

Direktsaat im Praxisversuch

Einfluss auf die Nährstoff- und Humusgehalte im Boden

Urs Zihlmann und Peter Weisskopf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich
Moritz Müller und Roland Schafflützel, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), CH-3052 Zollikofen
Andreas Chervet und Wolfgang G. Sturny, Amt für Landwirtschaft des Kantons Bern, Rütli, CH-3052 Zollikofen
Auskünfte: Urs Zihlmann, e-mail: urs.zihlmann@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel: +41 (0)1 377 74 08

ZUSAMMENFASSUNG

Auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Zollikofen (Schweiz) wurden die Nährstoff- und Humusgehalte von Böden unter Direktsaat mit den Gehalten von gepflügten Böden verglichen.

Die Böden unter Direktsaat vermochten ebenso viel Stickstoff nachzuliefern wie die herkömmlich bearbeiteten. Infolge tieferer Temperaturen und höherer Wassergehalte war aber vor allem im Frühjahr die Stickstoffmineralisierung verzögert; die direkt gesäten Sommerkulturen liefen langsamer auf. In solchen Fällen kann eine Startdüngung die Entwicklung der Jungpflanzen beschleunigen, zumal auch der kompaktere Oberboden unter Direktsaat die Durchwurzelung erschwert. Bei Wintergetreide lagen die N_{\min} -Gehalte im Frühling bei beiden Verfahren auf ähnlichem Niveau; eine unterschiedliche Stickstoffdüngung ist deshalb bei Winterkulturen nicht angezeigt.

Die Humusgehalte im Oberboden (0 - 20 cm) lagen in den Direktsaatparzellen nach fünf Jahren Versuchsdauer um durchschnittlich 6,8 Tonnen pro Hektare höher, was einer Zunahme von rund 10 % entspricht. Entsprechend der fehlenden Durchmischung erfolgte dieser Zuwachs fast ausschliesslich in den obersten 10 cm; zwischen 10 und 20 cm Tiefe blieben die Gehalte praktisch unverändert. Es bleibt offen, ob die mit den Humusgehalten ebenfalls wachsenden Stickstoffgehalte mit der Zeit zu einer erhöhten Stickstoffmineralisierung führen, was eine Reduktion der Stickstoffdüngung erlauben würde.

Sauglysimeter: Die Saugkerzen befinden sich in unterschiedlichen Tiefen im Boden; durch Ansetzen eines Vakuums wird das Bodenwasser abgesaugt. Die Nitratkonzentration wird im Labor bestimmt. Die verkabelte TDR-Sonde (links) ermöglicht die Messung des volumetrischen Bodenwassergehaltes bis in 105 cm Tiefe.



Von allen Pflanzennährstoffen hat der Stickstoff den grössten Einfluss auf den Ertrag. Für die Bewirtschaftung ist es deshalb von grundlegender Bedeutung, diesen Nährstoff so einzusetzen, dass er optimal wirkt, gleichzeitig aber Verluste in die Luft und ins Grundwasser möglichst gering gehalten werden. Das Verhalten des Stickstoffs in gepflügten Böden ist bereits intensiv erforscht worden. Hingegen existieren in der Schweiz erst wenige Untersuchungen zur Stickstoffdynamik in Böden unter Direktsaat ohne jede Bearbeitung.

Die Erhebungen erfolgten auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen, wo die beiden Anbauverfahren im Rahmen einer sechsjährigen Fruchtfolge miteinander verglichen werden (Reinhard *et al.* 2001). Auf der Versuchsfläche dominieren gut durchlässige, tiefgründige, mittelschwere bis leichte, im Untergrund schwach staunasse Braunerde-Böden (Chervet *et al.* 2001).

Die Stickstoffmessungen wurden hauptsächlich 1998 und 1999 in den Mais- und Zuckerrübenparzellen durchgeführt und durch Humus-, Phosphor- und Kaliumbestimmungen ergänzt.

