

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft

Martin Kücke

**Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen
und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung :
Feldversuchsergebnisse 2001**

Manuskript, zu finden in www.fal.de

Published in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 245,
pp. 81-92

**Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2003**

Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001

Martin Kücke

Einleitung

Bei dem CULTAN-Verfahren nach SOMMER (2000) erfolgt die N-Düngung zu den Kulturpflanzen mit einer gesättigten NH_4 -Harnstoff-Lösung, welche kulturartabhängig 4 bis 10 cm tief mit Schlitz- oder Punktinjektionsgeräten in den Boden injiziert wird. Die lokal hohe NH_4 -Konzentration (N-Depot) ist toxisch für Pflanzenwurzeln und Bodenmikroorganismen, wodurch mikrobielle Umsetzungsprozesse (z.B. Nitrifikation, Denitrifikation) im zentralen Bereich des Depots unterbleiben. Das Depot wirkt als Attraktionszentrum für die Pflanzenwurzeln. Wegen der phytotoxisch hohen Ammoniumkonzentration wachsen sie nicht in ein Depot hinein, sondern nur bis in seine Randzone und bilden um das Depot dichte Wurzelfilze aus (WEIMAR 1990). Aus den Randzonen des Depots (Diffusionszone) decken die Pflanzen ihren N-Bedarf, wobei die N-Aufnahme überwiegend als Ammonium erfolgt. Dadurch wird nach SOMMER (2000) der Phytohormonhaushalt gegenüber konventionell gedüngten Pflanzen verändert sowie die Kohlenhydrat- und Proteinphysiologie, der Habitus der Pflanzen sowie die Source-Sink-Relationen gegenüber Nitraternahrung positiv beeinflusst.

Generell stellt die Injektion von N-Flüssigdüngern in den Boden in Form von Band- oder Punktinjektion keine grundlegend neue Düngetechnik dar. So ist die Injektion von Ammoniak und Ammoniakwasser in anderen Ländern eine gängige Form der Düngung, für die praxistaugliche Injektionstechnik entwickelt wurde und im Einsatz ist (Shchinov et al. 1984, Broder 1991). Sie war auch in Deutschland lange Zeit verbreitet (Norden und Schmidt 1974). Auch die Injektion von Ammoniumnitratharnstoff-Lösung wird vielfach als eine Maßnahme empfohlen, nachdem wiederholt festgestellt worden ist, dass hierdurch die gasförmigen NH_3 -Verluste reduziert und die N-Ausnutzung und die Erträge gegenüber oberflächlichem Versprühen deutlich erhöht sind. Speziell gilt dies bei pfluglosen Anbauverfahren, bei denen sich, je nach Bearbeitungssystem, zum

Zeitpunkt der Düngung mehr oder weniger hohe Mengen an Ernterückständen auf der Bodenoberfläche befinden und Mulchaufgaben die Ammoniakfreisetzung fördern (Terman 1979, Deibert et al. 1985; Eckert 1987). Auch im Grünland und im Grasanbau ist wegen der großen Mengen an lebender und toter Pflanzenmasse auf der Bodenoberfläche beim Aufbringen von harnstoffhaltigen Dünge-Lösungen mit verstärkten Ammoniakverlusten zu rechnen (Kücke et al. 1997).

Sommer (2000) versteht aber das CULTAN-Verfahren nicht nur als eine Applikationsmethode im Vergleich zu anderen Düngemittel-Ausbringverfahren, sondern es soll durch die N-Form (Ammonium), den Injektionstermin, die pflanzenartsspezifische Ablage des Düngerbandes bzw. der Injektionspunkte gezielt eine Ammoniumernährung erreicht und so der Phytohormonhaushalt und die Source/Sink-Verhältnisse in der Pflanzen beeinflusst werden.

Nach dem CULTAN-Verfahren gedüngtes Getreide zeigt einen deutlich veränderten Habitus gegenüber konventionell gedüngten Beständen: Die Blattfarbe ist i.d.R. dunkler, die Blattstellung steiler und die älteren Blätter sind ebenso wie die Halmbasis länger grün. Zudem wird häufig eine kürzere Halmlänge und eine höhere Standfestigkeit beobachtet. Die wiederholt beschriebenen Habitusveränderungen des Getreides nach Ammonium-Injektionsdüngung lassen den Schluss zu, dass die Physiologie der Pflanzen offensichtlich deutlich verändert ist.

Diese sehr deutlichen Veränderungen des Pflanzenhabitus lassen vor dem Hintergrund der von Sommer (2000) postulierten physiologischen Veränderungen (source/sink-Relationen, phytohormonelle Veränderungen) erwarten, dass nach dem CULTAN-Verfahren gedüngtes und überwiegend mit Ammonium ernährtes Getreide reproduzierbare Veränderungen in wesentlichen Parametern der Biomassebildung (Gesamt-trockenmasseproduktion, Korn/Stroh-Verhältnis, Biomassebildung vor und nach der Blüte) sowie der N-Verwertung (N-Aufnahme, N-Einlagerung in Korn und Stroh, N-Aufnahme vor und nach der Blüte, Düngerausnutzung, N-Umverlagerung von N aus vegetativen in generative

Pflanzenteile während der Kornfüllungsphase) aufweist.

In zwei von drei 2001 durchgeführten Feldversuchen mit Winterroggen und Winterweizen wurden bei gleich hoher N-Düngung (150 kg N/ha) mit der Injektion von Ammonium- und Harnstoffhaltigen Flüssigdüngern signifikante Mehrerträge gegenüber konventioneller, in drei Teilgaben gesplitteter N-Düngung erzielt (Kücke 2002). Auch in diesen Versuchen wurden die zuvor beschriebenen Habitusveränderungen beobachtet. In diesen Versuchen wurden zusätzlich Parameter der Biomassebildung und der N-Verwertung erhoben und geprüft, ob diese durch die Injektion hochkonzentrierter Ammonium-Harnstoff-Düngelösungen in den Boden beeinflusst wurden. Die gefundenen Zusammenhänge werden hier dargestellt.

Material und Methoden

2001 wurden 3 Feldversuche auf Praxisschlägen an Standorten in Niedersachsen (Ohrum, Worpswede) und Sachsen-Anhalt (Lindau) als Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Versuchskulturen waren Winterroggen (Lindau, Worpswede) und Winterweizen (Ohrum). In Lindau und Ohrum wurde die Injektionsdüngung jeweils mit nur einer Düngelösung (Lindau: NTS; Ohrum Harnstoffammoniumsulfat-Lösung) durchgeführt, während in Worpswede sowohl Ammonium-Nitrat-Harnstofflösung als auch mit Harnstoff-Ammoniumsulfat-Lösung zur Injektion eingesetzt wurde. Zusätzlich wurde hier in einer Variante die Wirksamkeit der Schleppschlauchapplikation in einer Gabe mit AHL geprüft.

