

Umwelt

Bodenbiologie nach zehn Jahren Direktsaat und Pflug

Claudia Maurer-Troxler, Andreas Chervet, Lorenz Ramseier und Wolfgang G. Sturny, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Rütli, CH-3052 Zollikofen

Hans-Rudolf Oberholzer, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich

Auskünfte: Claudia Maurer-Troxler, E-Mail: claudia.maurer@vol.be.ch, Fax +41 (0)31 910 53 49, Tel. +41 (0)31 910 53 33

Zusammenfassung

Seit zehn Jahren wird auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen das Pflug- mit dem Direktsaatsystem verglichen. Seit 1998/99 werden die Regenwurmpopulationen sowie die mikrobielle Biomasse und die Bodenatmung erhoben.

Im Pflugsystem finden sich durchschnittlich 94 g/m² Regenwürmer, im Direktsaatsystem 190 g/m². Der Anteil der für die Drainage wichtigen Tiefgräber beträgt im Pflugsystem 25 %, im langjährigen Direktsaatsystem über 50 % mit insbesondere der Art *L. terrestris*. Eine intensive Bodenbearbeitung reduziert die grossen Arten und deren stabile Gänge. Unter Direktsaatbedingungen und ohne Kartoffeln in der Fruchtfolge sind Gesamtbiomasse und Anteil Tiefgräber denjenigen einer Naturwiese praktisch gleichzusetzen.

Bei den mikrobiologischen Parametern mikrobielle Biomasse und Bodenatmung wurden nur bezüglich der Tiefenstufen geringe systembedingte Unterschiede gefunden.

Mit dem Verzicht auf den Pflug verändern sich die Bedingungen für den Abbau des organischen Materials. Die effiziente Einmischung in den Boden durch die grosse Regenwurmpopulation garantiert - in Zusammenarbeit mit den Mikroorganismen - einen schnellen Abbau des auf der Bodenoberfläche anfallenden Pflanzenmaterials. Damit kann die Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten vermindert werden.



Abb. 1. Luftaufnahme vom 29. Juni 2004 der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker am Inforama Rütli-Zollikofen. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope FAL Zürich-Reckenholz)

Systemvergleich Oberacker

Im Ackerbau müssen vermehrt extensive, konservierende Bodenbearbeitungssysteme in der Praxis umgesetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht sicherzustellen (USG 1983) sowie die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Mit dem Ziel, sowohl die Vorteile als auch die Nachteile des Direktsaatsystems gegenüber dem Pflugsystem aufzuzeigen bzw. zu lösen, wurde am Inforama Rütli in Zollikofen im August 1994 ein Systemvergleich angelegt.

Der im Streifendesign angelegte Vergleich ohne Wiederholungen liegt auf einer tiefgründigen, grundfeuchten Braunerde mit einem Tonanteil von 15 % und einem Humusgehalt von 3 % (Chervet *et al.* 2001). Sechs nebeneinander liegende Fruchtfolgeparzellen à 14 Aren werden je zur Hälfte direkt bestellt bzw. gepflügt (Abb. 1).

Betreut wird die Demonstrationsfläche von der Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion des Kantons Bern (ASP) und vom Inforama Rütli. Neben agronomischen Erhebungen werden bodenphysikalische, -biologische und -chemische Parameter erfasst. Ein Teil der Untersuchungen wird von der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft in Zollikofen (SHL) und der Agroscope FAL Zürich-Reckenholz durchgeführt.

Dies ist die dritte Veröffentlichung einer mehrteiligen Artikelserie, mit der in loser Folge über den Systemvergleich «Oberacker» informiert wird.

