

Umwelt

DOK-Versuch: Anbausystem-Effekte auf die Regenwürmer

Werner Jossi, Urs Zihlmann und David Dubois, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich
Lukas Pfiffner, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse, CH-5070 Frick
Auskünfte: Werner Jossi, E-Mail: werner.jossi@art.admin.ch, Fax +41 44 377 72 01, Tel. +41 44 377 73 91

Zusammenfassung

Im DOK-Versuch werden seit 1978 zwei biologische und zwei konventionelle Anbauverfahren sowie ein ungedüngtes Kontrollverfahren miteinander verglichen. Regenwurm-Erhebungen von 2001 bis 2005 haben gezeigt, dass sowohl bei der Biomasse wie bei der Anzahl Regenwürmer keine gesicherten Unterschiede zwischen den mit Mist und Gülle gedüngten Verfahren D2, O2 und K2 festzustellen sind. Dabei waren die Werte generell auf einem für Ackerböden hohen Niveau. Gegenüber früheren Erhebungen konnten mit dem Verzicht regenwurmtoxischer Pflanzenschutzmittel seit 1992 die Regenwürmer auch in den konventionellen Verfahren geschont und regeneriert werden. Das rein mineralisch gedüngte Verfahren M2 wies gegenüber den Hauptverfahren eine 13 % geringere Regenwurm-Biomasse auf, was mit der fehlenden organischen Düngung erklärt wird. Die tiefsten Werte wurden im ungedüngten Verfahren N festgestellt (minus 25 %). Sowohl im biologischen als auch im konventionellen Anbau wurden die Regenwurm-Populationen in den gedüngten Verfahren am stärksten durch die Bodenbearbeitung (Pflug) beeinflusst. Der Anbau von Klee gras förderte die Regenwürmer deutlich. Insgesamt wurden in sieben Erhebungen elf verschiedene Regenwurmartens festgestellt.

Die Regenwürmer tragen mit ihren vielfältigen Tätigkeiten massgeblich zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei. Mit ihrem Gangsystem erhöhen sie die Wasserdurchlässigkeit und den Luftaustausch. Sie durchmischen organische und mineralische Substanz und tragen so wesentlich zur Nährstoffumsetzung und Strukturbildung im Boden bei. Zahlreiches Regenwurm-Vorkommen und hohe Biomasse werden deshalb als Indikatoren für eine gute Bodenqualität verwendet.

Im DOK-Versuch werden seit 1978 die Anbauverfahren biologisch-dynamisch (D), organisch-biologisch (O), konventionell (K) sowie die Zusatzverfahren konventionell mit rein mineralischer Düngung (M) und Null-Düngung (N) miteinander verglichen. Erste Regenwurm-Beprobungen wurden im DOK-Versuch von 1990 bis 1992 nach den ersten zwei Fruchtfolgeperioden durchge-

führt (Pfiffner *et al.* 1993; Pfiffner und Mäder 1997). Mit dem Beginn der dritten Fruchtfolgeperiode 1992 haben die Anbaumethoden einige Änderungen erfahren (Kasten). Deshalb war es von Interesse, die Auswirkungen auf die Regenwurm-Populationen erneut während der vierten Fruchtfolgeperiode von 1999 bis 2005 in den gedüngten Verfahren D2, O2, K2, M2 und im ungedüngten Verfahren N zu untersuchen.

Bestimmung der Arten

Die Regenwurm-Beprobungen wurden im Schlag b von 2001 bis 2005 in Kunstwiese, Kartoffeln, Winterweizen 1, Soja, Silomais und im Schlag c 2004 und 2005 in Silomais und Winterweizen 2 durchgeführt. Im Oktober, wenn sich die Regenwürmer in der obersten Bodenschicht aufhalten, wurden auf den 100 m² grossen Parzellen je zwei 0,25 m² (50 mal 50 cm) grosse Flächen beprobt; bei vier Wiederholungen ergaben sich

so acht Stichproben pro Verfahren. Mit dem Spaten wurde die Erde 25 cm tief ausgehoben und von Hand zweimal durchsucht. Die eingesammelten Regenwürmer wurden in einer vierprozentigen Formalinlösung konserviert und später im Labor gezählt, gewogen und die Artzugehörigkeit bestimmt (Cuendet 1995). Weil mit der Handauslese die Regenwürmer effizient erfasst werden können, wurde auf das aufwändige Austreiben der Regenwürmer mit Formalin oder Senfpulveremulsion verzichtet. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die vorangegangene Hauptkultur. Nach Winterweizen 1 und Soja wurden die Erhebungen in der nachfolgenden pfluglos bestellten Gründung, nach Winterweizen 2 in der ohne Pflugeinsatz neu angesäten Kunstwiese, durchgeführt. Für die Beurteilung der Regenwurm-Populationen wird in der Regel die Biomasse bevorzugt, weil sie die ökologische Wirkung der Regenwürmer auf den Boden besser widerspiegelt als die Individuenzahl.

