

Umwelt

Stickstoffdynamik im Boden beim Maisanbau

Urs Zihlmann, Peter Weisskopf, Christian Bohren und David Dubois, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

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

Nördlich von Zürich hat die FAL von 1998 bis 2000 die Dynamik des mineralischen Stickstoffgehaltes unter Mais bis in 100 cm Bodentiefe in einer lehmigen Braunerde untersucht. Der Maisanbau erfolgte nach Pflügen oder Streifenfrässaat mit Kunstwiese als Vorkultur oder mit Direktsaat in Kunstwiese und anderen Vorbegrünungen. Die Regulierung der Vorbegrünungen und Unkräuter erfolgte mit Herbiziden. Der Mais erhielt total 145 kg N/ha Mineraldünger in drei Gaben zur Reihe.

Von der Maissaat Anfang Mai bis zum 6-Blatt-Stadium Anfang Juni prägten vor allem Witterungsverlauf und Bodenlockerungsintensität die N-Dynamik. Nach der Düngung von 90 kg N/ha wurden bei allen Verfahren unter den Maisreihen maximale N_{\min} -Gehalte bis zu 250 kg N/ha gemessen. Diese bei günstigen N-Mineralisierungsbedingungen erreichten Maximalwerte lagen bis zu 50 % tiefer, wenn die vorausgegangene Witterung kühl und niederschlagsreich war. Die berechneten «scheinbaren N-Verluste» waren bei der Direktsaat am geringsten, gefolgt von der Streifenfrässaat und dem Pflugverfahren. Es ist anzunehmen, dass die verzögerte N-Mineralisierung und die bessere Wasserspeicherung in den Direktsaatfeldern das Nitratauswaschungsrisiko vermindern.

Bei bedarfsgerechter N-Düngung nahmen die Maispflanzen während der Hauptwachstumszeit praktisch den gesamten pflanzenverfügbaren Stickstoff auf. Bei der Silomaisernte lag der N_{\min} -Gehalt noch bei maximal 20 kg N/ha. Die Streifenfrässaat und die Direktsaat von Mais sind Boden und Gewässer schonende Anbauverfahren.

Mais ist in der Schweiz diejenige Ackerkultur, die in den vergangenen 40 Jahren den grössten

Flächenzuwachs aufwies. Heute wird auf etwa 20 % der offenen Ackerfläche oder auf 60'000 ha

Mais angebaut. Während früher die Maisäcker oft mit Nährstoffen übersorgt wurden, erfordern die Bedingungen des ökologischen Leistungsnachweises heute einen haushälterischen Umgang mit den Nährstoffen.

Die optimale Versorgung der Reihenkultur Mais mit Stickstoff ist jedoch nicht einfach. Dieser wichtige Pflanzennährstoff unterliegt im und auf dem Boden einer starken Dynamik aufgrund von Mineralisation, Immobilisierung, Denitrifikation, Auswaschung und Ammoniakverlusten. Zudem folgt beim Mais auf eine eher zögerliche Jugendentwicklung mit geringem N-Bedarf ein enormes Massenwachstum mit täglichen N-Aufnahmen bis zu 5 kg/ha. Bei gleicher Bodenbeschaffenheit beeinflussen mehrere Faktoren die N-Dynamik und damit den Mineralstickstoffgehalt zu bestimmten Zeitpunkten im Boden von Maisäckern. Es sind dies Vorbegrünung, Zeitpunkt und Intensität der Bodenbearbeitung, Unterbewuchs und Bodenbedeckung, Wachstum der Maiskultur sowie Düngungsmassnahmen und Witterungsverlauf.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war abzuklären, wie sich einzelne Maisanbauverfahren auf die N-Dynamik im Boden und das N-Verlustrisiko auswirken. Am Standort Reckenholz nördlich von Zürich hat die FAL von 1998 bis 2000 innerhalb grösserer Feldversuche entsprechende Erhebungen durch-

Bei Mais besteht von der Saat bis zum 6-Blatt-Stadium bei ganzflächiger Bodenlockerung (links) und vielen Niederschlägen ein erhöhtes Nitratauswaschungsrisiko. Dieses Risiko scheint bei der Direktsaat (rechts) wegen verzögerter N-Mineralisierung und besserer Wasserspeicherung geringer zu sein (Foto: Urs Zihlmann, FAL).



geführt. Wie sich verschiedene Vorbegrünungen und Unkrautbekämpfungsstrategien auf den Maisertrag auswirkten, ist bei Bohren *et al.* (2002) in diesem Heft beschrieben.

