

Umwelt

Stickstoffdynamik im Boden bei Direktsaat und Pflug

Urs Zihlmann und Peter Weisskopf, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich

Moritz Müller und Roland Schafffützler, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), CH-3052 Zollikofen

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

Auskünfte: Urs Zihlmann, E-Mail: urs.zihlmann@fal.admin.ch, Fax +41 (0)44 377 72 01, Tel. +41 (0)44 377 74 08

Zusammenfassung

Während mehrerer Jahre wurden auf einem mittelschweren Boden am Inforama Rütli in Zollikofen BE innerhalb einer Ackerfruchtfolge ohne Bracheperioden die Gehalte an mineralischem Stickstoff unter den beiden Anbausystemen «Direktsaat» (DS) und «Pflug» (PF) verglichen. In beiden Systemen erhielten die Pflanzenbestände gleichviel Stickstoff in mineralischer Form (meist Ammonsalpeter) aber nur rund zwei Drittel der empfohlenen Norm.

Bei ähnlich hoher gesamt N-Nachlieferung verlief die N-Mineralisierung unter DS kontinuierlicher und dauerte länger an als unter PF. Dies wirkte sich vor allem beim direkt gesäten Getreide in einer höheren Ertragsleistung pro gedüngte N-Einheit aus. Ansonsten zeigten sich zwischen DS und PF bei Wintergetreide geringere Unterschiede in der N-Dynamik als bei Zuckerrüben und Mais. Hier variierte die N-Nachlieferung witterungsbedingt von Jahr zu Jahr sehr stark. So verzögerte sich die N-Nachlieferung unter DS in kühlen Frühjahren stärker als in milden. Beschleunigte N-Freisetzungsphasen wurden nach der Saat von Zuckerrüben und Mais sowie von Winterroggen nach Eiweisserbsen unter PF beobachtet, was zu einem erhöhten N-Verlustrisiko führte.

Bei angepasster Fruchtfolge kann bei direkt gesättem Wintergetreide nach der Umstellungsphase die N-Düngemenge leicht reduziert werden. Wegen der Gefahr von Nitrat- auswaschung sollten Mais und Zuckerrüben sowohl bei PF als auch bei DS keine zu hohen N-Gaben zur Saat erhalten.

Deshalb wurde an einem Ackerstandort in der Umgebung von Bern während mehrerer Jahre der Einfluss von Direktsaat auf die Dynamik des mineralischen Stickstoffs im Boden untersucht. Diese Untersuchungen sollten die Frage beantworten, ob bei Direktsaat eine andere N-Düngungsstrategie zu wählen ist als bei Pflugbewirtschaftung.

Die Erhebungen erfolgten hauptsächlich in den Jahren 2000 bis 2005 auf der seit 1994 bestehenden Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen BE (Kasten 1; Chervet *et al.* 2005). Innerhalb dieser Periode wurde nur im Jahr 2002 eine P-/K-Grunddüngung verabreicht. Stickstoff wurde mineralisch – meistens mit Ammonsalpeter – auf mehrheitlich mittlerem Niveau gedüngt (Tab. 1), weil einerseits das Getreide unter Extensio-Bedingungen produziert wurde und

Ziel der Stickstoffdüngung im Ackerbau ist es, eine optimale Ertragswirkung und Qualitätsbildung zu erlangen und unerwünschte Verluste in die Luft und ins Grundwasser zu vermeiden. Das Verhalten des pflanzenver-

fügbaren Stickstoffs in gepflügten Ackerböden ist bereits intensiv erforscht worden. Hingegen existieren in der Schweiz erst wenige Untersuchungen zur N-Dynamik von Böden unter Direktsaat ohne jegliche Bearbeitungseingriffe.

Systemvergleich «Oberacker»

Im Ackerbau müssen vermehrt extensive, konservierende Bodenbearbeitungssysteme in die Praxis umgesetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig sicherzustellen (Schweizerische Eidgenossenschaft 1983) und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Im August 1994 wurde am Inforama Rütli in Zollikofen BE ein Versuch angelegt, in welchem die Vor- und Nachteile, inklusive mögliche Problemlösungen, von Direktsaat und Pflugverfahren aufgezeigt werden sollten (Abb. 1).