Zum Ährenschieben und zur Mähdruschreife wurden aus jeder Versuchsparzelle ganze Getreidepflanzen aus je 1 Meter von 3 benachbarten Pflanzenreihen geerntet. Die Proben zum Ährenschieben wurden als ganze Pflanze getrocknet und analysiert. An den zur Mähdruschreife gezogenen Pflanzenproben erfolgte nach Trennung in Ähren und Stroh die Bestimmung des Ertragsaufbaus (Kornertrag/3m Pflanzenreihe, Ähren/m², Tausendkorngewicht), die Kornzahl pro Ähre wurde aus diesen Parametern berechnet. Der Kornertrag je Parzelle wurde in Worpswede und Ohrum nach Ernte mit einem Parzellenmähdröschler ermittelt. In Lindau erfolgte die Ernte mit dem betriebseigenen Mähdröschler mit kontinuierlicher Ertrags erfassung. Die Nährstoffgehalte im Korn zur Ernte wurden an Proben aus der Mähdröscherte,

die Nährstoffgehalte im Stroh aus den Handernteproben ermittelt.

Im Winterweizenversuch Ohrum war zu Versuchsbeginn eine standort- und fruchtartsspezifische Düngungshöhe von 150 kg N/ha (100 %) vereinbart worden. Entsprechend wurde die Menge in der N-Stufe 70 % auf 112,5 kg N/ha reduziert. Ende Mai düngte der Betriebsleiter aufgrund seiner Bestandesbeurteilung in dem umliegenden Feld zusätzlich 50 kg N/ha. Diese zusätzliche N-Gabe wirkte sich bis zur Ernte gegenüber den betriebsüblich gedüngten Parzellen des Versuches positiv in der Bestandesdichte und Farbe aus. Aufgrund dieser Entwicklung wurde zur Ernte aus einem unmittelbar an den Versuch angrenzenden Streifen 4 zusätzliche Parzellen abgemessen und versuchstechnisch beerntet.

Da aus diesen nachträglich angelegten Parzellen keine Ganzpflanzenproben gezogen wurden, fehlen zu dieser Variante (N200) die Daten zum Ertragsaufbau sowie Strohproben für die Analyse.

Einzelheiten zu den Versuchsflächen, den ackerbaulichen Rahmenbedingungen, der Analytik und der Statistik sind bei KÜCKE (2002, dieses Heft) ausführlich beschrieben.

Ergebnisse

Biomasseproduktion

In Lindau produzierte der Winterroggen in beiden N-Stufen (125 und 150 kg N/ha) nach einmaliger NTS-Injektion einen höheren Kornertrag als nach oberflächlicher, in 3 Teilgaben gegebener NTS-Düngung (Tab. 1). Der Strohertrag war durch die Ausbringung nicht signifikant beeinflusst, so dass die in den Injektionsvarianten ermittelte höhere Biomasseproduktion (Gesamt-TM) ausschließlich aus der höheren Kornproduktion resultierte. Zu eindeutigen Verschiebungen im Ernteindex (Korn/Stroh-Verhältnis bzw. %ualer Anteil der Korn-TM an der Gesamt-TM) kam es nicht.

Bis zur Blüte hatten die konventionell gedüngten Varianten im Mittel bereits 95,6 dt TM produziert (104,3 bzw. 86,9 dt/ha), die Varianten mit Injektionsdüngung bis dahin lediglich 81,7 dt TM/ha (80,2 bzw. 83,1 dt/ha). Der Trockenmassenzuwachs nach der Blüte führte in den Injektionsvarianten aber bis zur Reife zu höheren Gesamttrockenmasseerträgen. Im Mittel der N-Stufen produzierte der Roggen nach konventionellem N-Splitting nach der Blüte 32 % der gesamten Biomasseproduktion, bei den Injektionsvarianten dagegen 44 %.

Tabelle 1

Biomasseproduktion von Winterroggen bei unterschiedlicher N-Düngung und Applikation (oberflächlich gesplittete Düngung vs. einmalige N-Injektion) (in LINDAU)

	kg N/ha	N ₀	NTS oberflächlich		NTS injiziert	
		0	125	150	125	150
Korn dt TM/ha	x	67,5	71,3 ^a	72,3 ^a	74,5 ^a	76,7 ^{a*}
	s	4,7	1,5	3,0	2,3	1,3
Stroh dt TM/ha	x	60,3	66,0	73,0	72,2	72,5
	s	6,7	19,0	5,4	18,0	10,7
Gesamt-TM dt/ha	x	127,8	137,3	145,3	146,8	149,2
	s	10,0	18,4	2,7	16,2	10,0
TM Korn	x	53	53	50	51	52
% von Gesamt-TM	s	4	8	3	7	4
Korn/Stroh	x	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1
	s	0,1	0,4	0,1	0,3	0,2
TM-Produktion vor der Blüte dt/ha	x	79,6	104,3	86,9	80,2	83,1
	s	10,4	23,6	17,7	14,3	16,7
TM-Produktion nach der Blüte dt/ha	x	48,1	33,0	58,4	66,6	66,0
	s	5,9	12,9	20,2	14,4	24,0
% TM-Produktion nach der Blüte, % von Gesamt-TM	x	37,8	24,6	40,0	45,3	43,7
	s	5,1	10,9	13,4	8,3	13,4

* = sign. zu oberflächlich 150 kg N/ha bei $p < 5\%$; a = sign. zu N₀ bei $p < 5\%$

Auf dem Standort in Worpswede (Tab. 2) lag das Kornertragsniveau trotz einer um 30 kg N/ha niedrigeren N-Düngung ähnlich hoch wie in Lindau, doch wurde im Versuchsdurchschnitt eine um 2 dt/ha höhere Strohproduktion festgestellt. Entsprechend betrug hier der Kornanteil an der gesamten Biomasseproduktion lediglich 38-46 % (Lindau: 50-53 %) und das Korn/Stroh-Verhältnis entsprechend 0,62 - 0,85 (Lindau: 1,0 bis 1,2). Diese Unterschiede dürften auf die unterschiedlichen Eigenschaften der jeweils verwendeten Roggensorten zurückzuführen sein (Worpswede Sorte „Avanti“, Lindau Sorte „Fernando“).

