

Stickstoffeffizienz durch Wurzelnähe

Platzierte Stickstoffdüngung mit festen Düngemitteln im Mais

Die mineralische Stickstoff-Düngung zu Mais erfolgt bislang überwiegend breitflächig auf die Bodenoberfläche in einer oder mehreren Gaben. Vor allem bei der oberflächlichen Ausbringung von Harnstoff kann dies auch mit Ammoniak-Verlusten in die Atmosphäre verbunden sein, weshalb die neue Düngeverordnung ab dem 1. Februar 2020 die Einarbeitung von Harnstoff ohne Ureasehemmstoff innerhalb von vier Stunden fordert. Eine platzierte Ausbringung von Düngern wird als eine Möglichkeit zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz angeführt. Darunter wird eine gezielte Düngung in direkter räumlicher Nähe zur Pflanze verstanden.



Injektionsdüngung bei Mais auf dem Versuchsfeld Rinkenbergerhof der LUFA Speyer.

Als Beispiel für platzierte Düngeverfahren können die Unterfuß-, die Reihen und die Injektionsdüngung genannt werden. Während bei der Unterfußdüngung die Ausbringung von festem oder flüssigem Mineraldünger gleichzeitig mit der Einzelkornsaat etwa 5 cm unterhalb und neben der Saatreihe erfolgt, wird bei der Injektionsdüngung der Dünger tiefer, bis hin zur Krumentiefe (Unterflurdüngung) abgelegt.

Eine besondere Form der Injektionsdüngung ist die CULTAN-Düngung, bei der eine ammoniumreiche Düngergelösung zu Beginn der Vegetationsperiode als Depot in den Wurzelbereich der Pflanzen injiziert wird. Die Reihendüngung erfolgt dagegen im fortgeschrittenen Pflanzenwachstumsstadium, wobei der Dünger ein- oder beidseitig neben den Pflanzenreihen auf die Bodenoberfläche abgelegt wird.

Wird der Dünger mit einer Injektionsdüngung tiefer in den Boden in sogenannten Depots eingebracht, soll vor allem die Hauptwachstumsphase der Pflanzen gefördert und die Nährstoffversorgung eines Bestands in Trockenperioden sichergestellt werden. Wäh-

rend diese Art der Düngung bislang fast ausschließlich mit flüssigen Düngemitteln durchgeführt wurde (ammoniumreiche Düngergelösung oder Gülle), werden seit mehreren Jahren im Rahmen eines grenzüberschreitenden INTERREG-Projekts Versuche mit einem neuen Düngegerät zur Injektion von festem Mineraldünger durchgeführt.

Von der Injektion des N-Düngers werden dabei auch wirtschaftliche Vorteile durch mögliche Düngereinsparung (höhere N-Effizienz) sowie positive Umwelteffekte wie eine verminderte Nitrat-Auswaschung (Grundwasser) und – im Vergleich zu oberflächlich gedüngtem Harnstoff – geringere Ammoniakverluste (Atmosphäre) erwartet.

Im folgenden Beitrag werden Ergebnisse aus Rheinland-Pfalz vorgestellt,

bei denen bei Mais die oberflächliche Stickstoffdüngung mit platzierter Injektionsdüngung verglichen wurde.

Versuche in Baden-Württemberg, Frankreich und Rheinland-Pfalz

Die Versuche in Rheinland-Pfalz wurden im Rahmen von durch die Europäische Union geförderten INTERREG-Projekten (INTERREG IV und V) seit 2012 durchgeführt. Neben Rheinland-Pfalz werden dazu auch Versuche in Baden-Württemberg und in Frankreich (Elsass) durchgeführt.

Nachfolgend werden aus dem Projekt die Ergebnisse vom Versuchsstandort Rinkenbergerhof in Speyer vorgestellt. Der Versuchsstandort Rinkenbergerhof liegt nördlich von Speyer auf 99 m über NN. Bei dem Boden handelt es sich um eine Braunerde bis Pseudogley-Braunerde aus Terrassensanden mit einer Ackerzahl im Bereich von 30 bis 35. Die nutzbare Feldkapazität beträgt etwa 10 Prozent. Im langjährigen Mittel fallen knapp 600 mm Jahresniederschlag, die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 10 °C. Aufgrund der geringen Wasserkapazität der Böden wurde der Versuch zur Vermeidung von extremen Trockenschäden im Bedarfsfall beregnet.