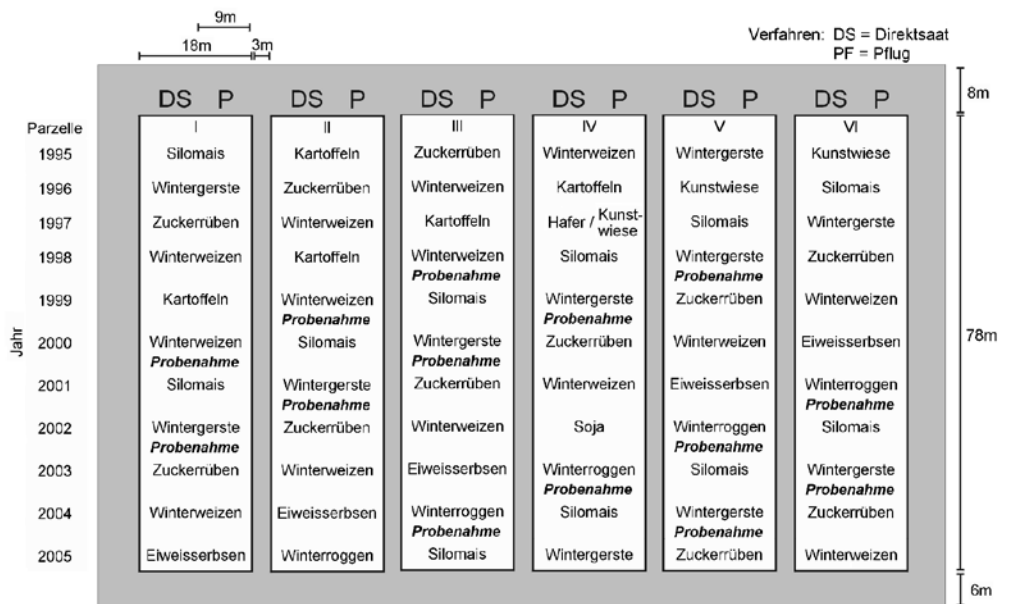
Die ackerbauliche Produktion muss sowohl ökonomischen als auch ökologischen Anforderungen genügen. Beide Ziele werden mit extensiven, konservierenden Bodenbearbeitungssystemen wie der Direktsaat erreicht. Dadurch erfolgen Einsparmöglichkeiten bei Energieeinsatz, Arbeitsaufwand und Investitionen beziehungsweise ein geringes Risiko für Boden-degradation und Erosion.

Mit dem Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung ändern sich die Voraussetzungen für bodenbiologische Prozesse. Die grossen Mengen an Pflanzenrückständen werden nicht mehr maschinell eingearbeitet, sondern verbleiben vorerst auf der Bodenoberfläche. Um die Vermehrung problematischer Krankheitserreger zu vermindern, ist ein schneller Abbau des organischen Materials nötig. Die Pflanzenreste müssen von einer der Situation angepassten Regenwurmpopulation in den Boden eingearbeitet und anschliessend von einer aktiven Mikroorganismengemeinschaft zersetzt werden. Insbesondere das Direktsaatsystem ist auf ein solchermassen aktives Bodenleben angewiesen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden in den beiden Bodennutzungssystemen Pflug und Direktsaat die Menge und Zusammensetzung der Regenwurmpopulation und deren Veränderung über die Zeit sowie die mikrobiologischen Parameter «mikrobielle Biomasse» und «Bodenatmung» erhoben.

Methoden

Regenwurmpopulation: Jährlich wurden seit 1998 jeweils im Oktober nach Wintergetreide auf den zwei mit einer Gründüngung bepflannten Fruchtfolgeparzellen die Regenwurmpopulationen erhoben (Abb. 2). Insgesamt sind es bis heute 14 Beprobungen von je sechs



1/4 m² grossen Teilflächen. Die Probenahme erfolgte gemäss dem Referenzmethodenbuch der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten.

Mikrobiologie: Zur Charakterisierung des Stoffumsatzes wurden auf denselben zwei Fruchtfolgeparzellen jeweils im nachfolgenden frühen Frühling in den Schichten 0-10 cm und 10-20 cm die Menge aller Bakterien und Pilze (mikrobielle

Biomasse FEM) und deren Aktivität (Bodenatmung) erhoben. Die Analysen erfolgten nach den Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, bis 2003 im Labor SOLVIT, seit 2004 an der Agroscope FAL Reckenholz.

