

Untersuchung von Regenwürmern und Regenwurmröhren am Standort Grünsfeldhausen des Systemvergleichs Bodenbearbeitung



Bild 1: Direktsaatfläche Mitte Juni 2013. Der Silomais war aufgrund der kühlen Witterung noch relativ klein. Daher ist die von Regenwürmern zusammengezogenen Streu noch gut zu sehen. Auf der Bodenoberfläche liegen auch zahlreiche kleine Steine.

im Auftrag des
LTZ Augustenberg

Dr. Otto Ehrmann
Büro für Bodenmikromorphologie und Bodenbiologie
97993 Creglingen - Münster
April 2014

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 Frühjahr 2013 (Regenwürmer) und im Herbst 2013 sowie im Frühjahr 2014 (jeweils Regenwurmröhren) 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 habe 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 liegt nördlich des mittleren Taubertales. Ihr westlicher Teil grenzt an die A81 an. Beprobt wurde aufgrund der Bodeneigenschaften der östliche Teil der Versuchsfläche sowie eine 1 km südlich davon liegende Streuobstwiese als Grünlandvergleichsfläche.



Abb.1 Ausschnitt aus der topographischen Karte (1:10 000). Die Untersuchungsflächen sind mit roten Kreisen markiert. Die Pfeile weisen auf die Untersuchungsflächen und die Achatiuskapelle hin. Vom Grünland (hellgrün) östlich der markierten Streuobstwiese ist nur noch eine kleine, sehr flachgründige Restfläche vorhanden.

In der unmittelbaren Umgebung der Versuchsfläche befindet sich überhaupt kein für Regenwurumuntersuchungen geeignetes Grünland. Der nördliche der Versuchsfläche liegende Baumstreifen weist keinen Grünlandsaum im Übergangsbereich zum Acker auf. Die Raine entlang des geteerten Feldweges sind extrem schmal. Daher wurde eine Streuobstwiese ca. 1 km südlich der Versuchsfläche untersucht.

Dieses Grünland wird nach dem Alter der Bäume zu urteilen seit über 20 Jahren als Streuobstwiese genutzt. Derzeit wird sie nur noch gemulcht, der Aufwuchs wird nicht mehr abgefahren. Die Bodenart ist im Oberboden (nach Fingerprobe) gleich wie im Acker, der Steingehalt ist geringer als der im Acker. Die genaue Lage der Probestellen in Acker und Wiese ist in Abb. 1 und Tab. 1 angegeben.

Die Bewirtschaftung und Fruchtfolge der Versuchsflächen ist in Tab. 5 im Anhang zusammengestellt. Die Direktsaatfläche wurde sporadisch mit einem Flachgrubber bearbeitet. Im Jahr 2013 wurde Silomais angebaut, davor Winterweizen.

2.2. Boden der Versuchsflächen

Der Boden der Versuchsfläche ist derzeit ein sehr flachgründiger bis flachgründiger Muschelkalkverwitterungsboden. Daher führen schon geringe Unterschiede in der Mächtigkeit zu einer erheblichen Bodenheterogenität. Der Schlag weist eine geringe Hangneigung auf, die Direktsaat liegt am "Oberhang", die Pflugvariante am "Unterhang", dazwischen liegt die Mulchvariante.

Vor der Probenahme erfolgte eine ausführliche Begehung des Schlag. Da der angesäte Silomais noch klein war konnte die Homogenität der Fläche auch anhand des Steingehaltes an der Bodenoberfläche beurteilt werden. Zusätzlich wurden mit dem Spaten kleine Schürfe angelegt. Im östlichen Teil waren die Steingehalte der drei Varianten an der Bodenoberfläche am ähnlichsten, sie waren aber nicht gleich. Die Mulchvariante und Direktsaat waren dort sehr flachgründig (Ap ca. 15 cm mächtig), die Pflugvariante war etwas tiefgründig (Ap ca. 20 cm). In der Pflugvariante wurde auch mehrfach beim Nachgraben im Zuge der Regenwurmfänge und der Röhrenpräparation überdeckter Lößlehm gefunden. Dieser war ungewöhnlicherweise von Muschelkalkbodenmaterial (Steine und toniger Feinboden) überdeckt!! Dies ist ein Hinweis dass die Böden auf diesem Schlag früher viel günstiger waren und dass vermutlich eine sehr erhebliche Erosion stattgefunden hat. Aus dieser Landschaft sind auch katastrophale Erosionsereignisse bekannt. So wurde die im Grünsfeldhausen liegende, um 1210 erbaute Achatiuskapelle ca. 4 m hoch von Sedimenten des Grünbaches überschüttet. Derzeit sind aufgrund der großen Schläge und der verdichteten Unterböden leider auch sehr günstige Voraussetzungen für eine weitere Erosion der Böden dieser Landschaft gegeben.

