

Direktsaat im Praxisversuch

Einfluss auf die Struktur des Bodens

Andreas Chervet, Claudia Maurer und Wolfgang G. Sturny, Amt für Landwirtschaft des Kantons Bern, Rütli, CH-3052 Zollikofen
Moritz Müller, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), CH-3052 Zollikofen
Auskünfte: Andreas Chervet, e-mail: andreas.chervet@vol.be.ch, Fax +41 (0)31 910 53 49, Tel. +41 (0)31 910 53 38

ZUSAMMENFASSUNG

Auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Zollikofen (Schweiz) dominieren tiefgründige, leichte bis mittelschwere Braunerden. Das Direktsaatsystem wird dem Pflugverfahren - bei unterschiedlichen Hackfruchtanteilen - gegenübergestellt. Nach fünf Jahren Direktsaat ist der Boden von einer Mulchschicht aus verrottenden Pflanzenresten bedeckt. Aufgrund der fehlenden Bearbeitung ist der Oberboden dichter, was durch zahlreiche, oft bis in den Unterboden reichende Regenwurmgänge kompensiert wird. Dadurch ist die Pflugsohlenverdichtung bereits deutlich gelockert.

Auf den gepflügten Vergleichsparzellen wurden die Bodenaggregate durch den häufigen Einsatz des Zinkenrotors regelmässig zerstört; der Boden neigt zu Verschlammung und Verdichtung. Die Regenwurm-Biomasse ist in den gepflügten Böden deutlich geringer als unter Direktsaat. Die Biomasse nimmt in beiden Verfahren mit steigendem Hackfruchtanteil ab.

Die Wasserinfiltration ist auf der Direktsaatfläche höher als beim Pflugverfahren. Nach Direktsaat weist die Parzelle ohne Hackfrüchte die höhere Infiltrationsrate auf als die Parzelle mit 50 % Hackfruchtanteil.