Regenwurmpopulation

Biomassen: Sowohl im Direktsaat- als auch im Pflugsystem variieren die Biomassen auf allen sechs Parzellen (Abb. 3). Wegen zwei Fruchtfolgeumstellungen

Abb. 2. Versuchsplan mit Kulturenfolge, Probenahme Regenwurmpopulation und Mikrobiologie. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen.

Abb. 3. Regenwurm-Biomasse im Direktsaat- und Pflugsystem 1998 – 2004. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen.

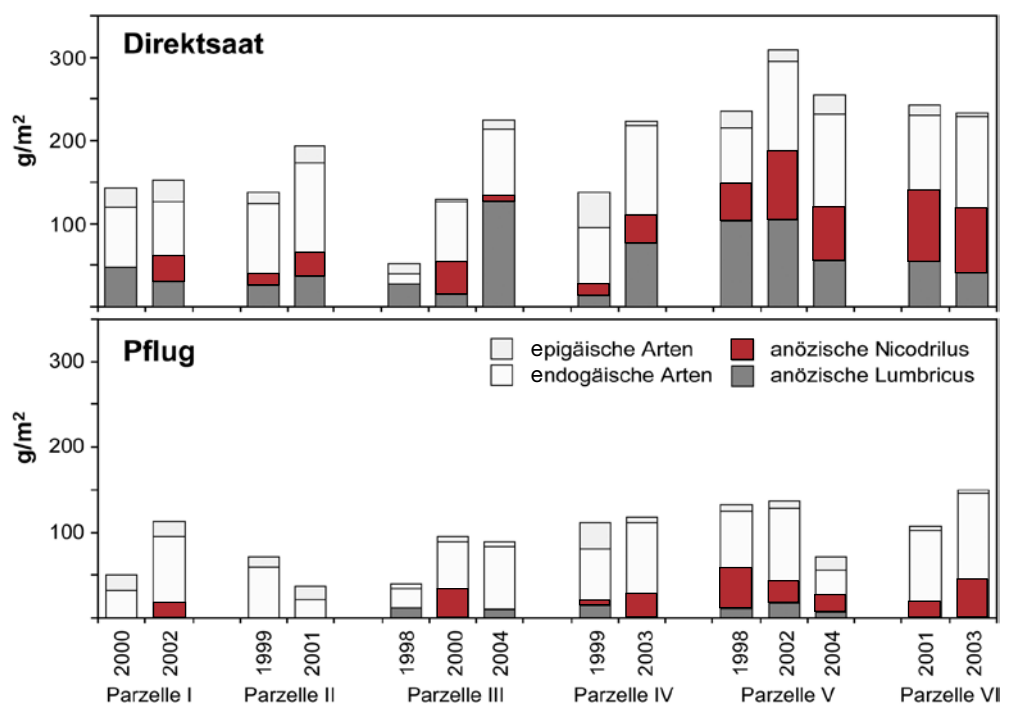
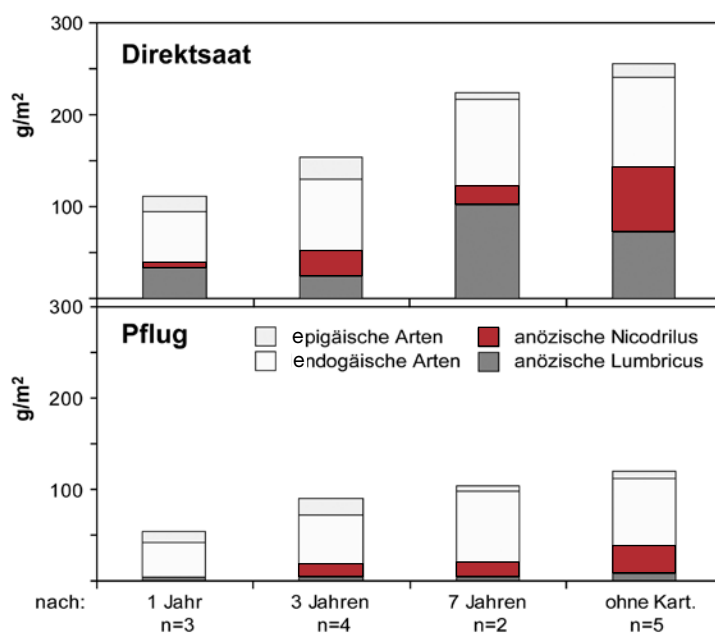