Die Bodenmächtigkeit im Grünland ist auch sehr variabel, die untersuchte Stelle war ähnlich mächtig wie die Pflugvariante, der Steingehalt im Unterboden war aber im Mittel deutlich geringer.

Hinsichtlich Bodeneigenschaften (Mächtigkeit, Bodenart, Steingehalt, nutzbare Feldkapazität) sind daher das Grünland und die Pflugvariante "bessere" Standorte als die Mulchvariante und die Direktsaat.

2.3. Witterung

Die Fläche liegt nördlich des mittleren Taubertales. Aufgrund des Regenschattens von Odenwald und Spessart sind die Niederschläge in dieser Region deutlich geringer als im Landesmittel. Im langjährigen Mittel liegen sie bei nur 615 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 9,3 ° C (LUFA-Umdruck zum Systemvergleich von 1995). Im eher feuchten Jahr 2013 lagen die Niederschläge bei 638 mm. Die Durchschnittstemperatur betrug im Jahr 2013 8,8° C (Daten: LTZ-Station Beckstein, diese liegt ca. 10 km südlich der Versuchsfäche).

Die Untersuchung der Regenwürmer erfolgte Mitte Juni 2013 (12. und 14.6.2013). Die Witterung im Frühjahr 2013 war kühl-feucht und damit eher günstig für Regenwürmer. Daher sind die Werte witterungsbedingt möglicherweise etwas höher als in einem trockeneren Frühjahr.

Die Untersuchung der Regenwurmröhren erfolgte nach der Silomaisernte. Da sich diese aufgrund des kühlen Frühjahrs und der nassen Herbstwitterung extrem lange hinauszögerte konnte die erste Untersuchung erst Anfang November (am 1.11.2013) durchgeführt werden. Dabei wurden in jeder Ackervariante zwei Wiederholungen untersucht. Die anderen beiden Wiederholungen und die vier Wiederholungen im Grünland wurden wegen feucht-kalter Witterung erst im Frühjahr untersucht. Die Untersuchungen fanden am 31.3. 2014 (Acker) bzw. am 1.4.2014 (Grünland) statt.

Tab. 1: Temperatur und Bodenfeuchte bei Probenahme

	Termin 2013/14		Bodenfeuchte**	Luft- u. Bodentemperatur**			Lage Probestellen	
	Regenwurmfang	Regenwurm-röhren	0-30 cm* pF	Uhrzeit	Boden in 10 cm Tiefe	Luft in +100 cm	Rechts-wert	Hoch-wert
Pflug	12.06.13	1.11.13 und 31.3.14.	2,3	15.00	18,1	18,6	3553193	5500318
Mulch	12.06.13.		2,3	15.00	18,1	18,6	3553190	5500355
Direktsaat	12.06.13		2,3	15.00	18,1	18,6	3553193	5500391
Grünland	14.06.13	1.4.14.	2,3	15.00	16,6	18,1	3553201	5499339

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

** am Termin des Regenwurmfanges

2.4. 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 2). 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.