Nitrat- und Ammoniumgehalte unter Zuckerrüben

Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Nitrat-Konzentrationen im Bodenwasser unter Zuckerrüben im Jahre 1999. Die Gehalte an Ammonium-Stickstoff waren meist sehr tief und gegenüber

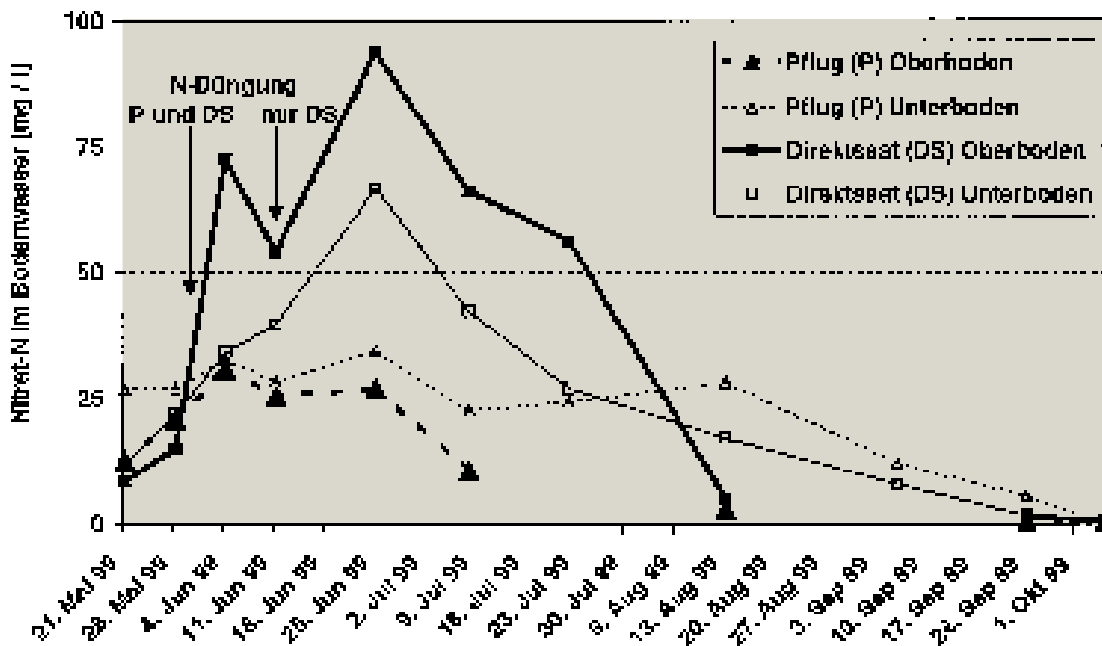


Abb. 1. Nitrat-Stickstoffgehalte im Bodenwasser unter Zuckerrüben im Jahr 1999 (Parzelle V; Saat am 18.3.1999). Probenahme 15 cm von den Reihen entfernt. Oberboden: Mittelwerte von Proben aus 10 und 25 cm Tiefe. Unterboden: Mittelwerte von Proben aus 50 und 85 cm Tiefe. Fehlende Werte: kein Bodenwasser wegen Trockenheit.

dem Nitrat-Stickstoff vernachlässigbar klein.

Zuckerrüben sind dank ihres tiefreichenden Wurzelwerkes und der langen Wachstumsperiode in der Lage, praktisch den

gesamten verfügbaren Stickstoff im Boden aufzunehmen. Die Nitratkonzentrationen im Bodenwasser lagen im Oberboden bereits Mitte August, im Unterboden anfangs Oktober praktisch bei Null.

Da die direkt gesäten Zuckerrüben anfangs Juni - vermutlich als Folge der langsameren Abtrocknung und Erwärmung des ungelockerten Bodens - einen deutlichen Wachstumsrückstand aufwiesen, wurde hier nochmals 20 kg N/ha gedüngt. Die hohen Nitratgehalte unter der Direktsaat im Juni legen den Schluss nahe, dass diese zusätzliche Düngergabe zu einer Überversorgung mit Stickstoff führte. Bestätigt wird diese Vermutung auch durch die geringere Zuckerausbeute im Direktsaatverfahren (86,7 %) im Vergleich zum Pflugverfahren (88,5 %). Das Beispiel zeigt, dass Wachstumsrückstände nicht immer auf Stickstoffmangel zurückzuführen sind. Es empfiehlt sich, vor dem Düngen eine N_{min} -Bestimmung vorzunehmen; nur so können die Pflanzen vom verzögert

freigesetzten Stickstoff profitieren und Qualitätseinbußen bei direkt gesäten Zuckerrüben vermieden werden.