Regenwurmbestand und mineralische Düngung

Während den fünf Kontrolljahren zeigten sich im Mittel der sieben Erhebungen sowohl bei der Biomasse wie bei der Anzahl Regenwürmer keine gesicherten Unterschiede zwischen den Hauptverfahren D2, O2 und K2 (Tab. 1). Die tiefsten Durchschnittswerte hatten die im ungedüngten Verfahren N bearbeiteten Flächen, die höchsten

jene im konventionellen Anbauverfahren K2. Die Erhebungen in den einzelnen Kulturen und Jahren zeigten eine beträchtliche Variabilität im Regenwurm-Vorkommen. Die Mittelwerte der Regenwurm-Biomasse im Verfahren K2 waren besonders in Schlag c höher und im Durchschnitt der beiden Kontrolljahre 2004 und 2005 gegenüber den übrigen Anbauverfahren statistisch gesichert (Abb. 2). Die kombinierte Düngung mit Hof- und Mineraldüngern hinterliess den Regenwürmern im konventionellen Verfahren K2 vermutlich mehr organisches Material in Form von Mist und Ernterückständen als Nahrung (Marhan 2004). Im Schlag b waren die jährlichen Unterschiede zwischen den Anbauverfahren jedoch widersprüchlich und nur bei der Individuenzahl zwischen den Verfahren K2 und N statistisch gesichert (Abb. 2 und 3). Gegensätzlich waren die Ergebnisse vor allem nach Soja 2004. Beim Weglassen dieses «Ausreissers» verbessern sich die Signifikanzen etwas (Tab. 1).

Die tieferen Regenwurmbestände im rein mineralisch gedüngten Verfahren M2 gegenüber den Hauptverfahren waren bei der Biomasse im Durchschnitt der sieben Erhebungen gegenüber dem Verfahren K2, bei der Anzahl Individuen gegenüber den Verfahren K2 und O2 statistisch gesichert (Tab. 1 und Abb. 2). Von den vier Artengruppen waren vor allem die endogäischen Regenwürmer gegenüber allen Hauptverfahren signifikant schwächer vertreten. Die Unterschiede sind vermutlich auf die fehlende Zufuhr von organischer Substanz in Form von Frischmist zurückzuführen, da die übrigen Bewirtschaftungsmassnahmen in den Verfahren K2 und M2, mit Ausnahme der Güllegaben in K2, identisch sind. Marhan (2004) hat nachgewiesen, dass

Anlage des DOK-Versuchs

Standort: Therwil BL, 300 m ü.M.
mittlere Jahrestemp.: 9,5 °C; Jahresniederschlag: 792 mm
Boden: schwach pseudovergleyte, tiefgründige Parabraunerde aus Löss
Humusgehalt 2,3 %

Fruchtfolgeperioden (FFP) 1978 bis 2005:

1. FFP 1978-1984	2. FFP 1985-1991	3. FFP 1992-1998	4. FFP 1999-2005
Kartoffeln*	Kartoffeln*	Kartoffeln	Kartoffeln
Winterweizen 1*	Winterweizen 1*	Winterweizen 1*	Winterweizen 1*
Weisskohl	Randen	Randen	Soja*
Winterweizen 2	Winterweizen 2	Winterweizen 2	Silomais
Wintergerste	Wintergerste	Kunstwiese 1	Winterweizen 2
Kunstwiese 1	Kunstwiese 1	Kunstwiese 2	Kunstwiese 1
Kunstwiese 2	Kunstwiese 2	Kunstwiese 3	Kunstwiese 2

* anschliessend Zwischenfutter oder Gründüngung

Anbauverfahren, Versuchsanlage:

Drei Hauptverfahren (D, O, K) mit zwei Düngungsstufen (1, 2), zwei Zusatzverfahren (M, N)

D1: Biologisch-dynamisch 0,7 DGVE/ha (DGVE = Düngergrossvieheinheiten)

D2: Biologisch-dynamisch 1,4 DGVE/ha

O1: Organisch-biologisch 0,7 DGVE/ha

O2: Organisch-biologisch 1,4 DGVE/ha

K1: Konventionell (IP/ÖLN) 0,7 DGVE/ha ergänzend NPK-Mineraldünger (0,5 Normdüngung)

K2: Konventionell (IP/ÖLN) 1,4 DGVE/ha ergänzend NPK-Mineraldünger (1,0 Normdüngung)

M2: rein mineralische Düngung (IP) seit 2. FFP (1,0 Normdüngung)

N: ohne Düngung, mit bio-dynamischen Präparaten

Die Parzellen sind in drei parallel verlaufenden Fruchtfolgeschlägen (a, b, c), viermal wiederholt, als lateinisches Quadrat angeordnet; Teilparzelle 5 m mal 20 m = 1 Are. Bis 1991 entsprachen die aus-gebrachten Hofdüngermengen in den Hauptverfahren D/O/K 0,6 beziehungsweise 1,2 DGVE/ha. Seit 1992 wurden sie auf 0,7 beziehungsweise 1,4 DGVE/ha erhöht. Die konventionellen Verfahren werden seither nach den Richtlinien der integrierten Produktion (IP) beziehungsweise des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) angebaut. Alle Verfahren wurden gleich bearbeitet.