In der konventionell in 3 Teilgaben mit AHL gedüngten Variante wurde bei 120 kg N/ha ein signifikant niedrigerer Kornertrag ermittelt als bei einer N-Düngung von 90 kg N/ha, was ursächlich auf den in diesen Parzellen ermittelten höheren Lagergetreideanteil und die dadurch verursachten Druschverluste zurückführbar ist (KÜCKE 2002). Dagegen führte die Schleppschlauchapplikation in einer Gabe zu einem Mehrertrag (+2,8 dt TM/ha) bei Erhöhung des Düngensniveaus von 90 auf 120 kg N/ha. Eine mögliche Ursache könnte sein, dass bei dieser Form der Ausbringung die

Lagergetreideanteile und somit auch die Druschverluste nicht erhöht waren. Tendenziell wurde nach Schleppschlauch- und Injektionsausbringung eine niedrigere Strohmasseproduktion festgestellt. Zu einer Erhöhung des Korn/Stroh-Verhältnisse gegenüber konventioneller Düngerausbringung kam es aber nur nach Schleppschlauchapplikation von 120 kg N/ha. In dieser Variante wurde zudem die höchste Biomasseproduktion zur Ernte festgestellt. Zur Reife finden sich Unterschiede zwischen der konventionellen Düngung (0,74) und der Schleppschlauchapplikation (0,85) nur zwischen den N-Stufen mit 120 kg N/ha.

Die Schleppschlauchapplikation von 90 kg N/ha resultierte zur Blüte in der gleichen Biomassebildung wie die konventionelle Düngung. Bei einer Düngungshöhe von 120 kg N/ha wies die Schleppschlauchvariante im Vergleich zur konventionellen Düngung zur Blüte eine niedrigere, zur Reife aber eine tendenziell höhere Biomasse auf.

In dem Winterweizenversuch Ohrum wurden die deutlichsten Ertragsunterschiede aller 3 Versuche festgestellt (Tab. 3) (Kücke 2002). Hier wurde mit

Injektion von 150 kg N/ha gesplitteten konventionellen Harnstoffdüngung von
(Harnstoffammoniumsulfat-Lösung) der gleich 200 kg N/ha.
Kornertrag erzielt wie mit einer in 4 Teilgaben

Tabelle 2

Biomasseproduktion von Winterroggen bei unterschiedlicher N-Düngung und Applikationstechnik (oberflächlich gesplittet vs. Injektion in einer Gabe vs. Schleppschlauchapplikation auf den Boden in einer Gabe) (in WORPSWEDE)

	kg N/ha	N ₀	AHL betriebs- üblich, 3 Teilgaben		AHL m. Schlepp- schlauch, 1 Gabe		Injektion 1 Gabe AHL HAS	
		0	90	120	90	120	120	120
Korn	x	50,8	70,0	66,9	69,9	72,7	61,9	56,1
dt TM/ha	s	7,5	5,6	11,7	6,2	2,7	7,3	13,9
Stroh	x	78,7	92,9	94,2	92,5	87,2	88,5	91,9
dt TM/ha	s	31,6	9,0	22,8	10,6	10,6	12,8	12,4
Gesamt-TM	x	129,5	163,0	161,2	162,5	159,9	150,3	148,0
dt/ha	s	37,7	7,6	25,5	10,1	17,1	13,6	15,0
% Korn-TM	x	40,5	43,0	41,9	43,1	45,7	41,3	37,7
Von Gesamt-TM	s	6,2	3,9	7,6	4,0	3,6	4,9	7,3
Korn/Stroh	x	0,69	0,76	0,74	0,76	0,85	0,71	0,62
	s	0,16	0,13	0,25	0,12	0,12	0,14	0,19
TM-Produktion vor Blüte	x	38,2	44,9	45,6	44,3	39,8	46,1	39,3
dt/ha	s	12,4	13,3	5,6	14,1	4,7	19,2	3,3
TM-Produktion nach Blüte	x	91,3	116,2	117,4	118,2	120,2	104,3	108,2
dt/ha	s	25,9	22,4	3,7	17,4	19,5	8,2	14,1
% TM-Produktion nach Blüte	x	70,5	72,1	72,1	72,2	74,8	69,9	73,3
in % vom Gesamt-TM	s	2,3	2,3	6,7	8,8	4,9	9,8	2,8

Tabelle: 3

Biomasseproduktion von Winterweizen bei unterschiedlicher N-Düngung und Applikationstechnik (oberflächliche gesplittete Düngung vs. Einmalige N-Injektion) (in OHRUM)

	kg N/ha	N ₀	Harnstoff oberflächlich			HAS injiziert
		0	112,5	150	200	150
Korn dt TM/ha	x	49,3	65,6 ^a	70,7 ^a	90,1 ^{a*}	88,8 ^{a*}
	s	6,0	11,2	8,4	1,1	6,4
Stroh dt TM/ha	x	49,3	66,0	71,0	-	93,3
	s	3,3	11,0	3,7	-	7,1
Gesamt-TM dt/ha	x	98,7	131,7	141,7	-	182,1
	s	3,2	18,8	7,4	-	11,0
TM Korn	x	50	50	50	-	49
% v. Gesamt-TM	s	5	6	4	-	3
Korn/Stroh	x	1,00	1,00	1,00	-	0,95
	s	0,24	0,42	0,29	-	0,31
TM-Produktion Vor der Blüte dt/ha	x	98,6	104,9	112,9	-	104,9
	s	27,3	11,8	10,0	-	7,7
TM-Produktion nach der Blüte dt/ha	x	0,1	26,8	28,8	-	77,2
	s	26,3	13,7	9,8	-	16,6
% TM-Produktion nach der Blüte, (% von Gesamt-M)	x	0	27	29	-	77
	s	29,1	11,5	8,4	-	10,3

* = sign. zu oberflächlich 150 kg N/ha bei $p < 5\%$; a = sign. zu N₀ bei $p < 5\%$

Die Parameter der Biomassebildung und der N-Verwertung konnten aber in der höchsten konventionellen N-Stufe (200 kg N/ha) nicht ermittelt werden (s. Material und Methoden).

In den Varianten mit höherem Kornertrag wurde auch eine höherem Kornertrag wurde auch eine höhere Strohproduktion festgestellt, so dass die Korn/Stroh-Verhältnisse und die prozentualen Anteile der Kornbiomasse an der Gesamtbio­masse zwischen den Varianten nicht unterschieden. Je höher die Biomasseproduktion nach der Blüte war, umso höher war auch der Kornertrag. In der Variante mit Injektionsdüngung war die TM-Produktion nach der Blüte fast dreifach höher als nach konventioneller, gesplitteter N-Düngung.

In Abbildung 1 ist der Zusammenhang zwischen Biomassebildung vor der Blüte und der zur Reife ermittelten Kornmasse an den 3 unterschiedlichen Versuchsstandorten dargestellt. Es wird deutlich,

dass zwischen der Biomassebildung bis zur Blüte und dem späteren Kornertrag auf keinem Standort ein eindeutiger Zusammenhang erkennbar ist. Eine hohe Biomasseproduktion vor der Blüte hat somit nicht erkennbar zu einem höheren Kornertrag geführt. Eindeutiger waren dagegen die Zusammenhänge zwischen der Biomassebildung in der generativen Phase und dem Kornertrag (Abb. 2). Sie zeigt für alle 3 Standorte, dass höhere Kornerträge in den Varianten erzielt wurden, die durch Photosynthese nach der Blüte noch weitere Biomasse produzierten und diese offensichtlich überwiegend in Kornmehrerträge umzusetzen vermochten.