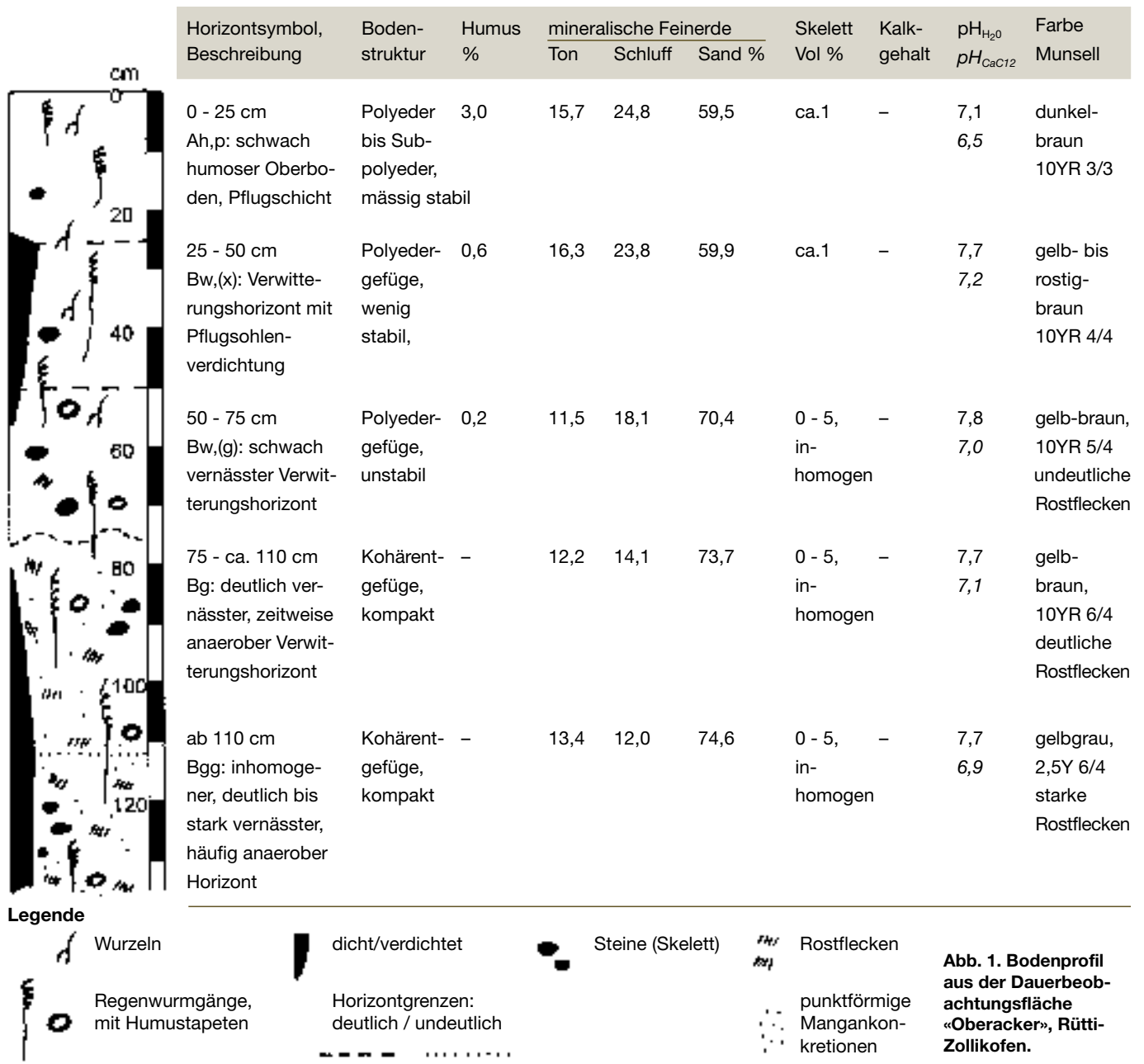
Die permanente Bodenbedeckung und -durchwurzelung - Merkmal des Direktsaatsystems - festigt die Struktur und bietet Schutz gegen physikalische Einwirkungen des Bodens. Daneben sind Ernterückstände und Pflanzenreste die Nahrungsgrundlage für die Bodenlebewesen, die zahlreicher und vielfältiger sind als bei unbedeckten, intensiv bearbeiteten Böden.

In dieser Arbeit werden die Böden der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen kurz charakterisiert. Es folgt ein Vergleich der Bodenstruktur nach 5 Jahren konsequenter Direktsaat beziehungsweise intensiver Bearbeitung mit Pflug und Zinkenrotor (Versuchsbeschreibung siehe Reinhard *et al.* 2001). Da beim Hackfruchtanbau am meisten Eingriffe in den Boden nötig sind, wurden in ausgewählten Parzellen mit unterschiedlichem Hackfruchtanteil die Regenwurm-Biomasse und die Wasserinfiltration bestimmt und verglichen.

Tiefgründige, mittel-schwere bis leichte Böden

Auf allen Teilparzellen dominieren grundfeuchte, tiefgründige Braunerden (Abb. 1). Ihre pflanzennutzbare Gründigkeit wird auf 70 bis 100 cm, das Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser (pF 2-3) entsprechend auf über 70 Liter pro Quadratmeter geschätzt. Einzig auf der flachen Geländekuppe im südwestlichen Teil der Versuchsfläche findet sich ein rund 10 m breiter Streifen mit weniger tiefgründigen, schneller austrocknenden Böden. Ein Grossteil der Böden zeigt im Untergrund schwache bis mässige Vernässungsanzeichen. Diese sind auf eine undurchlässige, stauende Tonschicht in rund 2 m Tiefe zurückzuführen. Es handelt sich durchwegs um mittelschwere bis leichte, skelettarme Böden: Der Tongehalt liegt in den obersten 50 cm etwas über





Legende

- Wurzeln
- Regenwurmgänge, mit Humustapeten
- dicht/verdichtet
- Horizontgrenzen: deutlich / undeutlich
- Steine (Skelett)
- Rostflecken
- punktförmige Mangankonkretionen

Abb. 1. Bodenprofil aus der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker», Rütli-Zollikofen.