Im Versuch werden seit 2013 zwei in der Praxis übliche Verfahren zur oberflächlichen Stickstoffdüngung (Varianten 1 und 2) mit der Injektion des Düngers (Variante 3) verglichen (Tabelle 1). In der Variante 1 erfolgt die Bemessung der Stickstoffdüngung auf Grundlage einer Nmin-Bodenanalyse vor der Aussaat. Die Stickstoffmenge wird auf dem leichten Standort auf zwei Gaben (ein Drittel zur Saat, der Rest im 6- bis 8-Blattstadium) aufgeteilt. Als Düngemittel wird Kalkammonsalpeter verabreicht.

In der Variante 2 wird das sogenannte „späte“ Nmin-Verfahren“ angewendet. Dabei wird die N-Nachlieferung zu Beginn der Vegetationsperiode durch eine Verschiebung der Nmin-Probenahme von vor der Saat in die Vegetationsperiode von Mais hinein direkt erfasst. Zur Saat werden in dieser Variante 50 kg N/ha gedüngt (2013 Harnstoff als Unterfußdüngung; 2016 und 2017 Kalkammonsalpeter oberflächlich). Die „späte“ Nmin-Untersuchung,

Tabelle 1: Übersicht der gemeinsamen Versuchsvarianten 2013, 2016 und 2017

Variante	Beschreibung
1	Betriebsübliche Düngung: Nmin-Beprobung zur Saat und ganzflächige Ausbringung von nicht stabilisiertem Stickstoff-Dünger (zwei Gaben auf leichtem Standort).
2	Verzögerte Düngung: Andüngung zur Saat mit Unterfußdüngung. „Späte“ Nmin-Beprobung im 4- bis 6-Blatt-Stadium. Nachdüngung aufgrund der Untersuchungswerte.
3	Injektion „reduziert“: Anwendung von 80 % der Düngermenge von Variante 1.

auf deren Grundlage die die Nachdüngung mit Kalkammonsalpeter durchgeführt wird, erfolgt etwa im 4- bis 6-Blattstadium des Mais. Die Stickstoffdüngermenge in Variante 2 betrug im Mittel der Versuche etwa 80 Prozent der Menge von Variante 1.

In der Versuchsvariante 3 (Injektion) wird der Stickstoffdünger zwischen jede zweite Maisreihe in etwa 18 cm Bodentiefe injiziert. Dabei wird die N-Menge gegenüber der Variante 1 um 20 Prozent reduziert. Dabei wird ein stabilerer, fester Harnstoff-Dünger (Alzon46) verwendet. Im Rahmen des Projektes wurde ein Injektionsverfahren entwickelt, mit welchem es möglich ist, den festen Dünger als „Düngerband“ zwischen jede zweite Maisreihe in 18 bis 20 cm Bodentiefe abzulegen (Abbildung 1). Die Injektionsdüngung zwischen jede zweite Maisreihe ist prinzipiell direkt nach oder auch bei der Mais-Aussaat möglich. Im Versuch war die Injektion etwa im 4- bis 6-Blattstadium des Mais vorgesehen.

2013 und 2016 konnte die Injektion witterungsbedingt erst später erfolgen. Dadurch zeigte sich in beiden Jahren eine deutliche Entwicklungsverzögerung im Vergleich zu den oberflächlich und früher gedüngten Varianten (Abbildung 2). Dieser Entwicklungsunterschied glied sich allerdings im weiteren Vegetationsverlauf wieder an. Zum Zeitpunkt der Ernte waren in beiden Jahren keine Entwicklungsunterschiede mehr zu erkennen. Die Versuchsvarianten wurden in randomisierter Form in 4-facher Wiederholung angelegt. Neben den hier vorgestellten Varianten waren noch weitere im Versuchskonzept enthalten, die aber nicht über den gesamten Zeitraum einheitlich durchgeführt wurden.