Dieser Zusammenhang lässt die Schlussfolgerung zu, dass für die Bildung hoher Kornerträge bei Winterweizen und Winterroggen der Photosyntheseleitung nach der Blüte eine entscheidende Bedeutung zukommt.

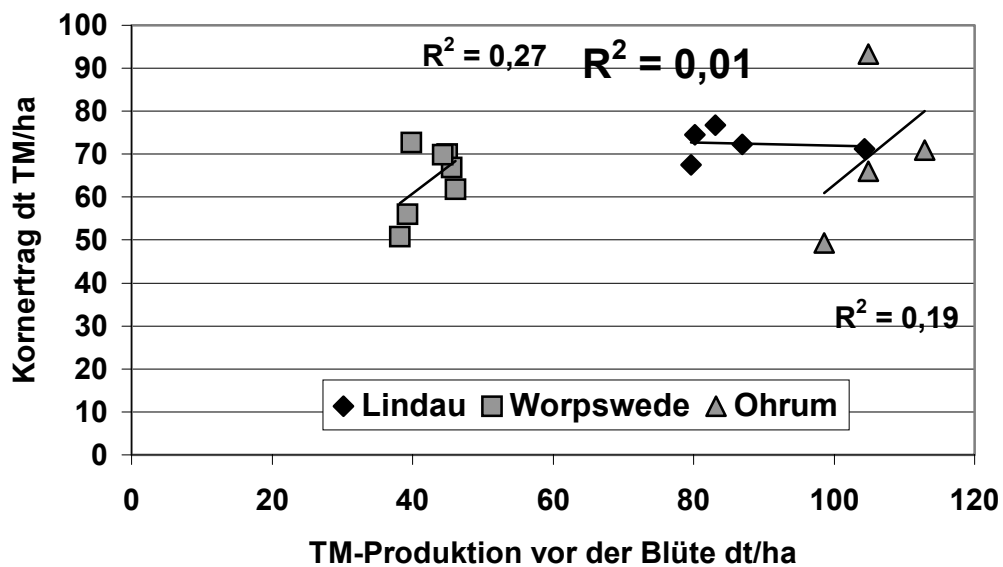


Abbildung 1

Korn trockenmasseproduktion von Winterweizen (Ohrum) und Winterroggen (Lindau, Worpsswede) in Abhängigkeit von der Biomasseproduktion vor der Blüte

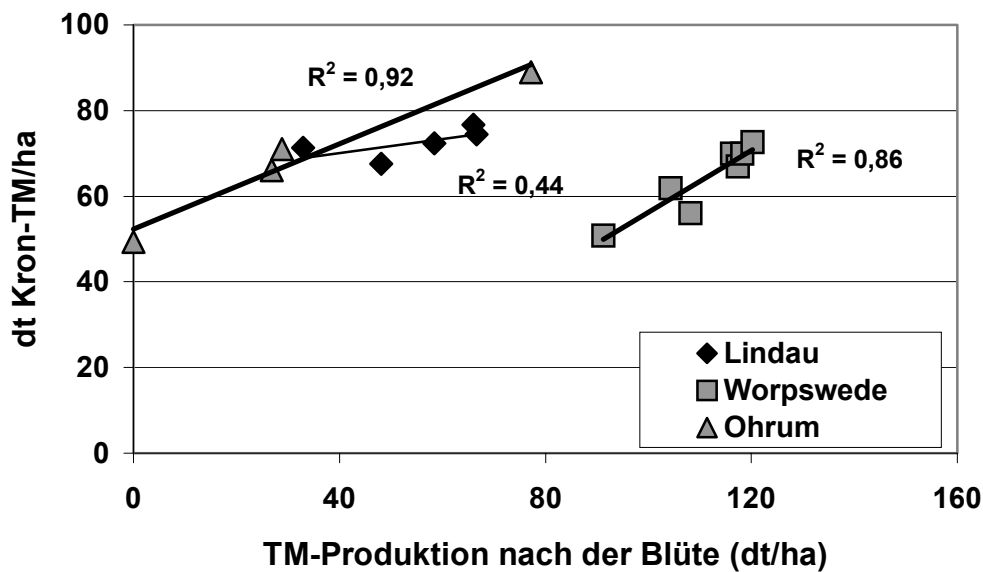


Abbildung 2

Korn trockenmasseproduktion von Winterweizen (Ohrum) und Winterroggen (Lindau, Worpsswede) in Abhängigkeit von der Biomasseproduktion nach der Blüte

Verwertung

Das hohe N-Nachlieferungspotential ermöglichte es dem Winterroggen auf dem Standort Lindau, auch ohne N-Düngung 103 kg N/ha aufzunehmen und einen Kornertrag von 67,5 dt/ha zu produzieren (Tab. 4). Bei beiden N-Stufen (125 bzw. 150 kg N/ha) wurde nach Injektionsdüngung 7 bzw. 8 kg N/ha mehr aufgenommen als nach konventioneller Düngung. Zur Blüte befand sich in 3 der 4 gedüngten Parzellen mehr Stickstoff in der oberirdischen Pflanzenmasse als zur Reife. Lediglich nach Injektion von 125 kg N/ha wurde nach der Blüte noch eine positive N-Aufnahme (19,5 kg N/ha) ermittelt, während die negativen Werte in den anderen Varianten tendenziell auf N-Verluste nach der Blüte, vermutlich überwiegend durch Blattverluste während der Reifephase, hindeuten. Die geringen Unterschiede erlauben bei den angegebenen Streuungen aber keine gesicherte Aussage hinsichtlich eines Einflusses der Applikationsweise.

Zur Ernte war die im Stroh enthaltenen N-Menge zwischen den Applikationsweisen gleich (46 kg N/ha bei der N-Stufe 125 bzw. 49 kg N/ha bei der Stufe 150). Aufgrund der nur geringfügig, aber

dennoch signifikant durch die Injektion erhöhten N-Menge im Korn war relativ mehr Stickstoff in den Pflanze im Korn enthalten (75,2 %) als nach konventioneller Düngung (74,3 %). Deutlich wirkte sich der höhere N-Entzug durch das Korn in der N-Düngerausnutzung aus, die bei der Injektionsdüngung im Durchschnitt 44,1 % und bei konventioneller Düngung lediglich 38,4 % erreichte. Die Düngebilanz war somit, entsprechend der höheren N-Mengen im Korn, nach Injektionsdüngung um 6 bzw. 8 kg N/ha niedriger.