Standorte, Witterung und Anbauverfahren

Die drei Versuchsstandorte der Jahre 1998 bis 2000 lagen 490 m ü. M. auf einem windoffenen Plateau ein Kilometer nördlich der Forschungsanstalt Reckenholz bei Zürich. Paul Grünenwald in Rümlang hat die Felder in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellt. Die Böden waren mehrheitlich tiefgründige pseudogleyige Braunerden aus Moräne. Im Oberboden variierten der Humusgehalt zwischen 2,5 und 3 %, der Tongehalt zwischen 20 und 25 % und der Schluffanteil zwischen 30 und 38 %.

Das Mittel der Jahresniederschläge 1998 bis 2000 betrug 1'100 mm. Entscheidend für das Pflanzenwachstum und die N-Dynamik war jedoch die Witterung während der Untersuchungsperiode. Die gemessenen Lufttemperaturen und Niederschläge unterschieden sich in den drei Versuchsjahren vor allem im Mai, der für die N-Dynamik und das N-Verlustrisiko in Maisäckern besonders wichtig waren (Tab. 1). Charakteristisch sind der trockene und warme Mai im Jahr 1998, die niederschlagsreiche und kühle Periode 1999 sowie die wachstumsfördernde, feuchtwarme Witterung im Frühling 2000. In Tabelle 2 sind die Maisanbauverfahren aufgeführt, die für die Untersuchung der N-Dynamik ausgewählt wurden.

Tab. 1. Niederschlagsmenge in mm der Monate Mai und Juni in den Versuchsjahren 1998 bis 2000 (Messstation Zürich-Reckenholz)

	1998	1999	2000
Mai	30	195	118
Juni	139	167	56

Tab. 2. Untersuchte Maisanbauverfahren mit den jeweiligen Vorbegrünungen und der durchgeführten Unkrautregulierung (in Klammern die Versuchsjahre)

	Pflügen und Eggen ¹	Streifenfrässaat	Direktsaat ²
Vorbegrünung	Kunstwiese ³ (1998-2000)	Kunstwiese ³ (1998-2000)	Kunstwiese ³ (2000) Chinakohlrübsen ⁴ (1998-2000) Ölrettich (1999) Gelbsenf (2000)
Kontrolle Unkraut und Vorbegrünung	ganzflächig chemisch nach der Maissaat	Bandspritzung in und zwischen den Streifen z.T. Nachbehandlung	ganzflächig chemisch kurz vor oder unmittelbar nach der Maissaat z.T. Nachbehandlung

¹ unmittelbar vor der Maissaat

² einmalige Direktsaat innerhalb einer Ackerfruchtfolge mit Pflugbewirtschaftung

³ Standardmischung 200: Italienisch Raigras und Rotklee

⁴ Mulchen vor der Maissaat

Die Vorbegrünungen und Unkräuter wurden weitgehend chemisch reguliert.

Bei allen Versuchen war die Vorkultur Wintergetreide. Nach Spaten respektive Pflügen im Jahr 2000, nach Fräsen beziehungsweise Eggen und 30 bis 35 kg/ha mineralischer N-Düngung wurden die Vorbegrünungen im August gesät. Die Kunstwiese, die Standardmischung 200 aus Italienisch Raigras und Rotklee, wurde im Herbst und im Frühjahr je einmal genutzt, jedoch nicht mit Stickstoff gedüngt.

Die Maissaat erfolgte zwischen dem 4. und 8. Mai. Die als Silomais genutzte Sorte Magister wurde durchwegs zur Reihe und, mit Ausnahme der Startdüngung 1998, ausschliesslich mit Ammonsalpeter gedüngt (Tab. 3). Alle Anbauverfahren erhielten dieselben N-Gaben zum gleichen Zeitpunkt. Die gesamte gedüngte N-Menge variierte zwischen 140 und 155 kg N/ha.

