



Platzierte N-Düngung zu Winterweizen



Einleitung

Zunehmend wird in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften von einer sog. „CULTAN“-Düngung berichtet. Die Bezeichnung „CULTAN“ steht für die Abkürzung des englischen Begriffs „**C**ontrolled **U**ptake **L**ong **T**erm **A**mmonium **N**utrition“ und kann als geregelte, möglichst lang andauernde Ernährung der Pflanzen mit Ammonium- (NH_4^+) -Stickstoff übersetzt werden.

Hierzu wird im besten Falle der gesamte N-Düngebedarf in Form nitratarmer oder besser nitratfreier N-Dünger mit speziellen Geräten (z.B. mit Sternradtechnik) zwischen den Pflanzenreihen in Wurzelnähe (5 bis 10 cm tief) injiziert. Dies bedingt an den Injektionsstellen konzentrierte N-Depots (optimal Ammonium-N-Depots), die bei korrekter Bemessung den Nährstoffbedarf in der Folgezeit abdecken und zur Ernte vollständig aufgebraucht sein sollten. Je höher die Ammoniumkonzentration in diesen N-Depots ist, desto stabiler sind diese gegenüber mikrobiellen Umsetzungen wie Nitrifikation oder Denitrifikation über mehrere Wochen. Aus ökologischer Sicht werden so insbesondere bei Kulturen mit später N-Aufnahme wie beispielsweise Mais weniger Nitrat-Stickstoff (Auswaschungsgefahr!) sowie möglicherweise weniger Lachgas (Klimaschutz!) gebildet. Ein ökonomischer Vorteil des Verfahrens kann darin bestehen, dass in Folge des späteren Düngungstermins - z.B. bei Winterweizen in EC 30 - 32 - Arbeitsspitzen gebrochen, Arbeitsgänge reduziert und Bodenbelastungen verringert werden können. Darüber hinaus sind regional durchaus auch Preisvorteile beim Einkauf flüssiger Dünger zu beachten. Pflanzenbauliche Aspekte und mögliche Vor- wie Nachteile dieser Verfahren werden im folgenden Beitrag dargestellt.

Ziele

Im Fokus mehrjähriger Exakt-Feldversuche mit Winterweizen stand die Frage, ob ohne Ertrags- und Qualitätsverlust mit einem alternativen Düngungssystem potentielle N-Verluste gesenkt und folglich die N-Ausnutzungsraten verbessert werden können. Beobachtet wurden hierzu die Ertragsbildung und Kornqualität als ökonomische Komponenten sowie die N-Dynamik zur ökologischen Einordnung der geprüften Düngungssysteme.

Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

Im Herbst 2008 wurden an drei Standorten in Baden-Württemberg - Kraichgau: tiefgründige Lößböden - nördlicher Oberrhein: tiefgründige tonige Lehme - Hohenlohe: tonige, oft flachgründige Böden aus Muschelkalk - Exaktfeldversuche angelegt (Tabelle 1). Die Versuchsfelder waren durchwegs in einem



guten Kulturzustand und langjährig ohne Pflugeinsatz bewirtschaftet. Das für die Ermittlung eines realistischen N-Düngebedarfs unterstellte Ertragspotential orientierte sich am langjährigen Ertragsmittel bei durchschnittlichen Rohproteingehalten am jeweiligen Standort. Im Mittel der Jahre wurde ein N-Düngebedarf von 185 kg/ha (100 %) bzw. 150 kg/ha (80 %) festgestellt, wobei das Minimum bei 160 bzw. 130 kg/ha, das Maximum bei 195 bzw. 155 kg/ha lag.

Tab. 1 *Kenndaten der Versuchsstandorte (Beispiel: Versuchsjahr 2010/11)*

Versuchsstandort		Hohenlohe	Kraichgau	Oberrhein
Bodenart		tL	uL	tL
Grundbodenbearbeitung		pfluglos	pfluglos	pfluglos
Vorfrucht		W. Raps	W. Raps	Hafer
Saattermin		Ende September	Anf. Oktober	Anf. Oktober
pH		7,3	7,4	7,3
Humus	[% TM]	3,5	2,2	1,8
P ₂ O ₅		19	18	31
K ₂ O	[mg/100 g B.]	30	27	31
Mg		26	9	12
N _{min} (Veg. Beginn) (0-90 cm)	[kg/ha]	6/6/5	8/3/5	6/9/10

Tab. 2 *Versuchsplan*

Variante	EC 21-25 (Veg. Beginn)	EC 29 - 30 (Ende Bestockung)	EC 30 - 32 (beginnende Aufhellungen)	Spätdüngung	Düngungssystem
1	ohne N-Düngung				
2	KAS	KAS	--	KAS	breitflächig
3	--	--	AHL	--	Injektion
4	--	--	ASL	--	
5	--	--	ASL (80 %)	--	
6	--	--	AHL	--	Schleppschlauch
7	--	--	ASL	--	
8	--	--	ASL (80 %)	--	
9	--	--	KAS	--	breitflächig
10	--	--	Harnstoff	--	