2.4.1. 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

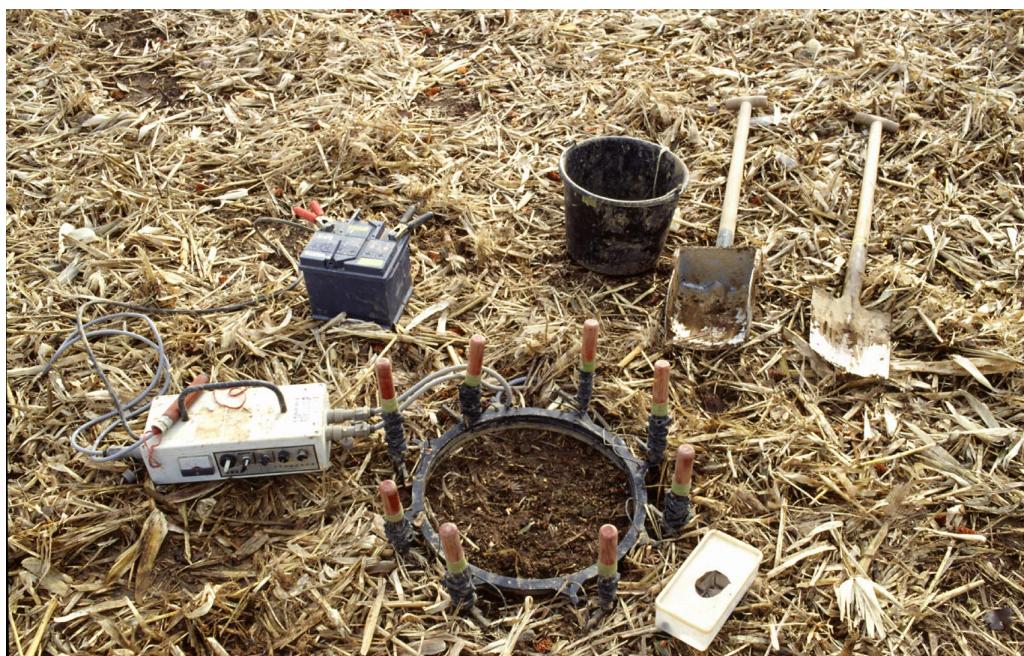


Bild 2: Geräte für Elektrofang und Handauslese. Das Foto wurde im Herbst 1998 am Standort Efringen-Kirchen aufgenommen. Energiequelle für den Elektrofang ist eine 12V-Bleibatterie. Das Regenwurmfanggerät (vorne links) wandelt den 12V Gleichstrom in Wechselstrom-Impulse von 100-600 V (regelbar) um. Diese 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 2011 nicht verwendet).

2.5. Präparation und Zählung der Regenwurmröhren

Die Regenwurmröhren wurden in allen 3 Bodenbearbeitungsvarianten und im Grünland untersucht. Dazu wurden horizontale Flächen (70 cm x 50 cm) in vierfacher Wiederholung präpariert. Bei allen Varianten wurden diese Flächen unterhalb des aktuellen bearbeiteten Bereiches angelegt. Daher wurden dieser Bereich nicht direkt durch Bearbeitung gestört. Da aber im steinigen Cv der Muschelkalkrendzina eine Regenwurmröhrenpräparation unmöglich ist, lagen die Probeflächen nur wenige cm unterhalb des aktuell bearbeiteten Bereiches. Trotzdem war die Präparation schwierig und sehr zeitaufwändig. Auch war die Fläche aufgrund der Ernte des Silomaises bei sehr feuchtem Boden stark verdichtet und daher noch etwas flachgründiger.

Die Grube für die Regenwurmzählung wurde 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. Dabei waren allerdings die zahlreichen Steine sehr hinderlich. Davon waren aber alle 3 Ackervarianten in ähnlichem Umfang betroffen. Anschließend wurde die Fläche mit einem Staubsauger 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.

3. Ergebnisse der Regenwurmuntersuchungen

Die Untersuchung der Regenwurmpopulation ergab folgende Ergebnisse:

- Die meisten Arten wurden wie erwartet im Grünland gefunden. Die Varianten Direktsaat und Pflug sind mit 6 bzw. 5 Arten noch erstaunlich artenreich - für einen solch flachgründigen Standort (Tab. 2).
- Es dominiert im Acker bei allen drei Varianten deutlich die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* – sie findet Lücken zwischen den Steinen und kann so Trockenheit im Unterboden überdauern (Abb. 4). Daneben finden sich im Acker noch *Aporrectodea caliginosa* und die meist grünliche Art *Allolobophora chlorotica*. Im Grünland weisen zwei Octolasionarten auch größere Biomassen auf. Diese beiden Arten kommen in flachgründigen Muschelkalkböden häufig vor.
- Die Direktsaat weist mit Abstand die meisten Regenwürmer und die größten Biomassen auf - trotz der sehr geringen Bodenmächtigkeit. Die Werte sind für einen solch flachgründigen Standort in einem Gebiet mit eher geringen Niederschlägen erstaunlich hoch (Abb. 2, 3 und 5).
- Die Pflugvariante weist erstaunlicherweise größere Werte als die Mulchvariante auf, vermutlich weil der Boden im gepflügten Bereich etwas mächtiger ist und die Pflugvariante insgesamt nur flach gepflügt wird. Vermutlich ist der Unterschied in der Bewirtschaftung nicht besonders groß.
- Vergleichsweise wenig Regenwürmer wurden im Grünland gefunden – obwohl die Bewirtschaftung und der Boden relativ günstig für Regenwürmer ist.

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.

Direkt an Äcker angrenzende Feldraine (=gleicher Bodentyp) wiesen in der Regel deutlich größere 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. Vielleicht ist Wassermangel die Ursache der relativ geringen Population am Standort Grünsfeldhausen. Das Grünland weist eine deutlich höhere Evapotranspiration als Acker auf. Der Boden im Grünland ist vermutlich über einen längeren Zeitraum trockener als im Acker.