Abb. 4. Regenwurm-Biomasse im Direktsaat- und Pflugsystem 1, 3 und 7 Jahre nach Kartoffelanbau sowie ohne Kartoffeln in der Fruchtfolge. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen.



wurden die Parzellen in unterschiedlichem Ausmass physikalisch beansprucht. Die Summe aller seit Versuchsbeginn 1994 durchgeführten Bodenbearbeitungseingriffe variiert systembedingt (Tab. 1; Chervet *et al.* 2005). Durchschnittlich wurden die sechs Pflugparzellen mit 37 % mehr Überfahrten belastet. Auf den Parzellen V und VI erfolgte die geringste, auf der Parzelle II - mit zweimal Kartoffeln in der Fruchtfolge - die höchste Anzahl an Eingriffen. Dies beeinflusste die Regenwurm-Biomassen. Die bezüglich Bodenbearbeitungseingriffen am geringsten belasteten Parzellen V und VI wiesen schon bei der Erstbeobachtung im Direktsaatsystem sehr hohe,

im Pflugsystem relativ hohe Biomasse-Werte auf (Abb. 3). Bei den physikalisch stärker beanspruchten Parzellen I bis IV hingegen wurden viel weniger Regenwürmer extrahiert, diese Parzellen verzeichneten aber einen Anstieg der Regenwurmpopulationen in beiden Bearbeitungssystemen mit zunehmender zeitlicher Distanz zum letztmaligen Kartoffelanbau. Infolge des grossen Nahrungsangebotes durch die regelmässige Zufuhr von organischem Material aus Strohdüngung und/oder Zwischenbegrünung vermehrten sich die Regenwürmer auch im Pflugsystem.

Bereits Chervet *et al.* (2001) stellten im gleichen Versuch einen Zusammenhang zwischen Anteil Hackfrüchte in der Fruchtfolge und Regenwurmbiomasse fest. Abbildung 4 zeigt die Regenwurmpopulation eins, drei und sieben Jahre nach dem letztmaligen erfolgten Kartoffelanbau sowie als Vergleichswert das Resultat derjenigen Parzellen, die seit Versuchsbeginn nie mit Kartoffeln bebaut wurden. Ein Jahr nach Kartoffeln finden sich in beiden Anbausystemen nur etwa halb so viele Regenwürmer wie nach siebenjähriger Distanz

zum letzten Kartoffelanbaujahr. Der Anteil der Tiefgräber ist insbesondere im Pflugsystem sehr gering. Die Arten der beiden anözischen Gruppen erholen sich unter Direktsaat schnell und vor allem die Art *L. terrestris* erreicht nach sieben Jahren sehr hohe Werte. In den Parzellen ohne Kartoffeln sind die beiden Tiefgräber-Gruppen in etwa gleich stark vertreten. Im Pflugsystem hingegen erholt sich die Regenwurmpopulation nur langsam, deren Gesamtbiomasse beträgt auch nach sieben Jahren nur die Hälfte derjenigen des Direktsaatsystems. Der Anteil Tiefgräber bleibt gering und die drainagewirksamste Art *L. terrestris* fehlt fast vollständig. Vor allem im Sommer ist dadurch bei Starkniederschlagsereignissen die Infiltration im Pflugsystem stark eingeschränkt.