KAS: Ausbringung: breitflächig mit Düngerstreuer mit der Aufteilung 30 %/40 % /30 % des jeweiligen N-Düngebedarfs

AHL & ASL: Flüssigdünger - Ausbringung: im Band in 5 - 10 cm Tiefe injiziert bzw. oberflächlich m. Schleppschlauch

KAS und **Harnstoff:** breitflächig mit Düngerstreuer in EC 30 - 32 ausgebracht

Im Versuch (Tabelle 2) sollten mehrfaktoriell **Ausbringtechnik**, **Düngerform** und **Düngungstermin** geprüft werden. Hierzu wurden die Festdünger mit einem Parzellenstreuer breitflächig, die Flüssigdünger im „Oberflächendepot in jeder 2. Saatreihe“ mit Schleppschlauch bzw. im „Injektionsdepot in jeder 2. Saatreihe“ in einer Tiefe von ca. 8 cm mit einem „Reihen-Injektionsgerät“ im Band ausgebracht. Zum Einsatz kamen als Festdünger Kalkammonsalpeter (KAS) und Harnstoff (Ha) sowie als Flüssigdünger AHL (28 % Gesamt-N: davon 50 % Amid- (Harnstoff-) N und je 25 % Ammonium- und Nitrat-N) und eine ASL-Lösung“ (8 % Gesamt-N als Ammonium-N) unter Berücksichtigung eines S-Ausgleichs. Als Kontrollen diente neben einer Variante „ohne N-Düngung“ eine betriebsübliche 3

geteilte KAS-Düngung sowie zum Düngungstermin der Flüssigdünger in EC 30 - 32 je eine Einmalgabe mit KAS bzw. Harnstoff breit. Darüber hinaus sollte mit einer um 20 % reduzierten ASL-Gabe der zu erwartende physiologische Vorteil einer betonten Ammoniumernährung geprüft werden.

Eine zwingende Voraussetzung für das Gelingen der Versuche war die Wahl von Weizensorten, bei denen die Ertragsbildung ausgewogen über Bestandesdichte, Kornzahl je Ähre und Tausendkornmasse (TKM) erfolgt. Somit konnten die Systeme mit später, einmaliger N-Gabe – besonders mit einer Ammonium-N-Gabe - mit dem in der Praxis verbreiteten geteilten Düngungssystem verglichen werden.

V Versuchsergebnisse

Untersuchungen zur Stabilität der N-Depots

Zum Nachweis der N- (besonders Ammonium-N-) Depots wurden alljährlich umfangreiche und aufwändige Untersuchungen der Oberflächen- wie Injektionsdepots durchgeführt (Abbildungen 1 und 2). Startpunkt war jeweils ein bis zwei Wochen nach erfolgter N-Applikation.