15 % (sandiger Lehm), im Unterboden zwischen 10 und 15 % (lehmreicher Sand). Auffällig ist die bis in über 50 cm Tiefe reichende Pflugsohlenverdichtung. Diese Verdichtung ist unter Direktsaat nach 5 Versuchsjahren teilweise behoben (Tab. 1).

Unterhalb von 60 cm Tiefe variieren die Verhältnisse auf kleinstem Raum: Ablagerungen von lehmreichem Sand wechseln mit reinen Sandschichten mit weniger als 5 % Ton. In diesen Schichten eingeschlossen finden sich lokal immer wieder dünne, oft

Tab. 1. Verfahrensbedingte Unterschiede im Oberboden nach 5 Versuchsjahren (Beurteilung August 2000), «Oberacker», Rütli-Zollikofen

	Direktsaat	Pflug
Bodenoberfläche	von Multschicht bedeckt, kaum verschlämmt	ohne Pflanzenreste, stark verschlämmt
Struktur im Oberboden	gerundete, wesentlich stabilere Polyeder («Subpolyeder»); in den obersten 10 cm oft «grobplattig»: zuerst in 3 - 7 cm dicke, parallel zur Oberfläche liegende Platten zerbrechend	0 - 15 cm (Pflug und Zinkenrotor): unstrukturiert, schwacher Zusammenhalt; 15 - ca. 25 cm (Pflug): scharfkantige, relativ instabile Polyeder
Wurmgänge im Oberboden	auffallend zahlreich; oft vertikal verlaufend	eher wenige
Unterboden unterhalb der Bearbeitungsgrenze (ab ca. 25 cm)	Pflugsohlenverdichtung weniger deutlich ausgeprägt, durch zahlreiche vertikale Regenwurmgänge durchbrochen	Pflugsohlenverdichtung; wenig Regenwurmgänge
Durchwurzelung	weniger, aber kräftigere, oft in Wurm-gängen nach unten wachsende Wurzeln	Oberboden gut durchwurzelt;

nur wenige Zentimeter dicke Bänder von tonigen bis schluffigen Sedimenten. Dieser Wechsel ist auf das Ausgangsmaterial zurückzuführen, welches hier aus Grundmoräne besteht.

Visuelle Unterschiede der Bodenstruktur

Die Bodenstruktur ist - als Folge der tiefen Tongehalte - unter beiden Anbauverfahren eher instabil. Beim Direktsaatverfahren fällt die permanente Mulchschicht auf der Bodenoberfläche auf, während die Oberfläche im Pflugverfahren oft verschlämmt ist. Wie der Vergleich in Tabelle 1 zeigt, ist der Oberboden nach 5 Jahren Direktsaat deutlich stabiler. Beim Pflugverfahren sind besonders in den obersten, vom Zinkenrotor erfassten 10 - 15 cm der Pflugschicht kaum Aggregate auszumachen. Ausserdem ist eine markante Pflugsohlenverdichtung zu beobachten, welche unter der Direktsaat bereits deutlich aufgelockert ist (zahlreiche

durchgehende, vom Oberboden in den Unterboden reichende Regenwurmgänge).

Regenwurmbiomasse

Für die Regenwurmbeprobungen wurden drei Parzellen mit unterschiedlichem Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge (0 %, 25 % und 50 %) ausgewählt. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, steigt die Anzahl Eingriffe in den Boden und die Summe der Durchgänge mit zunehmendem Hackfruchtanteil.