Mineralstickstoffgehalte unter Mais...

In Abbildung 2 sind die N_{min} -Werte unter Mais und seinen Vor- und Nachkulturen im Jahre 1998 dargestellt. Unter den Vorkulturen Kunstwiese (Pflugverfahren) und Winterrüben (Direktsaatverfahren) finden sich im Frühling die bekannt tiefen N_{min} -Werte von 20 bis 40 kg N/ha. Durch die Stickstoffmineralisierung im Boden und die Düngung (110 kg N/ha) erhöht sich dieser Wert bis Anfang Juli sowohl in der gepflügten als auch in der Direktsaatparzelle auf etwa 200 kg N_{min} /ha. Zur Zeit der Ernte Mitte September liegen die Messwerte beider Verfahren bei vergleichbaren Erträgen von rund 225 dt TS/ha wieder annähernd auf dem Frühjahrsniveau von 20 bis 30 kg N_{min} /ha. Selbst nach dem Pflügen bleibt der N_{min} -Wert Ende Oktober unter der Folgekultur Wintergerste auf tiefem Niveau.

Messung der Stickstoffgehalte im Boden (N_{min}) und im Bodenwasser

Zur Charakterisierung der Stickstoffdynamik wurden einerseits mit einem Bohrer Bodenproben entnommen (N_{min} -Methode), andererseits wurde mit Hilfe von Keramikkerzen (sogenannten Saugkerzen oder Saug-Lysimetern; siehe Foto) Bodenwasser abgesaugt.

Die Entnahme des Bodenwassers mit Saugkerzen erfolgte alle ein bis zwei Wochen aus 10, 25, 50 und 85 cm Tiefe. Pro Tiefe wurden vier Saugkerzen eingebaut. Jeweils 24 Stunden vor der Probenahme wurde ein Unterdruck von 800 hPa angelegt. Die Saugkerzen wurden in den Zuckerrüben 15 cm von den Reihen entfernt eingebaut.

... und im Frühjahr unter Wintergetreide

Ergänzende N_{\min} -Beprobungen im Frühjahr 2000 in den drei Wintergetreideparzellen (Weizen Früh- und Spätsaat sowie Gerste) ergaben bei beiden Bestellverfahren denselben Mittelwert von 27 kg N/ha. Dies lässt sich zumindest teilweise dadurch erklären, dass sich das Porensystem der im Herbst gepflügten Böden infolge der Setzung über den Winter demjenigen der Direktsaatböden angleicht, so dass bei Wachstumsbeginn im Frühjahr bei beiden Bestellverfahren ähnliche physikalische Voraussetzungen (Feuchte, Durchlüftung und Temperatur) für die Stickstoffmineralisierung herrschen. Inwieweit auch unterschiedliche Stickstoffverluste über den Winter zu dieser identischen Situation bei der Stickstoffverfügbarkeit im Frühjahr führen, müssen weitere Messungen zeigen.

Direktsaat: Starthilfe für Sommerkulturen

In zahlreichen Vergleichen liefen vor allem die Sommerkulturen bei Direktsaat wesentlich langsamer auf: Die Böden unter Direktsaat zeigen meistens tiefere Tem-

peraturen und höhere Wassergehalte als gepflügte Böden, wobei diese Unterschiede im Frühjahr am ausgeprägtesten sind. Unter diesen Bedingungen nehmen auch die biologische Aktivität und damit die Stickstoffmineralisierung zu Beginn der Wachstumsperiode weniger schnell zu (Richter 1995). Zusätzlich sind die Direktsaatböden im Oberboden kompakter, was die Durchwurzelung erschwert. Da bei den Sommerkulturen ein rasches Auflaufen erwünscht ist, sollten jedoch von Anfang an günstige Wachstumsbedingungen herrschen. Dazu gehören genügend leicht verfügbare Nährstoffe in unmittelbarer Nähe der Jungpflanzen. Das kann zum Beispiel bei Mais durch eine Unterfuss-Startdüngung mit Diammoniumphosphat erreicht werden.

