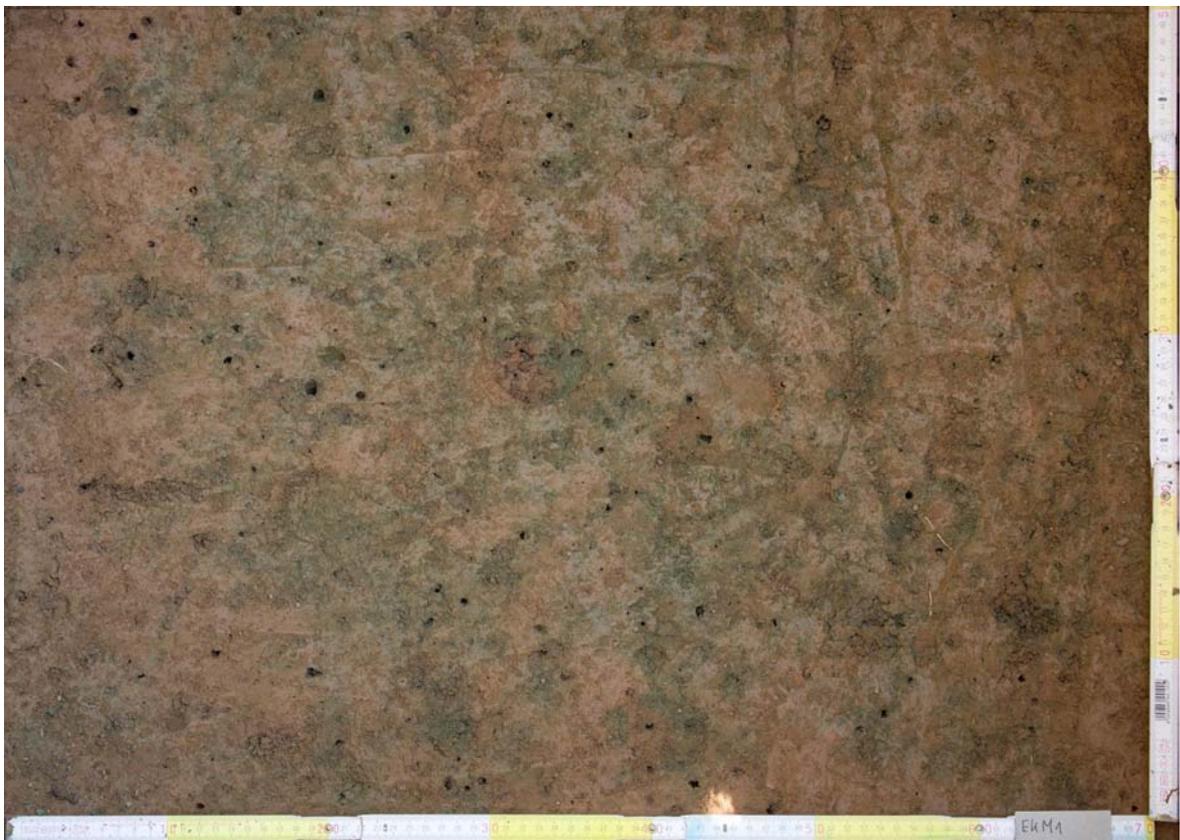


Bild 12b: Horizontalschnitt Mulchvariante in 40 cm Tiefe

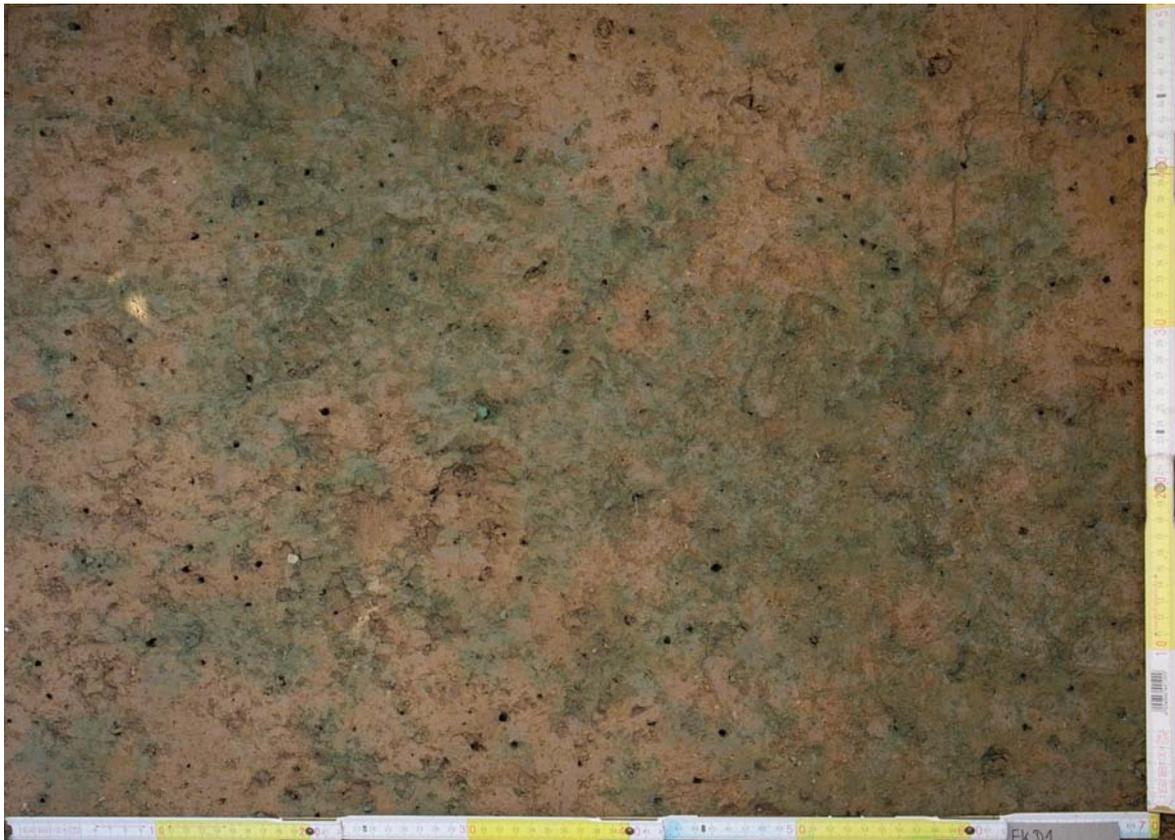


Bild 12c: Horizontalschnitt Direktsaat in 40 cm Tiefe



Bild 12d: Horizontalschnitt Wiese in 40 cm Tiefe

5. Forschungsbedarf

Regenwürmer sind aufgrund ihrer Leistungen und ihrer oft großen Biomasse wohl die wichtigsten Bodentiere im Acker. Sie könnten zukünftig noch wichtiger werden, weil zum einen die Energiekosten für die Bodenbearbeitung ansteigen werden. Zum anderen könnten aufgrund der möglichen Zunahme von Trockenperioden und Starkregen im Zuge eines möglichen Klimawandels eine zügige Infiltration und eine tiefreichende Durchwurzelung zunehmend wichtiger werden, auf beides wirken sich die Regenwürmer positiv aus. Bisher gibt es in Baden-Württemberg keine Dauerbeobachtungsflächen zur Untersuchung der Regenwurmpopulationen von landwirtschaftlich genutzten Flächen. In Bayern werden über 100 Ackerstandorte regelmäßig untersucht. Die Flächen des Systemvergleichs Bodenbearbeitung wären aufgrund der guten Dokumentation und der seit 1995 unterschiedlichen Bewirtschaftung für eine Dauerbeobachtung prädestiniert.

Speziell am Standort Efringen-Kirchen wäre die Untersuchung von folgenden Fragestellungen von Interesse:

a) gibt es eine Korrelation zwischen der Maismonokultur und dem Fehlen von *Lumbricus terrestris*? Auf der Versuchsfläche fehlt diese wichtige tiefgrabende Regenwurmart, obwohl sie in der benachbarten Wiese mit großer Biomasse vorkommt. Dazu sollten jeweils mehrere Schläge mit einer echten Fruchtfolge und Schläge mit einer Maismonokultur auf das Vorkommen von *L. terrestris* untersucht werden. Methode der Wahl wäre nicht der aufwändige Regenwurmfang sondern eine einfache Begehung der Flächen, das sich das Vorkommen von *Lumbricus terrestris* in der Regel anhand von Spuren an der Bodenoberfläche erkennen lässt.

b) wie tief reichen die Röhren von *A. longa* in den Unterboden? Sind sie ein echter Ersatz für die tiefreichenden Röhren von *L. terrestris*? Dazu sollte man ein Profil in der Direktsaat auf 100 cm vertiefen und in 40, 70 und 100 cm Tiefe jeweils die Regenwurmröhren erfassen.