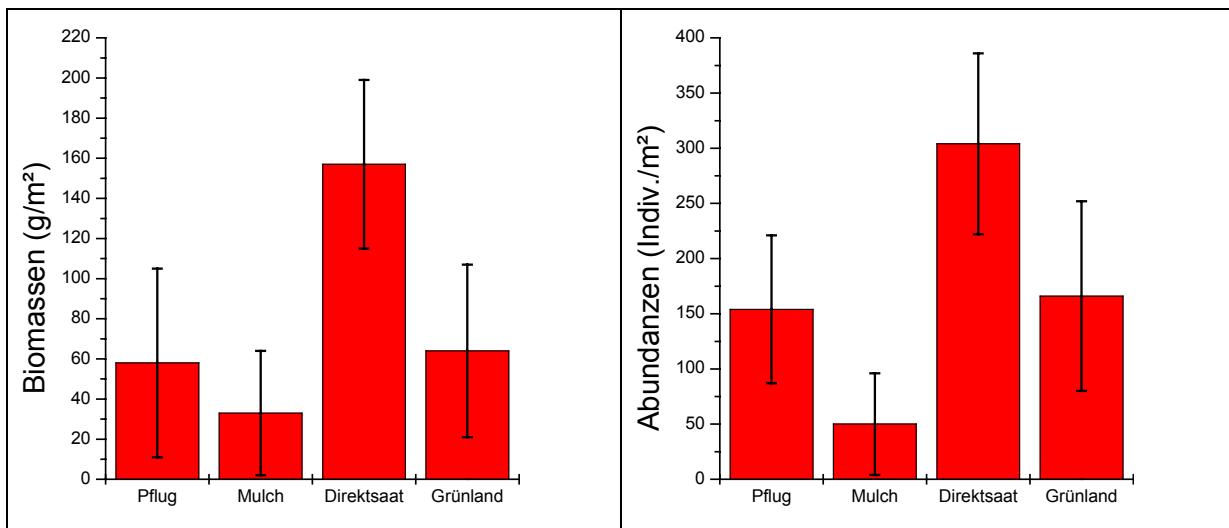


Abb. 2: Biomassen und Abundanzen von Regenwürmern bei Pflug, Mulch, Direktsaat und Grünland

Tab. 2: Artenliste Grünsfeldhausen Frühjahr 2013

	Pflug	Mulch	Direktsaat	Grünland
epigäische				
nur juvenile epigäische	-	-	(•)	-
<i>Lumbricus castaneus</i>	•	-	-	•
endogäische				
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	•	•	•	•
<i>rosea</i>	-	-	•	•
<i>Allolobophora chlorotica</i>	•	•	•	-
<i>Octolasion cyaneum</i>	-	-	-	•
<i>Octolasion lacteum</i>	•	-	-	•
<i>Octolasion nur juvenile</i>	-	-	(•)	-
anezische				
<i>Lumbricus terrestris</i>	•	•	•	•
<i>Aporrectodea longa</i>	-	-	-	(•)
Summe Arten	5	3	6	7