Tab. 1. Mittlere Biomasse g/m² und Anzahl Individuen pro m² der Regenwurm-Artengruppen in den fünf Anbauverfahren des DOK-Versuchs 2001 bis 2005 (Mittelwerte aus sieben Erhebungen in Schlag b und c).

Biomasse g/m²

Anbau-Verfahren	epigäische	endogäische	anözische Nicodrilus	anözische Lumbricus	Summe	ohne Soja 2004
N	4,5 a *	13,7 b *	109,0 b *	15,1 c *	142,3 b *	136,3 c *
M2	3,7 a	19,4 b	124,7 ab	17,6 bc	165,5 b	160,9 bc
D2	3,4 a	28,4 a	140,1 ab	11,1 ab	183,0 ab	188,7 ab
O2	4,0 a	27,5 a	130,5 ab	18,1 ab	180,1 ab	193,8 ab
K2	3,4 a	34,4 a	143,8 a	22,9 a	204,5 a	219,6 a

Anzahl Individuen/m²

N	11,9 a	54,6 c	88,2 b	9,2 c	163,8 c	163,3 b
M2	11,5 a	75,2 bc	93,5 ab	9,9 bc	190,1 bc	189,7 b
D2	12,6 a	105,2 a	109,3 ab	7,2 ab	234,2 ab	248,6 a
O2	16,9 a	101,5 ab	116,9 a	11,7 ab	246,9 a	270,3 a
K2	11,9 a	119,1 a	114,9 a	13,4 a	259,2 a	281,4 a

*Tukeys HSD Test p <0,05: Verfahren mit gleichen Buchstaben in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant.

Ökologische Gruppen der Regenwurmarten

Auf Grund ihres Verhaltens, ihrer Grösse und Färbung werden die Regenwürmer in drei Hauptgruppen eingeteilt.

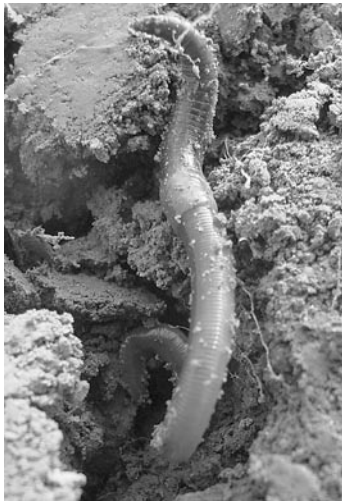
Epigäische Arten: Kleine, rot pigmentierte Arten. Sie leben in der Streuschicht des Bodens und ernähren sich von Pflanzenresten. Diese Arten sind im Ackerland in der Regel selten.

Endogäische Arten: Unpigmentierte, rosa bis graublau gefärbte Regenwürmer. Sie leben im Wurzelbereich des Oberbodens. Durch die Aufnahme organischer Bodensubstanz wird diese weiter abgebaut und mit der umgebenden Erde vermischt. Sie bauen meist horizontale, labile Gänge, die nicht dauerhaft sind.

Anözische Lumbricus-Arten: Grosse, rotbraun pigmentierte Regenwürmer. Sie legen vertikale, dauerhafte Gänge an, die tief in den Unterboden reichen. Als Nahrungsvorrat ziehen sie Pflanzenreste von der Bodenoberfläche in die Gänge. Sie deponieren ihren Kot meistens im Boden und bleiben das ganze Jahr über aktiv. In Trockenperioden ziehen sie sich in tiefere Bodenzonen zurück.

Anözische Nicodrilus-Arten: Grosse, braunschwarz pigmentierte Würmer, die ebenfalls in vertikalen, stabilen Wohnröhren leben (Abb. 1). Sie ernähren sich von abgestorbenen Pflanzenteilen. Die ausgewachsenen Tiere produzieren viel Kot, welcher an der Oberfläche des Bodens ausgestossen wird. Trockene Sommerperioden überdauern sie in tieferen Bodenschichten.