Dieser als Streifenversuch 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 beziehungsweise gepflügt. Die aktuelle Fruchtfolge, wie sie auch auf einem viehlosen Ackerbaubetrieb in der Schweiz möglich wäre, lautet: Silomais – Wintergerste/GD – Zuckerrüben – Winterweizen/GD – Sommer-Eiweisserbsen/GD – Winterroggen/GD. (GD = Gründüngung)

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 (SHL) in Zollikofen und von Agroscope FAL Reckenholz in Zürich durchgeführt.

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

weil damit andererseits Dauer und Ergiebigkeit der N-Nachlieferung bei Direktsaat besser überprüft werden konnten. Die Durchschnittserträge der Periode 2000 bis 2005 sind ebenfalls in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Für die Erfassung und Beschreibung der N-Dynamik wurden die im Kasten 2 beschriebenen Methoden angewendet. Die intensivsten Untersuchungen fanden in den Mais- und Zuckerrüben-Parzellen statt.

N_{min}-Gehalte im Herbst und im Frühjahr

In beiden Anbausystemen wird jeweils unmittelbar nach der Ernte der Hauptkultur entweder die Folgekultur (Direktsaat beziehungsweise Saatbettbereitung mit Pflug und Zinkenrotor) oder eine Gründung (Direktsaat beziehungsweise Saatbettbereitung mit Zinkenrotor) angesät. Mit dieser fast ständigen Begrünung wird das Nitrat-Auswaschungsrisiko bereits nachhaltig reduziert (Spiess und Prasuhn 2006).

In der Tabelle 2 sind die durchschnittlichen N_{min}-Gehalte Mitte November und Ende Februar/Anfang März aufgelistet. Die Werte sind fast durchwegs tief und die Unterschiede zwischen den Systemen sind klein. Sowohl die höchsten November-



Messung des mineralischen N-Gehalts im Boden und im Bodenwasser

Einerseits wurden zu verschiedenen Zeitpunkten N_{min}-Proben aus den drei Bodentiefen 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm entnommen und analysiert. Andererseits wurde mit Hilfe von Keramik-Saugkerzen Bodenwasser abgesaugt und die Konzentration des mineralischen Stickstoffs ermittelt. Die Entnahme des Bodenwassers mit jeweils vier Saugkerzen pro Probenahmetiefe erfolgte von der Saat bis zur Ernte alle ein bis zwei Wochen aus 10, 25, 50 und 85 cm Tiefe. Im Mais waren die Saugkerzen in den Reihen, in den Zuckerrüben der Rübenkörper wegen unmittelbar neben den Reihen eingebaut. Gleichzeitig wurde mittels TDR-Technik (Time Domain Reflectometry) bis 105 cm Bodentiefe der volumetrische Wassergehalt gemessen. Aus der N_{min}-Konzentration des abgesaugten Wassers und der Bodenfeuchtigkeit wurde der Mineralstickstoff-Gehalt (N_{min}) berechnet.

Abb. 1. Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütti in Zollikofen, Luftaufnahme vom 29. Juni 2004. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope FAL Reckenholz)

N_{min}-Werte als auch die grössten Systemunterschiede wurden jeweils in den Winterroggen-Parzellen nach Eiweisserbsen

gemessen. Im Pflugverfahren mobilisierte die Bodenbearbeitung viel Mineralstickstoff, der vom Winterroggen-Bestand im

Tab. 1. Erträge sowie Ertragswirkung der N-Düngung im Pflug- und Direktsaatsystem am Beispiel der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Rütti, Zollikofen, Mittelwerte 2000 bis 2005.