In Worpsswede nahm die N-Aufnahme durch die N-Düngung stärker zu als in Lindau (Tab. 5). Die höchste N-Aufnahme zur Reife wurde nach Schleppschlauchausbringung gefunden, die niedrigsten nach Injektion. Bei den betriebsüblich gedüngten Varianten fällt auf, dass nach Düngung von 90 kg N/ha eine niedrigere N-Menge sowohl im Korn als auch im Stroh gefunden wurde als nach Düngung mit 120 kg N/ha, letztere aber zur Ernte den höheren Kornertrag lieferte. Dies deutet darauf hin, dass die Pflanzen auch den Stickstoff aus der höheren N-Düngung aufnehmen und verwerten konnten, dass aber der höhere Lageranteil zu Druschverlusten geführt hat und die Realisierung eines höheren Kornertrages vereitelt hat.

Tabelle 4

Parameter der N-Verwertung von Winterroggen bei unterschiedlicher N-Düngung und Applikationstechnik (in LINDAU)

	kg N/ha	N ₀	NTS oberflächlich		NTS injiziert	
		0	125	150	N 125	N 150
N im Korn kg N/ha	x	103,0	131,2	142,6	137,8	151,6
zur Ernte	s	6,0	8,1	3,1	5,6	4,5
N im Stroh kg N/ha	x	28,7	46,2	49,5	46,7	49,1
zur Ernte	s	7,2	14,0	6,1	9,3	9,6
Gesamte N-Aufnahme	x	131,7	177,4	192,1	184,5	200,7
zur Ernte	s	8,6	15,7	7,3	6,1	6,4
N-Aufnahme	x	129,2	191,6	195,7	165,0	204,5
zur Blüte	s	11,9	58,5	29,5	36,3	29,8
N-Aufnahme	x	2,5	-14,2	-3,6	19,5	-3,8
Nach der Blüte	s	14,9	24,1	30,7	35,4	26,7
N im Korn	x	78,3	74,3	74,3	74,8	75,6
% vom Gesamt-N	s	4,6	6,1	2,3	4,4	4,1
N im Korn aus Umverlagerung aus vegetativer Pflanzenmasse in % ¹⁾	x	97,5	110,5	102,4	86,5	102,4
	s	14,2	18,0	21,3	25,4	17,7
N-Düngerausnutzung ²⁾	x	-	36,5	40,3	42,2	46,0
	s	-	-10,7	2,9	9,9	7,1
N-Bilanz ³⁾	x	-103,0	-6,2	7,4	-12,8	-1,6
	s	6,0	8,1	3,1	5,6	4,5

¹⁾ N im Korn aus Umlagerung = ((N-Aufnahme zur Blüte – N im Stroh zur Ernte)/N im Korn zur Ernte) x 100

²⁾ N-Düngerausnutzung = ((gesamte N-Aufnahme zur Ernte – N-Aufnahme der N₀)/gedüngte N-Menge) x 100

³⁾ N-Bilanz = gedüngte N-Menge – N im Korn zur Ernte

Die Schleppschlauchausbringung hat die relative Verteilung des aufgenommenen Stickstoffs nicht entscheidend zu Gunsten der prozentualen N-Menge im Korn verändert (Schleppschlauch 66,3 bzw. 66,0 %, betriebsüblich 68,1, bzw. 62 %). Mit 60,7 bzw. 57,1 % war nach Injektionsdüngung diese Verteilung im Roggen am ungünstigsten. Hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs der N-Aufnahme ergaben sich zwischen den N-Ausbringweisen doch einige Unterschiede: So führte sowohl die Schleppschlauchausbringung als auch die Injektion zu einer höheren N-Aufnahme bis zur Blüte als konventionelle Düngung, entsprechend war bei den ersteren die N-Aufnahme nach der Blüte niedriger. Im Korn befand sich zur Reife somit nach Schleppschlauch- und Injektionsausbringung mehr Stickstoff, der aus vegetativen Pflanzenteilen während der Kornfüllungsphase umverlagert worden war. Die Düngerausnutzung betrug nach Schleppschlauchapplikation 72,9 % und lag somit um ~ 8% höher als nach betriebsüblicher Düngung, die N-Bilanz war um durchschnittlich 8 kg N/ha günstiger.

Aus den Werten zur N-Verwertung wird nicht erkennbar, warum beide Injektionsvarianten, sowohl die, bei welcher AHL als auch die, bei der HAS zum Einsatz gekommen war, niedrigere Erträge als die konventionell gedüngten Varianten aufwiesen: Bis zur Blüte hatten diese Varianten die höchsten N-Menge aller Varianten aufgenommen. Nach der Blüte nahmen aber die mit Injektion gedüngten Roggenpflanzen weniger Stickstoff auf als die Vergleichspartellen.

Der Winterweizen in Ohrum zeigte nach Injektion von 150 kg N/ha als Harnstoffammoniumsulfat-Lösung eine Ertragsleistung, die an die der mit 4 Teilgaben oberflächlich durchgeführten Harnstoffdüngung heranreichte (Tab. 6). Im Vergleich zur konventionellen Düngung mit 150 kg N/h nach der Weizen nach Injektion der gleichen N-Menge 68 kg N/h mehr auf. Von dieser Mehraufnahme wurden 9,6 kg N/h mehr in das Stroh eingelagert, während die restlichen 58 kg N/h zur Proteinbildung im Korn beitrug. Der überwiegende Teil des zusätzlich aufgenommenen Stickstoffs wurde bereits vor der

Tabelle 5

Parameter der N-Verwertung von Winterroggen bei unterschiedlicher N-Düngung und Applikationstechnik (oberflächlich gesplittet vs. Injektion in einer Gabe vs. Schleppschlauchapplikation auf den Boden in einer Gabe) (in WORPSWEDE)

	kg N/ha	N ₀	AHL betriebsüblich, 3 Teilgaben		AHL m. Schleppschlauch, 1 Gabe		Injektion AHL 1 Gabe HAS	
		0	90	120	90	120	120	120
N im Korn zur Ernte	x	75,2	117,1	120,3	121,9	130,2	106,1	94,6
kg N/ha	s	12,3	12,9	15,4	12,4	5,6	12,2	27,7
N im Stroh zur Ernte	x	39,7	54,6	74,0	62,2	67,7	68,4	69,1
kg N/ha	s	18,3	3,8	17,0	15,8	11,5	7,2	13,4
Gesamte N-Aufnahme zur Ernte	x	114,9	171,6	194,3	184,1	197,9	174,5	163,7
kg N/ha	s	26,3	14,6	10,2	11,3	15,9	10,7	34,7
N-Aufnahme zur Blüte	x	67,0	96,5	93,0	114,4	102,7	125,2	103,9
kg N/ha	s	24,5	21,6	40,8	34,1	11,1	33,2	24,8
N-Aufnahme nach der Blüte	x	47,9	75,1	101,3	69,7	95,1	49,4	59,9
Kg N/ha	s	10,6	23,9	40,7	32,5	26,9	25,3	21,4
N im Korn	x	66,5	68,1	62,0	66,3	66,0	60,7	57,1
% von Gesamt-N-Aufnahme	s	8,1	2,3	8,1	7,6	3,3	4,7	7,2
Korn-N/Stroh-N	x	2,1	2,1	1,7	2,1	2,0	1,6	1,4
	s	0,6	0,2	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4
N im Korn aus Umverlagerung % ¹⁾	x	36,4	36,3	14,1	41,5	27,4	52,0	34,7
	s	8,3	16,6	37,9	28,0	18,4	27,8	18,8
¹⁾ %								
N- Düngereffizienz ²⁾	x	-	63,0	66,1	76,8	69,1	49,6	40,7
	s	-	16,6	16,4	37,5	34,1	25,4	39,9
N-Bilanz ³⁾	x	75,2	-27,1	-27,3	-31,9	-10,2	13,9	25,4
	s	12,3	12,9	15,4	12,4	5,6	12,2	27,7

