

# Aufnahme von Stickstoff bei Einsatz von Spätdüngungsmaßnahmen zu Winterweizen

## Nitrogen Uptake of Winter Wheat with Different Systems of Late Nitrogen Dressings

G. Fischbeck, J. Dennert & F. X. Maidl

Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Technische Universität München

### Zusammenfassung

In einem von 1991/92 bis 1994/95 auf der Versuchsstation Roggenstein der TU München-Weihenstephan durchgeführten Stickstoffdüngungsversuch mit differenzierter N-Grunddüngung (70–130 kg N ha<sup>-1</sup>, Vegetationsbeginn bis EC 32) wurde die Aufnahme und die Wirkung von Stickstoff aus N-Spätdüngungsmaßnahmen (0–120 kg N ha<sup>-1</sup>, EC 39 bis EC 55) zu Winterweizen (Sorte Astron) geprüft. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse folgte mit sehr hohem Bestimmtheitsmaß ( $r^2 = 0,94$ ) einer nicht-linearen Regression über der Summe des N-Angebots aus der N-Nachlieferung des Bodens und der Gesamtdosis der mineralischen Ergänzungsdüngung.

2. Die Krümmung der Aufnahmekurve läßt sich auf die Nutzung des zusätzlichen N-Angebots aus „Priming-Effekten“ zurückführen, die – mit erheblichen Jahreschwankungen – insbesondere im Bereich von Gesamtdüngergaben von 100–150 kg N ha<sup>-1</sup> wirksam wurden, sowie auf die Annäherung an eine obere Grenze für die Kapazität der N-Aufnahme, die eine darüberhinausgehende N-Einlagerung in die Biomasse weitgehend ausgeschlossen hat.

3. Die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse während der Vegetationszeit hielt bei ausreichendem N-Angebot regelmäßig bis zur Erntereife (EC 92) an. Dies traf auch für höhere Dosierungen der N-Grunddüngung zu.

4. Das Potential für zusätzliche N-Aufnahme aus N-Spätdüngungsmaßnahmen (ab EC 39) ergibt sich daher aus der Differenz, die zwischen dem N-Angebot aus der Bodennachlieferung und der Dosierung der Grunddüngung (bis EC 32) bis zur Ausschöpfung der Kapazitätsgrenze für die N-Aufnahme verbleibt.

5. Erhöhte Dosierungen der N-Spät-Düngung können in diesem Rahmen eine geringere N-Aufnahme durch zurückhaltende Dosierung der N-Grunddüngung nicht nur vollständig kompensieren, sondern begünstigen darüberhinaus regelmäßig die Einlagerung von Biomasse-N in das Korn-Erntegut.

**Schlüsselworte:** Winterweizen, Stickstoffaufnahme, Stickstoffspätdüngung, Stickstoffeffizienz

### Summary

In a four-year series of field trials with winter wheat, cultivar “Astron”, three regimes of basic nitrogen supply (70–130 kg N ha<sup>-1</sup>, up to EC 32) have been employed to study N uptake and N distribution from additional late nitrogen dressings (0–120 kg N ha<sup>-1</sup> between EC 39 and EC 55). The results can be summarized as follows:

Biomass nitrogen uptake followed closely ( $r^2 = 0,94$ ) a nonlinear regression line based on total amount of nitrogen supply made up from soil nitrogen release and the sum of N fertilizer doses.

The non-linearity of the N uptake regression line is expected to originate from utilization of additional N-supplies of soil nitrogen deliberated by “priming effects” that – apart from considerable variation between years – mainly increased nitrogen uptake in the range between 100–150 kg ha<sup>-1</sup> fertilizer-N doses, while fertilizer doses above 200 kg N ha<sup>-1</sup> apparently met with the limitations in N uptake capacity that largely excluded further N-uptake.

With adequate supplies biomass N uptake continued throughout the vegetation period until EC 92 occurring already with higher doses of basic nitrogen dressings.

Therefore, the potential for additional nitrogen uptake from late nitrogen dressings can be quantified by the difference that remains between uptake from the sum of supplies from soil nitrogen and basic fertilizer applications to the upper limit for N uptake capacity.

Within this frame, higher doses of late nitrogen dressings not only were capable to fully compensate for the reduction in N uptake by restrained doses of basic fertilizer-N but in addition favoured regularly the accumulation of biomass nitrogen into the harvested grains.

**Keywords:** winter wheat, nitrogen uptake, late nitrogen dressing, nitrogen efficiency

### Einleitung

Seit den Untersuchungen von SELKE (1957) ist bekannt, daß mit Hilfe von zusätzlichen N-Gaben vor oder auch nach der Blüte des Winterweizens der Proteingehalt des Erntegutes erheblich gesteigert und damit zugleich dessen Backqualität verbessert werden kann.

Gleichrangig mit der Sortenwahl gehören derzeit Spätdüngungsmaßnahmen zum Standardrepertoire in der Erzeugung von Qualitätsweizen. In Verbindung mit der züchterischen Verbesserung der Standfestigkeit und dem Einsatz von halmverkürzenden Wachstumsregulatoren sind die bereits zu Vegetations- und Schoßbeginn eingesetzten Mengen an mineralischen N-Düngern kontinuierlich gesteigert worden (KLING 1986). Stellt man außerdem in Rechnung, daß der vermehrte Ausbreitung von Blatt- und Ährenkrankheiten auch in überdüngten Weizenbeständen durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln Einhalt geboten werden kann (VERREET 1992), ist es leicht verständlich, daß die negativen Auswirkungen einer überhöhten N-Düngung eher in den davon ausgehenden Umweltbelastungen als in verminderten Ertrags- und Qualitäts-

leistungen zum Ausdruck kommen (MAIDL 1990, ISERMANN 1992, WENDLAND 1992).

Vergleichsuntersuchungen über die Nährstoffaufnahme aus 15N-angereicherten Düngemitteln lassen dagegen zweifelsfrei erkennen, daß bei Anwendungsterminen während intensiver Wachstumsphasen (EC 31–EC 49) ein besonders hoher Anteil von den wachsenden Getreidepflanzen unmittelbar aufgenommen wird (VAN CLEENPUT & BAERT 1984, HERSEMANN et al. 1988, DESTAIN et al. 1989).