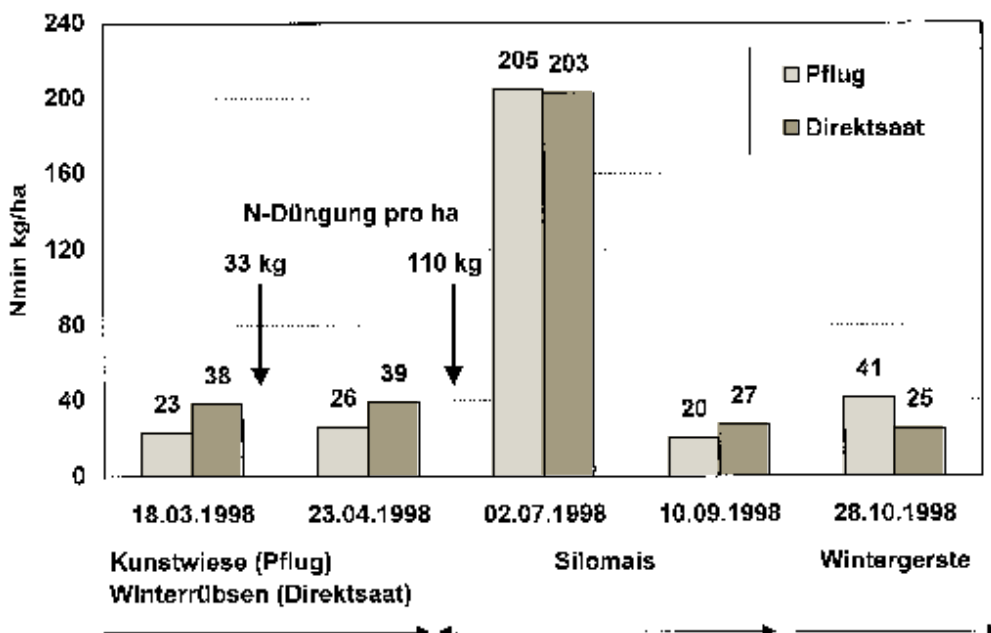
Entwicklung des Humusgehaltes im Boden

Aufgrund der unterschiedlichen Dichten der gepflügten Böden ($1,27 \text{ g/cm}^3$) und der Böden unter Direktsaat ($1,35 \text{ g/cm}^3$) werden die Humusgehalte in Abbildung 3 nicht in Gewichtsprozent, sondern in Tonnen pro Hektare angegeben. Nur so können die tatsächlich vorhandenen

Humusmengen miteinander verglichen werden.

Die 1999 in den Mais- und Zuckerrübenparzellen (Parzellen III und V, siehe Versuchsplan, Reinhard *et al.* 2001) durchgeführten Humusbestimmungen werden durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt, wonach bei einer Reduktion der Bodenbearbeitung der Humusgehalt in der obersten Bodenschicht steigt (Ball *et al.* 1998; Tebrügge *et al.* 1991). In den Bodenschichten 0 - 5 cm und 5 - 10 cm konnte bei der Direktsaat eine deutliche Erhöhung der Humusmengen um 22 % beziehungsweise 15 % im Vergleich zum Pflugverfahren festgestellt werden. Allerdings darf diese Zunahme nicht ausschliesslich auf die unterschiedlichen Anbauverfahren zurückgeführt werden, wurde doch bei den Direktsaatparzellen einmal das Weizenstroh auf dem Feld belassen, bei den gepflügten Parzellen hingegen immer abgeräumt. Nimmt man an, dass dieses Stroh einer maximalen Zufuhr von 600 kg Humus pro ha entspricht (Hévin *et al.* 1969), beträgt die verfahrensbedingte Zunahme an Humus in den obersten 5 cm aber noch immer 3,1 t/ha oder 18 %.

