

# Der Ertrag bestimmt maßgeblich die N-Effizienz

## Platzierte Stickstoffdüngung im Maisanbau

Die kontrollierte Ausbringung von Dünger (platzierte Düngung) wird als eine Möglichkeit zur Verbesserung der Nährstoffausnutzung durch die Pflanzen genannt. Neben Vorteilen bei der Nährstoffversorgung werden hierbei auch wirtschaftliche Vorteile durch Düngereinsparung (höhere N-Effizienz) sowie positive Umwelteffekte wie eine verminderte Nitrat-Auswaschung ins Grundwasser und geringere Ammoniakverluste in die Atmosphäre erwartet. In Rheinland-Pfalz wurden im Rahmen eines grenzüberschreitenden Projektes auf zwei Standorten im Oberrheingraben Versuche durchgeführt.

Die platzierte Düngung ist im Gegensatz zu breitflächigen Ausbringung von Düngemitteln eine gezielte Applikation in direkter räumlicher Nähe zur Pflanze. Als Beispiel für platzierte Düngungsverfahren können die Unterfuß-, die Reihen- und die Injektionsdüngung genannt werden.

Bei der Unterfußdüngung erfolgt die Ausbringung von festem oder flüssigem Mineraldünger gleichzeitig mit der Einzelkornsaat. Das Düngerband wird dabei jeweils 5 cm unterhalb und neben

der Saatreihe abgelegt. Bei der Injektionsdüngung wird der Dünger ebenfalls direkt in den Boden appliziert. Das Einbringen des Düngers erfolgt allerdings tiefer als bei der Unterfußdüngung, bis hin zur Krumentiefe (Unterflurdüngung).

### Gezielte Applikation in direkter räumlicher Nähe zur Pflanze

Eine besondere Form der Injektionsdüngung ist die CULTAN-Düngung,



Bei der CULTAN-Düngung wird eine ammoniumreiche Düngelösung zu Vegetationsbeginn als Depot in den Wurzelbereich der Pflanzen injiziert. Foto: landpixel

bei der eine ammoniumreiche Düngelösung 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. →

Bei einer Unterfußdüngung werden die Nährstoffe relativ flach abgelegt wodurch vor allem die Jugendentwicklung der Kulturpflanzen gefördert wird. Dies ist besonders dann der Fall, wenn die Nährstoffe nicht über den Massenfluss im Boden zur sich entwickelnden Wurzel gelangen, sondern von der Wurzel erwachsen werden müssen. Diese Förderung ist vor allem in Kulturen mit einer langsamen Wurzelentwicklung in der Jugend oder bei limitierenden Wachstumsbedingungen der Wurzel, etwa durch eine ungünstige Bodenstruktur oder niedrige Bodentemperaturen, ausgeprägt.

Eine Unterfußdüngung wird daher häufig bei Mais und dort überwiegend mit P-haltigen Düngern durchgeführt. Werden die Dünger mit einer Injekti-



### AUF EINEN BLICK

Auf das Verfahren der platzierten N-Düngung wird meist in Zusammenhang mit Möglichkeiten zur Verbesserung der N-Ausnutzung hingewiesen. In den hier gezeigten Ergebnissen konnte dies für Mais bislang nicht eindeutig nachgewiesen werden. So wurden bei Injektion des Stickstoff-Düngers zwar vergleichbare Erträge wie bei oberflächlicher Ausbringung des Düngers erzielt, die N-Salden und auch die Nitratauswaschungen waren allerdings durch die Injektion nicht eindeutig niedriger als bei oberflächlicher Ausbringung.

Die Frage, ob bei mittel- bis längerfristiger Anwendung des Verfahrens der Injektionsdüngung eine Verminderung der Nitratbelastung der Gewässer erreicht werden kann, konnte im Rahmen des zweijährigen Untersuchungszeitraumes nicht geklärt werden. Ergebnisse aus Baden-Württemberg und die Untersuchungen im Elsass zu den gasförmigen N-Verlusten im Rahmen des INDEE-Projektes sprechen vor allem bei oberflächlicher Düngung mit Harnstoff für eine verbesserte N-Effizienz bei Injektion des Düngers.

Derzeit wird der im Projekt entwickelte Prototyp zur Injektion fester N-Dünger weiterentwickelt. Es ist geplant, die Versuche an den Standorten in Deutschland und in Frankreich im Jahr 2016 weiterzuführen.