Abb. 1. Dem Tod durch das Pflugschar entronnen: Grosse anözische Regenwürmer legen im Boden tiefe, stabile Wohnröhren an, die für die Entwässerung, Belüftung, Durchwurzelung und Strukturbildung von besonderem agrarökologischem Wert sind. (Foto: Werner Jossi, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)



leicht verfügbare organische Substanz wie Frischmist zu einer Zunahme der endogäischen Regenwurm-Biomasse führt. Der reine Mineraldüngereinsatz im Verfahren M2 hat sich wahrscheinlich auch ungünstig auf die Regenwürmer ausgewirkt (Pfiffner *et al.* 1993). Hingegen sollte die Regenwurm schädigende Wirkung der Gülle beim konventionellen Verfahren K2 nicht überbewertet werden, da, wie im DOK-Versuch, die höchsten Gaben oft in der Kunstwiese ausgebracht werden, in denen sich die Regenwurm-Populationen in der Regel gut erholen (Jossi *et al.* 2004).

Tiefste Werte im ungedüngten Verfahren

In dem seit 1978 ungedüngten Verfahren (N) wurde die tiefste Regenwurmbesiedlung festgestellt. Wie beim mineralisch gedüngten Verfahren M2 waren vor allem die endogäischen Regenwürmer schwächer vertreten (Abb. 2 und Tab. 1). Offensichtlich fanden die Tiere in diesen Parzellen zu wenig Nahrung. Die schwache Pflanzendecke in den Ackerkulturen mit geringer Durchwurzelungsintensität könnte die Lebensbedingungen der Regenwürmer im Boden auch indirekt verschlechtert haben, indem kompaktere Bodenstrukturen mit schlechterer Durchlüftung entstanden sind. Bei den Grabungen wurden in diesen Parzellen mehrmals reduzierende (anaerobe) Bedingungen beobachtet und die Messwerte für die Lagerungsdichte waren in den ungedüngten Parzellen am höchsten. Die ungedüngten Parzellen wiesen zudem tiefere pH-Werte auf, was die Lebensbedingungen für die Regenwürmer zusätzlich verschlechtert.

Wie in allen Verfahren hatten sich die Regenwürmer in den ungedüngten Parzellen nach der zweijährigen Kunstwiese 2001 anfangs gut erholt. In den Acker-

kulturen nahmen die Populationen rasch ab und erreichten nach Winterweizen 1 den Tiefststand. Erstaunlicherweise wurden nach Soja im Folgejahr 2004 in den Verfahren N und M2 die höchsten Regenwurmbestände festgestellt (Abb. 3). Die Stichprobenwerte wiesen jedoch bei allen Verfahren eine starke Streuung auf. Die inhomogene Verteilung der Regenwürmer wurde vermutlich durch die Ansammlung der Würmer unter Sojastrohhaufen verursacht, die beim Bearbeiten für die Einsaat der Gründung Ende September entstanden sind. In Tabelle 1 sind die Auswirkungen auf die Ergebnisse ohne die stark streuenden Messwerte nach Soja 2004 in der letzten Kolonne angegeben.

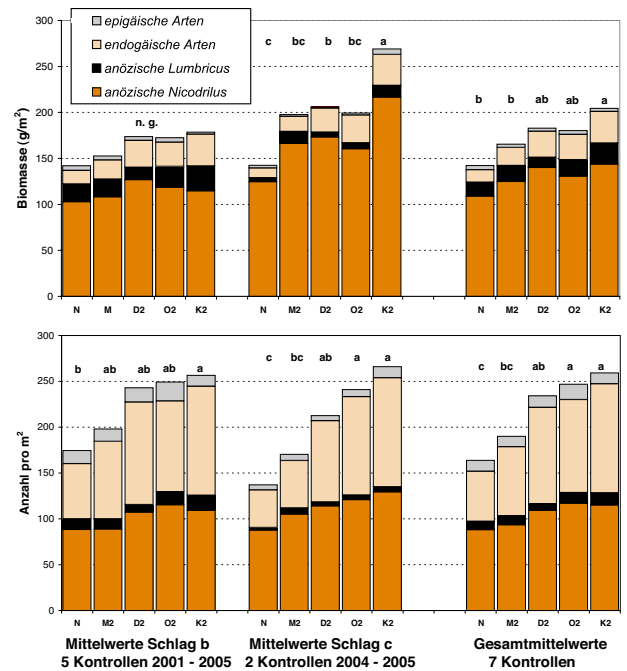
Gegenüber dem Durchschnittswert der Hauptverfahren D2, O2 und K2 fielen die Regenwurm-Biomassen im Verfahren N um 25 % und ohne Soja um 32 % tiefer und im konventionellen Verfahren M2 um 13 % beziehungsweise 20 % tiefer aus. Bei der Anzahl Individuen waren die Reduktionen im Verfahren N mit 34 % und 39 % sowie im Verfahren M2 mit 23 % und 29 % noch stärker.