In der landwirtschaftlichen Praxis wird eine N-Spät-düngung oft als „Qualitätsdüngung“ betrachtet und der vorausgegangen N-Grundversorgung („Ertragsdüngung“) daher einfach hinzugefügt. Es stellt sich daher die Frage, welche Grenzen der Aufnahme von Stickstoff aus Spätdüngungsmaßnahmen gesetzt sind und welche Bedeutung der Handhabung der Grunddüngung dabei zukommt. Da größere Versuchsserien hierzu bislang nicht vorliegen, wurde eine 4-jährige Serie von Feldversuchen auf der Versuchsstation Roggenstein hierzu herangezogen, die es gestattet, den Verlauf der N-Aufnahme von Winterweizenbeständen während der Vegetationszeit zu verfolgen, um auf diesem Wege die Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Spätdüngung mit Stickstoff systematisch aufzuklären.

## Material und Methoden

### Standortbeschreibung

Die Versuchsstation Roggenstein der TU München-Weihenstephan liegt nordwestlich von München im Landkreis Fürstfeldbruck auf einer Höhe von 510 m über NN.

Das Versuchsfeld ist mit einer Ackerzahl von 56 durch die Reichsbodenschätzung bewertet. Die  $C_1$ - bzw.  $N_1$ -Gehalte in der Ackerkrume liegen bei 1,49% bzw. 0,13%. Die Profiltiefe beträgt ca. 65 cm. Der Bodentyp ist als Parabraunerde, die Bodenart als sandiger Lehm anzusprechen. Die  $N_{min}$ -Werte (0–60 cm) zu Vegetationsbeginn waren mit Werten von 20 bis 33 kg N ha<sup>-1</sup> stets sehr niedrig.

Das Jahresniederschlagsmittel der letzten fünfzehn Jahre lag bei 843 mm. Im gleichen Zeitraum betrug die Jahresdurchschnittstemperatur 8,1 Grad Celsius. Angaben über die Witterungsfaktoren während der 4-jährigen Versuchsperiode sind in Tab. 1 für jeweils wichtige Entwicklungsabschnitte des Winterweizens dargestellt.

### Versuchsanlage

In den Jahren 1991/92 bis 1994/95 wurde auf der Versuchsstation Roggenstein eine zweifaktorielle Versuchsreihe mit differenzierter Stickstoffgrunddüngung und unterschiedlicher N-Spät-düngung angelegt. Die drei Grunddüngungsvarianten erhielten in den frühen Entwicklungsabschnitten (Vegetationsbeginn, EC 30, EC 32) N-Gesamt-mengen von 70, 110 und 130 kg N ha<sup>-1</sup>. In jeder Grunddüngungsstufe waren 10 Spätdüngungsstufen verteilt auf drei Entwicklungsstadien (EC 39, EC 49, EC 59) enthalten (Tab. 2). Es wurden insgesamt 30 N-Düngungsvarianten geprüft. Als N-Dünger fand Kalkammonsalpeter (27% N) Verwendung. Der Versuch war als Splitplotanlage mit einer Parzellengröße von brutto 30 m<sup>2</sup> und 4 Wiederholungen angelegt. Die Nettoparzellen (Kernparzellen) für die Mähdruschernte bzw. für die Probenahme umfaßten 15 m<sup>2</sup>.

Als Winterweizensorte wurde Astron gewählt. Vorfrucht war in allen Jahren Winterraps. Die Saatstärke betrug 300 keimfähige Körner je m<sup>2</sup>, der Aussattermin lag

Tab. 1: Mittelwerte von Witterungsdaten, bezogen auf die Dauer bestimmter Entwicklungsabschnitte des Winterweizens, Roggenstein 1992–1995

Mean values for weather data based on the duration of certain developmental periods of winter wheat, Roggenstein 1992–1995

Zeitspanne von: bis:	Saat – EC 30	EC 30– EC 32	EC 32– EC 49	EC 49– EC 75	EC 75– EC 92
Anzahl der Tage					
1992	201	15	22	27	32
1993	196	15	21	31	39
1994	194	17	28	29	33
1995	191	20	31	32	29
$\bar{x}$ 92–95	196	17	26	30	33
Temperatursumme > 0 Grad Celsius					
1992	688	189	374	421	609
1993	765	208	320	477	670
1994	854	180	418	513	656
1995	911	205	415	500	566
$\bar{x}$ 92–95	805	196	382	478	625
Mittelwert der Tagestemperatur > 0 Grad Celsius					
1992	3,4	12,6	17,0	15,6	19,0
1993	3,9	13,9	15,2	15,4	17,2
1994	4,4	10,6	14,9	17,7	19,9
1995	4,8	10,3	13,4	15,6	19,5
$\bar{x}$ 92–95	4,1	11,7	15,0	16,1	18,8
Niederschlagssumme l m <sup>-2</sup>					
1992	389	17	79	76	93
1993	419	22	34	135	252
1994	490	27	103	25	154
1995	394	13	177	95	89
$\bar{x}$ 92–95	423	20	98	83	147

zwischen dem 6. und 11. Oktober. Die Kornbildung war weder durch Unkrautwuchs noch durch Lager o. ä. beeinträchtigt. Während der vergangenen fünfzehn Jahre wurde weder Gülle noch Stallmist auf den Versuchsflächen gedüngt und das Stroh ohne N-Ausgleichsdüngung eingearbeitet.

Ein unmittelbar benachbarter Feldversuch mit der gleichen Winterweizensorte enthielt bei sonst gleicher Anbauweise Null-Parzellen für die N-Düngung. An Hand dieser Parzellen ist es möglich, die N-Versorgung aus den Bodenvorräten zu ermitteln und in die Auswertung der Versuchsergebnisse einzubeziehen.

### Probenahmen und Untersuchungen

Zur Erfassung des Nitratgehalts im Boden wurden bei Vegetationsbeginn Bodenproben aus der Bodenschicht 0–30 und 30–60 cm gezogen und nach dem von MAIDL (1984) beschriebenen Verfahren mit einem Autoanalyzer (Fa. Skalar) auf ihren Nitratgehalt untersucht.