Kultur / Anbausystem	Ertrag (dt/ha)		Mineralische N-Düngung (kg/ha)		Ertragswirkung der N-Düngung (dt Ertrag pro kg N)	
	Pflug (=100%)	Direktsaat (relativ)	Pflug (N-Normdüngung***)	Direktsaat	Pflug	Direktsaat
Silomais (TS* ganze Pflanze)	207,0	210,6 (102 %)	99 (110)	101	2,13	2,12
Wintergerste (15 % H ₂ O)	62,4	68,4 (110 %)	78 (110)	78	0,84	0,92
Zuckerrüben (FS**)	738,7	750,4 (102 %)	56 (100)	56	14,39	14,66
Winterweizen (15 % H ₂ O)	51,4	58,4 (114 %)	110 (140)	110	0,49	0,55
Sommer-Eiweisserbsen (13 % H ₂ O)	38,0	40,9 (108 %)	0 (0)	0	-	-
Winterroggen (15 % H ₂ O)	57,0	59,9 (105 %)	0 (90)	0	-	-

*TS = Trockensubstanz

**FS = Frischsubstanz

***gemäss FAL und RAC (2001), ohne Korrektur

Tab. 2. N_{\min} -Werte (kg/ha; 0 bis 100 cm Bodentiefe) unter Pflug und Direktsaat Mitte November und Ende Februar/Anfang März; Mittelwerte und Standardabweichungen 1999 bis 2005, Bestimmung gemäss N_{\min} -Methode, Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Rütli, Zollikofen.

Kultur im Winter	winterharte Gründüngung (vor Mais)		abfrierende Gründüngung (vor Zuckerrüben bzw. Sommer-Eiweisserbsen)		Wintergerste (nach Mais)		Winterroggen (nach Sommer-Eiweisserbsen)		Winterweizen (nach Zuckerrüben)	
	DS*	PF**	DS	PF	DS	PF	DS	PF	DS	PF
N_{\min} -Wert Mitte Nov.	16 ±11	17 ±7	22 ±15	18 ±9	30 ±9	25 ±11	39 ±3	51 ±24	31 ±8	33 ±2
N_{\min} -Wert Febr./März	26 ±11	21 ±10	40 ±12	35 ±11	17 ±7	15 ±8	21 ±9	10 ±5	27 ±8	26 ±7
Differenz	+10	+4	+18	+17	-13	-10	-18	-41	-4	-7

* DS = Direktsaat **PF = Pflug

Herbst nicht mehr vollständig genutzt werden konnte und deshalb in die Tiefe ausgewaschen wurde. Die Zahlen deuten darauf hin, dass bei diesem Kulturübergang unter Pflug etwas mehr Mineralstickstoff verloren ging als unter Direktsaat, was an der Abnahme des N_{\min} -Gehalts in der Bodenschicht 60 bis 100 cm von November bis März erkennbar ist: Pflug 22 kg N/ha; Direktsaat 14 kg N/ha.

Zu beobachten war auch die bekannte Erscheinung, dass im Frühjahr die N_{\min} -Werte unter abgefrorenen Gründüngungen, im Unterschied zu winterharten Gründüngungen, wegen des fehlenden N-Entzugs und der Mineralisierung der abgestorbenen Pflanzenmasse höher lagen.

N_{\min} -Verlauf unter Wintergetreide

Dank des starken Wachstums ab Vegetationsbeginn nimmt Wintergetreide im Frühjahr sowohl den durch Mineralisierung frei

gesetzten als auch den durch Düngung zugeführten Stickstoff im Allgemeinen rasch auf. Deshalb finden sich unter Getreidebeständen im Vollwachstum – bei angepasster N-Düngung – nie hohe N_{\min} -Werte. Zum Zeitpunkt der Getreideernte zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anbausystemen (Tab. 3). Wie erwartet waren die mittleren N_{\min} -Werte zum Erntezeitpunkt bei den Sommer-Eiweisserbsen zwar etwas höher als beim Getreide, aber ebenfalls ohne deutliche Differenz zwischen den Anbausystemen.

N_{\min} -Verlauf unter Zuckerrüben

Während im Wintergetreide ab Wachstumsbeginn im Frühling bei beiden Anbausystemen etwa ähnliche physikalische Voraussetzungen bezüglich Feuchte, Durchlüftung und Temperatur herrschen für die N-Mineralisierung, ist dies bei den Sommerkulturen gar nicht der Fall.