Abb. 2. N_{\min} -Gehalte im Boden (0 - 100 cm) unter Mais 1998 (Parzelle IV). Vorkultur: Kunstwiese (Pflug) bzw. Winterrüben (Direktsaat); Nachkultur: Wintergerste; Düngung zur Maisreihe; Probenahme in den Maisreihen.



Zwischen 10 und 20 cm Tiefe nahmen die Humusgehalte nur leicht zu oder blieben praktisch unverändert. In der regelmässig durchmischten Pflugschicht lagen die Messwerte in allen vier Tiefen nahe beieinander.

Künftige Untersuchungen müssen zeigen, wie sich die Humusgehalte in den Direktsaatparzellen weiter entwickeln und auf welchem Gleichgewichtsniveau sie sich - ähnlich wie in einer Dauerwiese - stabilisieren werden. Es bleibt abzuklären, ob die bei höheren Humusgehalten zu erwartende erhöhte Stickstofffestlegung auch eine bessere Stickstoffnachlieferung

durch Mineralisierung zur Folge hat. Dadurch könnte einerseits die Ergänzungsdüngung mit Stickstoff reduziert werden, andererseits sind während längerer Nässeperioden grössere Denitrifikationsverluste zu befürchten.

Ackerböden als Kohlenstoffspeicher

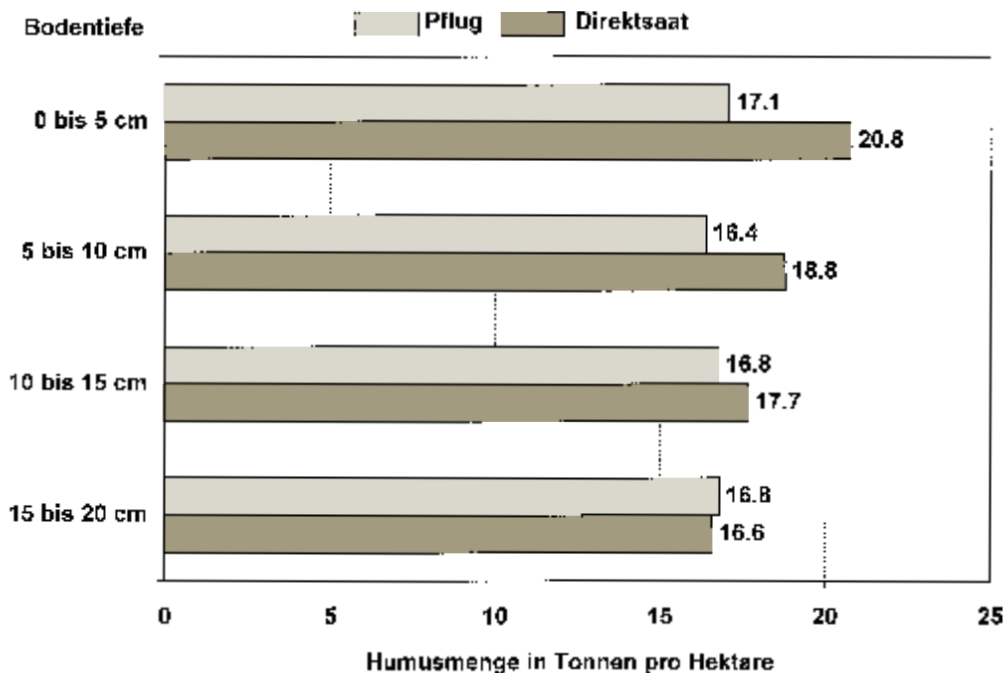
Mit der Erhöhung des Humusgehaltes wird in den Böden unter Direktsaat zusätzlicher Kohlenstoff festgelegt. In rund fünf Jahren stiegen in den Böden der Parzellen III und V (siehe Versuchsplan, Reinhard *et al.* 2001) die durchschnittlichen Humusgehalte in den obersten 20 cm von 67,1 auf 73,9 Tonnen pro ha (Abb. 3). Dies entspricht einer Zunahme von 6,8 Tonnen Humus pro ha oder etwa 400 g Kohlenstoff pro m². Wie lange die Zunahme noch anhält und auf welchem Niveau das Gleichgewicht zwischen Humusaufbau und Mineralisierung erreicht sein wird, muss sich noch zeigen.