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

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

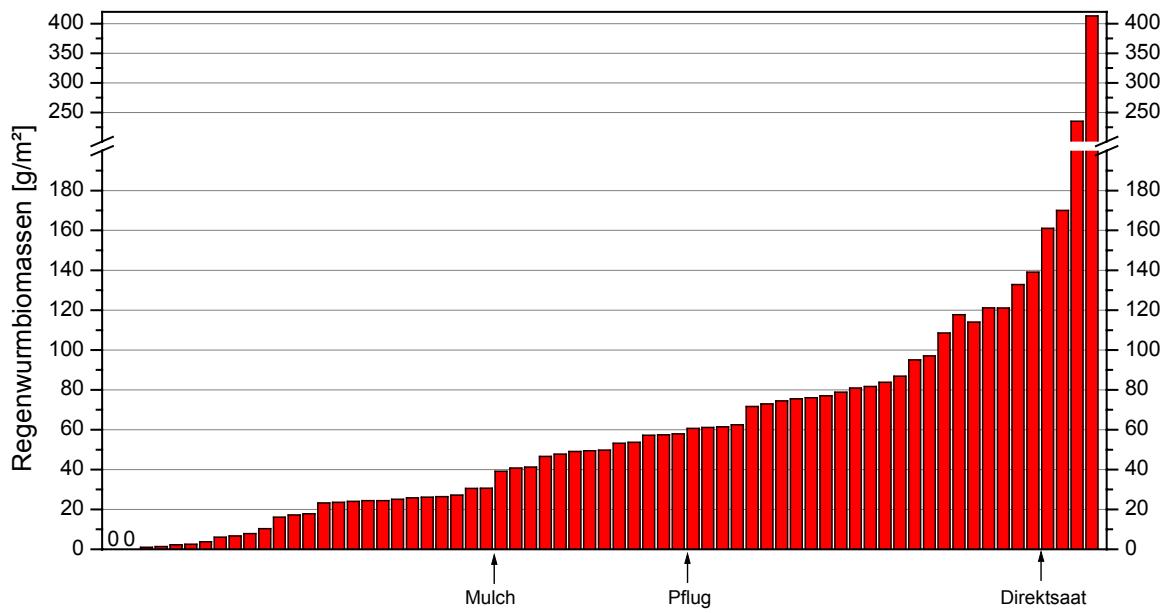


Abb. 3: Vergleich der Regenwurmbiomassen mit anderen Ackerstandorten in Baden-Württemberg (67 verschiedene Standorte, davon 7 Direktsaatflächen; Zeitraum 1989 – 2011; Quelle: Ehrmann unveröffentlicht)

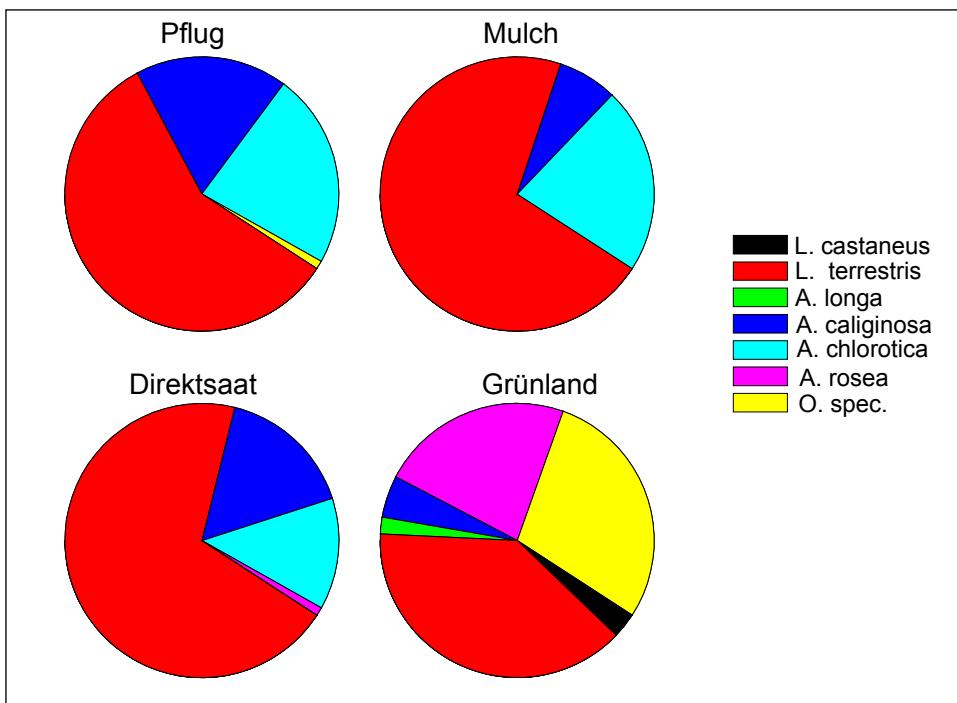


Abb. 4: Anteil der verschiedenen Regenwurmmarten an der Biomasse im Frühjahr 2013