*Armbruster, Frei*

**Tabelle 1: Versuchsvarianten der INDEE-Versuche in Rheinland-Pfalz**

Variante-Nr.	Beschreibung
1	<b>Betriebsübliche Düngung:</b> N <sub>min</sub> -Beprobung zur Saat und ganzflächige Ausbringung von nicht stabilisiertem Stickstoff-Dünger (zwei Gaben auf leichtem Standort).
2	<b>Betriebsübliche Düngung „stabilisiert“:</b> N <sub>min</sub> -Beprobung zur Saat und ganzflächige Ausbringung von stabilisiertem Stickstoff-Dünger zur Saat (eine Gabe)
3	<b>Verzögerte Düngung:</b> Andüngung zur Saat mit Unterfußdüngung. „Späte“ N <sub>min</sub> -Beprobung im 4- bis 6-Blatt-Stadium. Nachdüngung aufgrund der Untersuchungswerte.
4	<b>Optimierte“ Injektion:</b> Injektion des stabilisierten, schnurförmigen Stickstoff-Depots zur Saat 2012 : „CULTAN“-Methode; 2013 Injektion von festem Dünger (Alzon 46)
5	<b>Betriebsübliche Düngung „reduziert“:</b> N <sub>min</sub> -Beprobung zur Saat und ganzflächige Ausbringung von nicht stabilisiertem Stickstoff-Dünger in zwei Gaben. Anwendung von 80 % der Düngermenge von Variante 1
6	<b>„Optimierte“ Injektion „reduziert“:</b> Anwendung von 80 % der Düngermenge von Variante 4.

onsdüngung dagegen tiefer in den Boden eingebracht, wird von den in Depots abgelegten Düngern überwiegend die Hauptwachstumsphase der Pflanzen gefördert und die Nährstoffversorgung eines Bestands in Trockenzeiten kann besser sichergestellt werden.

Im folgenden Beitrag werden Ergebnisse aus zweijährigen Versuchen in Rheinland-Pfalz vorgestellt, bei denen bei Mais Verfahren oberflächlicher Stickstoffdüngung mit platzierter N-Düngung verglichen wurden.

### Versuche zur Injektion von Stickstoffdüngern

Die Versuche in Rheinland-Pfalz wurden im Rahmen eines grenzüberschreitenden von der Europäischen Union geförderten INTERREG-Projektes (INTERREG IV A Oberrhein) durchgeführt. Im Projekt „INDEE“ (Injektion von N-Düngern in Depotform für mehr Effizienz und geringere Emissionen in der Umwelt) wurden im Zeitraum 2012 bis 2014 an insgesamt acht Standorten in Deutschland (Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg) und Frankreich (Elsass) umfangreiche Versuche zur Injektion von Stickstoffdüngern durchgeführt.

Neben Vorteilen bei der Nährstoffversorgung in Trockenzeiten werden durch die Injektion der Dünger auch wirtschaftliche Vorteile durch Düngereinsparung (höhere N-Effizienz) sowie positive Umwelteffekte wie eine verminderte Nitrat-Auswaschung in das Grundwasser und - im Vergleich zur oberflächlichen Anwendung von Harnstoff - geringere Ammoniakverluste in die Atmosphäre erwartet. In Rheinland-Pfalz wurden im Rahmen dieses grenzüberschreitenden Projektes auf zwei Standorten im Oberrheingraben Versuche durchgeführt.

Der Versuchsstandort Rinkenberghof 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.

Der Versuchsstandort Minfeld liegt östlich von Kandel auf 146 m über NN. Der Boden ist eine Parabraunerde aus Löß mit einer Ackerzahl im Bereich von 70 bis 80. Die nutzbare Feldkapazität beträgt etwa 22 Prozent. Im langjährigen Mittel fallen etwa 650 mm Jahresniederschlag, die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt ebenfalls etwa 10 °C. Der Versuch in Minfeld wurde nicht beregnet.

### Vergleich von sechs Düngungsvarianten

In den Versuchen wurden zwei in der Praxis übliche Verfahren oberflächlicher Stickstoffdüngung (Varianten 1 und 2) mit zwei optimierten Verfahren (Varianten 3 und 4) verglichen (Tabelle 1). Zusätzlich wurde mit den Varianten 5 und 6 eine um 20 Prozent reduzierte Aufwandmenge der Stickstoff-Düngermenge untersucht.

In den beiden praxisüblichen Verfahren erfolgte die Bemessung der Stickstoff-Düngerhöhe auf Grundlage einer N<sub>min</sub>-Bodenanalyse vor der Aussaat. In der Versuchsvariante 1 wurde die so errechnete Stickstoffdüngermenge als nicht stabilisierter Dünger (Kalkammonsalpeter) verabreicht. Auf dem

leichten Standort Speyer wurde ein Drittel der Stickstoffmenge zur Saat, die restliche Menge im 6- bis 8-Blattstadium des Mais gegeben. In Versuchsvariante 2 wurde die Stickstoffdüngermenge in Form eines stabilisierten Stickstoffdüngers breitflächig zur Saat gegeben (eine Düngergabe an beiden Standorten).