Messung der Mineralstickstoffgehalte

Zur Charakterisierung der N-Dynamik wurden einerseits mit einem Bohrer entsprechend der N_{\min} -Methode aus den drei Bo-

denschichten 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm Erdproben entnommen. Andererseits wurde mit Hilfe von Keramikkerzen, so genannten Saugkerzen, Bodenwasser abgesaugt und analysiert. Die Entnahme des Bodenwassers mit Saugkerzen erfolgte im Allgemeinen von der Saat bis zur Ernte des Mais alle ein bis zwei Wochen aus 10, 25, 50 und 90 cm Tiefe unter den Maisreihen. Aus der mineralischen N-Konzentration des abgesaugten Bodenwassers und dem volumetrischen Wassergehalt wurde der Mineralstickstoff-Gehalt (N_{\min}) bestimmt.

Bewuchs beeinflusst N_{\min} -Gehalt im Frühjahr

Der N-Entzug durch die Vorbegrünung bestimmt weitgehend die Höhe des N_{\min} -Gehaltes im Boden unmittelbar vor der Maissaat (Tab. 4). Unter der Kunstwiese und den winterharten Chinakohlrübsen waren jeweils nur 10 bis 30 kg/ha mineralischer Stickstoff im Boden vorhanden. Anders beim frostempfindlichen, im Frühjahr bereits abgestorbenen Ölrettich und Gelbsenf: Hier konnte sich bis zur Maissaat wegen des fehlenden pflanzlichen N-Entzugs bei gleichzeitiger N-Mineralisie-

zung bereits 50 bis 70 kg/ha pflanzenverfügbarer Stickstoff im Boden anreichern. Waren die abgefrorenen Vorbegrünungen im Frühjahr hingegen verunkrautet, verminderte sich diese N-Anreicherung infolge des N-Entzugs durch die Unkräuter.

N-Verlustrisiko zu Beginn der Maiskultur

Im Zeitraum von der Saat bis zum 6- bis 8-Blatt-Stadium ist der N-Entzug der noch wenig entwickelten Maispflanzen deutlich geringer als das N-Angebot in den Maisäckern. Wird der Mais mit Pflügen und herkömmlicher Saatbettbereitung angebaut, fördert die intensive Bodenlockerung die N-Mineralisierung. Wird auf diese Lockerung wie bei der Streifenfrässaat teilweise oder wie bei der Direktsaat ganz verzichtet, fällt der N-Mineralisierungsschub geringer aus (Rieger 2001), wie die Abbildung 1 zeigt.

Durch das Ungleichgewicht von Angebot und Nachfrage besteht in dieser Periode das grösste Risiko für N-Verluste. Fallen in diesem Zeitraum, wie 1999, viele Niederschläge (Tab. 1), kommt es bei allen Anbauverfahren zu N-Verlagerungen in den Unterboden und schliesslich zu N-Verlusten durch Nitrataustrag aus dem Wurzelraum. Zudem ist anzunehmen, dass die Denitrifikation

Tab. 3. Zeitpunkt und Höhe der N-Gaben (kg N/ha, Reihendüngung) zur Maiskultur in den Versuchsjahren 1998 bis 2000

	zur Maissaat	ca. 6-Blatt-Stadium	ca. 8-Blatt-Stadium	Total
1998	30 ¹	65 NAS	60 NAS	155
1999	30 NAS	60 NAS	50 NAS	140
2000	30 NAS	65 NAS	50 NAS	145

¹ Stickstoff-Phosphor-Kalium-Dünger (20.8.8) mit Spurenelementen (Suplesan) NAS = Ammonsalpeter

Tab. 4. N_{min}-Gehalt in kg N/ha in 0 bis 100 cm Bodentiefe unter verschiedenen Vorbegrünungen, die im Frühjahr nicht mit Stickstoff gedüngt wurden (Messung jeweils Ende April bis Anfang Mai unmittelbar vor der Maissaat)

Jahr	winterharte Vorbegrünungen		frostempfindliche Vorbegrünungen	
	Kunstwiese ¹	Chinakohlrübsen	Ölrettich	Gelbsenf
1998		13	68	
1999	18	26	62	
2000	20	13		53