Tabelle 6

Parameter der N-Verwertung von Winterroggen bei unterschiedlicher N-Düngung und Applikationstechnik (in OHRUM)

	kg N/ha	N ₀	Harnstoff oberflächlich 3 bzw. 4 Teilgaben (200 kg N/ha)			Harnstoff- amoniumsulfat-Lösung injiziert, 1 Gabe
		0	105	150	200	150
N im Korn kg N/ha	x	69,1	114,5	145,0	201,3	203,8
zur Ernte	s	8,5	32,6	14,7	7,0	13,7
N im Stroh kg N/ha	x	12,5	14,2	13,4	-	22,9
zur Ernte	s	1,6	3,7	1,6	-	7,3
Gesamte N-Aufnahme	x	81,6	128,8	158,4	-	226,7
zur Ernte	s	7,6	14,4	14,4	-	15,3
N-Aufnahme	x	88,2	115,3	130,4	-	190,0
zur Blüte	s	28,3	21,6	29,7	-	17,1
N-Aufnahme	x	-6,6	13,4	28,0	-	36,7
nach der Blüte	s	25,4	17,6	35,5	-	12,8
N im Korn	x	84	88	92	-	90
% vom Gesamt-N	s	3,0	3,5	1,4	-	3,1
% N im Korn aus Umverteilung ¹⁾	x	108	91	81	-	82
	s	35	14	22	-	6
N-Düngerausnutzung ²⁾	x	-	45	51	-	97
	s	-	27,1	6,7	-	11,7
N-Bilanz ³⁾	x	-69	-10	5	-1	-54
	s	9	33	15	7	13

¹⁾ % N im Korn aus Umlagerung = ((N-Aufnahme zur Blüte – N im Stroh zur Ernte)/N im Korn zur Ernte) x 100

²⁾ N-Düngerausnutzung = (gesamte N-Aufnahme zur Ernte – N-Aufnahme der N₀ /gedüngte N-Menge) x 100

³⁾ N-Bilanz = gedüngte N-Menge – N im Korn zur Ernte

Blüte von den Pflanzen aufgenommen (60 kg N/ha). Der Anteil des Stickstoffs im Korn zur Ernte entsprach mit 90 % ebenso dem in der Vergleichsvariante gefundenen Werte wie der Anteil des rein rechnerisch während der generativen Phase ins Korn aus der vegetativen Pflanzenmasse umverlagerte Stickstoff. In der Injektionsvariante erreichte die prozentuale Düngerausnutzung mit 97 % den höchsten der diesjährigen Versuche und lag auf diesem Standort 46 % über der konventionellen Vergleichsvariante.

Ziel des Getreideanbaus ist die Erzielung eines hohen Stärke- und Proteinertrages. Der zu Realisierung des Proteinertrages benötigte Stickstoff stammt zum Teil aus der Aufnahme von mineralischem Stickstoff nach der Blüte, zu großen Teilen aber auch aus vegetativen Pflanzenteilen, in denen während der Kornfüllungsphase organische N-Verbindungen remobilisiert und in die Körner umverlagert werden. Der Proteinertrag ist somit einerseits davon abhängig, wieviel mineralischen Stickstoff der Getreidebestand nach der Blüte in der Kornfüllungsphase aufnehmen und assimilieren können, andererseits aber auch davon, wieviel Stickstoff in den vegetativen Pflanzenteilen bereits vor der Kornfüllungsphase akkumuliert wurde und wie dieser in der generativen Phase remobilisierbar ist (Abb. 3). Unter der Hypothese, dass sich der N-Haushalt in der Pflanze sowohl durch die überwiegende Ammonium-Ernährung als auch durch den relativ späten Düngungstermin deutlich gegenüber konventionellen Düngungsstrategien verändert, wären deutlich Unterschiede in den N-Umverteilungs- und N-Aufnahmerelationen zwischen den unterschiedlich gedüngten Getreidebestände zu erwarten.

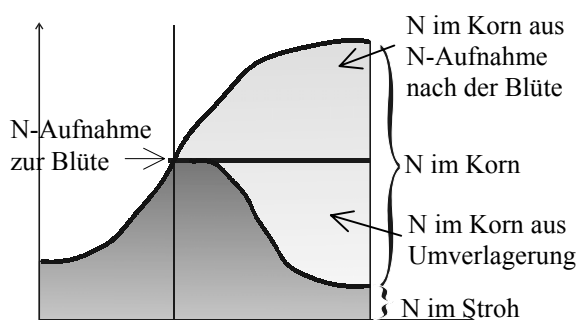


Abbildung 3
Schema der N-Aufnahme und der N-Umverteilung von vegetativen in generative Organe bei Getreide

Um zu prüfen, ob in den hier beschriebenen Versuchen die erwarteten Unterschiede erkennbar sind, wurde in Abbildung 4 der Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme bis zur Blüte und dem zur Reife im Korn akkumulieren Stickstoff dargestellt. Die Wertepaare für die Varianten mit Injektionsdüngung sind jeweils mit "i" kenntlich gemacht, die mit Schleppschlauchapplikation mit "s" (nur Worpsswede). Für die schwereren Standorte Lindau und Ohrum besteht zwischen beiden Parametern ein sehr enger Zusammenhang, während er auf dem Sandstandort Worpsswede angedeutet, aber nicht signifikant ist. Andererseits zeigt sich für die N-Aufnahme nach der Blüte und die N-Menge in Korn (Abb. 5) in Worpsswede ein enger Zusammenhang, aber keiner in Lindau. Für den Winterweizenbestand in Ohrum wurde sowohl für die N-Aufnahme vor der Blüte als auch für die nach der Blüte eine enge Beziehung gefunden. Zwischen der N-Umverlagerung aus vegetativen Pflanzenteilen ins Korn und dem letztendlichen Kornstickstoffertrag (Abb. 6) bestand in Lindau und Ohrum ein enger Zusammenhang, also auf den Standorten, auf denen die N-Aufnahme vor der Blüte offensichtlich einen stärkeren Einfluss auf die N-Menge im Korn ausgeübt hat als die N-Aufnahme nach der Blüte.