Gegenüber den durchs Pflügen gelockerten Parzellen weisen die mit Mulch und absterbenden Pflanzen bedeckten Direktsaatflächen zum Saatzeitpunkt von Zuckerrüben und Mais meistens höhere Wassergehalte im Oberboden und eine geringere Durchlüftung auf (Weisskopf *et al.* 2005). Dadurch nimmt die N-Mineralisierung – ausgenommen in Jahren mit sehr milden Frühjahrsbedingungen – langsamer zu als in bearbeiteten Böden. Auch Durchwurzelung und Jugendentwicklung der direkt gesäten Pflanzen verlaufen wegen des dichteren Oberbodens im Allgemeinen langsamer als in den gepflügten Parzellen. So wurden im Mittel von vier Jahren im April unter direkt gesäten Zuckerrüben knapp 60 kg Mineralstickstoff pro Hektare gemessen, während der Wert bei Pflugeinsatz um 20 kg pro Hektare höher lag (Abb. 2). Mit der stärkeren Anreicherung von Mineralstickstoff im gepflügten Boden erhöht sich auch das Risi-

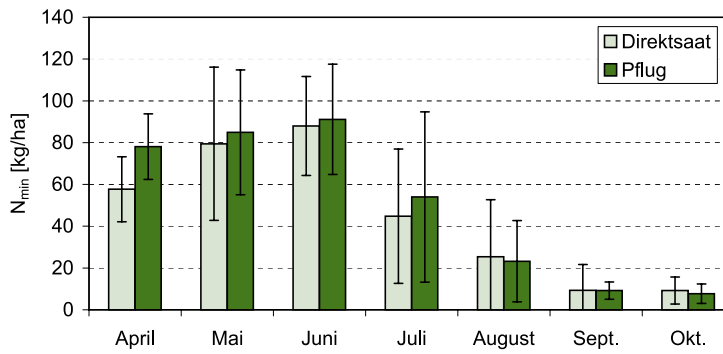
Tab. 3. N_{\min} -Werte (kg/ha; 0 bis 100 cm Bodentiefe) zum Erntezeitpunkt im Pflug- und Direktsaatsystem; Mittelwerte und Standardabweichungen 2000 bis 2005, Bestimmung gemäss N_{\min} -Methode. Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Rütli, Zollikofen.

Kultur	Wintergerste		Winterroggen		Winterweizen		Sommer-Eiweisserbsen	
	DS*	PF**	DS	PF	DS	PF	DS	PF
N_{\min} -Wert Erntezeitpunkt	28 ±13	25 ±4	31 ±19	25 ±7	32 ±7	37 ±10	54 ±15	47 ±3

*DS = Direktsaat **PF = Pflug

ko der N-Auswaschung, zumal die N-Aufnahme der Zuckerrüben im April mit 5 bis 10 kg N pro Hektare sehr gering ist.

In den Monaten Mai bis Juli unterschieden sich die N_{min} -Gehalte zwischen den zwei Anbausystemen nur noch wenig und anschliessend bis zur Ernte kaum mehr. Auffallend sind die im Jahresvergleich sehr hohen Standardabweichungen in den Monaten Mai bis August. Diese Streuungen werden grösstenteils durch die Jahreswitterung verursacht, welche sich je nach Jahr sehr unterschiedlich auf N-Mineralisierung und Pflanzenentwicklung, das heisst den N-Entzug, auswirkt. Zuckerrüben sind dank ihres tief reichenden Wurzelwerks und der langen Wachstumsperiode in der Lage, praktisch den gesamten verfügbaren Mineralstickstoff im Boden aufzunehmen. Im September und Oktober lagen die N_{min} -Mittelwerte unterhalb von 10 kg pro Hektare. Bei N-Überschuss



durch Düngung oder lang anhaltende (zu späte) N-Freisetzung aus dem Boden kann dies zu Qualitätseinbussen, das heisst zu reduzierter Zuckerausbeute, führen.

Effekt der N-Reihendüngung

Viele Direktsämaschinen sind heute mit Düngescharen ausgerüstet, um bei Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben den Dünger in unmittelbarer Nähe der Saatreihen platzieren zu können. Mit dem raschen Erreichen der Nährstoffe sollen vor allem die Jugendentwicklung

und die Qualität der Pflanzen gefördert werden.