Im Mittel der drei Jahre wurden in der Variante 1 (oberflächliche Dünge-

Tabelle 2: Stickstoffdüngermengen, Kornerträge sowie Stickstoffentzüge und N-Salden von Körnermais 2013, 2016 und 2017				
Variante / Jahr	N-Düngermenge	Kornertrag	N-Entzug Korn	N-Saldo
	(kg N/ha)	(dt/ha; 86 % TS)	(kg N/ha)	(kg/N ha)
2013				
1: Betriebsüblich	150	82	105	45
2: Verzögerte Düngung	139	74	96	44
3: Injektion 80 %	120	81	101	19
2016				
1: Betriebsüblich	110	109	143	-33
2: Verzögerte Düngung	75	99	123	-48
3: Injektion 80 %	88	102	133	-45
2017				
1: Betriebsüblich	120	118	145	-25
2: Verzögerte Düngung	90	105	121	-31
3: Injektion 80 %	96	111	135	-39
Mittelwert 2013, 2016, 2017				
1: Betriebsüblich	127	103	131	-4
2: Verzögerte Düngung	101	92	113	-12
3: Injektion 80 %	101	98	123	-22

ranwendung) 127 kg N/ha und Jahr und in den Varianten 2 und 3 jeweils 101 kg N/ha und Jahr gedüngt (Tabelle 2). Auch in den Einzeljahren unterschieden sich die Stickstoffdüngermengen der Varianten 2 und 3 nur unwesentlich. Die Variante 2 kann daher auch als Vergleichsvariante mit 80 Prozent der oberflächlich ausgebrachten Stickstoffmenge verwendet werden.

Ergebnisse: Erträge gleich bei weniger Injektions-N

In der Tabelle 2 sind die Maiserträge der Einzeljahre (2013, 2016 und 2017) sowie der Mittelwert der drei Untersuchungsjahre dargestellt. Auf dem leichten Standort in Speyer wurde im Mittel der drei betrachteten Varianten und der drei Versuchsjahre ein Kornertrag von 98 dt/ha erzielt. Die höchsten Kornerträge wurden in allen drei Jahren in der Variante 1 erzielt (Mittel 103 dt/ha).

Die niedrigsten Erträge zeigte die Variante 2 mit verzögerter Düngung (92 dt/ha), in welcher im Mittel der drei Jahre nur 80 Prozent der Düngermenge von Variante 1 ausgebracht wurden. Für die Variante 3 (Injektionsdüngung mit 80 Prozent der N-Menge von Variante 1) lagen die Erträge zwischen denen der Variante 1 und 2 (Mittel 98 dt/ha).

Die meist nur geringen Ertragsunterschiede lassen sich statistisch nicht absichern. Aus den Ergebnissen kann allerdings abgeleitet werden, dass sich mit der Technik der Injektionsdüngung in 18 cm Bodentiefe in jeder zweiten Maisreihe zumindest Kornerträge in der Größenordnung wie bei oberflächlicher Düngerausbringung erzielen lassen. Die auf anderen Standorten im Projekt in Baden-Württemberg teilweise gemessenen höheren Erträge bei Injektionsdüngung konnten auf dem leichten Standort in Speyer nicht bestätigt werden. Da der Standort in jedem Jahr beregnet werden musste, ist eine bessere Nährstoffversorgung in Trockenzeiten bei Injektion des Stickstoffdüngers möglicherweise hier nicht zum Tragen gekommen.

Die Stickstoff-Salden (N-Düngermenge – N-Entzug im Mais Korn) waren im Mittel der Jahre aufgrund der für den Standort guten Erträge der Jahre 2016 und 2017 negativ, das heißt der Stickstoff-Entzug mit dem Korn lag über der N-Zufuhr mit den Mineraldüngern. Bei gleicher Düngungshöhe wies die Variante 3 (Injektion) aufgrund der höheren Kornerträge und Stickstoff-Entzüge mit dem Korn mit durchschnittlich -22 kg/ha den niedrigsten N-Saldo auf, was als eine tendenziell bessere N-Verwertung dieser Variante bewertet werden kann.