Zur Messung des Trockenmassezuwachses und der N-Aufnahme wurden zu 4 Terminen aus den dafür vorgesehenen Probenparzellen Schnittproben der oberirdischen Biomasse von jeweils 2 m einer Saatreihe (0,23 m<sup>2</sup>) genommen. Die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes am Pflanzenmaterial erfolgte nach Kjeldahl mit einem Autoanalyzer (Fa. Skalar).

Im erntereifen Zustand wurden nochmals Schnittproben (0,23 m<sup>2</sup>) genommen um den Aufwuchs an Biomasse und

den darin enthaltenen Stickstoff sowie seine Verteilung auf Korn und Stroh ermitteln zu können.

### Statistische Auswertung

Die Fehleranalyse wurde für jeden Einzelversuch nach dem bei SCHUSTER & v. LOCHOW (1979) angegebenen varianzanalytischen Modell für Spaltanlagen vorgenommen, mit Basisdüngung als Großteilstück und Spätdüngung als Kleinteilstück.

Die Ergebnisse der Varianzanalysen sind in Form der daraus ableitbaren Grenzdifferenzen in den einzelnen Tabellen enthalten. Obwohl eine zusammenfassende Verrechnung der orthogonal über alle Versuchsjahre erhobenen Daten möglich wäre, wurde sie z. T. auf die einzelnen Jahre beschränkt, da einerseits der oftmals entscheidende Einfluß unterschiedlicher Witterungsabläufe auf die Ergebnisse von Feldversuchen keiner weiteren variationsstatistisch abgesicherten Bestätigung bedarf und andererseits von der Dokumentation schwer interpretierbarer Wechselwirkungen höheren Grades keine für die Behandlung des Themas essentiellen Informationen zu erwarten sind.

## Ergebnisse

### Stickstoff in der erntereifen Biomasse

Die Gesamtaufnahme an Stickstoff in die oberirdische Biomasse zur Zeit der Vollreife ist in Abb. 1 dargestellt. Bei gleichartiger Handhabung der Grunddüngung ohne Spätdüngung differierte die N-Aufnahme in den einzelnen Versuchsjahren bis zu 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Im Durchschnitt aller Versuchsjahre entsprach die Mehraufnahme an Stickstoff bei ansteigender Grunddüngung weitgehend der gesteigerten N-Dosierung. Dagegen ging die Mehraufnahme an Stickstoff aus Spätdüngungsmaßnahmen mit ansteigender Grunddüngung systematisch und bei sehr hohen Spät-N-Gaben auch überproportional zurück (Tab. 3). Dabei waren allerdings markante Unterschiede in den einzelnen Versuchsjahren festzustellen. Die Summe der aus Grund- und Spätdüngungsmaßnahmen incl. Bodennachlieferung erreichten N-Aufnahme in die erntereife Biomasse stieg jedoch in keinem Fall wesentlich über 350 kg N ha<sup>-1</sup> an. Sättigungseffekte für die N-Aufnahme aus Spätdüngungsmaßnahmen traten insbesondere im Versuchsjahr 1992 in Erscheinung. Allerdings ging die Mehraufnahme von Stickstoff aus der N-Spätdüngung mit ansteigender Dosierung auch in den Jahren 1993 und 1994 merklich zurück, obwohl in beiden Jahren eine insgesamt unterdurchschnittliche N-Aufnahme aus der Grunddüngung zu verzeichnen war. Sie wurde 1994 wahrscheinlich durch die langanhaltende Trockenheit vor der Milchreife, 1993 hingegen eher durch die mit anhaltend hohen Niederschlägen zwischen Ährenschieben und Erntereife einhergehenden N-Verluste aus vegetativen Pflanzenteilen verursacht (Tab. 2 und Tab. 3). Dagegen fiel in der sehr niederschlagsreichen Vegetationsperiode 1995 die Differenzierung zwischen den Grunddüngungstufen deutlich geringer aus als in den vorausgegangenen Jahren und die zusätzliche N-Aufnahme aus der Spätdüngung differierte allein mit ihrer Dosis (Tab. 2 und Tab. 3).

Der Überblick in Abb. 1 verdeutlicht die Quellen für die unterschiedliche Menge des in der erntereifen Biomasse enthaltenen Stickstoffs. Obwohl der N<sub>min</sub>-Wert bei Vegetationsbeginn in keinem Versuchsjahr höher als 33 kg N ha<sup>-1</sup> lag (Linie a), wie dies auch in früheren Untersuchun-

Tab. 2: Beschreibung der N-Düngungsvarianten (Angaben in kg N ha<sup>-1</sup>)

Distribution of N-fertilizer applications (kg N ha<sup>-1</sup>)

Grunddüngung				
Variante	Veg.B.	EC 30	EC 32	
G 70	40	–	30	
G 100	40	30	30	
G 130	70	30	30	
Spätdüngung				
Variante	EC 39	EC 49	EC 59	Summe
1	–	–	–	0
2	–	40	–	40
3	40	40	–	80
4	40	–	40	80
5	–	40	40	80
6	80	–	–	80
7	–	80	–	80
8	40	80	–	120
9	–	80	40	120
10	–	40	80	120

Tab. 3: Gesamt – N-Aufnahme (kg N ha<sup>-1</sup>) in die erntereife Biomasse bei steigender Grunddüngung (G) und Mehraufnahme (+) nach Spätdüngungsmaßnahmen (Sp)

Total N uptake until (kg N ha<sup>-1</sup>) harvest with increase of basic fertilizer N applications (G) and additional N-uptake (+) from late N applications (Sp)

N-Düngung		Jahr				Durchschnitt
G	Sp	1992	1993	1994	1995	
70	0	221	180	150	210	191
	40	+ 67	+ 50	+ 48	+ 52	+ 54
	80	+ 85	+ 90	+ 95	+ 80	+ 89
	120	+ 105	+ 128	+ 123	+ 94	+ 113
100	0	291	211	189	243	233
	40	+ 25	+ 55	+ 47	+ 57	+ 47
	80	+ 40	+ 86	+ 87	+ 75	+ 73
	120	+ 46	+ 105	+ 109	+ 96	+ 89
130	0	315	241	218	263	259
	40	+ 14	+ 46	+ 53	+ 44	+ 39
	80	+ 18	+ 68	+ 78	+ 75	+ 60
	120	+ 26	+ 84	+ 94	+ 92	+ 73
GD 5 %:						
Grunddüngung		4,3***	4,3***	13,7***	13,8***	
Spätdüngung		8,6***	6,8***	8,2***	10,0***	
Wechselwirkung		14,9***	11,8***	14,1**	n.s.	