Reduzierte CO₂-Emissionen durch Direktsaat

Die Zunahme des Kohlenstoffgehaltes im Boden ist mit einer entsprechenden Abnahme von CO₂ in der Luft verbunden. Während der Umstellungsphase trägt also die Direktsaat zur Reduktion des CO₂-Gehaltes in der Luft bei. Da bei Direktsaat weniger Treibstoff verbraucht wird als bei wendender Bodenbearbeitung, werden gleichzeitig auch die CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft verringert.

Phosphor und Kalium

Die Bestimmung der mit CO₂-gesättigtem Wasser extrahierbaren Phosphor- und Kaliumgehalte erfolgte an den gleichen Bodenproben wie die Humusmessungen. Wie erwartet sind in den gepflügten Böden sowohl die Phosphor- als auch die Kaliumgehalte über die gesamte Bearbeitungstiefe (0 - 20 cm) annä-



hernd gleich verteilt, während die Böden unter Direktsaat entsprechend der fehlenden Durchmischung in den obersten 5 bis 10 cm deutlich erhöhte Gehalte zeigen. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob und in welchem Mass die Nährstoffgehalte in den tieferen Schichten wegen der fehlenden Bodenbearbeitung zurückgehen oder ob die Tätigkeit der Regenwürmer und andere Transportprozesse ausgleichend wirken.

Vorläufiges Fazit für die Praxis

Nach den bisherigen Ergebnissen auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» vermögen Böden unter Direktsaat ebensoviel Stickstoff nachzuliefern wie herkömmlich bearbeitete. Folglich ist die gesamthaft verabreichte Stickstoffmenge bei Direktsaat nicht zu erhöhen.

Bei den im Frühjahr direkt gesäten Kulturen kann eine Startdüngung die Jugendentwicklung der Kulturpflanzen beschleunigen, da die Stickstoffmineralisierung zu Beginn der Wachstumsperiode aus verschiedenen Gründen weniger rasch in Gang kommt.

Möglicherweise erschwert auch die höhere Dichte im Oberboden von Direktsaatfeldern eine rasche Durchwurzelung und damit das Erschliessen der Nährstoffreserven im Boden. Um eine Überversorgung mit Stickstoff zu verhindern, sind vor allem bei Zuckerrüben vor einer weiteren Zusatzdüngung N_{min}-Untersuchungen zu empfehlen.

Bei Wintergetreide lagen die N_{min}-Gehalte im Frühling bei beiden Anbauverfahren auf ähnlichem Niveau. Eine unterschiedliche Stickstoffdüngung ist deshalb hier nicht angezeigt.

Es bleibt noch abzuklären, ob die bei langjähriger Direktsaat erzielte Humus- und damit auch Stickstoffanreicherung im Oberboden zu einer erhöhten Stickstoffnachlieferung durch Mineralisierung führt, was mittelfristig eine Reduktion der Stickstoffdüngung erlauben würde.

Literatur

■ Ball B.C., Tebrügge F., Satori L., Giraldez J.V. and Gonzalez P., 1998. Influence of no-tillage on physical,

Abb. 3. Humusgehalte in den Direktsaat- und Pflugparzellen im Jahre 1999. Durchschnitte der Parzellen III (Mais) und V (Zuckerrüben).

chemical and biological soil properties, p. 7-27. In: Tebrügge F. and Böhrnsen A. (Ed.). Experience with the application of no-tillage crop production in the Western-European countries. Final EU-Report of Concerted Action Air-CT93-1464, Fachverlag Köhler, Giessen, 89 S.

■ Chervet A., Maurer C., Sturny W.G. und Müller M., 2001. Direktsaat im Praxisversuch: Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* 7 (1), 12-17.