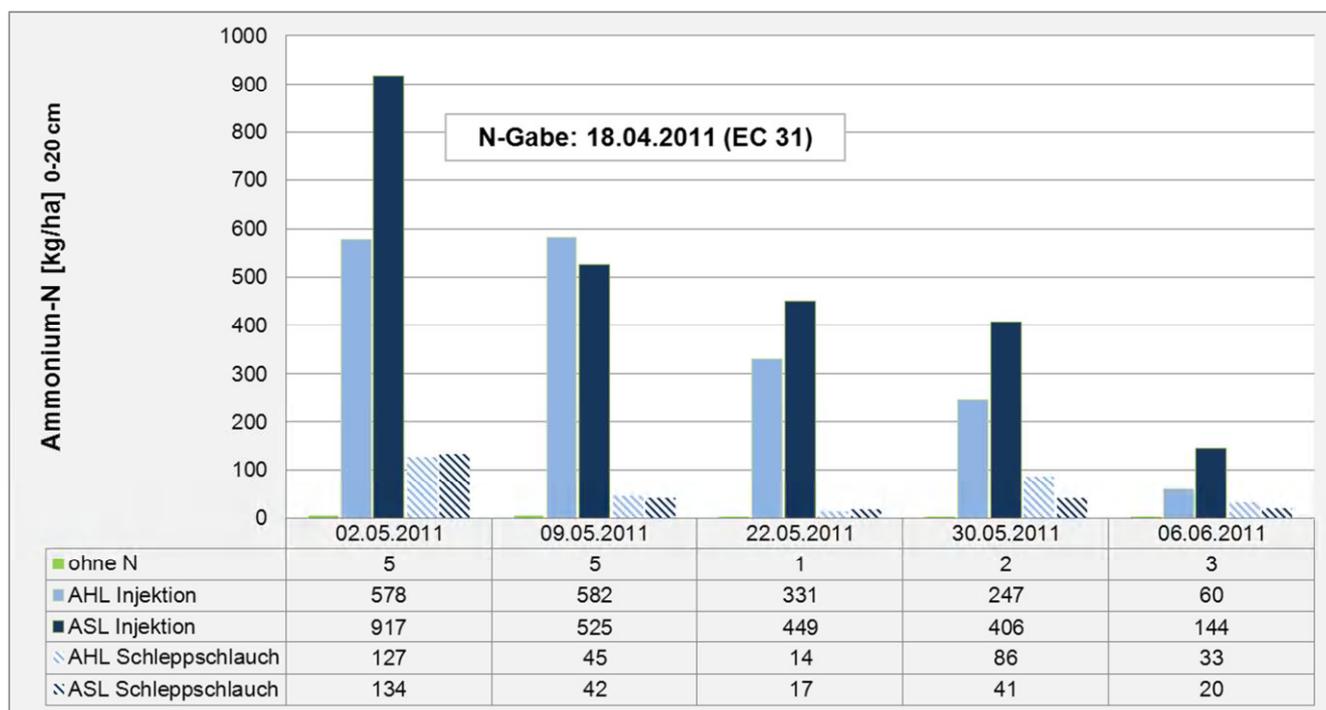


Abb. 1 Ammonium-N-Gehalte [kg N/ha] im Boden – Beispiel: Kraichgau 2011

Am Beispiel des Versuchsjahres 2011 am Standort „Kraichgau“ wird deutlich, dass nur bei den Injektionsverfahren über den avisierten Zeitraum von 4 bis 6 Wochen nach Applikation eine betonte Ammoniumernährung gewährleistet war. Besonders stabil war danach das Ammoniumdepot im Falle der ASL-Injektionsdüngung. Da mit einer AHL-Gabe weniger Ammonium (auch in Form von Harnstoff!) ausgebracht wird, überwiegt in diesem Fall von Anfang an die Nitratkomponente. Weiterhin wurde festgestellt, dass bei einem Oberflächendepot (Düngerapplikation mit Schleppschauchtechnik) weder mit ASL, noch mit AHL die erforderliche Depot- und besonders die physiologisch wertvolle Ammoniumstabilität über einen längeren Zeitraum erreicht werden konnte.