Die Effekte dieser Reihendüngung auf die N-Dynamik im Boden wurden in einem Vorversuch in den Zuckerrüben 2005 untersucht. Zur Saat am 3. April wurden in beiden Anbausystemen 53 kg N pro Hektare mit einem Mehrnährstoffdünger, der den Stickstoff in Form von Ammonium und Harnstoff enthielt, als Saatreihendüngung ausgebracht. Abbildung 3 zeigt, dass im Pflugsystem die N-Mineralisierung – sowohl im als auch neben dem Düngeband – rasch

Abb. 2. Verlauf des Mineral-Stickstoffgehalts (kg/ha; 0 bis 100 cm Bodentiefe) unter Zuckerrüben im Pflug- und Direktsaatsystem. Mittelwerte der Jahre 2000, 2001, 2004, 2005, inkl. Standardabweichungen (= Jahresunterschiede). Beprobung mit Saugkerzentechnik, Probenahme unmittelbar neben den Reihen. Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Rütli, Zollikofen.

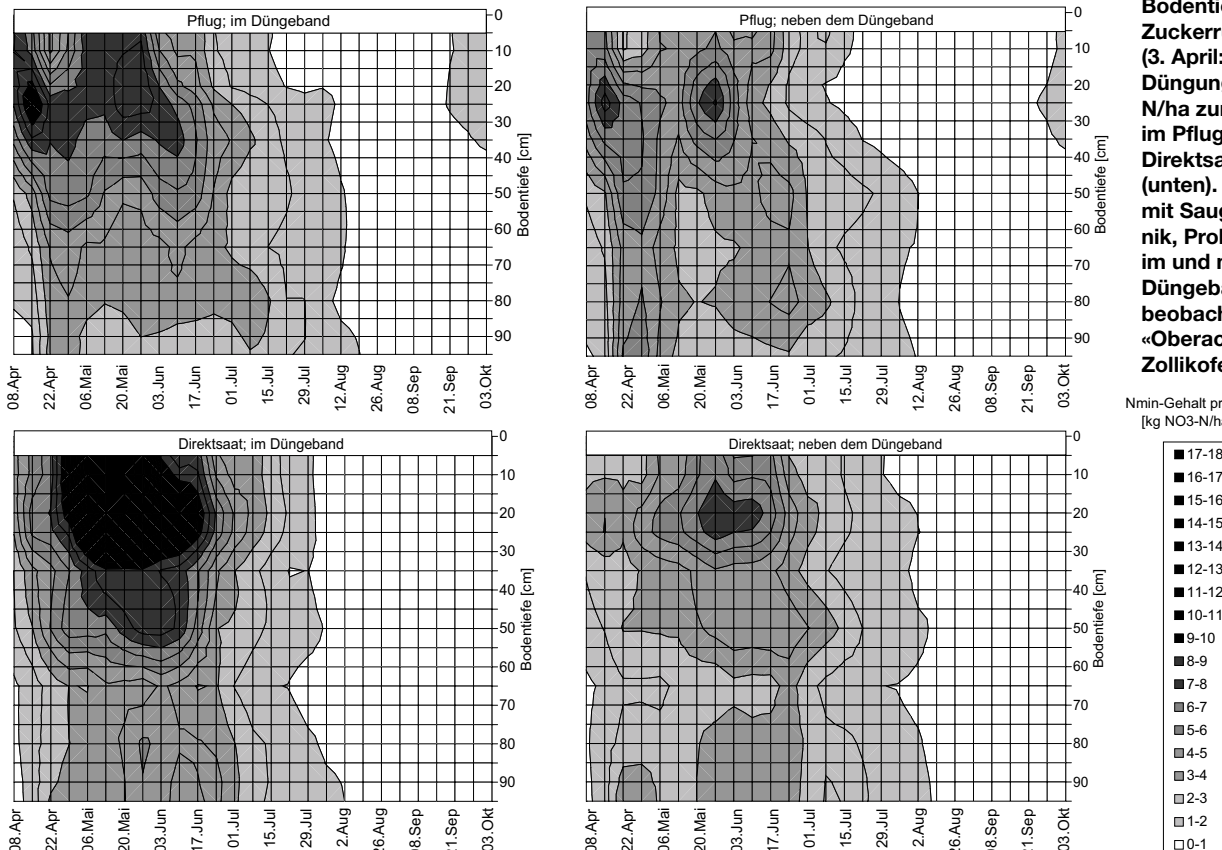
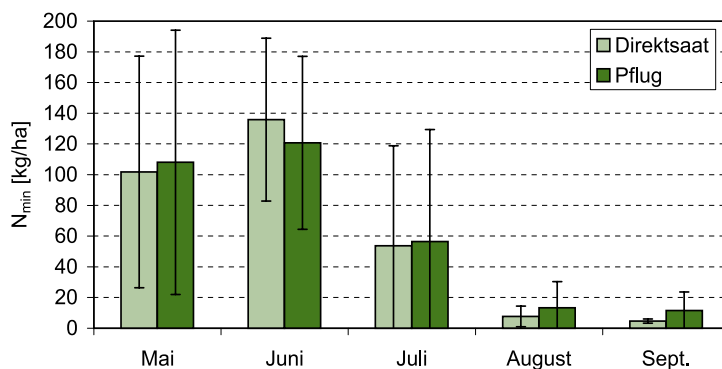