■ Hénin S., Gras R. et Monnier G., 1969. Le profil cultural. Masson et Cie., Paris, 332 S.

■ Reinhard H., Chervet A. und Sturny W.G., 2001. Direktsaat im Praxisversuch: Erträge der ersten 5 Jahre (1995 - 1999). *Agrarforschung* 7 (1), 6-11.

■ Richter U., 1995. Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge und den Stickstoffhaushalt. Diss. Giessen. *Boden und Landschaft*, 4, 163 S.

■ Tebrügge F., Gruber W., Kohl R. and Böhm H., 1991. Long-term cultural practices effects on the ecologic system. Paper No. 91-1009, ASAE St.-Joseph, MI, 15 S.

Dank

Wir danken den SHL-Studenten Hugo Cecchini, Urs Daepf, Andreas Friedli, Peter Maurer, Jürg Moser, Peter Schmid, Andreas Stämpfli und Frédéric Zosso für die umfangreichen Messungen, die sie im Rahmen von Semesterarbeiten durchführten.

RÉSUMÉ

Semis direct en grandes cultures: effets sur la matière organique et les nutriments dans le sol

Les teneurs en éléments nutritifs et en humus ont été comparées entre des sols cultivés en semis direct et des sols labourés dans un essai à long terme conduit à Zollikofen (BE). La variante en semis direct a fourni autant d'azote aux cultures que la variante labourée. Cependant, dans la première, des températures plus basses et une plus forte humidité ont retardé la minéralisation de l'azote au printemps et les cultures ont eu une levée plus lente. Une fumure de démarrage peut dans ce cas accélérer le développement des plantules, sachant que, après semis direct, le sol est plus compact en surface et donc moins propice à la croissance des jeunes racines. Dans les céréales d'automne, les concentrations en N_{\min} mesurées au printemps étaient semblables dans les deux modes de culture; il n'y a donc pas lieu de modifier la fumure azotée.

Dans la couche supérieure du sol (0-20 cm), la quantité d'humus mesurée après cinq ans d'essais était plus élevée de 6,8 tonnes par hectare en moyenne dans la variante en semis direct, ce qui correspond à une augmentation d'environ 10 %. Comme il n'y a plus de mélange de la couche arable, cet humus supplémentaire se trouve presque entièrement dans les 10 premiers cm, tandis qu'entre 10 et 20 cm de profondeur, il n'y a pratiquement pas de changement. Avec la quantité d'humus, l'azote présent dans le sol augmente aussi. Il reste à savoir si, à terme, cela va entraîner une plus forte minéralisation, ce qui permettrait de réduire la fumure azotée.

SUMMARY

Effect of no-tillage on nutrient content and organic matter of the soil

In the long-term field trial «Oberacker» at Zollikofen (Switzerland) the content of organic matter and macro-nutrients in the soil was analysed to compare the effect of no-tillage without any soil disturbance to conventional tillage with mouldboard plough.

The amount of nitrogen mineralised during the year was similar in both treatments. However, nitrogen mineralisation in spring was delayed due to lower soil temperature and higher soil water content in no-tillage plots. As a consequence, spring-planted crops showed a slower plant development during their early growth stages. Under these conditions an application of a starter fertiliser may help to promote early plant development, more so, as root growth may be also reduced due to the higher bulk density of no-tillage soils. In contrast, under winter cereals, soil content of mineral nitrogen in spring was almost the same for both treatments, implying that no special nitrogen fertilisation strategy is required.

Five years after the start of the field trial, the amount of organic matter in the top-soil (0 - 20 cm) with no-tillage had increased by $6.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ or 10 % as compared to conventional tillage. This augmentation was mainly observed in the top 10 cm of the soil, whereas in the 10 - 20 cm soil layer, the content of soil organic matter in no-tillage did not increase. Nevertheless, there is still a lack of information whether the combined effects of increased content of organic matter and nitrogen in the soil result in a higher nitrogen mineralisation, which would allow a reduction of nitrogen fertilisation in no-tillage as compared to conventional tillage.

Key words: tillage system, no-tillage, nutrients, nitrogen, organic matter