Erhebungen 1990 bis 1992

Die Differenzen zwischen den Anbauverfahren im DOK-Versuch waren in den Erhebungen von 2001 bis 2005 generell kleiner als in den Untersuchungen von 1990 bis 1992 (Pfiffner *et al.* 1993; Pfiffner und Mäder 1997). Die Regenwürmer wurden in beiden Erhebungen mit der Methode der Handauslese erfasst. In den biologischen Anbauverfahren D2 und O2 waren jedoch die Regenwurm-Biomassen von 1990 bis 1992 um 30 bis 40 % höher, in den konventionellen Verfahren K2 und M2 dagegen 15 bis 30 % tiefer als 2001 bis 2005. Nur das ungedüngte Verfahren N wies in beiden Erhebungen etwa gleich hohe Re-

genwurm-Biomassen auf. Die Unterschiede in den Bio-Verfahren können auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Neben der längeren Versuchsdauer mit zum Teil anderen Kulturen haben wahrscheinlich jährliche Klimaschwankungen das Wachstum der Regenwürmer unterschiedlich beeinflusst. Bei gutem Futterangebot entwickeln sich die Regenwürmer nur dann optimal, wenn der Boden ausreichend feucht und warm ist. Ebenso bestimmt die Länge der Vegetationsperiode die Aktivität der Regenwürmer. Im Anbausystemversuch Burgrain wurden in sechs Schlägen während einer sechsjährigen Fruchtfolge jährliche Schwankungen von 20 bis 30 % der Regenwurm-Biomasse festgestellt (Jossi *et al.* 2004). Vermutlich wegen der gleichen Ursache war die Regenwurm-Biomasse im Silomais in Schlag c 2004 im Durchschnitt aller Verfahren um 40 % höher als im Silomais in Schlag b 2005 (Abb. 3 und 4). Die Individuendichte hingegen war in beiden Schlägen etwa gleich hoch.

Die Hauptursache für die tiefen Regenwurmbestände in den konventionellen Verfahren 1990 bis 1992, wurde von Pfiffner *et al.* (1993) dem Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel zugeschrieben. Tatsächlich wurden in der zweiten Fruchtfolgeperiode (1985 bis 1991) noch stark regenwurmtoxische Produkte mit Wirkstoffen wie Carbendazim (Getreidefungizid) und Dinoseb (Herbizid) angewendet. Der letzte Einsatz eines für Regenwürmer stark toxischen Präparates erfolgte 1989 im Schlag b mit dem Abbrennen des Kartoffelkrautes mit Dinoseb (DNBP). Mit der Einführung der integrierten Produktion anfangs der neunziger Jahre wurde auch im DOK-Versuch auf den Einsatz solcher Produkte verzichtet und die Regenwürmer konnten seither in den konventionellen Verfahren geschont werden. Gleiche Befunde wurden im Anbausystemversuch Burgrain festgestellt (Jossi *et al.* 2004) und wurden auch von Schmidt und Gutsche (2000) in einer Studie zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland bestätigt.



Die Anzahl eingesetzter Pflanzenbehandlungsmittel in den konventionellen Verfahren K2 und M2 während der vierten Fruchtfolgeperiode (1999 bis 2005) sind in der angefügten Tabelle in Abbildung 3 angegeben. Die angewandten Wirkstoffe dürften die Regenwürmer wenig beeinflusst haben. Auch der Einsatz von Fungiziden auf Kupferbasis im Ver-

Abb. 2. Biomasse (g/m²) und Individuenzahl pro m² in den Anbausystemen der Fruchtfolgeschläge b und c des DOK-Versuchs, Mittelwerte 2001 bis 2005. Tukeys HSD Test, p <0,05; Verfahren mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant; n.g. = nicht gesichert.