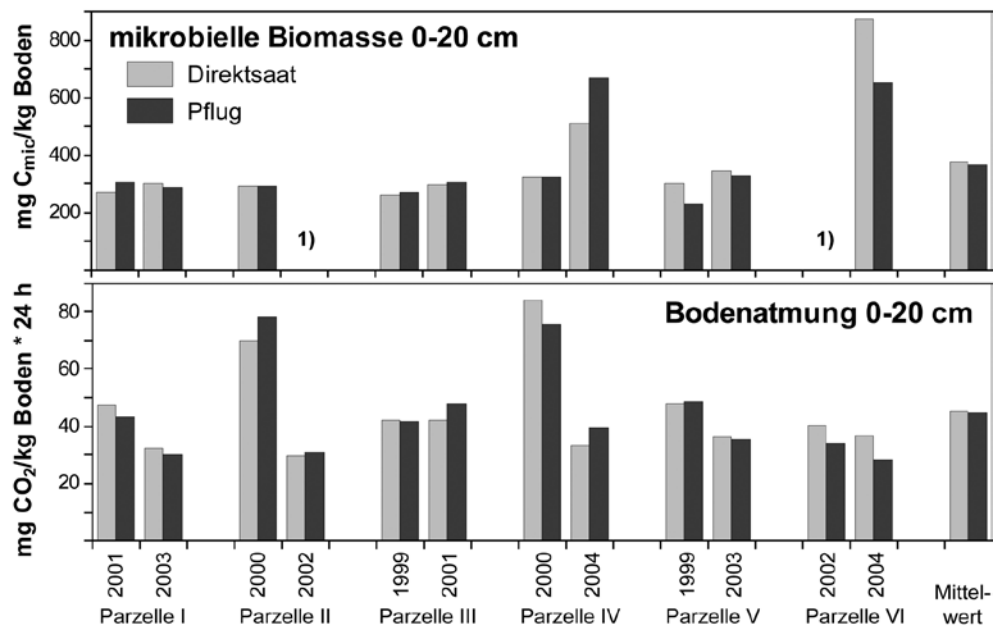
Vergleichswerte: Die Regenwurmpopulationen beider Anbausysteme unterscheiden sich sowohl bezüglich der Gesamtbiomassen als auch hinsichtlich ihrer Zusammensetzungen. Der Mittelwert aller Direktsaat-Parzellen ist mit durchschnittlich 190 g/m² über die sieben Jahre doppelt so hoch wie derjenige der Pflug-Parzellen mit 94 g/m². Ohne Kartoffeln in der Fruchtfolge liegen die Werte mit 255 g/m² im Direktsaat- beziehungsweise mit 120 g/m² im Pflugsystem deutlich über dem Mittelwert. Die Direktsaat-Werte lassen sich sowohl mit denjenigen von Wiesen im Kanton Bern (Kantonale Bodenbeobachtung KABO Bern, Bodenbericht, Autorenkollektiv AUL, 2003) als auch mit den Referenzwertbereichen von Dauerwiesen des Schweizerischen Mittellandes (Stähli *et al.* 1997) vergleichen (Tab. 2). Durch den langjährigen Verzicht auf den Pflug nähern sich somit die Regenwurmpopulationen von Ackerflächen denjenigen von Naturwiesen an. Wird eine Fruchtfolge ohne Kartoffeln

Tab. 1. Summe der Bodenbearbeitungseingriffe und Anzahl Anbaujahre mit Kartoffeln 1994-2004. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen.

Parzelle	Σ Bodenbearbeitungseingriffe		Anzahl Anbaujahre mit Kartoffeln in der Fruchtfolge
	Direktsaat	Pflug	
I	9	32	1
II	22	43	2
III	10	36	1
IV	10	33	1
V	1	24	0
VI	2	26	0

gewählt, sind die Regenwurmpopulationen von Ackerflächen unter Direktsaat-Bedingungen mit denjenigen von langjährigen Wiesen praktisch gleichzusetzen.