Die Probenahmen erfolgten mit der Formalinmethode und anschliessender Handauslese. Aufgrund ihres Verhaltens, ihrer Grösse und ihrer Pigmentierung werden die Regenwürmer in drei Gruppen eingeteilt: epigäische, anözische und endogäische Arten (siehe Kasten).

Die Resultate der Regenwurmuntersuchungen sind in den Abbildungen 2 bis 4 zusammenge-

Die drei Regenwurm-Gruppen

Die **epigäischen Arten** (Adultgewicht zwischen 0,03 und 0,9 g) sind kleinere, pigmentierte Regenwürmer, welche in den obersten Schichten des Bodens und in der Streuauflage leben.

Die **anözischen Arten** (Adultgewicht zwischen 1,5 und 5 g) sind grosse, pigmentierte Arten. Sie legen lange, bis in den Unterboden reichende Wohnröhren an.

Die **endogäischen Arten** (Adultgewicht zwischen 0,1 und 2,5 g) leben in den humusreichen, oberen Bodenbereichen. Sie sind kaum pigmentiert (rosa bis graublau).

fasst. Dargestellt sind jeweils die Medianwerte von sechs Einzelproben.

Auf der **Parzelle mit 50 % Hackfrüchten** wurden unter bei-

Tab. 2. Anzahl Bodeneingriffe und Durchgänge infolge Bearbeitung und Ernte auf drei Fruchtfolgeparzellen mit unterschiedlichem Hackfruchtanteil, «Oberacker» Rütli-Zollkofen (August 1994 - Oktober 1998)

Hackfruchtanteil	Kulturenfolge	Maschinen		Direktsaat			Pflug		
		Feldeinsätze	Arbeitsbreite in cm	letzter Einsatz	Bodeneingriffe	Durchgänge pro 300 cm Arbeitsbreite	letzter Einsatz	Bodeneingriffe	Durchgänge pro 300 cm Arbeitsbreite
Parzelle III 50 %	Rübenernte	50	Okt. 95	1	6	Okt. 95	1	6	
		Grubbern ¹	300	Aug. 96	2	2			
	95 Zuckerrüben	Kartoffellegen	150	Apr. 97	1	2	Apr. 97	1	2
	96 Winterweizen	Dammformen ¹	150	Mai 97	3	6	Mai 97	2	4
	97 Kartoffeln	Kartoffelernte	75	Aug. 97	1	4	Aug. 97	1	4
	98 Winterweizen	Pflügen, zweischarig	75			Okt. 97	4	16	
		Zinkenrotoreinsatz ²	300			Aug. 98	7	7	
					Σ 8 ³			Σ 20	
							Σ 16	Σ 39	
Parzelle VI 25 %	95 Kunstwiese	Rübenernte	50	Okt. 98	1	6	Okt. 98	1	6
	96 Silomais	Pflügen, zweischarig	75				Okt. 98	4	16
	97 Wintergerste	Zinkenrotoreinsatz ²	300				Okt. 98	6	6
	98 Zuckerrüben				Σ 1 ³	Σ 6		Σ 11	Σ 28
Parzelle V 0 %	95 Wintergerste	Pflügen, zweischarig	75				Sep. 97	3	12
	96 Kunstwiese	Zinkenrotoreinsatz ²	300				Jul. 98	5	5
	97 Silomais								
	98 Wintergerste				Σ 0 ³	Σ 0		Σ 8	Σ 17

¹zu Kartoffeln; ²zu Haupt- und Zwischenkulturen; ³letzter Pflug- und Zinkenrotoreinsatz: Oktober 1993 (vor Versuchsbeginn)

den Anbauverfahren geringe Regenwurm-Biomassen festgestellt (Abb. 2). Die Artenzusammensetzung ist recht ausgeglichen.

In den letzten vier Jahren wurden hier einmal Zuckerrüben und einmal Kartoffeln angebaut. Entsprechend dem hohen Hackfruchtanteil waren viele Eingriffe in den Boden und Überfahrten nötig - im Pflugverfahren rund doppelt so viele wie beim Direktsaatverfahren (Tab. 2).