gen am gleichen Standort stets der Fall war (FISCHBECK et al., 1993), enthielt die erntereife Biomasse eng benachbarter völlig ungedüngter Parzellen stets ein Mehrfaches dieser Menge an Stickstoff (Linie b). Die erheblichen Jahresunterschiede in Verbindung mit der für den Versuchsstandort charakteristischen kräftigen N-Nachlieferung aus Bodenvorräten bilden das entsprechend differen-

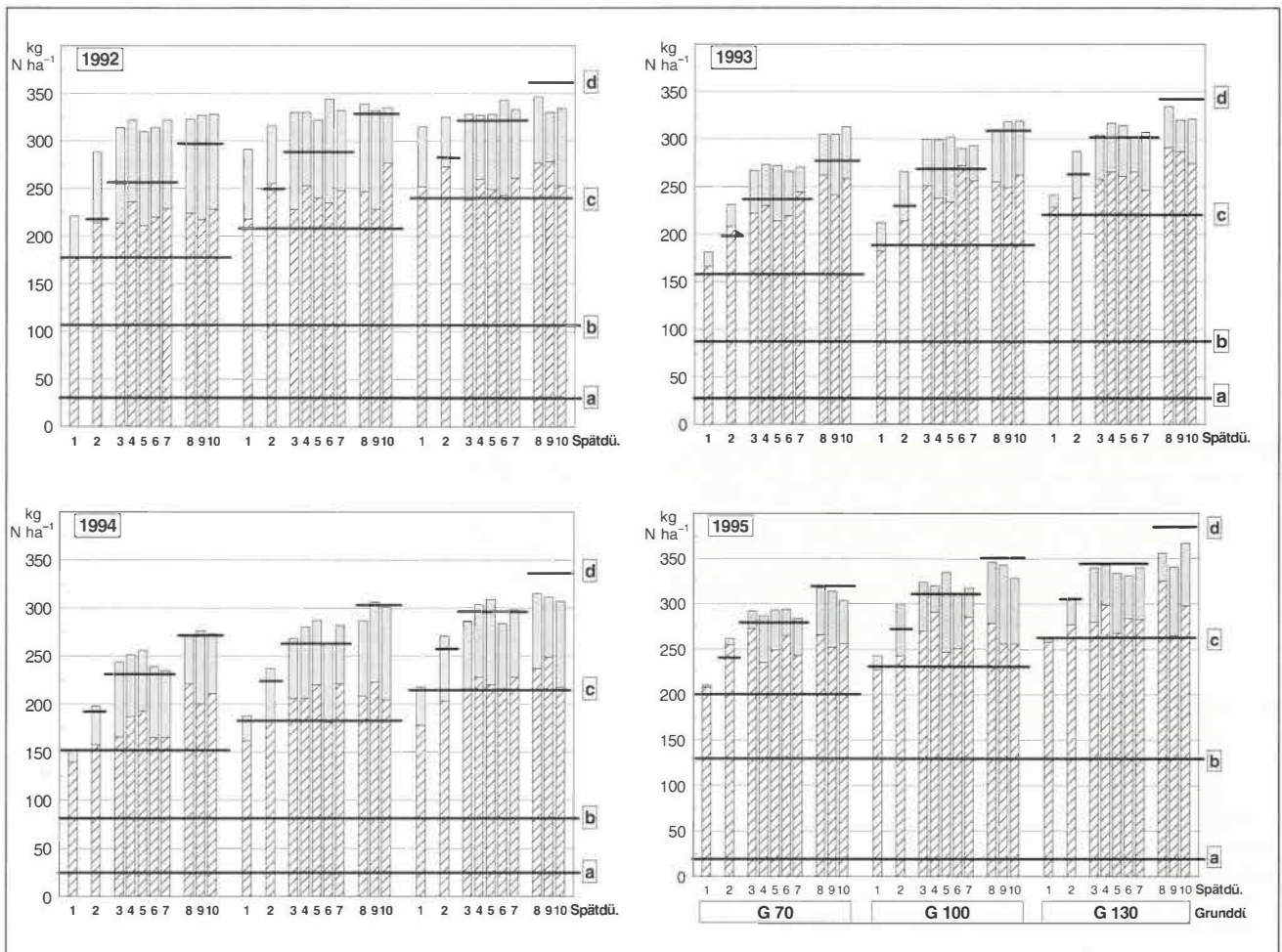
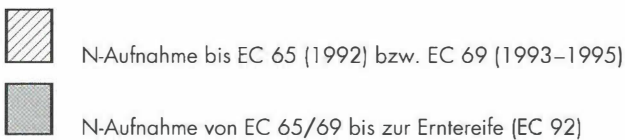
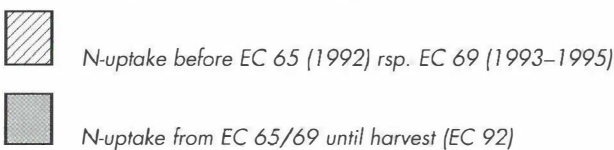


Abb. 1: Stickstoffaufnahme ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in die Biomasse und Stickstoffangebot aus Bodennachlieferung und mineralischer Düngung  
 Linie a  $N_{\min}$  bei Vegetationsbeginn ( $\text{kg N ha}^{-1}$  in 0–60 cm)  
 Linie b N-Entzug des Weizens auf ungedüngten Parzellen (= N Nachlieferung aus Bodenvorräten)  
 Linie c N aus der Grunddüngung + b  
 Linie d N aus der Spätdüngung + c