Abb. 3. Verlauf des Mineral-Stickstoffgehalts im Bodenprofil (0 bis 100 cm Bodentiefe) unter Zuckerrüben 2005 (3. April: Saat und Düngung von 53 kg N/ha zur Saatreihe) im Pflug- (oben) und Direktsaatsystem (unten). Beprobung mit Saugkerzentechnik, Probenahme im und neben dem Düngeband. Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Rütli, Zollikofen.

N_{min} -Gehalt pro Schicht [kg $NO_3-N/ha \cdot 5cm$]

- 17-18
- 16-17
- 15-16
- 14-15
- 13-14
- 12-13
- 11-12
- 10-11
- 9-10
- 8-9
- 7-8
- 6-7
- 5-6
- 4-5
- 3-4
- 2-3
- 1-2
- 0-1

Abb. 4. Verlauf des Mineral-Stickstoffgehalts (kg/ha; 0 bis 100 cm Bodentiefe) unter Mais im Pflug- und Direktsaatsystem. Mittelwerte der Jahre 1998, 1999, 2000, 2004, 2005, inkl. Standardabweichungen. Beprobung mit Saugkerzentechnik, Probenahme in den Reihen. Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» in Rütli, Zollikofen.



zunahm, während bei Direktsaat eine «Verzögerungsphase» zu beobachten war. Da die Bodentemperaturen gleich waren (Daten nicht gezeigt), dürfte die raschere N-Mineralisierung im gepflügten Boden auf die bessere Durchlüftung und damit bessere Sauerstoffversorgung zurückzuführen sein. Durch die raschere Umwandlung durch Oxidation von Ammonium und Harnstoff in die mobilere Nitratform ergab sich während dieses Zeitraumes ein grösseres Nitrat-Auswaschungsrisiko als bei Direktsaat. Aus diesem Grund müssen im Pflugsystem die N-Gabe zur Saat reduziert und die restliche N-Menge mittels späterer Düngung ausgebracht werden. Aber auch direkt gesäte Zuckerrüben sollten keine zu hohen N-Gaben zur Saat erhalten. Um diese Aspekte der N-Reihendüngung eingehender abzuklären, sind weitere Untersuchungen nötig.