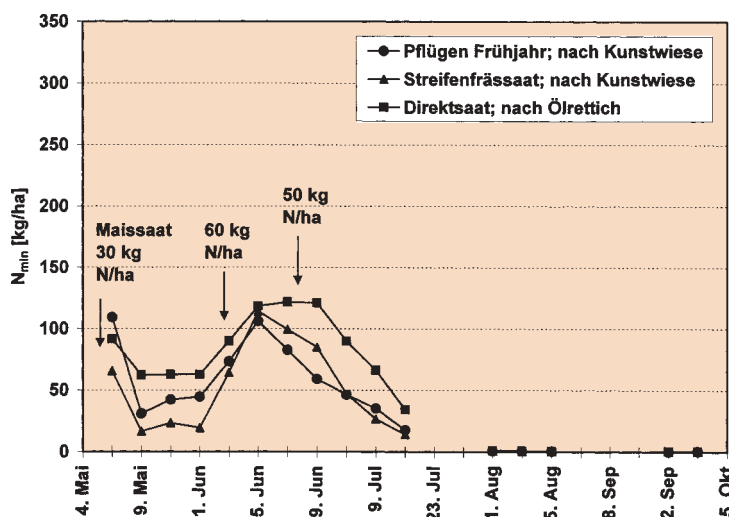
¹ Standardmischung 200: Italienisch Raigras und Rotklee

tion die N-Verluste in solchen Nässephasen noch erhöht.

Der Verlauf der N_{min}-Kurven in Abbildung 1 zeigt in der ersten Maihälfte 1999 folgende scheinbare N-Verluste, das heisst eine Abnahme der N_{min}-Gehalte zwischen den ersten beiden Beprobungsterminen: Pflugverfahren 75 kg N/ha, Streifenfrässaat 50 kg N/ha und Direktsaat 30 kg N/ha. Der geringere N-Verlust bei der Direktsaat ist wahrscheinlich einerseits auf die geringere N-Mineralisierung zurückzuführen.

Andererseits spielt die bessere Wasserspeicherung des intakten Porensystems im Oberboden der Direktsaatparzelle eine wichtige Rolle. Zu diesem Zeitpunkt vermag die gelockerte, mit grossen Hohlräumen durchsetzte Bearbeitungsschicht beim Pflug- und Streifenfrässaat-Verfahren noch nicht dieselbe Wassermenge zu speichern. Allerdings verbessern die anfänglich vorhandenen Hohlräume bei diesen beiden Verfahren die Sauerstoffversorgung des sich bewurzelnden Maiskeimlings.

Abb. 1. Verlauf des Mineralstickstoffgehaltes im Boden während der Maisvegetation 1999 bei den Anbauverfahren Pflügen Frühjahr, Streifenfrässaat nach Kunstwiese und Direktsaat nach Ölrettich. Saugkerzentechnik, 0 bis 100 cm Bodentiefe, Versuch Reckenholz. Kurvenverlauf unterbrochen wegen fehlender Messwerte infolge Trockenheit.



Sichtbarer Einfluss des Wetters

Zusammen mit der reduzierten N-Mineralisierung im kühlen und nassen Mai 1999 führten diese N-Verluste dazu, dass Mitte Juni 1999 der maximale N_{min}-Wert bei allen Verfahren nur halb so hoch lag (Abb. 1) wie im für die N-Mineralisierung günstigeren Frühjahr 2000 (Abb. 2).

Ganz anders verlief die N-Dynamik im trockenen Mai 1998 (Abb. 3): Bei hoher Verdunstung

und geringen Niederschlägen von gesamthaft nur 30 mm war die N-Mineralisierung gehemmt und bis Ende Mai stieg der N_{\min} -Gehalt nur auf 25 kg N/ha. Da sich während dieser Periode kein Sickerwasser bildete, gab es auch keine N-Auswaschverluste.

Grosse N-Aufnahme beim Hauptwachstum

Mais nimmt den grössten Teil des benötigten Stickstoffs während der etwa 8-wöchigen Periode vom 6-Blatt-Stadium bis zur Kolbenbildung auf (Abb. 4). So wie der N_{\min} -Gehalt im Boden während des Jugendwachstums von Mais im Allgemeinen kontinuierlich ansteigt, nimmt er mit Beginn des Massenwuchses der Maispflanzen ebenso rasch wieder ab (Abb. 1 und 2).