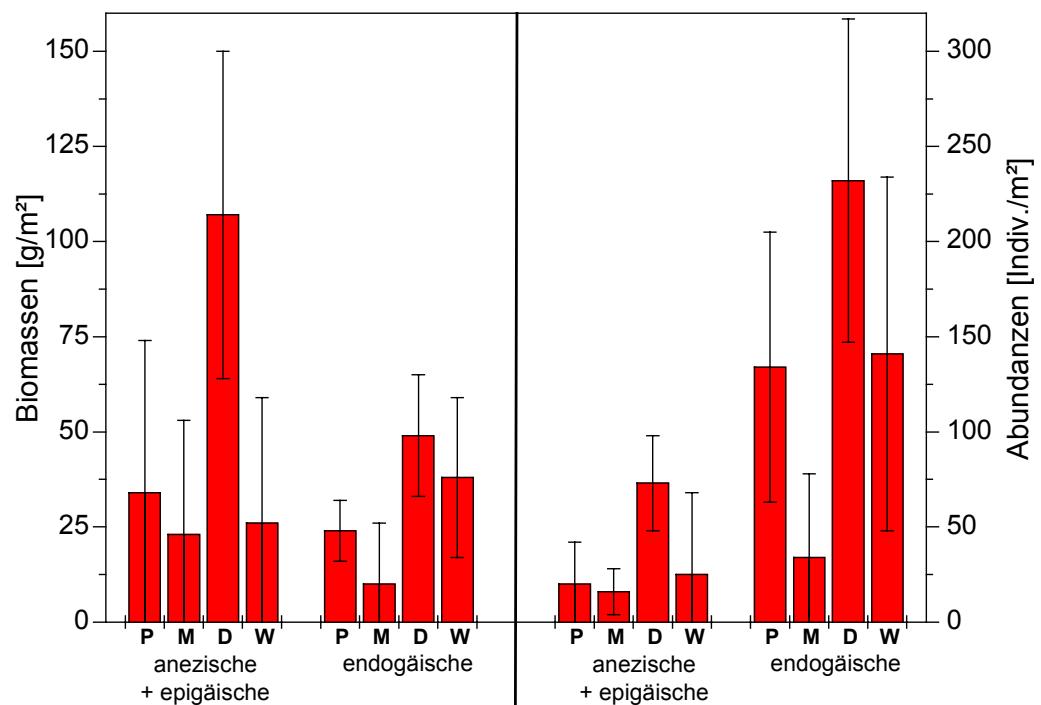


Abb. 5: Biomassen und Abundanzen bei Pflug (P), Mulch (M), Direktsaat (D) und Grünland (W) differenziert nach ökologischen Gruppen. Die Unterschiede zwischen Direktsaat und Pflug/Mulch sind mit Ausnahme der Anzahl endogäischer Regenwürmer in der Pflugvariante jeweils signifikant. ($\alpha=0,05$; siehe auch Tab. 4).



Bild 3: Regenwurmfang in der vor kurzem gemulchten Streuobstwiese (Juni 2013).

4. Ergebnisse der Untersuchung der Regenwurmröhren

Der unterschiedliche Zeitpunkt der Präparation (Herbst 2013/Frühjahr 2014) hatte keinen gravierenden Einfluss auf das Ergebnis. Bei dem im Herbst präparierten Flächen wurden bei den 6 Probestellen im Acker (je 2-mal Pflug/Mulch/Direktsaat) 149 Regenwurmröhren gezählt, bei den im Frühjahr präparierten Flächen wurden bei identischem Probenahmeschema 150 Röhren gezählt.

Die Untersuchung der Regenwurmröhren ergab folgende Ergebnisse:

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

Der Direktsaat weist deutlich mehr Regenwurmröhren als die Pflug- und Mulchvariante auf. Die Mulchvariante steht \pm zwischen Pflug und Direktsaat, aber bei den größeren Röhren liegt sie näher bei der Pflugvariante als bei der Direktsaat.

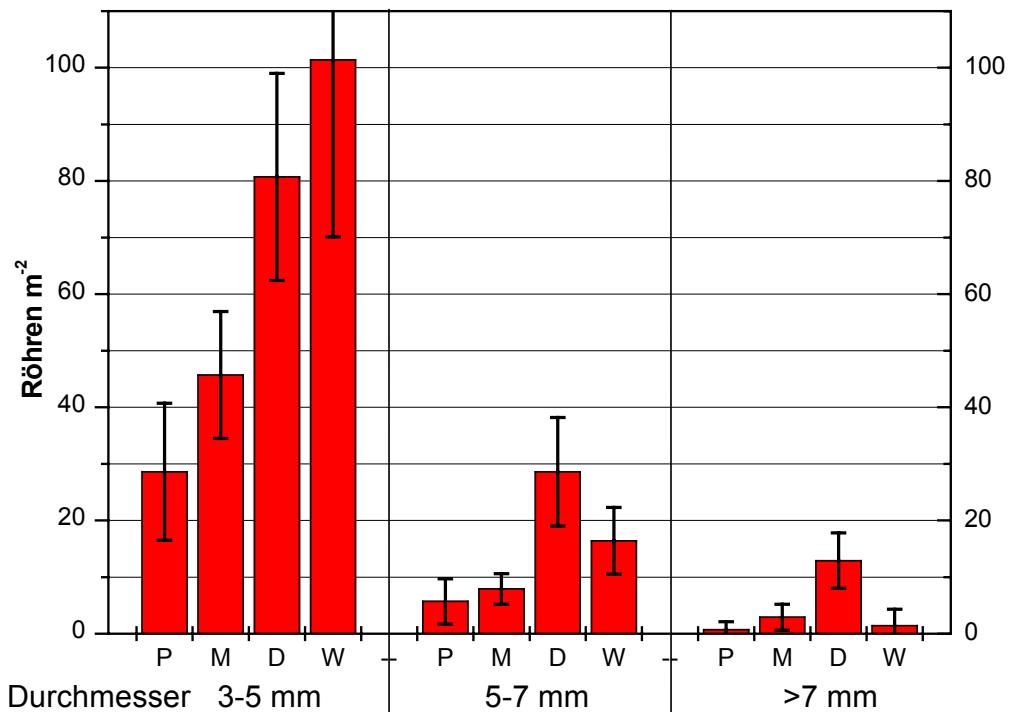


Abb. 6: Anzahl von Regenwurmröhren bei Pflug (P), Mulch (M), Direktsaat (D) und Grünland (W).