N_{min}-Verlauf unter Mais

Der Mais wurde in beiden Anbausystemen immer gleich gedüngt: Zur Saat wurde eine Starterdüngung von 30 kg N pro Hektare gegeben sowie zwischen Mitte Mai und Mitte Juni mit ein bis zwei Gaben Ammonsalpeter auf etwa 100 kg N pro Hektare ergänzt (Tab. 1). Beim Verlauf der N_{min}-Gehalte unter Mais fällt die gegenüber Zuckerrüben noch stärkere Jahresstreuung der Monatsmittel von Mai bis Juli auf (Abb. 4). Beeinflusst wird diese Streuung – neben der

N-Düngung – hauptsächlich durch die Frühjahrswitterung (Zihlmann *et al.* 2002). Generell gilt, dass in beiden Anbausystemen zu Beginn der Maiskultur das N-Angebot grösser ist als die N-Nachfrage. Ist diese Periode niederschlagsreich, fällt viel Sickerwasser an und es kommt zu N-Verlagerungen und schliesslich zu N-Verlusten durch Nitrataustrag aus dem Wurzelraum. Bei Direktsaat scheint dieses N-Verlustrisiko besonders in Jahren mit kühler Frühjahrswitterung und normalen Niederschlägen geringer zu sein, da die N-Mineralisierung dann langsamer abläuft und im unbearbeiteten Oberboden mehr Wasser zurückgehalten werden kann als in der überlockerten Pflugschicht.

Dass die N_{min}-Werte im Juni bei Direktsaat höher liegen als beim Pflugverfahren ist häufig zu beobachten. Verursacht wird dieser Unterschied hauptsächlich durch die bis zu diesem Zeitpunkt raschere Entwicklung und den damit höheren N-Entzug der Maiskultur in den gepflügten Parzellen. War das Frühjahr jedoch sehr mild und ausgeglichen feucht, waren jeweils kaum Systemunterschiede beim Maiswachstum und N-Mineralisierungsvermögen zu beobachten. Wachstumsrückstände konnte der Direktsaat-Mais durch kompensatorisches Wachstum jeweils wieder aufholen (Tab. 1). Wird die Maiskultur entsprechend ihrem N-Be-

darf und ohne Mist gedüngt, so sind in den Monaten August und September nur noch geringe N_{min}-Mengen in der durchwurzelten Zone zu finden.

Leichter Vorteil für die Direktsaat

Es wurde festgestellt, dass der Boden unter Direktsaat gesamthaft ebensoviel Stickstoff nachzuliefern vermag wie in den herkömmlich bearbeiteten Böden. Es scheint aber, dass unter mehrjähriger Direktsaat die N-Nachlieferung länger andauert und kontinuierlicher verläuft als in den gepflügten Parzellen. Im Pflugsystem kann es zu kurzfristigen Freisetzungen grosser N_{min}-Mengen kommen, was besonders bei Sommerkulturen wie Mais oder Zuckerrüben das N-Verlustrisiko erhöht. Die Ertragsleistung pro gedüngte N-Einheit in den Jahren 2000 bis 2005 zeigt, dass unter den Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen der Versuchsfläche «Oberacker» das Direktsaatsystem – ausgenommen beim Silomais – etwas besser abschneidet (Tab. 1).

Bei angepasster Fruchtfolge kann bei direkt gesättem Wintergetreide nach der Umstellungsphase die N-Düngung leicht reduziert werden. Von der kontinuierlicheren N-Freisetzung können vor allem Dreschkulturen mit langer Vegetationszeit profitieren. Bei direkt gesäten Hackfrüchten nimmt die N-Mineralisierung im Frühjahr langsamer zu als bei Pflugbewirtschaftung, bleibt dann aber länger aktiv. Wegen der Gefahr von Nitrat-Auswaschung sollten auch Zuckerrüben und Mais im Direktsaatsystem keine zu hohen N-Gaben zur Saat zwecks «Förderung der Jugendentwicklung» erhalten. Um eine N-Übersorgung und damit qualitative Einbussen zu verhindern, sind vor allem bei Zuckerrüben vor einer Zusatzdü-

gung N_{min} -Untersuchungen zu empfehlen.