Im Durchschnitt der Jahre liegt dieser «Knickpunkt» der N_{\min} -Kurven Anfang bis Mitte Juni. Beim direkt gesäten Mais wird dieser Punkt wegen langsamerer Pflanzenentwicklung mit entsprechend geringerem N-Entzug und verzögerter N-Mineralisation meistens etwas später erreicht. Dabei ist die zeitliche Verzögerung in Frühjahren mit schwierigen Wachstumsbedingungen wie 1999 stärker (Abb. 1) als in Jahren mit optimalen Witterungsverhältnissen wie 2000 (Abb. 2). Diese Verzögerung im Wachstum des direkt gesäten Maises ist einerseits auf tiefere Bodentemperatur wegen der Abdeckung der Bodenoberfläche mit Mulch und andererseits auf den dichteren, schwerer durchwurzelbaren Oberboden in den Direktsaatfeldern zurückzuführen. Auffallend ist aber, dass sowohl 1999 als auch 2000 bei Direktsaat dieselben maximalen N_{\min} -Werte im Boden gemessen wurden wie bei den Verfahren mit Bodenlockerung.

Ab dem «Knickpunkt» nehmen die Pflanzen innerhalb von etwa

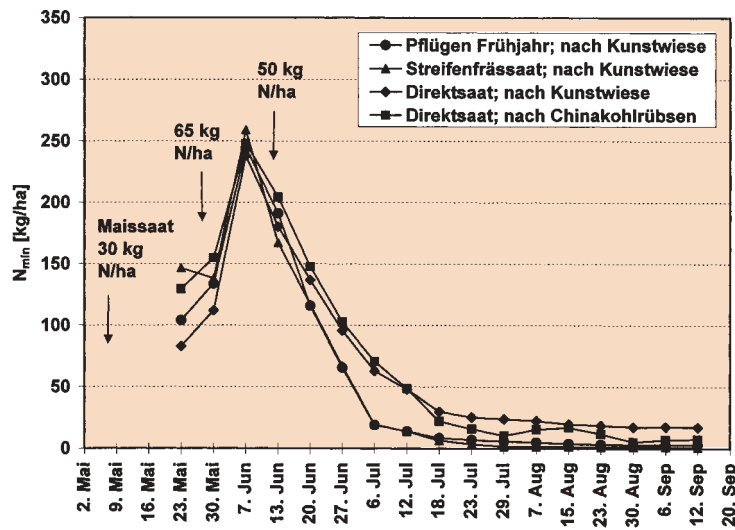


Abb. 2. Verlauf des Mineralstickstoffgehaltes im Boden während der Maisvegetation 2000 bei den Anbauverfahren Pflügen Frühjahr, Streifenfrässaat nach Kunstwiese und Direktsaat nach Kunstwiese bzw. Chinakohlrüben. Saugkerzentechnik, 0 bis 100 cm Bodentiefe, Versuch Reckenholz.

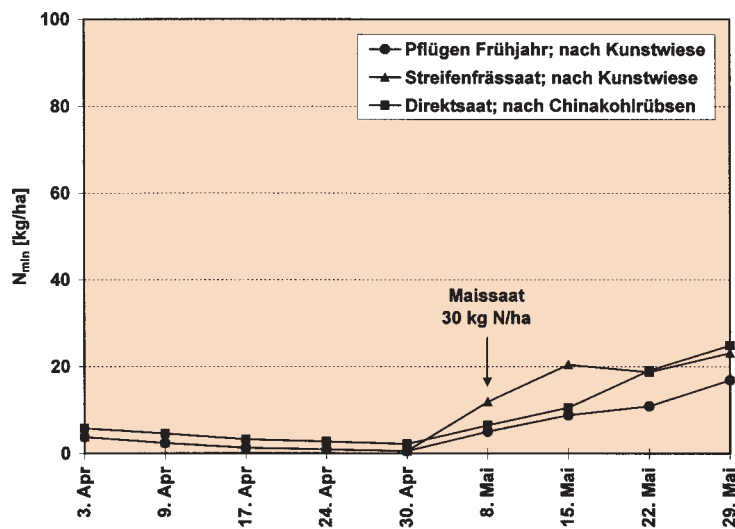


Abb. 3. Verlauf des Mineralstickstoffgehaltes im Boden vor und nach der Maisaat 1998 bei den Anbauverfahren Pflügen Frühjahr, Streifenfrässaat nach Kunstwiese und Direktsaat nach Chinakohlrüben. Saugkerzentechnik, 0 bis 100 cm Bodentiefe, Versuch Reckenholz.