Die Unterschiede zwischen Direktsaat und Pflug/Mulch sind bei allen drei Größenklassen jeweils signifikant ($\alpha=0,05$; Details siehe Tab. 4). Die Unterschiede zwischen Direktsaat und Grünland sind nur bei den Röhren > 7 mm signifikant.

5. Vergleich mit dem Standort Efringen-Kirchen

Im Herbst 2011 wurde im Rahmen des Systemvergleiches schon der Standort Efringen-Kirchen untersucht. Der Boden am Standort Efringen-Kirchen ist praktisch steinfrei, sehr tiefgründig und weist die Bodenart sandiger Lehm-Lehm auf. Die Jahresniederschläge und die Jahresmitteltemperatur sind am Standort Efringen-Kirchen jeweils etwas höher. Die Witterung vor der Probenahme war am Standort Grünsfeldhausen etwas günstiger, da das Frühjahr 2013 feuchter als das Frühjahr 2011 war.

Die Biomasse der Regenwürmer ist am Standort Efringen-Kirchen immer größer als in Grünsfeldhausen. Die Anzahl der Regenwürmern ist meist auch größer, davon ausgenommen ist aber die Direktsaat. Bei dieser Variante ist die Anzahl am Standort Grünsfeldhausen größer. Die Unterschiede zwischen den beiden sehr unterschiedlichen Standorten sind aber bei den Ackervarianten insgesamt geringer als der Autor aufgrund der Bodenunterschiede erwartet hätte. Auffallend und schwer zu erklären sind die niedrigen Werte der Streuobstwiese am Standort Grünsfeldhausen (Abb. 7).

Die Unterschiede zwischen den drei Ackervarianten sind am Standort Grünsfeldhausen deutlich größer als am Standort Efringen-Kirchen. Dies zeigt dass durch eine geeignete Bewirtschaftung auch an eher ungünstigen Standorten die Regenwurmpopulation und damit auch die Bodenstruktur deutlich positiv beeinflusst werden kann.

Die Anzahl der Regenwurmröhren im Acker ist bei den kleinen Röhren am Standort Grünsfeldhausen niedriger als am Standort Efringen-Kirchen, bei den Röhren >7mm gibt es in Grünsfeldhausen mehr, da am Standort Efringen-Kirchen *L. terrestris* im Acker nicht vorkommt.