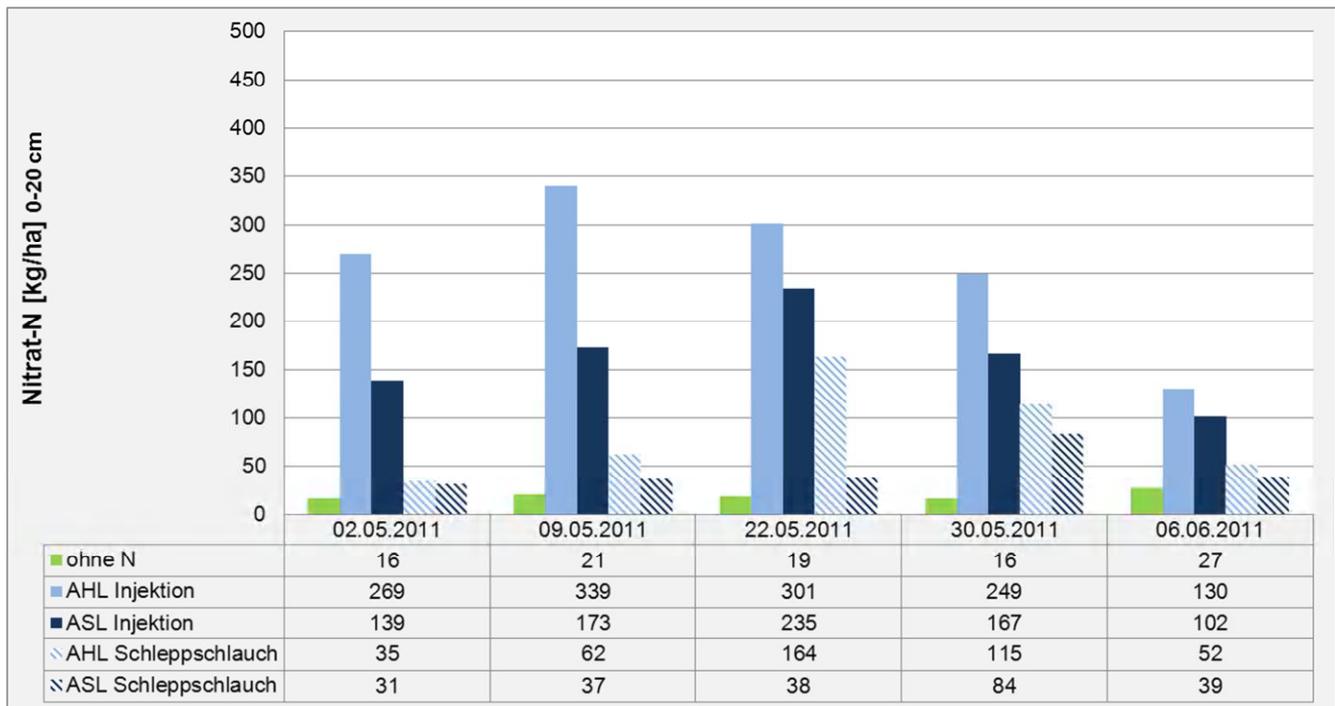


Abb. 2 Nitrat-N-Gehalte [kg N/ha] im Boden – Beispiel: Kraichgau 2011

Besonderheiten bei der Ausbildung der Ertragsstruktur

Da die N-Düngung der Varianten 3 bis 5 in Anlehnung an das „CULTAN“-Verfahren nach Prof. Sommer im Zeitfenster „abgeschlossene Bestockung bei sichtbarem N-Mangel“ (= in der Regel EC 30 bis 32) in **einer** Gabe ausgebracht wurde, hatte dies zur Folge, dass den jungen Weizenpflanzen bis zum Düngungstermin ausschließlich das N-Angebot aus dem N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn sowie der standorttypischen N-Nachlieferung in der Folgezeit zur Verfügung stand. Es überraschte daher nicht, dass im Mittel der Versuche die Bestandesdichte der Varianten mit „ASL Injektion“ um ca. 5 % geringer war als mit „AHL-Injektion“ (Nitratkomponente!) oder mit früher KAS-Düngung (Tabelle 3). Im Gegenzug war im Falle der „ASL-Injektion“ die Zahl der Körner je Ähre jedoch um etwa 10 % größer. Unterschiede wurden ebenso bei der Ausbildung der Tausendkornmasse (TKM) zwischen den Düngungssystemen festgestellt, nämlich ein um ca. 5 % geringeres TKM bei den Injektionsverfahren. Während die Bestandesdichte sehr stark von der jeweiligen Witterung im März und April beeinflusst wurde, war dies bei der Ausbildung des TKM nicht erkennbar. Die Variante „ASL Schleppschlauch“ (Prüfglied 7) zeigte im Vergleich zum Versuchsglied „ASL Injektion“ (Prüfglied 4) einen leicht positiven Einfluss auf die Bestandesdichte. Dies könnte ein Hinweis auf bessere Nitrifikationsbedingungen in Folge Auflösung des Oberflächendepots bei gleichzeitiger Abnahme der Ammoniumkonzentration sein. Die Tatsache, dass „AHL im Oberflächendepot“ geringfügig schwächer war als „AHL im Injektionsdepot“, könnte auf N-Verluste nach der Applikation oder auf N-Defizite bei späterer Trockenheit hinweisen. Noch deutlicher war die Bestandesreduktion bei einer Verringerung der ASL-N-Gabe auf 80 % des ermittelten N-Düngebedarfs. Die Bestände, bei denen KAS oder Harnstoff in EC 30/32 in einer Gabe verabreicht wurde (Versuchsglieder 9 und 10), reagierten sehr unterschiedlich im Ertragsaufbau. Mit Harnstoffdüngung wurde die Bestandesdichte auf Kosten der Kornzahl je Ähre einseitig gefördert. Dies vielleicht in Folge eines schnellen „Nitratschubs“ nach der Düngung. Dagegen kann die „späte“ KAS-Variante den AHL- bzw. ASL-Prüfgliedern mit „Schleppschlauchapplikation“ gleichgestellt werden.

Tab. 3 Ertragsstruktur – Winterweizen (im Mittel von 4 Versuchsjahren und 3 Standorten)

N-Form	Ausbringtechnik	Best. Dichte	Kornzahl	TKM
		[Ähren/m ²]	[je Ähre]	[g]
ohne N-Düngung		363	31	46,5
KAS (30/40/30)	breitflächig	483	38	46,6
AHL	Injektion	483	40	44,9
ASL		461	42	44,3
ASL (80 %)		452	41	44,6
AHL	Schleppschauch	473	38	45,2
ASL		470	39	45,2
ASL (80 %)		460	38	45,9
KAS 27	breitflächig	473	40	44,4
Harnstoff		493	37	45,9

Fazit

Je später eine Düngungsmaßnahme - insbesondere mit einem Ammoniumdünger - geplant wird, desto wichtiger ist die Wahl einer Weizensorte, deren ertragsbildender Schwerpunkt nicht ausschließlich auf der Ausbildung der Bestandesdichte liegt. Ebenso hat sich gezeigt, dass dem Injektionsverfahren der Vorzug vor einem Schleppschauchverfahren zu geben ist. Es muss jedoch gewährleistet sein, dass das für eine sortentypische Bestandesdichte erforderliche N-Angebot zu Vegetationsbeginn bei entsprechenden pflanzen- und ackerbaulichen Rahmenbedingungen ausreichend vorhanden ist oder aus der Bodenreserve nachgeliefert wird.

Kornertrag und Kornqualität

Für alle Ertrags- und Qualitätsergebnisse gilt, dass in Einzeljahren Standortunterschiede zu erkennen waren, die jedoch nur in wenigen Fällen statistisch abgesichert werden konnten. In der Reihe Kraichgau > Hohenlohe > Oberrhein nahm das Ertragsniveau im Mittel der Versuchsjahre ab. Im Versuchsjahr 2011 gab es in Folge längerer Trockenperioden im Frühjahr und Frühsommer eine signifikant schwächere Bestockung und folglich auch geringere Kornerträge (Abbildung 3). Die Düngungssysteme reagierten in diesem Jahr insgesamt jedoch deutlicher, als dies in „normalen“ Jahren der Fall war.