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.
- Bouche, M.B. (1972): *Lombriciens de France. Ecologie et Systematique*. INRA 72-2, 672 S.
- Cuendet, G. (1995): *Identification des Lombriciens de Suisse*, 19S.
- Dunger, W. (1983): *Tiere im Boden. Die Neue Brehm Bücherei* 327, Ziemsen Verlag, Wittenberg.
- Edwards, C.A. (1980): Interactions between agricultural practice and earthworms. - In: Dindal, D.L.(ed.): *Soil biology as related to land use practice*. - Proc. VII. Int. Coll. Soil Zool., Syracuse, 3-12.
- 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., 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. Forschanst.* 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.
- Umweltministerium 2007: *Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg*, 3. Auflage 2007
- 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.

Anmerkung: Für diese Arbeit wurden insgesamt Mittel in Höhe von 4400 € eingesetzt daher konnte keine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt werden.

7. Anhang

Tab. 3: Regenwurmabundanzen und -biomassen

	Abundanzen (Indiv./m ²)							Biomassen (Frischgewicht, Gramm/m ²)						
	Ø Herbst 1995-97			Herbst 2011				Ø Herbst 1995-97			Herbst 2011			
	P	M	D	P	M	D	W	P	M	D	P	M	D	W
epigäische														
Lumbricus rubellus	-	-	-	-	-	-	71	-	-	-	-	-	-	7
endogäische														
Aporrectodea caliginosa	4	-	-	-	-	-	50	1	-	-	-	-	-	11
icterica	33	11	26	148	132	97	5	6	3	12	33	39	33	1
rosea	-	-	-	14	17	52	67	-	-	-	2	2	7	6
Allolobophora chlorotica	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	0	-	1
georgii ?	-	-	-	-	-	-	57	-	-	-	-	-	-	6
Octolasion cyaneum	-	-	2	1	-	9	8	-	-	2	0	-	9	8
anezische														
Lumbricus terrestris	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	101
Aporrectodea longa	24	51	64	24	19	108	107	36	67	101	33	29	182	78
Nicodrilus nocturnus	-	1	5	-	-	3	41	-	2	8	-	-	3	47
nicht bestimmbar	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	1
Gesamt	61	63	97	188	168	269	475	43	71	124	67	70	234	267