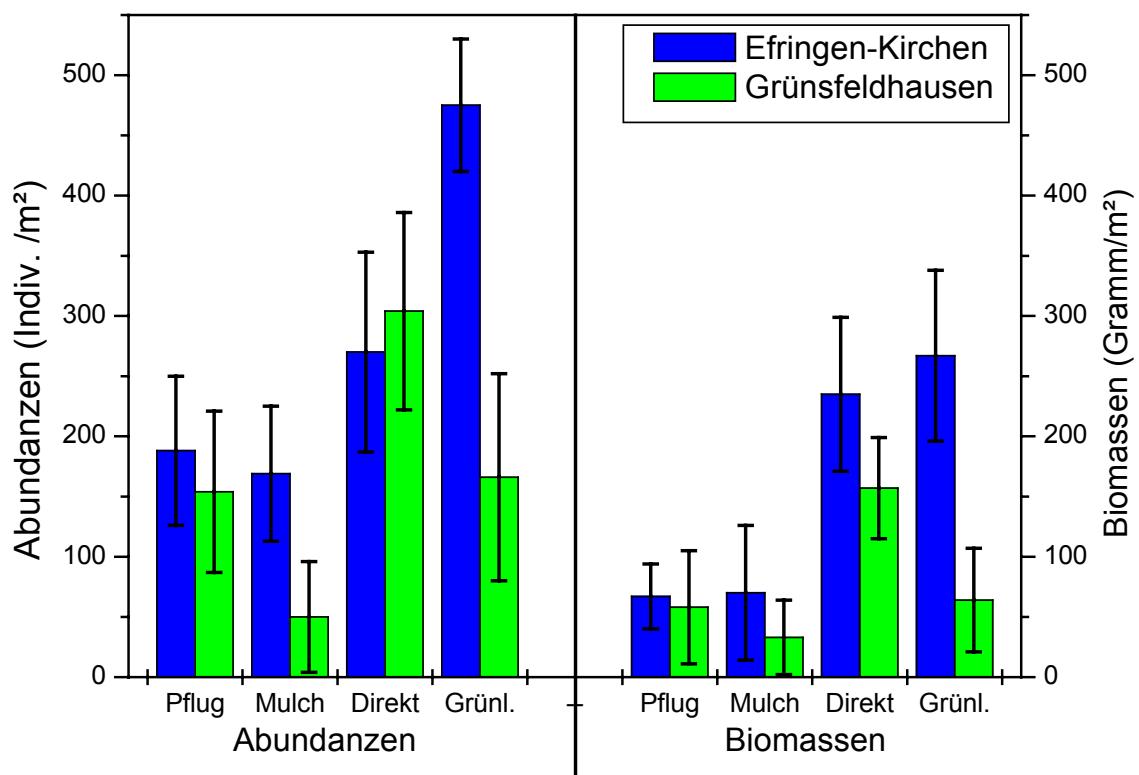


Abb. 7: Vergleich der Regenwurmpopulation von Efringen-Kirchen mit Grünsfeldhausen

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, 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.
- 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. 3: Regenwurmabundanzen und –biomassen (Mittelwerte)

	Abundanzen (Indiv./m ²)				Biomassen (Gramm/m ²)			
	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.
epigäische								
Lumbricus castaneus	1,3	/	/	9,3	0,2	/	/	1,9
endogäische								
Aporrectodea caliginosa	51,3	5,0	81,0	13,0	10,3	2,5	24,3	3,1
rosea	/	/	9,0	74,7	/	/	2,0	13,8
Allolobophora chlorotica	79,2	29,3	125,3	/	13,1	7,2	20,6	/
Octolasion juvenile*	/	/	1,3	28,8	/	/	0,2	10,5
Octolasion cyaneum	/	/	/	1,3	/	/	/	1,9
Octolasion lacteum	1,3	/	/	5,3	0,7	/	/	4,9
endogäische juvenile*	2,5	/	15,0	17,5	0,3	/	2,5	3,8
anezische								
Lumbricus terrestris	18,3	16,0	71,3	14,3	33,6	23,3	107,1	23,2
Aporrectodea longa	/	/	/	1,3	/	/	/	0,9
Gesamt**	154,0 ^b	50,3 ^a	303,0 ^c	165,7 ^b	58,1 ^a	33,0 ^a	156,5 ^b	64,0 ^a
Gesamt Standardabweichung	67	46	82	86	47	31	42	43

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

Tab. 4: Anzahl der Regenwurmrohren

Durchmesser	Mittelwerte (je m ²)				Standardabweichung (je m ²)			
	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.	Pflug	Mulch	Direkts.	Grünl.
3 - 5 mm	28,6 ^a	45,7 ^a	80,7 ^b	101,4 ^b	12,1	11,2	18,3	31,3
5 - 7 mm	5,7 ^a	7,9 ^a	28,6 ^b	16,4 ^b	4,0	2,7	9,6	5,9
> 7 mm	0,7 ^a	2,9 ^a	12,9 ^b	1,4 ^a	1,4	2,3	4,9	2,9

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

Tab. 5: angebaute Kultur und Bodenbearbeitung

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

Die Ansaat erfolgte bei Pflug- und Mulchvariante von 2009 – 2012 mit Kreiselegge + Sämaschine (2013 bisher nicht bekannt) und bei Direktsaat mit einer speziellen Direktsaatmaschine



Bild 4: horizontaler Bodenschnitt Direktsaat (Wiederholung 3, ca. 19 cm Tiefe)



Bild 5: horizontaler Bodenschnitt Mulchsaat (Wiederholung 3, ca. 21 cm Tiefe)



Bild 6: horizontaler Bodenschnitt Pflug (Wiederholung 4, ca. 23 cm Tiefe)



Bild 6: horizontaler Bodenschnitt Pflug (Wiederholung 3, ca. 24 cm Tiefe). Bei dieser Wiederholung zieht sich eine fast steinfreie Zone aus Lösslehm quer durch das Bild.



Bild 7: horizontaler Bodenschnitt Grünland (Wiederholung 3, ca. 26 cm Tiefe)



Bild 7: "Felddraine" in der Umgebung der Versuchsfläche. Die Versuchsfläche ist das grüne Feld auf der rechten Seite des Weges, das KFZ steht auf der Höhe der Pflugvariante.