Die Wertepaare der Injektionsvarianten (in den Abbildungen mit "i" gekennzeichnet) liegen nicht auffällig in einem bestimmten Bereich der Regressionsgeraden, d.h. an ihrem oberen oder unteren Ende. Dies wäre zu erwarten gewesen, wenn durch die Ammoniumernährung – wie von Sommer (2000) postuliert – die N-Einlagerungs- und Umverteilungsprozesse – etwa durch hormonelle Beeinflussung der source/sink-Verhältnisse – in irgendeine Richtung deutlich verändert worden wären. Eine diesbezügliche Veränderung gegenüber konventionellen Düngungsstrategien wurde in diesen Versuchen durch diese Art der Auswertung nicht erkennbar.

Diskussion

Obwohl bei der Ammonium-Injektionsdüngung keine N-Spätgaben ausgebracht wurden, die erfahrungsgemäß bei der konventionellen, gesplitteten N-Düngung zu einer längeren Lebensdauer der assimilierenden grünen Blattfläche führt, war in den vorliegenden Versuchen nach Injektionsdüngung die Biomasseproduktion nach der Blüte auf 2 der 3 Standorten höher als nach konventioneller Düngung. Aus den in Abbildung 2 erkennbaren Zusammenhängen zwischen der Biomassebildung nach der Blüte und dem letztendlichen Kornertag lässt sich

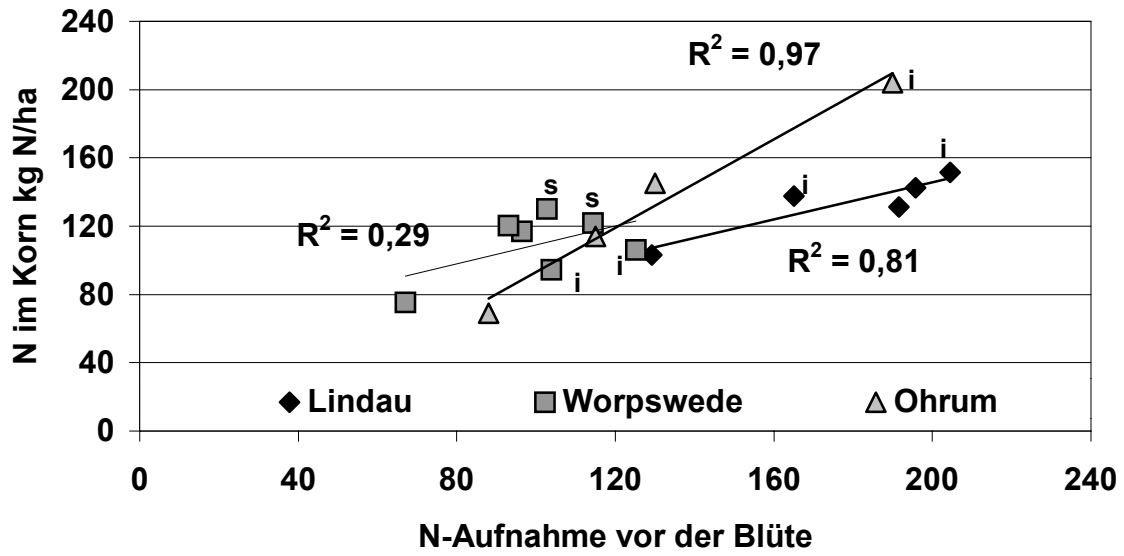


Abbildung 4
N-Akkumulation im Korn von Winterweizen (Ohrum) und Winterroggen (Lindau, Worpswede) in Abhängigkeit von der N-Aufnahme vor der Blüte

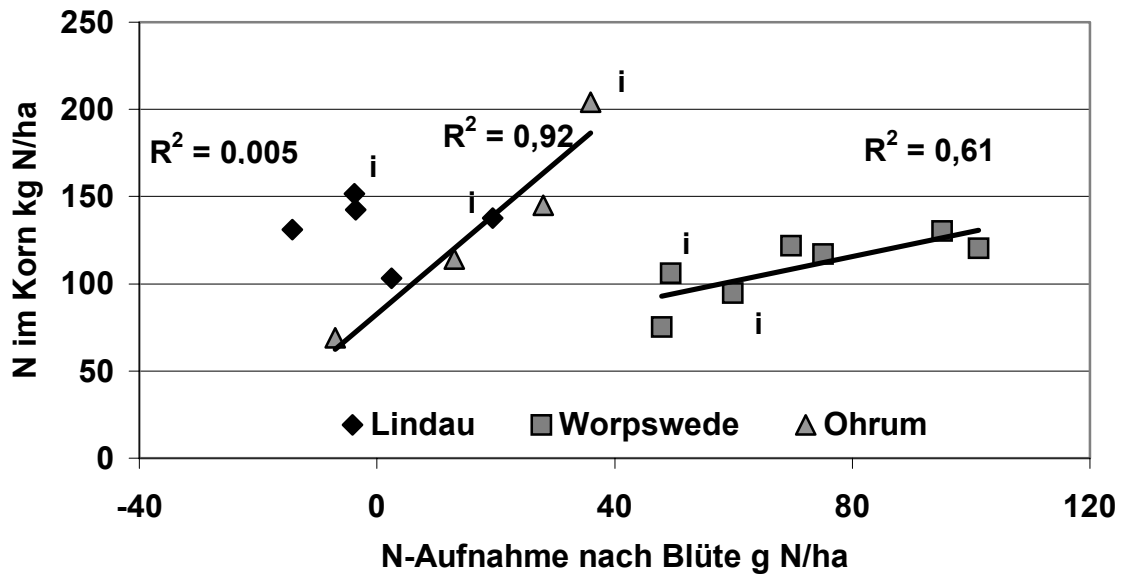


Abbildung 5
N-Akkumulation im Korn von Winterweizen (Ohrum) und Winterroggen (Lindau, Worpswede) in Abhängigkeit von der N-Aufnahme nach der Blüte