Auf der **Parzelle mit 25 % Hackfrüchten** leben nach vierjähriger Direktsaat deutlich mehr Regenwürmer als auf der Vergleichsparzelle mit 50 % Hackfrüchten (Abb. 3). Auffallend ist der hohe Anteil endogäischer Arten.

Beim Pflugverfahren waren die Regenwurmfänge geringer. Trotz der doppelten Regenwurmbiomasse gegenüber dem Pflugverfahren der Parzelle mit 50 % Hackfrüchten bleibt der Besatz tief. Besonders die anözischen Arten entwickelten sich ungenügend. Die endogäischen Arten hingegen dominieren.

Hier waren deutlich weniger Eingriffe in den Boden nötig als bei 50 % Hackfruchtanteil: beim Direktsaatverfahren 1 Eingriff, beim Pflugverfahren 11 Eingriffe (Tab. 2). Auch die Anzahl Durchgänge pro 3 m Arbeitsbreite und damit die Druckbelastung war deutlich reduziert.

Auf der Parzelle **ohne Hackfrüchte** war die Bodenbelastung am geringsten. Beim Pflugverfahren erfolgten noch 8 Eingriffe, beim Direktsaatverfahren war kein Eingriff erforderlich (Tab. 2).

Die Folge ist ein sehr hoher Wurmbesatz beim Direktsaatverfahren und eine grosse Wurmpopulation beim Pflugverfahren (Abb. 4). Auffallend ist die aus-

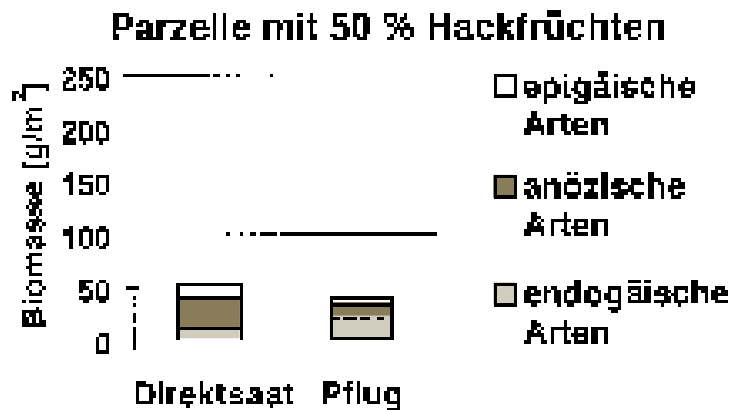


Abb. 2. Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Regenwurmbiomasse der Parzelle mit 50 % Hackfrüchten (Probenahme Oktober 98), «Oberacker», Rütli-Zollikofen.



Abb. 3. Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Regenwurmbiomasse der Parzelle mit 25 % Hackfrüchten (Probenahme April 99), «Oberacker», Rütli-Zollikofen.

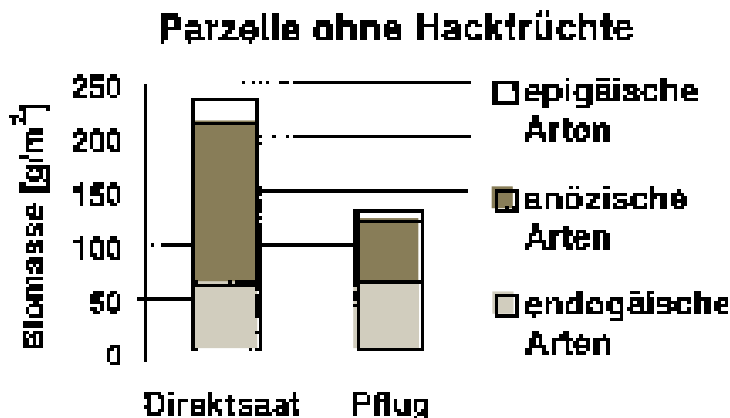


Abb. 4. Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Regenwurmbiomasse der Parzelle ohne Hackfrüchte (Probenahme Oktober 98), «Oberacker», Rütli-Zollikofen.