*Biomass nitrogen uptake ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) and nitrogen supply from soil and nitrogen fertilizer sources*  
 Line a  $N_{\min}$  at the beginning of the vegetation period ( $\text{kg N ha}^{-1}$  in 0–60 cm)  
 Line b N-uptake of wheat from unfertilized plots (= nitrogen supply from soil sources)  
 Line c nitrogen from basic fertilizer applications + b  
 Line d nitrogen from late fertilizer applications + c



zierte Fundament der N-Einlagerung. Auch hier ergibt sich eine Sonderstellung für das Erntejahr 1995 im Hinblick auf eine deutlich überproportionale N-Aufnahme in den ungedüngten Parzellen. Sie dürfte vornehmlich mit der außergewöhnlich hohen Temperatursumme zwischen Aussaat und EC 30 und der damit erhöhten Stoffwechselaktivität während des Winterhalbjahres in Zusammenhang stehen (Tab. 1). Die Mehraufnahme an Stickstoff durch Maßnahmen der Grunddüngung (Linie c) entsprach in den Versuchsjahren 1994 und 1995 weitgehend deren Dosie-

rung, während 1992 ein erheblicher (bis  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), aber auch 1993 noch ein regelmäßig feststellbarer Zusatzeffekt eintrat, der auf die Ausbeute von „Priming-Effekten“, d. h. einer verstärkten N-Mineralisierung nach vorausgegangenen Düngungsmaßnahmen zurückgeführt werden kann (Abb. 1).

Soweit „Priming-Effekte“ für die zusätzliche N-Einlagerung in die Biomasse verantwortlich zu machen waren, sind sie mit ansteigender Dosierung der N-Spätdüngung (Linie d) wieder aufgezehrt worden. Die den Spätdüngungs-

maßnahmen folgende Mehraufnahme an Stickstoff in die erntereife Biomasse wurde mit Ausnahme des Jahres 1995, insbesondere bei höherer Dosierung stets auch durch erhöhte N-Gaben zur Grunddüngung begrenzt (Tab. 3). Dies gilt auch für das Jahr 1994, in dem die N-Einlagerung in die erntereife Biomasse generell geringer war als in den übrigen Versuchsjahren. Es wird somit eine obere Grenze für die Kapazität an N-Aufnahme der Weizenbestände erkennbar. Neben der N-Nachlieferung aus dem Boden und der Handhabung der Grunddüngung spielen dabei augenscheinlich auch die Wachstumsbedingungen eine wesentliche Rolle. In der bereits von der Grunddüngung bestimmten unterschiedlichen Annäherung an die jeweilige Kapazitätsgrenze darf die wesentliche Ursache für die in jedem Versuchsjahr hochgesicherten Wechselwirkungen zwischen Grund- und Spätdüngung im Hinblick auf die in die erntereife Biomasse eingelagerte Menge an Stickstoff vermutet werden (Tab. 3).

Einen weiteren Hinweis auf die Bedeutung der mit dem Witterungsverlauf wechselnden Wachstumsbedingungen für die N-Einlagerung in die Biomasse vermittelt die in Abb. 1 verzeichnete Abstufung zwischen der durch Zwischenernten ermittelten N-Einlagerung in EC 65/69 und zur Erntereife. Trotz der bei Zwischenernten unvermeidlich höheren Fehlerschwankungen kommt darin zum Ausdruck, daß sowohl 1992 als auch 1994 die N-Einlagerung während der Kornbildungsphase deutlich intensiver verlief als in den beiden anderen Jahren.

#### Verlauf der N-Einlagerung in die oberirdische Biomasse

Die in Tab. 4 angegebenen Mittelwerte der N-Aufnahme in den drei Grunddüngungsstufen (ohne Spätdüngung) lassen ebenfalls große Jahresunterschiede erkennen, die beim Eintritt in die Schoßphase zwar bereits erkennbar, aber erst mit der Vollreife voll ausgeprägt waren. Die Unsicherheit der Einzelwerte ermöglicht es leider nicht, die Auswirkung der abgestuften Grunddüngung in den Ein-

Tab. 4: Verlauf der N-Akkumulation ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Biomasse ungedüngter Parzellen (0) und Mehraufnahme an Stickstoff (+) durch Grunddüngungsmaßnahmen (G)

Course of above ground N-accumulation ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) on unfertilized plots (0) and additional N-uptake (+) by basic fertilizer N applications (G)

Jahr	N-Düng.	Entwicklungsstadium					
		EC 30	32	49	65/69	75	92
1992	0	30	51	83	89	96	112
	G <sup>1</sup>	+30	+78	+106	+127	+135	+158
1993	0	20	30	68	68	59	85
	G <sup>1</sup>	+38	+59	+99	+124	+113	+126
1994	0	26	34	57	65	67	74
	G <sup>1</sup>	+28	+54	+81	+95	+85	+112
1995	0	53	68	117	112	97	125
	G <sup>1</sup>	+22	+41	+104	+119	+100	+114
Mittelwert (92-95)	0	32	46	81	83	80	99
	G 70	+23	+35	+64	+89	+71	+91
	G 100	+23	+65	+102	+114	+128	+132
	G 130	+40	+75	+125	+145	+124	+158

G<sup>1</sup> Mw. aus G = 70, 100, und 130  $\text{kg N ha}^{-1}$  ohne N-Spätdüngung

zeljahren zu verfolgen. Erkennbar ist aber doch, daß höhere Temperaturen und nur mäßige Niederschläge bei Wiedereintritt in die Vegetationsperiode die Ausbeute von „Priming-Effekten“ nach Grunddüngungsmaßnahmen begünstigt haben, während extreme Witterungsperioden mit starken Niederschlägen (1993, 1995) aber auch überhöhte Temperaturen bei mangelnder Wasserversorgung (1994) während der Hauptvegetationszeit die den Düngungsmaßnahmen folgende N-Aufnahme beeinträchtigten. Das Mittel über alle Versuchsjahre und der Vergleich mit ungedüngten Parzellen ermöglicht einen summarischen Einblick in den zeitlichen Verlauf der Wirkung der N-Aufnahme aus Grunddüngungsmaßnahmen. Man erkennt, daß die N-Nachlieferung aus den Bodenvorräten in allen Jahren bereits in EC 49 weitgehend erschöpft war. Bei verhaltener Grunddüngung (G 70) hielt die Düngerwirkung bis EC 65/69 an, bei höherer Dosierung ging sie aber auch darüber hinaus, nach Überwindung des häufig zu verzeichnenden Einbruchs der N-Aufnahme in EC 75 sogar bis zur Erntereife. Wenn sich höhere Dosierungen der Grunddüngung bis zu diesem Zeitpunkt ausgewirkt haben, bedeutet dies auch, daß sie in Konkurrenz treten zu den Auswirkungen von Spätdüngungsmaßnahmen.