In beiden Anbausystemen zeigt die Gruppe der «epigäischen Arten» im Vergleich zu den Wiesen relativ hohe Werte, dies wegen der grossen Zufuhr von unverrottetem organischem Material. Bei der Gruppe der «endogäischen Arten» liegen die absoluten Werte in beiden Bodennutzungssystemen innerhalb des Referenzwertbereichs, anteilmässig bilden diese vor allem im Pflugsystem die dominante Gruppe. Dagegen finden sich in beiden Anbausystemen eher wenige «anözische Nicodrilus-Arten». Bei der Gruppe «anözische Lumbricus» mit der Art *L. terrestris* unterscheiden sich Direktsaat- und Pflugsystem stark: geringe Biomassen im Pflug stehen mit Wiese vergleichbare Werte in der Direktsaat gegenüber. Die wendende Pflugarbeit, gefolgt von der Saatbettbereitung mit einem zapfwellengetriebenen Gerät, scheint vor allem die grossen Regenwürmer durch mechanisches Verletzen sowie Zerstören ihrer Gänge empfindlich zu reduzieren. Langjährige pfluglose Bewirtschaftung kann



die Biomasse markant erhöhen (Delaunois 2004).

Mikrobiologische Parameter

Die beiden Bodennutzungssysteme unterscheiden sich im Durchschnitt aller Bestimmungen (sechs Fruchtfolgeparzellen, zwei Bodenschichten, zwei Zeitpunkte) weder bezüglich mikrobieller Biomasse noch in Bezug auf die Bodenatmung (Abb. 5). Die durchschnittlichen Werte der Schicht 0-20 cm liegen für die Biomassen im Direktsaatverfahren bei 378 mg C_{mic}/kg Boden TS, im Pflugverfahren bei

367 mg C_{mic}/kg Boden TS, diejenigen für die Atmung bei 45,2 mg CO₂/kg*24h beziehungsweise bei 44,6 mg CO₂/kg*24h.

Zur zeitlichen Veränderung der bodenmikrobiologischen Parameter kann aufgrund der erst zweimaligen Erhebungen noch keine Aussage gemacht werden. Ebenso sind aufgrund methodischer Unsicherheiten und des Laborwechsels die Absolutwerte von verschiedenen Terminen nicht vergleichbar. Die Gegenüberstellung der Parzellen, der Anbausysteme und der beiden probierten Schichten ist jedoch

Abb. 5. Mikrobielle Biomasse und Bodenatmung in 0-20 cm Bodentiefe im Direktsaat- und Pflugsystem 1999 – 2004. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollkofen. ¹⁾ aus methodischen Gründen für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Tab. 2. Regenwurm-Biomasse und prozentualer Anteil der vier ökologischen Gruppen im Direktsaat- und Pflugsystem der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollkofen (alle Parzellen sowie diejenigen ohne Kartoffeln), KABO (Kantonale Bodenbeobachtung Bern) und Referenzwertbereich für Naturwiesen.

	Oberacker alle Parzellen				ohne Kartoffeln				KABO Bern		Referenzwertbereich	
	Biomasse		% - Anteil		Biomasse		% - Anteil		Biomasse	% - Anteil	Biomasse	% - Anteil
	DS ¹	PF ²	DS	PF	DS	PF	DS	PF	NW ³	NW	NW	NW
epigäische Arten	16	11	9	12	15	8	6	7	10	4	1- 9	1- 3
endogäische Arten	84	61	44	65	97	73	38	61	55	24	37- 92	13-30
anözische Nicodrilus	38	17	20	18	71	31	28	26	99	44	75-198	27-60
anözische Lumbricus	52	5	27	5	72	7	28	6	63	28	63-149	21-44
Total	190	94			255	120			227		250-400	

¹ DS=Direktsaat; ² PF=Pflug; ³ NW=Naturwiese

Insbesondere die auch im Sommer aktive Art *L. terrestris* garantiert mit ihren stets offenen Gängen eine gute Infiltration, was das Erosionsrisiko markant reduziert.



möglich, weil Probenahme und Bestimmung jeweils zum selben Zeitpunkt erfolgten.