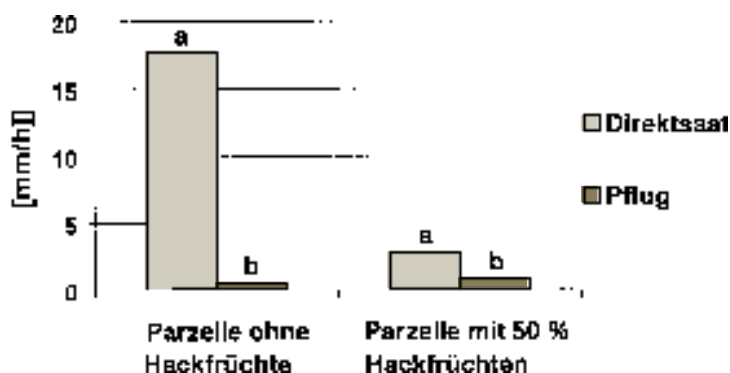


Abb. 5. Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wasserinfiltration auf zwei Parzellen mit unterschiedlichem Hackfruchtanteil (Probenahme April 99), «Oberacker», Rütli-Zollikofen.

gewogene Artenzusammensetzung und die hohe Biomasse der anösischen Arten im Direktsaatverfahren. Ein so hoher Anteil wird normalerweise nur auf Dauergrünlandflächen festgestellt (Stähli *et al.* 1997). Im Pflugverfahren dominieren die endogäischen Arten.

Wasserinfiltration

Auf der Parzelle mit 50 % und auf der Parzelle ohne Hackfrüchte wurden Wasserinfiltrationsmessungen durchgeführt.

Die **Infiltrationsraten** wurden mit der Einfachringinfiltrometer-Methode nach Kramer (1983) bestimmt. In Abbildung 5 sind die Medianwerte von je 9 Einzelproben dargestellt. Auf den Parzellen mit und ohne Hackfrüchte sind die Infiltrationsraten auf der Direktsaatfläche höher als auf der gepflügten Fläche. Eindrücklich ist der Unterschied auf der Parzelle ohne Hackfrüchte, wo im Direktsaatverfahren ein Vielfaches an Wasser versickerte.

Verbesserte Bodenstruktur

Nach fünf Versuchsjahren auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» auf der Rütli in Zollikofen sind vor allem im Oberboden deutliche Unterschiede zwischen den gepflügten und den mit Direktsaat bestellten Parzellen festzustellen.

Auf den Direktsaat-Parzellen hat sich eine permanente Mulchauflage gebildet. Diese schützt den Boden vor Verschlammung und dient gleichzeitig als Nahrungsgrundlage für die Regenwürmer. Im Oberboden - der ehemaligen Pflugschicht - konnte sich trotz des relativ geringen Tongehaltes ein ziemlich stabiles Subpolyedergefüge entwickeln. Auffällig ist die (den Subpolyedern) übergeordnete, «grobplattige» Struktur in den obersten 10 cm: der Boden bricht zuerst in 3 bis 7 cm dicke, parallel zur Oberfläche ori-

enterte Platten. Dieses Phänomen wurde auch an anderen Standorten nach mehreren Jahren Direktsaat beobachtet. Die Platten können als Spuren der Maschinenbelastung bei den verschiedenen Kulturmassnahmen gedeutet werden. Aufgrund ihrer erhöhten Dichte und Stabilität machen sie den Boden tragfähiger, bieten aber auch einen stärkeren Widerstand für die Durchwurzelung. Von einer Schad-Verdichtung kann aber nicht gesprochen werden: der erhöhte Eindringwiderstand in den obersten 10 cm wird durch die zahlreichen, oft bis in den Unterboden reichenden Regenwurmgänge kompensiert. Diese Gänge sind denn auch vielfach mit Wurzeln gefüllt.