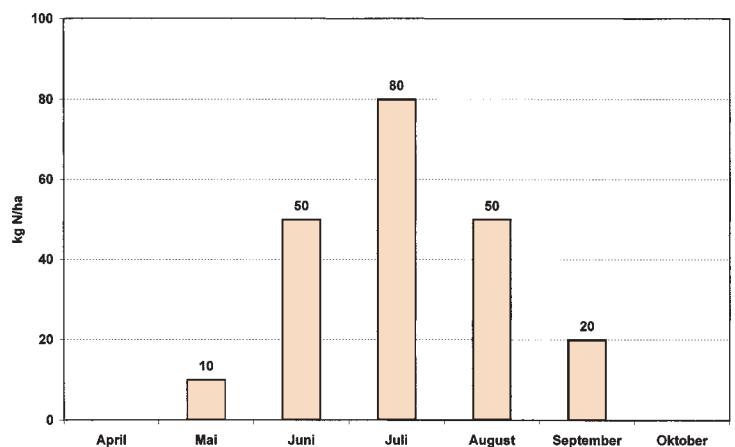


Abb. 4. Stickstoffentzug von Maiskörnern und Maisstroh in kg/ha und Monat. Total 210 kg N/ha, Mittelwerte von 18 Versuchen in drei Jahren und auf sechs Standorten (Pers. Mitteilung Ulrich Walther 2002).

sechs bis acht Wochen praktisch den gesamten vorhandenen und neu mineralisierten Stickstoff aus der durchwurzelten Zone auf. Während dieser Hauptwachstumszeit der Maispflanzen ist das N-Verlustrisiko gering.

Werden Maisäcker entsprechend dem Pflanzenbedarf mit Stickstoff gedüngt, sind in den Monaten August und September nur noch geringe N_{\min} -Mengen im gesamten Bodenprofil zu finden (Abb. 1 und 2). Wird Mais jedoch

mit Stickstoff überversorgt, findet sich je nach Sickerwasseranfall zum Erntezeitpunkt meist noch überschüssiger mineralischer Stickstoff im Boden.

Einfluss der Vorbegrünung auf den Maisertrag

Beim Ertragsvergleich (Tab. 5) zeigte sich, dass mit Ausnahme der Direktsaat in Kunstwiese alle Anbauverfahren vergleichbare Silomaiserträge auf hohem Niveau lieferten. Die Ertragseinbußen beim direkt gesäten Mais in Kunstwiese ist vermutlich vor allem auf Licht- und weniger auf Nährstoff- und Wasserkonkurrenz durch den Kleeergrasbestand zurückzuführen, der witterungsbedingt oft schwierig zu kontrollieren ist. Werden die Maispflanzen im Jugendstadium zu stark konkurrenziert, entsteht ein Wachstumsrückstand, der auch bei guter N-Versorgung kaum mehr kompensiert werden kann (Bohren *et al.* 2002).

Beschränkt beeinflussbare N-Dynamik

Es ist hinlänglich bekannt, dass Maisfelder mit Streifenfrässaat und Direktsaat einen stabileren Oberboden aufweisen und daher besser vor Erosion und Verdichtung geschützt sind als solche mit ganzflächig gelockertem Saatbett und unbedeckter Bodenoberfläche (Chervet *et al.* 2001). In Bezug auf die N-Dynamik im Boden und das N-Verlustrisiko sind die Unterschiede zwischen dem herkömmlichen Maisanbau-

verfahren und den Verfahren mit reduzierter oder keiner Bodenbearbeitung aber weniger ausgeprägt. Der Hauptgrund liegt darin, dass die N_{\min} -Menge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Boden vorliegt, nur beschränkt beeinflusst werden kann, da sie das Resultat aus dem komplexen Wechselspiel zwischen Bodeneigenschaften, Witterungsverlauf, Pflanzenwachstum und Bewirtschaftung ist.

Bezüglich der Beeinflussung der N-Dynamik in Maisäckern sind zwei Hauptziele zu verfolgen:

1. Das N-Verlustrisiko vor dem Hauptwachstum des Maises muss möglichst klein gehalten werden.
2. Zur Sicherung eines guten Maisertrages muss während der Hauptwachstumsphase genügend pflanzenverfügbarer Stickstoff im Wurzelraum vorhanden sein.