Die Kornerträge der Varianten mit „Injektionsdüngung“ waren im Mittel über alle Jahre und Standorte (Abbildung 4) gesichert höher als die mit „Schleppschauchapplikation“ und identisch mit denen einer aufgeteilten KAS-Düngung. Da die N-Form nun im jeweiligen System nicht mehr den Einfluss zeigt, wie dies bei der Betrachtung der einzelnen Ertragsfaktoren noch der Fall war, stützt dies die Annahme, dass die N-Form in der frühen Vegetationsperiode – häufig witterungsbedingt - einen großen Beitrag zur Verbesserung der N-Effizienz durch eine Reduktion von N-Verlusten leisten kann, dass jedoch über die gesamte Vegetationszeit betrachtet die Systeme mit mehreren Einzelgaben oder mit platzierter Injektionsdüngung die sichereren Verfahren sind.

„Schleppschauchverfahren“ mit ASL und insbesondere mit AHL, aber auch Harnstoff in einer Gabe spät verabreicht (witterungsbedingt erfolgte dies häufig auf trockener Bodenoberfläche), sind unter ökologischen, aber auch ökonomischen Gesichtspunkten nicht zu empfehlen, da neben größerer N-

Verlustrisiken besonders die N-Verfügbarkeit in Folge häufig geringer oder fehlender Niederschläge nach der Düngung langsamer und daher häufig für eine ausreichende Bestandesentwicklung zu spät sein kann. Dies zeigen besonders die Varianten mit Schleppschlauchdüngung von 80 % des N-Bedarfs, da deren Ertragsrückgang nun nochmals deutlicher geworden ist als im Block mit 80 % Injektionsdüngung. Direkt kann hierfür die reduzierte Kornzahl je Ähre im Vergleich zur Injektionsdüngung herangezogen werden.

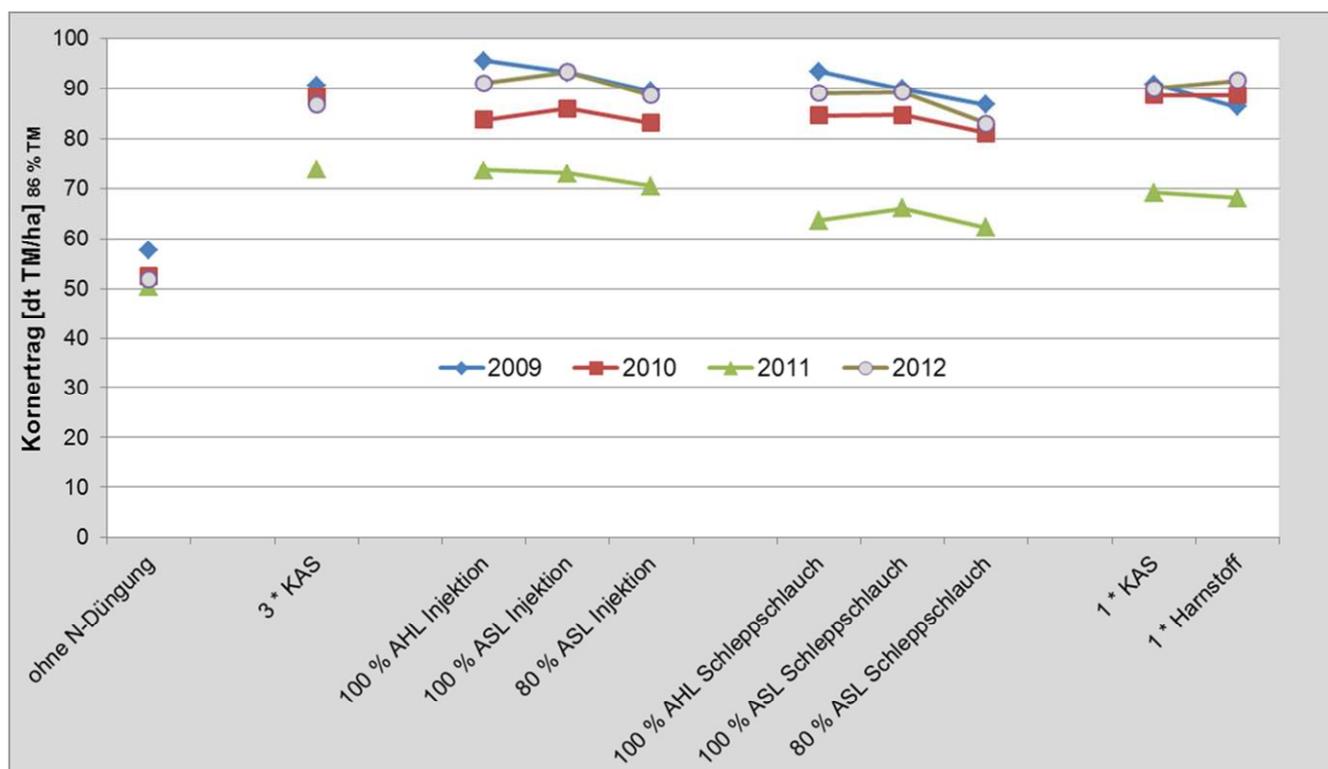


Abb. 3 Kornerträge der Einzeljahre (im Mittel der Standorte)