Unter Direktsaat ist die bereits vor Versuchsbeginn bestehende, markante Pflugsohlenverdichtung schon nach fünf Jahren deutlich gelockert. Dies dürfte neben dem Verzicht auf den Pflugeinsatz - vor allem auf die erhöhte Zahl und Aktivität der Regenwürmer zurückzuführen sein. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob diese Lockerung auch bei schwereren Böden gleich schnell und in gleichem Masse erfolgt.

Auf den gepflügten Vergleichsparzellen, wo die Ernterückstände regelmässig eingearbeitet werden, fehlt die schützende Mulchschicht. Durch den häufigen Einsatz des Zinkenrotors - je nach Hackfruchtanteil 5 bis 7 Einsätze in rund 5 Jahren - werden die instabilen Bodenaggregate weitgehend zerstört. Die Folgen sind eine verschlammte Bodenoberfläche und eine erhöhte Verdichtungsanfälligkeit. Der regelmässige Pflugeinsatz bei immer gleicher Bearbeitungstiefe verunmöglicht eine Lockerung der Pflugsohlenverdichtung. Bei einer vergleichbaren Fruchtfolge ist die Regenwurm-Biomasse in der Regel geringer

als unter Direktsaat. Dies kann mit der mechanischen Schädigung durch die häufige und intensive Bearbeitung und mit dem reduzierten Nahrungsangebot erklärt werden. Die Infiltrationsmessungen bestätigen die oben angestellten Überlegungen und Folgerungen weitgehend.

Die Regenwürmer reagieren nicht nur auf die unterschiedlichen Anbauverfahren, sondern auch auf den Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge sehr empfindlich. Mit zunehmendem Hackfruchtanteil geht die Regenwurm-Biomasse deutlich zurück. Neben den wiederholten mechanischen Eingriffen (Mischen, Schneiden) ist dafür auch die Druckbelastung verantwortlich, die mit abnehmender Arbeitsbreite der Geräte, das heisst mit zunehmender Anzahl Durchgänge grösser wird.

Auf der Parzelle mit 50 % Hackfrüchten ist die Biomasse im Direktsaat-ähnlich tief wie im Pflugverfahren. Für diese tiefen Werte dürften vor allem die Kartoffeln verantwortlich sein, bei denen auch im Direktsaatverfahren mehrere für die Tiere einschneidende Eingriffe in den Boden nötig sind (Grubbern, Dammformen, Ernte).

Schliesslich ist zu beachten, dass die in diesem Vergleich praktizierten Anbauverfahren gewollte Extreme darstellen: die reine Direktsaat gegenüber dem intensiv ausgelegten Pflugverfahren mit durchschnittlich einem Pflug- und 1,25 bis 1,75 Zinkenrotor-Einsätzen pro Jahr. In der Praxis wird heute vermehrt der Grubber anstelle des Pflugs eingesetzt, oder es werden für einzelne Kulturen die Mulchsaat beziehungsweise die Direktsaat, seltener die Streifenfrüssaat gewählt. Mit jeder Reduktion der Bodenbelastung wird das Bodenleben und damit die Bodenfruchtbarkeit gefördert.

Ausblick

Die ersten fünf Versuchsjahre auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» haben gezeigt, dass sich bei Direktsaat an der Bodenoberfläche eine permanente Mulchschicht bildet und die Auswirkungen auf das Bodenleben und auf die Wasserinfiltration positiv sind. An gefährdeten Standorten bietet sich dieses Anbauverfahren somit als effiziente Schutzmassnahme gegen Bodenerosion an. Entsprechende Beobachtungen im Feld stützen diese These.

Weitere Untersuchungen sollen im Rahmen der insgesamt 20-jährigen Dauerbeobachtung - folgende Fragen klären:

■ In welche Richtung entwickelt sich die Mulchschicht?