In beiden Anbausystemen nehmen die mikrobielle Biomasse und Atmung in der Regel mit zunehmender Bodentiefe ab (Tab. 3), wobei die Abnahme im Pflugsystem wegen der

Durchmischung der Schichten durch die Bodenbearbeitung tendenziell kleiner ist als im Direktsaatsystem.

Entgegen zahlreicher Literaturangaben (Bode *et al.* 1995, Kandeler *et al.* 1995, Maillard *et al.* 1997) unterscheiden sich in der vorliegenden Untersuchung

die beiden Anbausysteme weder bezüglich dem Durchschnitt über die Schicht 0-20 cm noch in Bezug auf die beiden untersuchten Tiefenstufen 0-10 und 10-20 cm deutlich. Mehrere Gründe können dafür verantwortlich sein. Im vorliegenden Versuch fand die letzte wendende Bodenbearbeitung auf den Pflugparzellen eineinhalb Jahre vor der Probenahme statt, wodurch sich auch auf den gepflügten Parzellen bereits eine leichte Differenzierung in den Bodenschichten einstellen konnte. In eher leichten Böden wie dem untersuchten ist generell keine ausgeprägte Zonierung zu erwarten. Grosse Unterschiede in der Regenwurmpopulation, nicht aber an mikrobieller Biomasse und Atmung, wurden auch von Jäggi *et al.* (2002) beschrieben. Im vorliegenden Fall kann – trotz vergleichbarer Menge an Pflanzenrückständen – im Direktsaatsystem eine höhere Regenwurmbiomasse erhalten werden. Inwieweit hier ein effizienterer Nährstoffumsatz vorliegen könnte, wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Erste Hinweise in diese Richtung zeigen die mit zunehmender Versuchsdauer festgestellten höheren Erträge (Chervet *et al.* 2005).

Schlussfolgerungen

■ Intensität und Anzahl Bodenbearbeitungseingriffe vor allem

Tab. 3. Verhältnis der mikrobiellen Biomasse und der Bodenatmung der unteren (10-20 cm) zur oberen (0-10 cm=100 %) Schicht bei der 1. Beprobung (1999-2002) und der 2. Beprobung (2001-2004). Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollkofen

Parzellen	I	II	III	IV	V	VI	Mittelwert
Biomasse mg C_{mic}/kg							
Direktsaat 1./2. Beprobung	81 / 77	78 / 88	75 / 66	89 / 71	62 / 70	107 / 72	82 / 74
Pflug 1./2. Beprobung	92 / 68	95 / 85	77 / 67	90 / 87	84 / 82	120 / 89	93 / 80
Atmung mg CO₂/kg*24h							
Direktsaat 1./2. Beprobung	66 / 58	82 / 45	62 / 60	71 / 48	45 / 60	45 / 49	62 / 53
Pflug 1./2. Beprobung	68 / 55	100 / 44	68 / 62	76 / 56	49 / 58	48 / 53	68 / 55

durch Pflug und beim Kartoffelanbau bestimmen zu einem wesentlichen Teil die Grösse und Zusammensetzung der Regenwurmpopulation. Nach zehn Jahren Direktsaat ohne Kartoffeln in der Fruchtfolge sind die Werte für Gesamtbio- masse und Anteil Tiefgräber doppelt so hoch wie im Pflug- system und denjenigen einer Dauerwiese praktisch gleich- zusetzen. Sieben Jahre nach dem letztmaligen Anbau von Kartoffeln hat sich sowohl im Direktsaat- als auch im Pflugsys- tem die Regenwurmpopulation stark vergrössert: sie liegt im Pflugsystem aber markant tiefer als im Direktsaatsystem, wo sich ein hoher Anteil Tiefgräber und insbesondere die Art *L. terrestris* findet.