Begrenzung des N-Verlustrisikos

Bei ganzflächiger Lockerung wird die N-Mineralisierung am stärksten gefördert. Damit steht dem Mais im Jugendstadium (zu) viel verlustgefährdeter Mineralstickstoff zur Verfügung. Durch die Reduktion der gelockerten Fläche bei der Streifenfrässaat wird nicht nur der N-Mineralisierungsschub, sondern auch das N-Verlustrisiko über die ganze Fläche reduziert. Der Verzicht auf jegliche Lockerung

bei Direktsaat und die isolierende Mulchabdeckung bremsen im Allgemeinen die Bodenerwärmung und damit die N-Freisetzung nach der Maissaat, aber auch das Jugendwachstum von Mais. Diese verzögerte N-Mineralisierung kann, in Verbindung mit der besseren Wasserspeicherung im Oberboden von Direktsaatfeldern, das Nitratauswaschungsrisiko gegenüber den Anbauverfahren mit Bodenlockerung vermindern.

Effiziente N-Versorgung fördern

Bei der N-Versorgung von Mais ist zu beachten, dass die Maispflanzen nur vom 6-Blatt-Stadium bis zur Kolbenbildung, das heisst während etwa acht Wochen, einen grossen N-Bedarf haben. Am schwierigsten bezüglich der N-Versorgungssituation einzustufen sind die Direktsaaten. Je nach Vorbegrünung, Bodenstrukturzustand, Witterungsverlauf und Dauer des Direktsaatsystems variieren sie in ihren Eigenschaften und ihrer Ertragsstabilität stärker als die «standardisierten» Pflug- und Streifenfrässaat-Verfahren. In der Regel werden in direkt gesäten Maisfeldern dieselben maximalen N_{\min} -Werte gemessen wie in bearbeiteten. Besonders in kühlen Frühjahren ergibt sich jedoch häufig eine zeitliche Verzögerung der N-Mineralisierung.

Die oben beschriebenen Versuche an der FAL und weitere Untersuchungen (Walther 1995a und 1995b) zeigen, dass folgende Massnahmen die N-Verwertung verbessern helfen:

- Bei abgefrorenen Vorbegrünungen auf intensive Lockerung des Ackers verzichten und bei günstiger Bodenstruktur direkt säen.
- Winterharte Vorbegrünungen möglichst kurz vor der Maissaat pflügen.

Tab. 5. Einfluss unterschiedlicher Maisanbauverfahren und Vorbegrünungen auf den Silomaisertrag (Kilogramm Trockensubstanz pro Are) in den Versuchsjahren 1998 bis 2000

Anbauverfahren	Pflügen und Eggen	Streifenfrässaat	Direktsaat		
Vorbegrünung	Kunstwiese ¹	Kunstwiese ¹	Kunstwiese ¹	Chinakohl- rübsen	Ölrettich bzw. Gelbsenf
1998	176	178	144	157	172
1999	204	208	192	214	206
2000	204	190	172	212	196
Mittel	195	192	169	194	191
Relativertrag	100 %	98 %	87 %	99 %	98 %

¹ Standardmischung 200: Italienisch Raigras und Rotklee

■ Misteinsatz: maximal 20 t/ha und bereits zur Vorbegrünung.

■ Maximal 30 kg mineralischer N/ha zur Saat und mit Vorteil als Unterfussdüngung geben.

■ N_{\min} -Analyse im Stadium fünf bis sechs Maisblätter durchführen zur Optimierung der mineralischen Hauptstickstoffgabe(n) im 6- bis 8-Blatt-Stadium.

■ N-Mineraldünger möglichst nah zur Maisreihe ausbringen.

■ Ammonium- oder harnstoffhaltige Düngemittel inklusive Gülle wegen des N-Verflüchtungsrisikos in die Luft kurz vor Regen oder in Verbindung mit Hacken ausbringen.

■ Vorbegrünung und Unkräuter konsequent regulieren.

Alle Maispflanzler, ob biologisch oder integriert wirtschaftend, müssen also versuchen, die N-Verlustrisiken auf die Situation bezogen zu minimieren. Die konkreten N-Düngungsmassnahmen sind im Einzelfall auf N_{\min} -Analysen und gutes Beobachten der Maisentwicklung abzustützen.