#### N-Mehraufnahme nach Spätdüngung und Verteilung des Stickstoffs in der Biomasse

Der zeitliche Verlauf der Mehraufnahme an Stickstoff nach Spätdüngungsmaßnahmen (Tab. 5) läßt folgerichtig erkennen, daß die Tendenz zu einer durch Spätdüngung

Tab. 5: Zunahme der Stickstoffmenge in der Biomasse während der Kornbildung (EC 65/69 bis EC 92) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Grunddüngung (G,  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) und N-Mehraufnahme (+  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) durch Spätdüngungsmaßnahmen (Sp) sowie Verteilung des Biomasse-Stickstoffs auf Korn und Stroh (Mittelwerte 1992-1995,  $\text{kg N ha}^{-1}$ )

Accumulation of biomass-nitrogen during grain formation [EC 65/69-EC 92] in response to doses of basic fertilizer applications (G,  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) and additional N-uptake (+  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) from late nitrogen applications (Sp) and grain/straw distribution of biomass nitrogen (means 1992-1995,  $\text{kg N ha}^{-1}$ )

N-Düngung		kg Biomasse-N zu:		kg Stickstoff im:		Anteil Biomasse N im Stroh (%)
G	Sp	EC 65/69	EC 92	Korn	Stroh	
70	0	173	191	159	31	16,2
	40	+36	+54	+47	+7	15,8
	80	+46	+90	+76	+14	15,8
100	120	+63	+114	+92	+22	21,7
	0	197	233	187	46	19,7
	40	+26	+46	+37	+9	19,7
130	80	+44	+73	+55	+18	21,0
	120	+48	+89	+64	+25	21,6
	0	229	259	204	55	21,2
GD 5 %:	40	+19	+38	+24	+14	21,5
	80	+25	+59	+37	+23	24,4
	120	+42	+72	+44	+29	26,1
Grunddüngung		8,4***	8,6***	6,1***	5,3***	
Spätdüngung		9,7***	9,9***	7,0***	6,2***	
Wechselwirkung		n.s.	n.s.	12,2**	n.s.	



aus Bodennachlieferung, Grund- und Spätdüngungsmaßnahmen abfiel.

Hinweise auf mögliche Ursachen, welche die N-Aufnahme der Weizenbestände begrenzen, ergeben sich aus den Untersuchungen zum zeitlichen Ablauf der N-Aufnahme (Tab. 4). Die zeitliche Verschiebung der Mehraufnahme von Stickstoff aus hohen Dosierungen der Grunddüngung kann darauf zurückgeführt werden, daß die noch unzureichende Entwicklung des Wurzelsystems die Aufnahme des bereits zu einem frühen Zeitpunkt vorhandenen höheren N-Angebots beeinträchtigt (FISCHBECK et al. 1992 a und b). Gleichzeitig kann ein zusätzliches Angebot von pflanzenverfügbarem Stickstoff aus „Priming-Effekten“ entstehen (JENKINSON et al. 1985), die in der vorliegenden Versuchsreihe bei mäßiger Dosierung und günstiger Verteilung der Mineraldüngerdosierung die in Abb. 2 dargestellte überproportionale N-Aufnahme ermöglicht haben. Es ist bekannt, daß „Priming-Effekte“ starken Schwankungen unterliegen (siehe Abb. 1, Differenz Gesamt-N-Aufnahme minus Dünger-N), wie auch in den Untersuchungen von DIEZ & SOMMER (1979), MÜLLER (1985) sowie GÜNTHER-BORSTEL (1992) belegt wurde. Augenscheinlich kamen sie der N-Aufnahme von Weizenbeständen immer dann zugute, wenn günstige Bedingungen für die durch Düngungsmaßnahmen ausgelösten zusätzlichen Mineralisierungsprozesse bestanden und mit der zeitlichen Verzögerung von Grunddüngungsmaßnahmen bis in die frühe Schoßphase zugleich die Gewähr dafür gegeben war, daß die Entwicklung des Wurzelsystems ausreichte, das gesteigerte N-Angebot auch aufzunehmen.

Nach den in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnissen muß ebenso angenommen werden, daß die oft rasch eintretende biologische Immobilisierung (SYRING & SAUERBECK 1985, NIEDER et al. 1993) des Nitratstickstoffs nicht schon dessen endgültige Festlegung bedeutet, sondern in Verbindung mit den ständig ablaufenden Mobilisierungs-Immobilisierungsvorgängen das anfangs überschüssige N-Angebot zu einem späteren Zeitpunkt erneut verfügbar ist. In Übereinstimmung damit steht der aus  $^{15}\text{N}$ -Experimenten belegte Befund, daß der ausgebrachte mineralische Stickstoff aus der Grunddüngung nur zum Teil in der durch diese Maßnahme bewirkten Mehraufnahme an Stickstoff enthalten ist (DOWDELL & CRESS 1980, DRESSEL & JUNG 1987, POWLSON et al. 1992, RETZER 1995).

Die Begrenzung der Kapazität für die N-Aufnahme durch unzureichende Wurzelentwicklung ist mit dem Eintritt in die Schoßphase überwunden. Die in Tab. 6 angegebenen Werte für die tägliche Aufnahme von Mineralstickstoff in die Biomasse der Weizenbestände machen deutlich, daß zwischen EC 30 und EC 92 in der vorliegenden Versuchsreihe eine im wesentlichen bedarfsorientierte Begrenzung für die N-Aufnahme wirksam war, deren obere Kapazitätsgrenze etwa bei einer N-Aufnahme von  $5,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  lag.