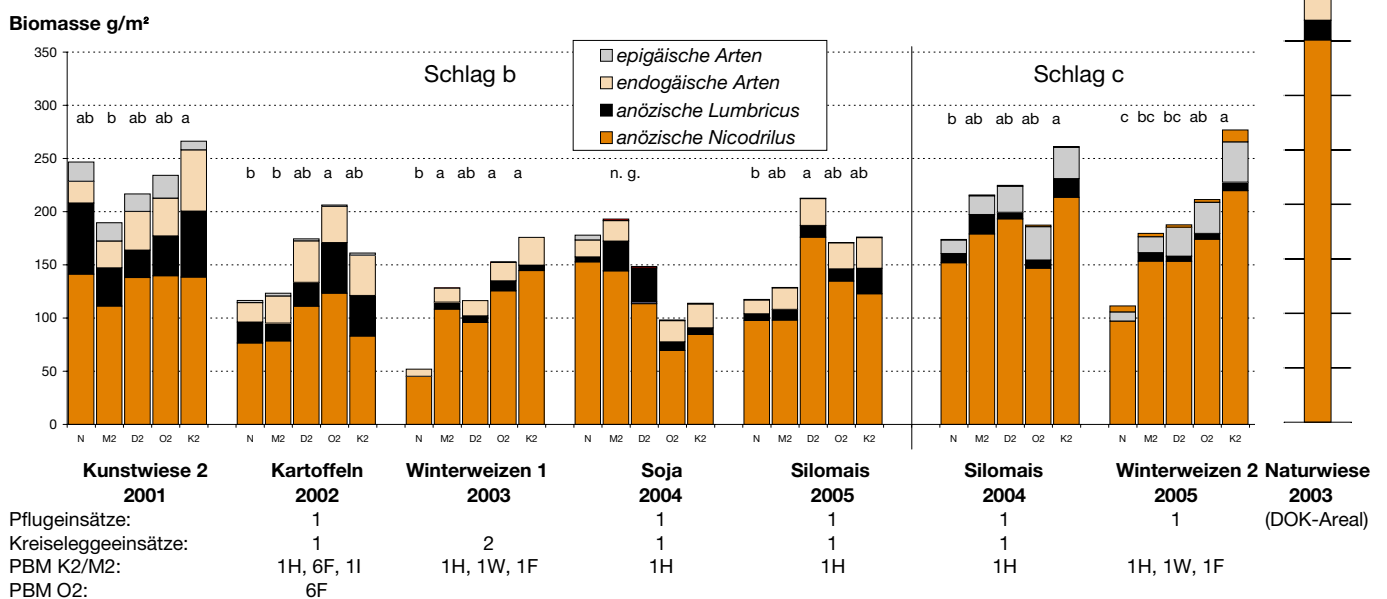


Abb. 3. Biomasse (g/m²) der Regenwurmbestände in den verschiedenen Kulturen in Schlag b und c der Verfahren N, M2, D2, O2, K2 des DOK-Versuchs 2001 bis 2005 im Vergleich mit Naturwiese im DOK-Areal. Die Bodenbearbeitungseinsätze sind in allen Verfahren gleich. Tukeys HSD Test, p <0,05; PBM = Pflanzenbehandlungsmittel in Verfahren K2, M2, O2: I = Insektizide, F = Fungizide, H = Herbizide, W = Wachstumsregulatoren (Halmverkürzung)

fahren O2 gegen die Kraut- und Knollenfäule bei Kartoffeln 2002 hatte auf die Regenwürmer kaum eine nachweisbare Wirkung, weil die eingesetzte Kupfermenge von 4 kg/ha, aufgeteilt auf sechs Behandlungen alle sieben Jahre, nur gering war.

Einfluss der Kulturen

Wie im Burgrain (Jossi et al. 2004) haben die ackerbaulichen Massnahmen für die einzelnen Kulturen im Laufe der Fruchtfolge die Regenwurm-Populationen im DOK-Versuch stärker beeinflusst als die einzelnen Anbausysteme. Vor allem die Bodenbearbeitung insbesondere durch den Einsatz von Pflug und Kreiselegge haben die grossen, tief grabenden Regenwürmer im Verlauf der Fruchtfolge im Schlag b stark beeinträchtigt. Der stärkste Einbruch im DOK-Versuch entstand bei allen Anbauverfahren 2002 nach Umbruch der zweijährigen Kunstwiese und intensiver Bodenbearbeitung für die Kartoffeln (Abb. 3). Etwas schwächer war die Reduktion im nachfolgenden Winterweizen 1, wo das Saatbeet ohne Pflugeinsatz nur mit der Kreiselegge hergerichtet wurde. Trotz des jeweiligen Pflügens im Frühjahr konnten sich die anözischen Regenwürmer in Soja und Silomais wieder etwas erholen.

Vergleich mit Dauergrünland

In Dauergrünland können sich die Regenwürmer optimal ent-

wickeln, weil Störungen wie bei der ackerbaulichen Bewirtschaftung weitgehend ausbleiben und den Regenwürmern zudem ausreichend Nahrung zur Verfügung steht. Um festzustellen, wie sich die Population bei idealen Bedingungen entwickeln kann, wurden 2003 zusätzliche Kontrollgrabungen in den an die DOK-Parzellen angrenzenden Dauerwiesenstreifen durchgeführt. Diese ungedüngten Wiesenstreifen werden jährlich mehrmals gemulcht. Mit 438 g/m² war die Regenwurm-Biomasse mehr als doppelt so hoch wie im Durchschnitt der Hauptanbauverfahren von 2001 bis 2005. Der tiefgründige Lössboden mit gutem Wasserspeichervermögen bietet den Regenwürmern am Standort des DOK-Versuchs offensichtlich einen idealen Lebensraum. Aus den Ergebnissen in der Dauerwiese ist ersichtlich, dass vor allem die Regenwurm-Biomasse wesentlich höher ist als bei den Ackerkulturen (Abb. 3). Anzahlmässig wurden in den Wiesenstreifen mit 450 Regenwürmern pro m² ähnliche Individuendichten festgestellt wie in den Hauptverfahren nach zwei Jahren Kunstwiese (2001) in Schlag b. Anteilmässig dominierten die anözischen *Nicodrilus* Arten mit 80 % der Biomasse. Vermutlich wegen des trockenen Hitzesommers 2003 wurden praktisch keine epigäischen Regenwürmer festgestellt.