Maisbestand auf dem Versuchsfeld Rinkenbergerhof Ende Juni 2016. Parzellen mit Injektionsdüngung zeigen schwächere Entwicklung. Foto: Armbruster

Nitratkonzentrationen im Sickerwasser

Zur Ermittlung der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser wurden in den Jahren 2013 und 2017 die betrachteten Versuchsvarianten mit Saugkerzen in 1 (2013) beziehungsweise 0,78 m Bodentiefe (2017) ausgerüstet. In der Tabelle 2 sind durchschnittlichen Nitratkonzentrationen zusammengestellt. Die höchsten Nitratkonzentrationen wurden mit 109 mg Nitrat/l in Variante 1 gemessen, die Konzentrationen in Variante 2 und 3 waren mit 74 beziehungsweise 70 mg/l niedriger. Bei etwa gleicher N-Düngermenge von Variante 2 und 3 und ähnlichen Nitratkonzentrationen lässt sich daher keine eindeutige Verminderung der Nitratkonzentration bei Injektion des Düngers feststellen. Da sich die Wasserflüsse im Boden zwischen den beiden Varianten nicht unterscheiden, ist auch für die Nitratauswaschung kein Unterschied zwischen Variante 2 und 3 zu erwarten.

Die Wasserhaushaltsberechnungen sind noch nicht für alle Jahre abgeschlossen, so dass für das Jahr 2017 noch keine Angabe über die Nitratauswa-

schung gemacht werden kann. In den Jahren 2012 bis 2013 lag diese bei einer Düngermenge von 100 Prozent bei rund 27 kg N/ha im Jahr und bei 80 Prozent der Düngermenge bei etwa 14 kg und unterschied sich nicht zwischen oberflächlicher Düngieranwendung und Injektion des Düngers.

Vorläufiges Ergebnis: Betriebsübliche Düngung vorne

Auf das Verfahren der platzierten N-Düngung wird meist in Zusammenhang mit Möglichkeiten zur Verbesserung der N-Ausnutzung hingewiesen. In dem hier vorgestellten Versuch führte die betriebsübliche Stickstoff-Düngung in allen Versuchsjahren zu den höchsten Erträgen und Stickstoff-Entzügen. Bei reduzierter Stickstoff-Düngung war die Variante mit Injektionsdüngung der Variante mit verzögerter Stickstoff-Düngung bei etwa gleicher Düngermenge überlegen. Die N-Salden und die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser waren bei gleicher Düngerrhöhe und Injektion des Stickstoffdüngers nur tendenziell niedriger als bei oberflächlicher Ausbringung.

Tabelle 3: Durchschnittliche Nitratkonzentration

Durchschnittl. Nitratkonzentration (mg / l NO ₃ -) im Sickerwasser 2013+2017	Var. 1:	Var. 2:	Var. 3
	109	74	70

Insgesamt ist die Aussagekraft der Versuche eingeschränkt, da in der betriebsüblichen Variante und der Variante mit Injektion unterschiedliche Düngemengen verwendet wurden. Die Variante „100 Prozent Injektion“ wurde nur im Jahr 2013 untersucht, wo die Erträge vergleichbar zur oberflächlichen Ausbringung waren.

Die Versuche werden in den Jahren 2018 und 2019 auf den gleichen Parzellen weitergeführt. Dabei wird sich auch zeigen, ob sich durch längerfristige Injektionsdüngung zu Mais auf dem gleichen Standort weitere Effekte ergeben. Zusätzlich sind 2018 auch Versuche auf Praxisflächen geplant. Die Ergebnisse dieser Versuche werden zusammen mit den Ergebnissen der Projektpartner in Baden-Württemberg und im Elsass eine abschließende Bewertung der verwendeten Injektionsdüngung ermöglichen.

*Dr. Martin Armbruster,
Prof. Franz Wiesler, LUFA Speyer*