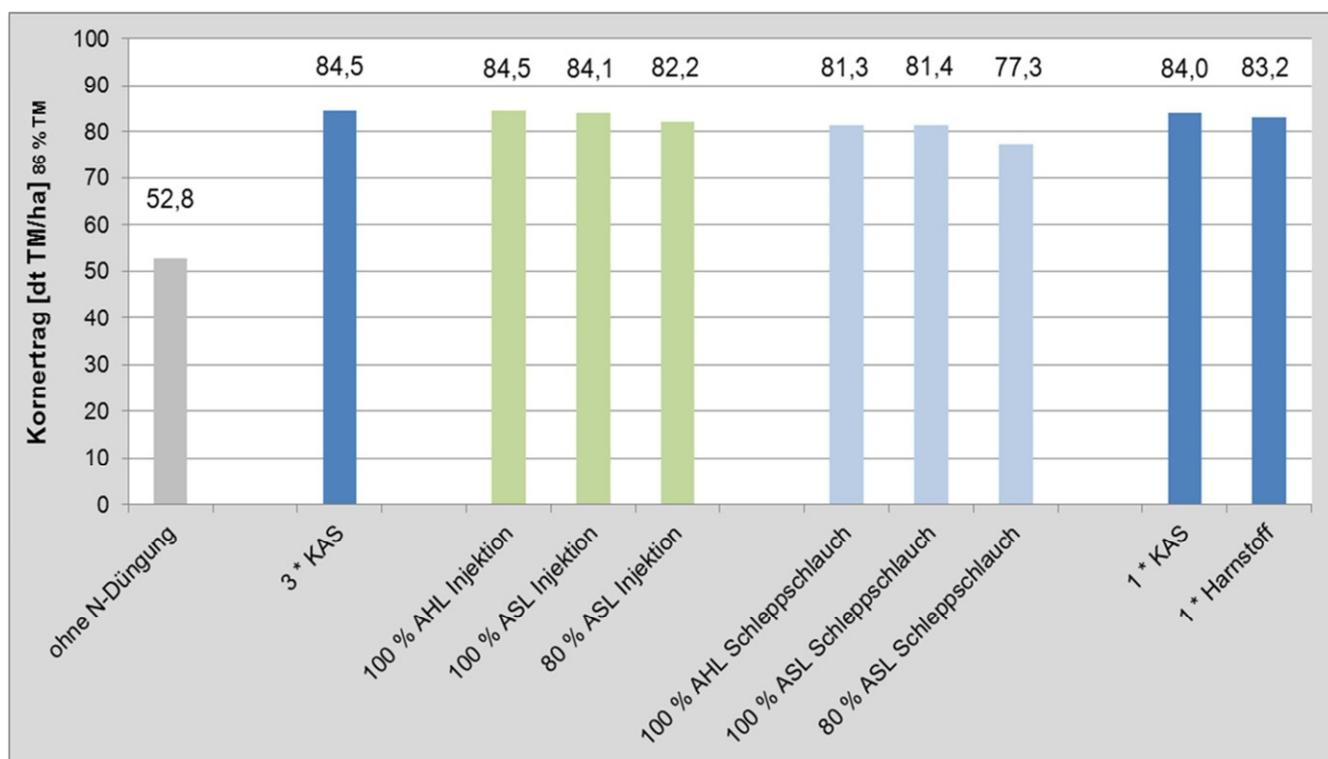


Abb. 4 Kornerträge (im Mittel von 4 Versuchsjahren und 3 Standorten)

Bei der Betrachtung der Rohproteingehalte (Abbildung 5) werden die Vorzüge eines Injektions-Verfahrens – insbesondere mit ASL (N-Form!) - noch deutlicher. Danach werden dieselben Eiweißgehalte erzielt wie mit einer zusätzlichen Spätdüngung im System „3 * KAS“ (!) und signifikant höhere Proteingehalte erreicht als bei den Versuchsgliedern mit Schleppschauch-Düngung oder breitflächiger Ausbringung von „KAS spät“ bzw. „Harnstoff spät“. Ebenso waren die Rohproteingehalte der Varianten mit 80 % ASL-Düngung in beiden Systemen bei vergleichbaren Kornerträgen besser als zunächst erwartet.