Artenvielfalt

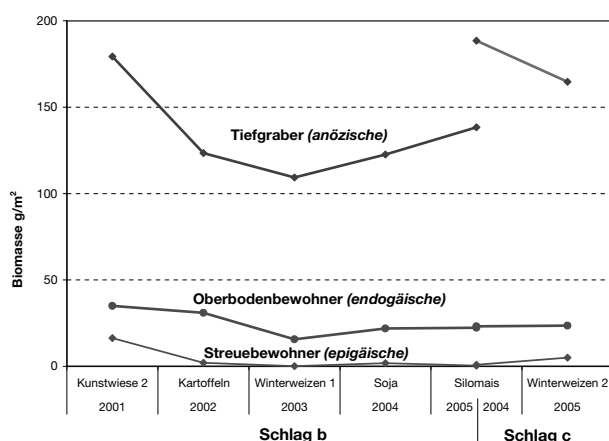
Im DOK-Versuch bildeten die tief grabenden Regenwürmer mit 84 % den Hauptanteil der Regenwurm-Biomasse. Davon gehörten 74 % den *Nicodrilus*-Arten und 10 % der Art *Lumbricus terrestris* an. Wie auf Burgrain wurden die kleineren im Oberboden lebenden endogäischen Arten (14 %) durch die Bodenbearbeitung weniger stark geschädigt. Die epigäischen Arten (2 %) wurden infolge der geringen Streueschicht in den Ackerkulturen stark redu-

ziert (Abb. 4). Auch anzahlmässig dominierten die anözischen *Nicodrilus* Regenwürmer mit 47,5 %, gefolgt von den endogäischen Arten mit 41,5 %. Nur 5 % waren von *Lumbricus terrestris* und 6 % von epigäischen Arten besetzt. Der Anteil adulter Regenwürmer betrug bei der Gesamtbiomasse 58 %.

Anzahlmässig bildeten die juvenilen Regenwürmer mit 63 % die Mehrheit. Etwa gleiche Prozentanteile wurden in allen Anbauverfahren ebenso in der Dauerwiese festgestellt.

In den fünfjährigen Erhebungen wurden in allen Verfahren elf Arten registriert. Die verschiedenen Regenwurmarten unterscheiden sich zwischen den Hauptverfahren D2, O2 und K2 anteilmässig nur wenig. Anders war der Populationsaufbau in den Verfahren N und M2, wo die epigäische Art *Lumbricus rubellus* anteilmässig fast doppelt, die endogäische Art *Nicodrilus caliginosus* im Verfahren N hingegen nur etwa halb so stark wie in den Hauptverfahren vertreten waren. Ähnlich wie bei den Untersuchungen von 1990 bis 1992 dominierten bei den tief grabenden Regenwürmern die Arten *Nicodrilus nocturnus* und *Nicodrilus longus*, letztere trat jedoch von 2001 bis 2005 deutlich schwächer auf. Der Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) war in beiden Erhebungsserien verhältnismässig schwach vertreten. Vor allem in den Ackerkulturen nach der zweijährigen Kunstwiese 2001 sank der Anteil dieser tief grabenden Regenwurmart ab (Abb. 3). Selbst in der angrenzenden Dauerwiese wurde *L. terrestris* 2003 mit einem Biomasseanteil von nur 4 % registriert. Nach Cuendet (1997) ist jedoch nicht auszuschliessen, dass der Biomasseanteil von *L. terrestris* bei reiner Handauslese ohne vorheriges Austreiben mit einer Formalinlösung unterschätzt wird.

Abb. 4. Einfluss der Kulturabfolge auf die Biomasse (g/m²) der tiefgrabenden und der Oberboden bewohnenden und der Streue bewohnenden Regenwürmer; Mittelwerte aller Anbauverfahren 2001 bis 2005 und 2004 bis 2005 in den Fruchtfolgeschlägen b und c.



Bei den im Oberboden lebenden endogäischen Arten gehörten, wie in den Untersuchungen von 1990 bis 1992, *Nicodrilus caliginosus* und *Allolobophora rosea*, bei den epigäischen Arten *Lumbricus rubellus* zu den häufigsten Arten. Zusätzlich wurde in allen Anbauverfahren die endogäische Art *Allolobophora riparia* festgestellt.