Als erfolgversprechend hat es sich auch erwiesen, die N-Nachlieferung zu Beginn der Vegetationsperiode durch eine Verschiebung der  $N_{\min}$ -Probenahme von vor der Saat in die Vegetationsperiode von Mais hinein direkt zu erfassen. Dieses „späte“  $N_{\min}$ -Verfahren“ in Mais wurde in der Versuchsvariante 3 untersucht. Zur Saat erfolgte in die-

sem Verfahren zur Saat eine Unterfußdüngung (Harnstoff) mit 45 bis 50 kg N/ha. Die „späte“  $N_{\min}$ -Untersuchung, auf deren Grundlage die die Nachdüngung mit Kalkammonsalpeter durchgeführt wurde, erfolgte etwa im 4- bis 6-Blattstadium des Mais.

In den Versuchsvarianten 4 und 6 wurde der Stickstoffdünger zwischen jede zweite Maisreihe in etwa 18 cm Bodentiefe injiziert. Im Jahr 2012 wurde eine Ammoniumsulfat-Lösung (ASL) als N-Dünger verwendet (CULTAN-Verfahren), welche in Kombination mit der Maisaussaat injiziert wurde. Im Jahr 2013 wurde dagegen ein stabilisierter, fester Harnstoff-Dünger (Alzon46) verwendet.

### **Verfahren zur Injektion fester N-Dünger entwickelt**

Zur Injektion fester Stickstoffdünger wurde im Rahmen des Projektes ein Injektionsverfahren entwickelt, mit welchem es möglich war, den festen Dünger als „Düngerband“ zwischen jede zweite Maisreihe in 18 cm Bodentiefe abzulegen. Die Injektion erfolgte im Jahr 2013 nach der Maisaussaat. Aufgrund der Witterungsverhältnisse konnte die Injektion am Standort Speyer 2013 erst fünf Wochen nach der Maisaussaat erfolgen. Für den später gesäten Mais am Standort Minfeld lag zwischen Aussaat und Injektion dagegen nur eine Woche. →

Die Versuchsvarianten 5 und 6 entsprachen hinsichtlich der Düngerform und -anwendung den Varianten 1 beziehungsweise 4. Allerdings erfolgte hier ein verminderter Stickstoff-Einsatz von 80 Prozent der Mengen der Varianten 1 beziehungsweise 4. Mit den beiden Zusatzvarianten wurde geprüft, ob durch das Injektionsverfahren eine höhere N-Effizienz erreicht werden kann.

Die Versuchsvarianten wurden randomisiert in 4-facher Wiederholung angelegt. Im Mittel beider Jahre wurden in den Varianten 1, 2 und 4 in Speyer 138 und in Minfeld 180 kg/ha Stickstoff pro Jahr gedüngt. Die Varianten 5 sowie 6 erhielten 80 Prozent dieser N-Mengen (110 beziehungsweise 144 kg/ha). In der Variante 3 mit verzögerter N-Düngung wurden in Speyer durchschnittlich 108 und in Minfeld 154 kg/ha Stickstoff pro Jahr gedüngt

**Betriebsübliche Düngung setzte den Ertragsstandard**

Die durchschnittlichen Maiserträge der Jahre 2012 und 2013 für beide Untersuchungsstandorte zeigen: Der Körnermaisertag war am leichten Standort Speyer mit durchschnittlich 91 dt/ha erwartungsgemäß niedriger als am Standort Minfeld (101 dt/ha). In Speyer unterschieden sich die Erträge der verschiedenen Varianten nur wenig (89 bis 94 dt/ha), während die Ertragsunterschiede in Minfeld etwas deutlicher ausgeprägt waren (95 bis 104 dt/ha).

**Tabelle 2: Zusammenstellung der N-Auswaschung in 1 m Bodentiefe\***

	Var. 1: 100 % KAS	Var. 3: Verzögert	Var. 4 Injektion 100 %	Var. 6 Injektion 80 %
N-Auswaschung pro Jahr (kg N/ha)	28	14	25	13
Nitratkonzentration während der Sickerwasserperioden (mg/l)	82 (77-94)	40 (45-30)	75 (76-72)	39 (32-52)

*\*Zeitraum August 2012 bis Juli 2014 sowie durchschnittliche Nitratkonzentrationen während der Sickerwasserperioden (Standort Speyer).*

Die höchsten Erträge wurden an beiden Standorten in Variante 1 (100 Prozent KAS) gemessen. In Minfeld wurde bei oberflächlicher Ausbringung von stabilisiertem N-Dünger (Variante 2) der niedrigste Ertrag gemessen, in Speyer war dagegen der Ertrag bei oberflächlicher Ausbringung von 80 Prozent Kalkammonsalpeter (Variante 5) am niedrigsten. Die Variante 5 wies auch in Minfeld tendenziell niedrigere Erträge auf.