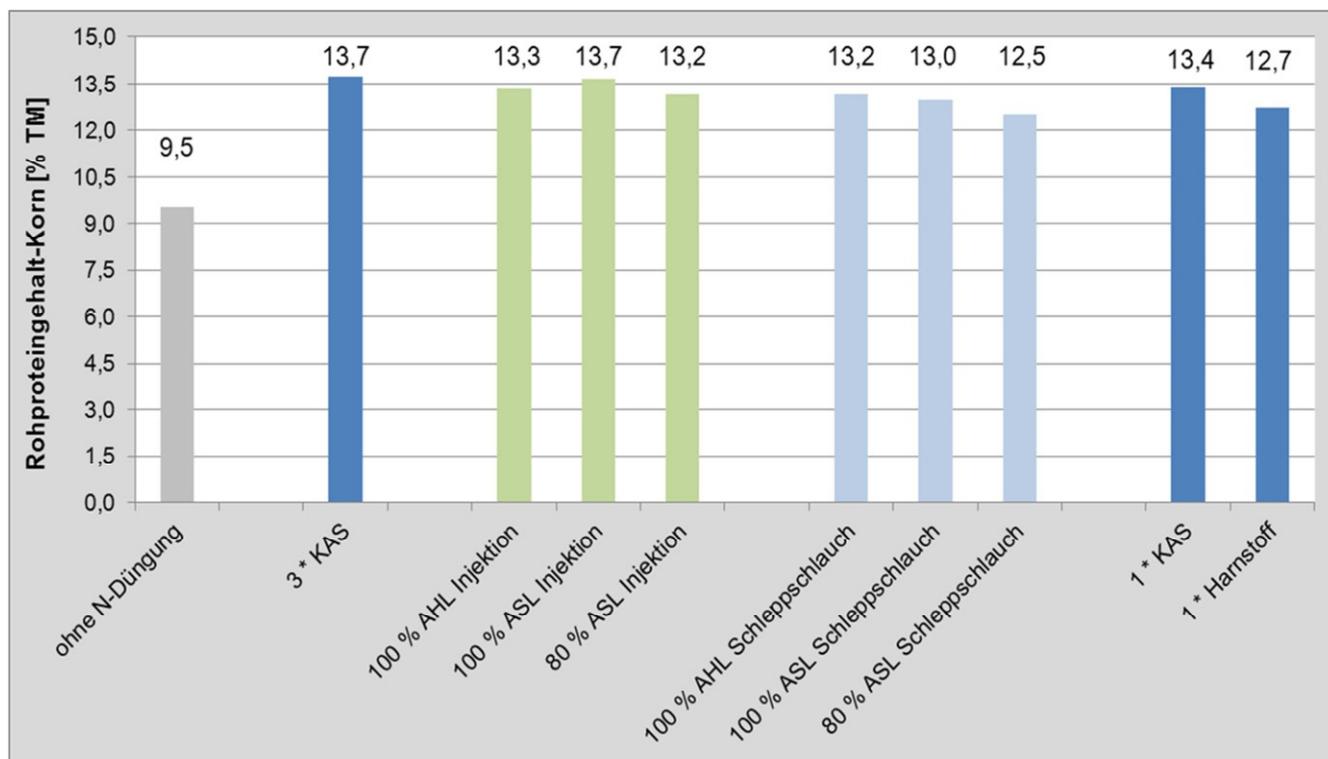


Abb. 5 Proteingehalte (im Mittel von 4 Versuchsjahren und 3 Standorten)

Sollte zur Erzeugung von Qualitätsgetreide eine qualitätsbetonte Spätdüngung notwendig sein, zeigen Praxis-, aber auch erste Exaktversuche, dass eine Spätdüngung ohne weiteres im System „Injektionsdepot“ integrierbar ist. Zu beachten ist hierbei jedoch eine entsprechende Reduktion der 1. N-Gabe in EC 30 - 32.

Wird aus arbeitswirtschaftlichen Gründen oder auf leichteren, trockenen Standorten eine „Öffnung“ des Zeitfensters für eine Depotdüngung notwendig, ist diese im Falle einer ammonium-betonten Düngung nicht früher als in das Stadium EC 27/29 zu legen, um die für ein gutes Ergebnis erforderliche physiologische „Umstellung“ der Pflanze (= sog. wurzeldominanter Status) anzuregen bzw. nicht zu verzögern. Die Förderung einer kräftigen Wurzelbildung kann im Falle längerer Trockenperioden zusätzliche pflanzenbauliche Vorteile bringen.

Fazit

Mit einer Injektions-Depotdüngung - insbesondere bei Anlage eines „stabilen“ Ammonium-Depots - können Korn- und Rohproteinerträge erzielt werden, die mit dem System einer „3 geteilten KAS-Düngung“ durchaus konkurrieren können. Einem „Schleppschauchverfahren“ oder einer einmaligen späten Düngung mit Festdüngern – im Versuch KAS oder Harnstoff - sind Injektionsverfahren ökonomisch, aber besonders ökologisch überlegen.

Aspekte des N-Haushalts

Um Dünungssysteme nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch beurteilen zu können, werden Kenngrößen wie die N-Abfuhr über die Ernteprodukte, der N-Saldo aus Düngung und Abfuhr, der Rest-N_{min} nach der Ernte und die N-Effizienz herangezogen. Während bspw. mit dem N-Saldo die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs ohne Berücksichtigung der N-Nachlieferung aus dem Boden beschrieben wird, liefert die sog. Netto-N-Mineralisation auch eine Information über mögliche N-Verluste und die am Standort vorherrschende Stickstoff- bzw. Humus-Dynamik.