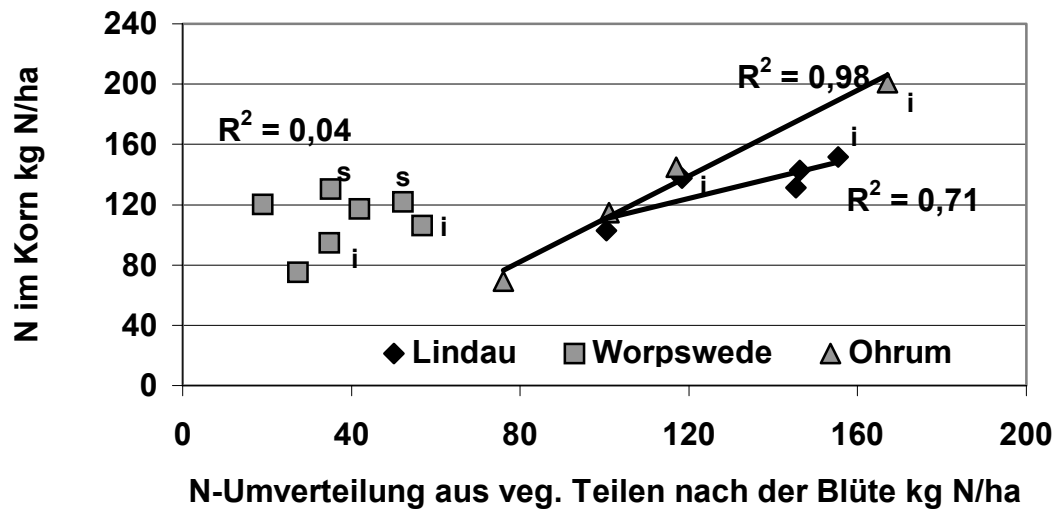


Abbildung 6

N-Akkumulation im Korn von Winterweizen (Ohrum) und Winterroggen (Lindau, Worpsswede) in Abhängigkeit von der N-Umverlagerung aus vegetative in generative Teile nach der Blüte

ableiten, dass der Assimilation nach der Blüte für die Kornbildung eine entscheidende Rolle gespielt hat. Derartige Zusammenhänge sind bekannt und werden u.a. bei konventionellen Düngungsstrategien als auch im Pflanzenschutz als Argument für eine lange Erhaltung und Gesundheit der jüngsten Blätter, speziell des Fahnenblattes, herangezogen. Die in vielen Versuchen gemachte Beobachtung, dass nach dem CULTAN-Verfahren und Ammonium-Injektionsdüngung gedüngte Getreidebestände eine länger anhaltende Grünfärbung aller Blätter und der Halmbasis aufweisen, deutet darauf hin, dass sich diese Pflanzenteile länger und intensiver an der Assimilation und der Ertragsbildung beteiligen können als nach konventioneller Teilgabendüngung und auch zur Kornertragsbildung beitragen. Es ist unwahrscheinlich, dass dieser Effekt lediglich durch die Form der Ablage des Düngers (die Injektion in den Boden) erreicht wird, was alleine schon, durch geringere N-Verluste (NH_3 -Freisetzung in die Atmosphäre), zu einer höheren N-Ausnutzung führen könnte. Wahrscheinlicher erscheint es, dass dies durch einen höheren Ernährungsgrad mit Ammonium erreicht wird, der durch das dichte Wurzelwachstum um die Ammoniumdepots möglich erscheint. Das dies auf dem Standort Lindau nicht in der Deutlichkeit wie auf den anderen Standorten erkennbar wurde, dürfte mit der hohen N-Nachlieferung auf diesem Boden zusammenhängen, wodurch hier die Düngungseffekte generell vergleichsweise gering

ausgefallen sind. Dies zeigt auch, dass nicht auf jedem Standort und in jedem Jahr mit derartig deutlichen Ertragszuwächsen wie zum Beispiel in Ohrum zu rechnen ist. Voraussetzung hierfür sind sicherlich Standorteigenschaften, die eine lang andauernde Depotstabilität sichern (ein Minimum an Sorptionskapazität im Boden), aber auch ein N-armes Bodenprofil.

Sofern, wie in Lindau und Ohrum, der Boden einen ausreichend hohe Bodenqualität (höhere Sorptionskapazität) aufweist, ist offensichtlich die Depotstabilität ausreichend, um das Getreide bis in die generative Phase hinein mit N versorgen zu können. Dies lässt sich aus den auf diesen Standorten gefundene höhere N-Aufnahme nach der Blüte schließen. Andererseits ist davon auszugehen, dass auf dem leichten Sandstandorten in Worpsswede die geringe Sorptionskapazität die Ammoniumdepots nicht lange stabil halten konnte, sondern diese durch Wasserbewegung frühzeitig auseinander fließen konnten. Die Ammoniumkonzentration wurde hierdurch frühzeitig so verdünnt, dass der Düngerstickstoff früh zu Nitrat nitrifiziert wurde. Allerdings bleibt offen und anhand der vorliegenden Daten unerklärlich, warum auf diesem Standort die von SOMMER (2000) als Kompromiss bezeichnete Schleppschlauchapplikation eine deutlich stärkere Ertragswirkung aufweist als die Injektion mit einem Sternrad-Injektionsgerät. Diese Oberflächendepot müssten nach dem oben genannten Erklärungsansatz ebenso auseinander fließen und nitrifiziert werden. Möglicherweise verzögerte aber eine raschere

Austrocknung der oberen Bodenschicht im Frühjahr die Nitrifikation in den Oberflächendepots gegenüber der Depotablage in tieferen, feuchteren Bodenschichten. Dies muss durch weitere, bodenkundliche Untersuchungen geklärt werden.

Literatur

- Broder W F**, (1991) Localised and Subsurface Placement
Fertilizer Science and Technology Series. 1991, 7, 3, 331-352, www. topagrar.com
- Deibert E J, Hoag, B K and Goos R J**, (1985) Nitrogen fertilizer placement in no-tillage and conventional tillage systems with continuous spring wheat. J. Fertilizer Issues, 2, 4, 105-110.
- Eckert D J**, (1987) UAN Management Practices for No-Tillage Corn Production. J. Fertilizer Issues, Vol 4/1, 1987, 13-18.
- Kücke M**, (2003) Ertrag und Kornqualität von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. Landbauforschung Völkenrode, dieses Heft
- Norden J und Schmidt P**, (1974) Die Flüssigdüngung. Landwirtschaftl. Schriftenreihe Boden und Pflanze, Heft 16, 1974 Verlag Paul Parey.
- Shchinov Y A, Novikov N V , Kolagov A A, Federova L A**, (1984) Rotary Injection of liquid ammonia in the fields. Tekhnika 1984, 57-58
- Sommer K**, (2000) CULTAN-Cropping Systems: Fundamental, State of Development and Perspectives. In: Nitrogen in a sustainable ecosystem: from the cell to the plant. Eds. M.A. Martins-Loução and S.H. Lips, 361-375.
- Terman G L**, (1979) Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers organic amendments and crop residues. Adv. In Agron. 31, 189-223.
- Weimar S und Sommer K**, (1990) Untersuchungen zur Erschließung von Ammonium-Depots durch Mais. Landw. Forsch. Kongressband 1990, 301-307