■ In beiden Anbausystemen fallen an der Oberfläche grosse Mengen Ernterückstände an. In den Pflugparzellen wird dieses organische Material mechanisch durch Bodenbearbeitung ein- gemischt, abgestorbene Pflan- zenreste werden eingearbeitet und sind häufig in der Nach- folgekultur auf der Pflugsohle sichtbar. In den Direktsaatpar- zellen erfolgt die Einmischung in den Boden biologisch durch eine grosse Regenwurmpopulation. Zusammen mit den Mikroorga- nismen wird das gesamte anfal- lende Material innerhalb eines Jahres vollständig abgebaut.

■ Möglicherweise könnten Phytopatogene wie Fusarien durch rasches Zersetzen der Ernterückstände bei Direkt-

saat eingeschränkt werden. Insbesondere bei langjähriger Anwendung dieses Anbau- systems wäre eine Änderung in der Zusammensetzung der Mikroorganismengemeinschaft mit einem höheren Anteil Fusa- rien-Antagonisten vorstellbar. Nachgewiesenermassen werden Fusskrankheiten wie Halm- bruch und Schwarzbeinigkeit bei Direktsaatbedingungen ver- gleichsweise reduziert (Anken *et al.* 2004).

Literatur

Das Literaturverzeichnis ist bei der Autorin erhältlich.

RÉSUMÉ

Biologie du sol après dix ans de semis direct et de labour

Les systèmes de culture avec labour et en semis direct sont comparés depuis 10 ans sur la parcelle de surveillance à long terme «Oberacker» à l'Inforama Rütli, à Zollikofen. Les populations de lombriciens, la biomasse microbienne et la respiration du sol y sont relevées depuis 1998/1999.

Nous avons trouvé 94 g/m² de vers de terre dans le système avec labour et 190 g/m² en semis direct. La proportion de fousseurs, importants pour le drainage, est de 25 % dans le système avec labour. Elle dépasse 50 % dans le système en semis direct pratiqué durant de longues années, avec comme espèce particulièrement répandue, le vers de terre commun, *Lumbricus terrestris*. Un travail du sol intense réduit la quantité d'espèces de grande taille et de galeries stables qu'elles creusent. Dans les parcelles de semis direct où la pomme de terre n'a pas été cultivée au cours de la rotation, la biomasse totale et la part de fousseurs sont pratiquement identiques à celles d'une prairie naturelle.

Lors de l'étude des paramètres de la biomasse microbienne et de la respiration du sol, seules des différences minimales liées au système ont été constatées quant à leur évolution avec la profondeur.

Le renoncement à la culture avec labour entraîne une modifica- tion des conditions de décomposition de la matière organique. L'incorporation dans le sol, réalisée par les grandes popula- tions de lombriciens, garantit – avec l'aide des microorga- nismes – une décomposition plus rapide de la litière du sol, ce qui peut empêcher la propagation de maladies des plantes.

SUMMARY

Soil biology after ten years of no- and conventional tillage

Over the last ten years, conventional plow tillage has been compared to no-tillage in the long-term field trial "Oberacker" at the Inforama Ruetti in Zollikofen. Earthworm populations, microbial biomass and soil respiration have been monitored since 1998-99.

The average earthworm biomass is 94 g/m² on convention- ally tilled plots and 190 g/m² on no-tilled plots. Deep-bur- rowers, which are important for soil drainage, form 25% of this biomass in conventional tillage and more than 50% in the long-standing no-tillage fields, the latter comprising espe- cially of the species *L. terrestris*. Intensive tillage reduces the occurrence of larger species and their permanent burrows. Under no-tillage cultivation and in the absence of potatoes in the crop rotation, total earthworm biomass and the propor- tion of deep-burrowers are comparable to those in a natural meadow.

The microbiological parameters, microbial biomass and soil respiration, showed only slight system-induced differences in their distribution between depth layers.

In the absence of tillage operations the conditions for organic matter degradation are altered. Plant residues gathering on the soil surface is fast decomposed due to efficient mixing by the large earthworm population in collaboration with microbial activity, thus preventing the spread of plant disease.

Key words: earthworms, soil microorganisms, no-tillage, long-term experiment, crop rotation, potatoe.