Werden weitere organische Reste angehäuft oder sind Nachlieferung und Verrottung von Pflanzenmaterial bereits in einem Gleichgewicht?

■ Wie bewährt sich das Direktsaatverfahren auf ungünstigeren, schwereren Böden?

■ Wie weit werden die positiven Effekte durch eine (in der Praxis durchaus übliche) weniger konsequente Direktsaat (mässige Bodeneingriffe durch gezogene Geräte, Mischformen...) geschmälert?

Literatur

■ Kramer E., 1983. Infiltrationsmessung. Methodenbeschreibung. Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Tänikon (unveröffentlicht).

■ Reinhard H., Chervet A. und Sturny W.G., 2001. Direktsaat im Praxisversuch: Erträge der Kulturen (1995-1999). *Agrarforschung* 8(1), 6-11.

■ Stähli R., Suter E. und Cuendet G., 1997. Die Regenwurm-Fauna von Dauergrünland des Schweizer Mittellandes. Synthesebericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 291. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 91 S.

Dank

Wir danken allen Praktikantinnen und Praktikanten bestens, die tatkräftig in diesem langjährigen Projekt mitgearbeitet haben, namentlich David Schönbächler, Lukas Stricker, Lorenz Ramseier, Thomas Niggli, Manfred Tschumi, Franziska Stössel, Luzia Niemeyer, Isabelle Providoli und Michael Zanetti.

RÉSUMÉ

Pratique du semis direct en grandes cultures: effets sur la structure du sol

Les sols bruns profonds, légers à mi-lourds, dominant sur la parcelle d'essais «Oberacker» à Zollikofen (BE). Le semis direct systématique y est comparé - avec des proportions différentes de cultures sarclées dans la rotation - à la culture avec labour.

Après cinq ans de semis direct, le sol est recouvert d'une couche de litières végétales en décomposition.

L'absence de travail du sol entraîne une augmentation de la densité dans la couche arable, mais qui est compensée par les nombreux canaux de vers de terre, qui descendent souvent profondément dans le sol. La semelle de labour antérieure à l'essai est ainsi déjà bien ameublie.

Dans les parcelles labourées, l'utilisation fréquente de la herse rotative à axe horizontal détruit en grande partie les agrégats du sol, rendant ce dernier plus sensible à la battance et au tassement.

La biomasse des vers de terre est nettement plus faible dans la variante labourée qu'avec le semis direct. Dans les deux modes de culture, cette biomasse diminue quand la proportion de cultures sarclées augmente.

L'infiltration de l'eau est plus rapide dans le sol avec semis direct que dans le sol labouré. En semis direct, la parcelle sans cultures sarclées présente une meilleure infiltration que dans celle où elles représentent 50 % de la rotation.

SUMMARY

Effect of no-tillage on soil structure

In the long-term field trial «Oberacker» at Zollikofen (Switzerland) the soil is dominated by deep, light to medium textured brown earth. No-tillage without any soil disturbance is compared to conventional tillage with mouldboard plough in crop rotations with different proportions of root crops. After five years of no-tillage, the soil is covered by a mulch layer of decomposed plant residues. Due to the missing tillage, surface soil density increased which is compensated by means of a large number of earthworm channels often reaching the subsoil. As a consequence, the plough pan is clearly loosened. Due to the frequent use of a rotary cultivator on the conventionally tilled plots, soil aggregates are regularly destroyed and therefore susceptibility for surface sealing and compaction is increased. Earthworm biomass on conventionally tilled plots is clearly lower than on no-tilled plots. Besides, biomass decreases on both tillage treatments with increasing root crop proportions. Water infiltration is higher on no-tilled plots as compared to conventionally tilled plots. However, no-tilled plots without any root crops show larger infiltration rates as compared to a crop rotation with 50 % of root crops.

Key words: tillage system, no-tillage, root crops, soil density, earthworms, water infiltration