In Tabelle 4 wurde eine Spalte „N-Bewertung“ eingeführt, in der die N-Mengen abzulesen sind, um die sich im vorliegenden Versuch die Vergleichsvarianten vom gängigen System „KAS aufgeteilt“ unterscheiden. Ein negativer Wert bedeutet hierbei, dass das Verfahren „KAS aufgeteilt“ um den jeweiligen N-Betrag besser - sprich N-effizienter oder verlustärmer - anhand der vorliegenden Datenbasis einzustufen ist und umgekehrt. Die Übersicht zeigt, dass zwischen den Systemen „KAS aufgeteilt“ und „AHL bzw. ASL Injektion“ letztendlich kein signifikanter Unterschied besteht. Wird Stickstoff als AHL, aber auch als ASL oder in fester Form als KAS oder Harnstoff in einer Gabe oberflächlich – selbst in einen wachsenden Bestand – ausgebracht, steigen die N-Verluste deutlich an und führen somit zu einer spürbaren Reduktion der N-Effizienz um ca. 5 bis 10 %.

Tab. 4 Kenngrößen des N-Haushalts [kg/ha] - im Mittel von 4 Versuchsjahren und 3 Standorten

N-Form	Ausbringtechnik	N-Abfuhr	N-Saldo	Rest-N (n. Ernte)	N-Bewertung
		[kg/ha]			
ohne N-Düngung		76	-76	17	
KAS (30/40/30)	breitflächig	175	10	32	
AHL	Injektion	170	15	39	2
ASL		174	11	37	4
ASL (80 %)		164	-14	26	(-17)
AHL	Schleppschlauch	161	24	31	-15
ASL		160	25	31	-16
ASL (80 %)		159	-9	29	(-19)
KAS 27	breitflächig	170	15	31	-6
Harnstoff		159	26	29	-19

Die Varianten mit 80 % ASL Injektions- bzw. Schleppschlauch-Applikation können nicht adäquat bewertet werden, da keine vergleichbare Kontrolle mit „80 % KAS aufgeteilt“ im Versuch vorhanden war. Rechnerisch sind diese „reduzierten“ Dünungssysteme mit ASL jedoch um ca. 10 kg N/ha besser zu bewerten als die Bezugsvariante „KAS (100 %) aufgeteilt“.

Obwohl die ermittelten Werte je Flächeneinheit und die Bandbreite derselben für Getreide auf den ersten Blick gering erscheinen, lassen sich durchaus relevante Mengen im Sinne eines Optimierungspotentials beim Vergleich der Dünungssysteme ableiten.

Zusammenfassung

Eine Depotdüngung bzw. platzierte Düngung mit mineralischen N-Düngern (optional reine Ammonium- bzw. Ammonium-betonte Dünger) stellt eine interessante Variante in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion - auch zu Getreide - dar. Zahlreiche Versuche und Untersuchungen hierzu belegen, dass

Ertrag und Produktqualität mit den in der landwirtschaftlichen Praxis etablierten geteilten Düngeverfahren vergleichbar sind. Entscheidend für den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb werden die eigene bzw. überbetrieblich vorhandene Ausbringtechnik (derzeit ausschließlich für Flüssigdünger vorhanden), geeignete und kostengünstige N-Dünger (hier besonders die N-Konzentrationen, aber auch begleitende Nähr- oder Spurenstoffe), die Produktionsausrichtung (Futter- oder Qualitätsgetreide) und die Standorteigenschaften (Fruchtfolge, Auftreten von Witterungsrisiken) sein. Um unter ökologischen wie ökonomischen Aspekten eine fachgerechte Ausbringung flüssiger N-Dünger im „Injektionsdepot“ zu erreichen, ist ein überbetrieblicher Einsatz der „noch“ teuren Technik von Vorteil. Eine Weiterentwicklung sollte sich einerseits auf die Gerätetechnik – z. B. Injektion von Festdüngern und exakte Steuerung der Geräte – und andererseits auf die Dünger selbst – hier Konzentration und Verhältnisse der Düngernährstoffe evtl. in Verbindung mit Nitrifikationshemmstoffen - konzentrieren. Hierdurch ließen sich wachsende ökologische Anforderungen an eine moderne und konkurrenzfähige Pflanzenproduktion im Teilbereich „N-Düngung“ variabel und effizient erfüllen.

IMPRESSUM

Herausgeber:
Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg (LTZ)
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Tel.: 0721 / 9468-0
Fax: 0721 / 9468-209
eMail: poststelle@ltz.bwl.de
Internet: www.ltz-augustenberg.de

Bearbeitung und Redaktion:
LTZ Augustenberg
Dr. Markus Mokry
Referat 12: SG Pflanzenernährung

Auflage: Ex.
Druck:
Stand: November 2013