Die Variante mit Injektion von 100 Prozent der Stickstoffmenge (Variante 4) wies an beiden Standorten Erträge in der Größenordnung der Kontrolle (Variante 1, betriebsübliche Düngung) auf. Die Injektion von 80 Prozent der Stickstoffmenge (Variante 6) führte in Speyer zu Erträgen vergleichbar der Kontrolle, während sie in Minfeld etwas darunter lagen.

**Bemerkenswertes Ergebnis bei N-Salden und -Auswaschung**

Aus Sicht eines nachhaltigen und ressourcenschonenden Umgangs mit Düngemitteln ist eine Betrachtung der N-Salden und der N-Auswaschung erforderlich. Die Untersuchungen

zeigten, dass die N-Salden auf dem leichteren Standort Speyer insgesamt niedriger waren als auf dem Lößlehmstandort Minfeld. Dies ist dadurch zu erklären, dass im klimatisch für den Maisanbau günstigen Jahr 2012 am Standort Speyer deutlich höhere Erträge erzielt wurden als bei der Düngemittelermittlung angesetzt wurden. In Minfeld wurde dagegen das langjährige Ertragsziel des Standortes (120 dt/ha) in beiden Jahren nicht ganz erreicht.

Die niedrigsten N-Salden wurden an beiden Standorten in der Variante mit verzögerter N-Düngung (Variante 3) sowie den um 20 Prozent niedriger gedüngten Varianten (5 beziehungsweise 6) ermittelt. In Minfeld wies die Variante 2 (ENTEC) aufgrund des geringeren Ertrages den höchsten N-Saldo auf. In Speyer wiesen die Varianten 2 (ENTEC) und 4 (100 Prozent Injektion) die höchsten N-Salden auf. Diese waren mit 18 bis 19 kg N pro ha und Jahr für den leichten Standort allerdings vergleichsweise niedrig.

Zur Ermittlung der N-Austräge mit dem Sickerwasser wurden im Frühjahr 2012 in Speyer vier der insgesamt sechs Versuchsvarianten mit Saugkerzen aus-

**Nach- oder Neuansaat?**

**Grünland überprüfen**

Vor der Entscheidung zu einer Nachsaat sollte die Artenzusammensetzung der Flächen überprüft werden. Wenn die Narbe sehr stark verungrast ist (gem. Risse) oder mehr als die Hälfte aus minderwertigen Gräsern und zusätzlichen Unkräutern besteht, sollte eine Neuansaat erwogen werden.

In solchen Fällen ist es schwierig, einen hochwertigen Bestand nur durch Nachsaaten zu etablieren. Neuansaat sollten aber vorzugsweise im Spätsommer durchgeführt werden; zu diesem Zeitpunkt ist der überwiegende Jahresgrasertrag schon geerntet worden.

Nachsaaten sind bei akzeptabler Artenzusammensetzung, aber lückigen Beständen, oder nach selektiven Herbizideinsätzen angebracht. Die Nachsaatintensität sollte abhängig vom Lückenanteil im Bestand vorgenommen werden. Ab einem Lückenanteil von 20 Prozent sollte im Frühjahr vor beziehungsweise bei Vegetationsbeginn eine Nachsaat mit Deutschem Weidelgras erfolgen.

LLH, Beratungs-Info



Versuchsfläche zur platzierten N-Düngung im Mais auf dem Versuchsfeld Rinkenbergerhof der LUFA Speyer. Im Vordergrund ist die im Jahr 2013 zusätzlich angelegte Variante ohne N-Düngung zu erkennen. Foto: Armbruster

gerüstet und bis zum Sommer 2014 beprobt. In Tabelle 2 sind die Stickstoff-Auswaschungen sowie die daraus berechneten durchschnittlichen Nitratkonzentrationen in 1 m Bodentiefe für den Standort Speyer zusammengestellt.

Die jährlichen Nitratausträge beziehungsweise Auswaschungen in 1 m Bodentiefe unterschieden sich zwischen oberflächlicher Düngenanwendung und Injektion des Düngers kaum. So betrug die N-Auswaschung in 1 m Bodentiefe bei der Aufwandmenge von 100 Prozent Stickstoff (Var. 1: 100 Prozent KAS; Var. 4: Injektion 100 Prozent) im Mittel der beiden Untersuchungsjahre 28 beziehungsweise 25 kg N/ha. Bei der jeweils um zirka 20 Prozent verminderten Stickstoffdüngung der Varianten 3 („verzögert“) beziehungsweise 6 (Injektion 80 Prozent) wurde die N-Auswaschung in beiden Varianten um rund 50 Prozent auf 13 bis 14 kg N/ha vermindert. Ein Einfluss der Injektion des Düngers im Vergleich zur oberflächlichen Ausbringung konnte bei verminderter Stickstoff-Düngung daher ebenfalls nicht gezeigt werden.

*Dr. Martin Armbruster, LUFA Speyer,  
Horst Frei, DLR Neustadt*