Die in Verbindung mit dem Ausbringungstermin von Spät-N-Maßnahmen in der Regel rasch und deutlich ansteigenden täglichen Aufnahmezeiten und ihr augenscheinlich kompensatorisch wirksamer Rückgang im danach anschließenden Vegetationsabschnitt können auch mit Phänomenen der aktiven N-Aufnahme durch die Weizenpflanze (STREBEL et al. 1980, WIKSTRÖM 1994, JUSTES et al., 1994) und anderen stoffwechselabhängigen Regulationsvorgängen in Zusammenhang gebracht werden (HANDLEY & RAVEN, 1992).

Unsere Untersuchungen belegen auch, daß die N-Aufnahme erst mit der Abreife der Pflanzen beendet wird (Tab. 4 und 5). Für die zusätzliche N-Aufnahme nach Spätdüngungsmaßnahmen verbleibt nach dieser Vorstellung daher stets nur die Differenz zwischen dem aus der Bodennachlieferung und der verabreichten Grunddüngung bereits vorhandenen und der bis zur Ausschöpfung der bestehenden Kapazitätsgrenze noch fehlenden N-Menge. Die aus Abb. 2 erkennbare Sättigungskurve für die Aufnahme von Stickstoff läßt ferner vermuten, daß diese Sättigungsgrenze eine darüber hinausgehende N-Aufnahme weitgehend ausschließt.

Im Gegensatz zu der weitgehend additiven Beeinflussung der N-Aufnahme in die Biomasse durch Grund- und Spätdüngungsmaßnahmen unterhalb der oberen Kapazitätsgrenze, ließen die Zahlenangaben in Tab. 5 bereits erkennen, daß bei der Verteilung des Biomasse-Stickstoffs auf Korn und Stroh systematische Differenzierungen wirksam waren. Die Berechnung des Anteils des im Stroh verbliebenen Biomasse-Stickstoffs (Tab. 5) verdeutlicht, daß der prioritären Einlagerung von Biomasse-N in die generativen Organe ein Proportionalitätsfaktor zugrunde liegt, der die zunehmende Menge des im Stroh verbliebenen Stickstoffs erklärt (Abb. 2). Man kann jedoch auch erkennen, daß dieser Proportionalitätsfaktor bereits vor

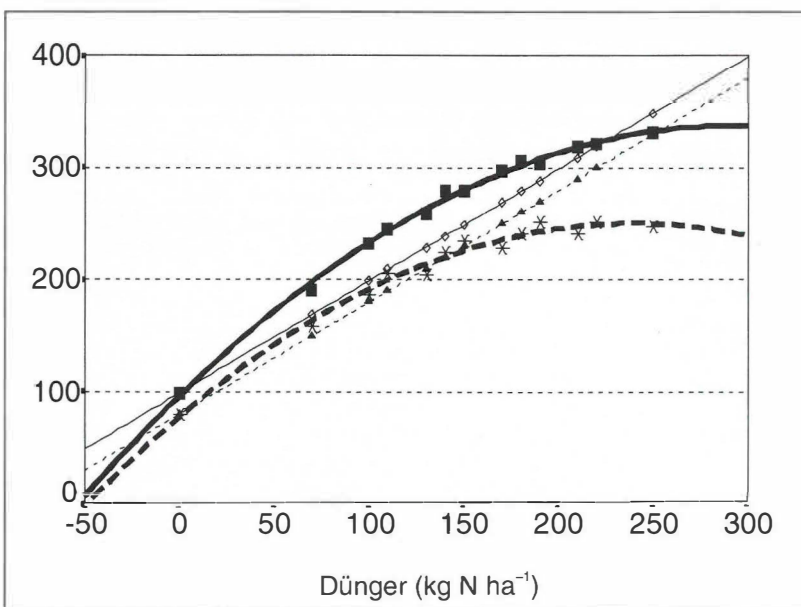


Abb. 2: Regression der N-Aufnahme ( $\text{kg ha}^{-1}$  in EC 92) in die Biomasse  $\blacksquare$  und in das Korn  $\ast\ast$  bezogen auf die Gesamt-N-Versorgung  $\blacktriangle$   $\diamond$  aus Bodennachlieferung ungedüngter Parzellen und mineralischer Düngung aus Grund- und Spätdüngungsmaßnahmen (Mittelwerte der Jahre 1992–1995).

Regression of N-uptake ( $\text{kg ha}^{-1}$  at EC 92) into biomass  $\blacksquare$  and grains  $\ast\ast$  on total N-supply  $\blacktriangle$   $\diamond$  calculated from N-uptake in unfertilized plots and sum of fertilizer N applied in basic and late dressings (Mean values 1992–1995).

Erreichung der oberen Kapazitätsgrenze für die N-Aufnahme eine Abschwächung zugunsten einer überproportionalen Anreicherung von Stickstoff im Stroh erfährt. Abb. 2 verdeutlicht weiterhin, daß die Dosierung der Grunddüngung auch unterhalb der oberen Kapazitätsgrenze für die N-Aufnahme systematisch differenzierenden Einfluß auf die Verteilung des Biomasse Stickstoffs nimmt. Der relative Anteil des im Stroh verbliebenen Stickstoffs stieg mit höheren Dosen der N-Grunddüngung regelmäßig an (Tab. 5). Die Verlagerung der Gesamt-Dosis an mineralischer Düngung zugunsten eines erhöhten Anteils an Spätdüngungsmaßnahmen hat daher in der vorliegenden Versuchsreihe regelmäßig die Einlagerung von aufgenommenem Stickstoff in die Körner begünstigt.