Literatur

■ Bohren Ch., Ammon H.U., Du-bois D. und Streit B., 2002. Erträge von Silomais nach verschiedenen Anbauverfahren. *Agrarforschung* 9 (9), 386-391.

■ Chervet A., Maurer C., Sturny W.G. und Müller M., 2001. Direktsaat im Praxisversuch: Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* 8 (1), 12-17.

■ Rieger S., 2001. Impacts of tillage systems and crop rotation on crop development, yield and nitrogen efficiency. Diss. ETH Nr.14124, 138 S.

■ Walther U., 1995a. Stickstoffdüngung zu Mais – zur Saat oder später? *Agrarforschung* 2 (4), 129-132.

■ Walther U., 1995b. Stickstoffdüngung und Ertrag von Mais. *Agrarforschung* 2 (7), 269-272.

RÉSUMÉ

Dynamique de l'azote minéral selon différentes techniques culturales de maïs

L'évolution de la teneur en N_{\min} sous culture de maïs a été suivie de 1998 à 2000 dans un sol brun limoneux du Nord de Zurich. La mise en place du maïs a été effectuée par semis direct (SD), semis après labour (L) ou semis en bande fraisée (SBF), suivant une prairie. Le procédé par SD a également été appliqué après divers engrais verts. Le recours à des herbicides a permis le contrôle des adventices et de l'enherbement précédant la culture. Une dose uniforme de 145 kg N/ha a été appliquée, en trois apports sur les lignes.

Entre le semis (début mai) et le stade à six feuilles (début juin), la dynamique de l'azote du sol a été principalement affectée par les conditions climatiques et l'intensité du travail de préparation du sol. Après le premier apport d'azote (90 kg/ha), on a mesuré sous les lignes et dans tous les procédés des teneurs en N_{\min} atteignant 250 kg N/ha. Ces valeurs maximales, obtenues en conditions favorables à la minéralisation, étaient toutefois réduites de 50 % en situation climatique fraîche et pluvieuse. Les plus faibles «pertes apparentes calculées» ont été trouvées sous SD, puis sous SBF, puis après L. On peut supposer que le procédé SD a pour effet un retardement de la minéralisation de l'azote du sol et une meilleure rétention d'eau, ce qui réduit le risque de lixiviation de l'azote nitrique par rapport aux procédés comportant un travail plus intensif du sol.

Ayant reçu une fumure optimale, le maïs a pratiquement épuisé le stock d'azote disponible du sol durant ses huit semaines de croissance principale, de sorte que celui-ci ne contenait plus que 20 kg N/ha ou même moins au moment de l'ensilage. Le SBF, comme également le SD peut être recommandé en tant que procédé ménageant le sol et les eaux.

SUMMARY

Soil nitrogen dynamics in different maize cropping systems

For a better understanding of soil nitrogen dynamics in maize cropping systems, N_{\min} content of soil and soil water samples from 0 to 100 cm depth were measured periodically in a loamy Cambisol near Zurich, Switzerland, from 1998 to 2000. Maize was sown either with conventional tillage (CT), rotary band seeding (RBS), or no-tillage (NT) after a previous crop of ryegrass and red clover. NT was also used after different annual green manure crops. Weeds were controlled with herbicides and a total amount of 145 kg N/ha was applied in three split applications to the maize plant rows.

Between sowing of the maize crop and the 6-leaf stage of the plantlets, nitrogen dynamics were mostly influenced by the weather conditions and the intensity of soil tillage: In 2000, when the weather was warm, the maximum N_{\min} content in the soil after an application of 90 kg N/ha was 250 kg N/ha in all tillage systems. However, in 1999, when the weather was cool and humid, N_{\min} content in the soil was 50 % lower than in 2000.

The ranking of the calculated N leaching losses was NT before RBS and CT, probably due to a delayed nitrogen mineralization and a higher water content in the soil after NT in contrast to RBS and CT. When N-fertilization was adapted to plant needs, most of the available mineral nitrogen in the soil was taken up by the maize plants during the 8-week period of fastest growth from the 6-leaf stage to milky ripe stage and the N_{\min} content in the soil after harvest of the maize crop at the end of September did not exceed 20 kg N/ha.

In conclusion, NT and to a lesser degree also RBS are recommended as cropping systems for the improvement of soil structure and for the prevention of nitrate leaching.

Key words: maize, cropping system, tillage, nitrogen, suction cup