Literatur

- Chervet A., Maurer C., Sturny W.G. & Müller M., 2001. Direktsaat im Praxisversuch: Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* **8** (1), 12-17.
- Chervet A., Ramseier L., Sturny W.G. & Tschannen S., 2005. Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich. *Agrarforschung* **12** (5), 184-189.
- Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Reckenholz (FAL) und Eidg. Forschungsanstalt für Pflanzenbau Changins (RAC), 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. *Agrarforschung* **8** (6), 80 S.
- Schweizerische Eidgenossenschaft, 1983. Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). Systematische Sammlung des Bundesrechts, SR-Nr. 814.01.
- Spiess E. & Prasuhn V., 2006. Weniger Nitrat im Grundwasser dank Ökomassnahmen. *Agrarforschung* **13** (1), 4-9.
- Weisskopf P., Zihlmann U., Chervet A., Sturny W.G. & Müller M., 2005. Entwicklung des Bodengefüges bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* **12** (8), 362-367.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Bohren Ch. & Dubois D., 2002. Stickstoffdynamik im Boden beim Maisanbau. *Agrarforschung* **9** (9), 392-397.

RÉSUMÉ

Dynamique de l'azote dans le sol avec le semis direct et le labour

Dans le cadre d'une étude comparative de plusieurs années réalisée sur une parcelle de l'Inforama Rütli à Zollikofen (canton de Berne), la teneur en azote minéral d'un sol brun limoneux a été analysée dans les systèmes de culture «semis direct» (SD) et «labour» (L). L'essai s'est déroulé durant une rotation de grandes cultures sans périodes de jachère. Dans les deux systèmes, les plantes ont reçu la même quantité d'azote minéral, soit deux tiers de la norme recommandée. Dans le cas du SD, la minéralisation de l'azote s'est déroulée de manière plus continue et a duré plus longtemps qu'avec le L, la quantité totale de l'azote dégagé étant similaire avec les deux systèmes. Ceci s'est traduit par un rendement plus élevé par unité d'azote administré notamment pour les céréales cultivées en semis direct. Sinon, les différences relatives à la dynamique de l'azote minéralisé dans les deux systèmes SD et L étaient moins importantes dans le cas des céréales d'automne que dans le cas des betteraves sucrières et du maïs. Dans ces deux cultures, la quantité de l'azote minéralisé a fortement varié d'une année à l'autre en fonction des conditions météorologiques. Ainsi, lorsque le printemps était froid, le dégagement de l'azote était plus tardif avec le SD que lorsque le printemps se caractérisait par des températures plus modérées. Dans le cas du L, la minéralisation de l'azote dans le sol s'est accélérée après le semis de betteraves sucrières et de maïs. Cela a également été le cas lorsqu'on a semé du seigle d'automne après des pois protéagineux, ce qui s'est traduit par une augmentation du risque de pertes d'azote. Dans les céréales d'automne cultivées en semis direct, il est possible de réduire légèrement l'apport d'azote après la phase de conversion au semis direct dans la mesure où la rotation est bien adaptée. Etant donné le risque de lixiviation de l'azote nitrique, les apports d'azote ne devraient pas être trop élevés lors du semis du maïs et des betteraves sucrières, ni avec le L, ni avec le SD.

SUMMARY

Dynamics of nitrogen in the soil under no-tillage and ploughing

Over a period of several years, the mineral nitrogen contents of a loamy cambisol at the Inforama Rütli in Zollikofen, Switzerland, were compared within an arable crop rotation without fallow periods using the two cropping systems of «no-tillage» (NT) and «ploughing» (P). In both systems, the plants received the same amount of mineral nitrogen, but only about two thirds of the recommended norm. With similarly high total quantities of nitrogen mineralised, N mineralization proceeded more steadily and persisted longer under NT than under P. Particularly in the case of no-tillage cereals, this resulted in a higher yield per fertilised N unit. Otherwise, there were fewer differences in N dynamics between NT and P for winter cereal than for sugar beets and maize. Here, the amount of nitrogen mineralised varied quite sharply from year to year, depending on the weather conditions. Thus, nitrogen mineralization under NT slowed down more strongly in cool than in mild springs. Periods of accelerated mineralization of nitrogen were observed under P after the planting of sugar beets and maize, as well as of winter rye after field peas, which led to an increased risk of N loss. With an adjusted crop rotation, the amount of N fertiliser can be slightly reduced after the transition phase to no-tillage in the case of directly seeded winter cereals. Because of the risk of nitrate leaching, maize and sugar beets should not be subjected to excessively high N inputs at planting in the case of either P or NT.

Key words: tillage system, no-tillage, fertilisation, nitrogen, suction cup