## Literatur

- DESTAIN, J. P., J. GUIOT, E. FRACOIS & A. RIGA, 1989: Fertilizer nitrogen budgets of two doses of  $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$  dressings split applied to winter wheat in microplots on a loam soil. *Plant and Soil* **117**, 177–183.
- DIEZ, Th. & G. SOMMER, 1979: Veränderungen des Gehalts an löslichem Bodenstickstoff ( $\text{N}_{\text{min}}$ ) im Jahresablauf. *Bayer. Landw. Jb.* **56**, 351–363.
- DOWDELL, R. J. & R. CRESS, 1980: The uptake of  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizer by winter wheat and its immobilisation in a clay soil after direct drilling and ploughing. *J. Sci. Food Agric.* **31**, 992–996.
- DRESSEL, J. & J. JUNG, 1987: Modellversuche zur Aufnahme von Boden und Düngerstickstoff aus verschiedenen Tiefen durch Sommerweizen. *J. Agr. Crop Sci.* **159**, 149–156.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT & R. MÜLLER, 1992a: Ermittlung der N-Aufnahme von Winterweizen in Feldversuchen bei unterschiedlicher Höhe und Verteilung der mineralischen N-Düngung. *Bayer. Landw. Jb.* **69**, 89–109.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT & R. MÜLLER, 1992b: Untersuchungen zur Verwertung des Stickstoffs in der oberirdischen Biomasse von Winterweizen Feldbeständen bei unterschiedlicher Höhe und Verteilung der mineralischen N-Düngung. *Bayer. Landw. Jb.* **69**, 131–148.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT & R. MÜLLER, 1993: Untersuchungen zur Optimierung der N-Aufnahme von Winterweizenbeständen durch ergänzende Düngungsmaßnahmen. *J. Agr. Crop. Sci.* **171**, 82–95.
- GÜNTHER-BORSTEL, O., 1992: Verlauf der N-Dynamik im Boden unter Winterweizen in Abhängigkeit von den Wechselwirkungen zwischen einigen produktionstechnischen Maßnahmen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **5**, 229–232.
- HANDLEY, L. L. & J. A. RAVEN, 1992: The use of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology. *Plant, Cell and Environment* **15**, 965–985.
- HERSEMANN, H., D. SAUERBECK & H. SÖCHTIG, 1988: Ausnutzung von  $^{15}\text{N}$  markiertem N-Dünger durch Winterweizen im Feldversuch. *VDLUFA Schriftenreihe* **28**, 149–161.
- ISERMANN, K., 1992: Nährstoffbilanzen und aktuelle Nährstoffversorgung der Böden. *Ber. Landw., Sonderband*.
- JENKINSON, D. S., R. H. FOX & J. H. RAYMER, 1985: Interactions between fertilizer and soil nitrogen – the so called 'priming' effect. *J. Soil Sci.* **36**, 425–444.
- JUSTES, E., B. MARY, J. M. MEYNARD, J. M. MACHET & L. THELIER-HUCHE, 1994: Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Wheat Crops. *Annals of Botany* **74**, 397–407.
- KLING, A., 1986: Optimale Stickstoffdüngung ausgewählter Ackerkulturen aus ökonomischer Sicht. *Diss. TUM-Weihenstephan*.
- MAIDL, F. X., 1984: Einfluß von Bodenbearbeitung und Gülleanwendung auf die Stickstoffmineralisierung und das Wachstum von Zuckerrüben sowie deren Bedeutung für die Bemessung der mineralischen Stickstoffdüngung bei langjährig differenzierter Bodenbewirtschaftung. *Diss. TUM-Weihenstephan*.
- MAIDL, F. X., 1990: Pflanzenbauliche Aspekte einer gezielten N-Düngung und verbesserten N-Versorgung. *Bayer. Landw. Jb.*, SH 2, 70–87.
- MÜLLER, K., 1985: Abhängigkeit des pflanzenverfügbaren Stickstoffs ( $\text{N}_{\text{min}}$ ) von den Humusgehalten und der mineralischen Düngung auf einem fränkischen Weinbaustandort. *Z. Pfl.-ern., Bdk.* **148**, 169–178.
- NIEDER, R., K. C. KERSEBAUM, P. WIDMER & J. RICHTER, 1993: Untersuchungen zur Stickstoff-Immobilisation in mineralisch gedüngten Ackerböden aus Löß während der Vegetationszeit von Winterweizen. *Z. Pfl.-ern., Bdk.* **156**, 293–300.
- POWLSON, D. S., P. B. S. HART, P. R. POULTON A. E. JOHNSTON & D. S. JENKINSON, 1992: Influence of soil type, crop management and weather on the recovery of  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizer applied to winterwheat in spring. *J. Agric. Sci. Camb.* **118**, 83–100.
- RETZER, F., 1995: Untersuchungen zur Stickstoffverwertung von Winterweizenbeständen. *Diss. TUM-Weihenstephan*.
- SCHUSTER, W. H. & J. v. LOCHOW, 1979: Anlage und Auswertung von Feldversuchen, 2. Auflage, DLG Verlag, Frankfurt (Main).
- SELKE, W., 1957: Die Düngung. 3. Aufl., Dt. Bauernverlag Berlin.
- STREBEL, O., H. GRIMME, M. RENGER & H. FLEIGE, 1980: A field study with nitrogen-15 of soil and fertilizer nitrate uptake and of water withdrawal by spring wheat. *Soil Sci.* **130**, 205–210.
- SYRING, K. M. & D. SAUERBECK, 1985: Ein Modell zur quantitativen Beschreibung des Stickstoffumsatzes im System Boden-Pflanze. *Mitt. Dt. Bdkl. Ges.* **41**, 461–472.
- VAN CLEENPUT, O. & L. BAERT, 1984: The fate of labelled fertilizer nitrogen split-applied to winter wheat on a clay soil. *Pedologie* **34**, 291–299.
- VERREET, A. J., 1992: Angewandte Grundlagen des Integrierten Pflanzenschutzes in Weizenbausystemen. *Habil-Schrift TUM-Weihenstephan*.
- WENDLAND, F., 1992: Die Nitratbelastung in den Grundwasserlandschaften der 'alten' Bundesländer (BRD). *Ber. Ökol. Forschg.* **8**, Forschungszentrum Jülich GmbH. 150 S.
- WIKSTRÖM, F., 1994: A theoretical explanation of the Piper-Steenbjerg effect. *Plant, Cell and Environment* **17**, 1053–1060.

Eingegangen am 1. März 1996;  
angenommen am 8. Januar 1997

Anschrift der Autoren:

Prof. em. Dr. Dr. h. c. G. Fischbeck, J. Dennert und Dr. F. X. Maidl, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Technischen Universität München, D-85350 Freising – Weihenstephan.