Schlussfolgerungen

Die ausgeglichenen Regenwurm-Populationen in den mit Mist und Gülle gedüngten Verfahren D2, O2 und K2 zeigen, dass die Regenwürmer dank mehrjähriger Kunstwiese, organischer Düngung und gemässigtem Pflanzenschutzmittel-Einsatz auch bei integrierter Bewirtschaftung ebenso günstige Lebensbedingungen vorfinden wie im Bio-Anbau. Die Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse, die bereits im Anbausystemversuch Burgrain gemacht wurden (Jossi *et al.* 2004). Mehrere On-farm Vergleichsstudien in Bio- und IP-Ackerflächen belegen jedoch, dass die Regenwurm-

fauna in konventionellen IP-Betrieben nicht selten schwächer ist, weil in vielen Fällen die erwähnten Regenwurm fördernden Bewirtschaftungsnormen nicht eingehalten werden können (Piffner und Luka 1999). Das Pflügen im Herbst oder Frühjahr, wenn sich die Regenwürmer meistens im Oberboden aufhalten, schädigt die Regenwurm-Populationen hingegen in allen Anbausystemen.

Literatur

- Cuendet G., 1995. Identification des lombriciens de Suisse, Vaudens, 19 S.
- Cuendet G., 1997. Die Regenwurmfauna von Dauergrünland des Schweizer Mittellandes. Buwal Schriftenreihe Umwelt Nr. 291, 1-92.
- Jossi W., Valenta A. & Tschachtli R., 2004. Das Auf und Ab der Regenwurmfauna. Schriftenreihe der FAL 52, Zürich, 53-58.
- Marhan S., 2004. Effects of earthworms on stabilisation and mobilisation of soil organic matter. Dissertation: Technische Universi-

tät Darmstadt, Fachbereich Biologie, 174 S.

- Piffner L., Mäder P., Besson J.-M. & Niggli U., 1993. DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell. *Schweiz. Landw. Forschung* **32** (4), 547-564.
- Piffner L. & Mäder P., 1997. Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. *Biological Agriculture and Horticulture* **15**, 3-10.
- Piffner, L. & Luka, H., 1999. Förderung der Nützlingsfauna im biologischen Ackerbau am Beispiel der Nutzarthropoden- und Regenwurmfauna. 5. Wissenschaftstagung Berlin 23.2.-25.3. 1999, Hrsg. H. Hoffman & S. Müller. 402-406.
- Schmidt H.-H. & Gutsche V., 2000. Analyse der Entwicklung des Pflanzenschutzmittel-Absatzes in der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1980 bis 1998. *Gesunde Pflanzen* **52** (6), 172-182.

RÉSUMÉ

Essai DOC: effets des systèmes cultureux sur les vers de terre

Depuis 1978, l'essai DOC mis en place à Therwil compare deux systèmes cultureux biologiques, deux systèmes conventionnels et un procédé de contrôle sans fumure. Les recensements de populations de vers de terre effectués de 2001 à 2005 n'ont pas montré de différences statistiquement significatives entre les systèmes fertilisés avec du fumier et du lisier. Les valeurs se situaient en général à un niveau relativement élevé pour des terres assolées. En comparaison avec des études réalisées antérieurement, les vers de terre ont pu être préservés, également dans les systèmes conventionnels, grâce à l'abandon depuis 1992 des produits phytosanitaires toxiques. Le système avec fumure minérale exclusive a révélé une biomasse de ver de terre de 13 % inférieure par rapport au procédé principal, ce qui s'explique par le manque de fumure organique. Les valeurs les plus basses ont été constatées dans le procédé sans fumure N (moins 25 %). Aussi bien dans les systèmes biologiques que dans les systèmes conventionnels, c'est dans les variantes fertilisées que les populations de vers de terre ont été le plus influencées par le travail du sol (charrue). La mise en place de trèfle a considérablement favorisé le développement des vers de terre. Onze espèces différentes de vers de terre ont été répertoriées au total dans sept enquêtes.

SUMMARY

DOC Trial: effects of the farming systems on the earthworms

The DOC long-term trial in Therwil has been comparing two organic farming systems with one another since 1978: two conventional systems and one unfertilized control system. Earthworm surveys from 2001 to 2005 revealed no statistically significant differences between the farming systems which were fertilized with solid and liquid manure, either in terms of biomass or number of earthworms. Values were relatively high for arable soils. Since the use of plant-protection products, which are toxic to earthworms, was dispensed as from 1992, earthworm populations have been better protected and regenerated than in earlier investigations, even in conventional farming systems. The conventional farming system using mineral fertilizers exclusively had an earthworm biomass that was 13 % lower than that of the main systems, which is explained by the lack of organic fertilizers. The lowest values were found in the unfertilized treatment N (minus 25 %). In both the organic and conventional farming systems, earthworm populations were influenced most strongly by the tillage system (ploughing). The cultivation of clover-grass appreciably boosted earthworm numbers. A total of eleven different earthworm species were found in seven investigations.

Key words: Earthworms, arable farming systems, crop rotation