

Auswirkungen von N-Spät düngungsmaßnahmen zu Winterweizen auf oberirdische Biomasse, Kornertrag und Proteingehalt bei unterschiedlicher N-Grunddüngung

Effect of Late Fertilizer N Applications to Winter Wheat on Biomass Production, Kernel Yield and Protein Content at Different Levels of Basic Fertilizer N Applications

G. Fischbeck, J. Dennert & F. X. Mädl

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 Winterweizenversuch (Sorte Astron) mit differenzierter N-Grunddüngung (70–130 kg N ha⁻¹) wurde die Wirkung von Stickstoff aus N-Spät düngungsmaßnahmen (0–120 kg N ha⁻¹) auf Ertragsleistung und Proteinbildung geprüft. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die Wirkung der N-Spät düngungsmaßnahmen äuserte sich nur bei gering dosierter N-Grunddüngung in höheren Aufwuchsleistungen an Biomasse, obwohl der Zuwachs an Biomasse bis zur Erntereife anhielt. Die Differenzierung des N-Gehaltes in der Biomasse nahm jedoch bis zum Eintritt in die Erntereife unter dem Einfluß des Gesamtangebotes an Dünger-N zu.

2. Während die Kornbildung je Einheit Biomasse-N und zunehmender Düngerdosis systematisch und in bedeutsamem Umfang reduziert wurde, bewegte sich die Erzeugung von Kornprotein in einem Schwankungsbereich von lediglich 10% um einen Mittelwert von etwa 4,6 kg Kornprotein je kg Biomasse-N.

3. Im Gesamtdurchschnitt der Versuchsreihe bot eine verhaltene Dosierung der N-Grunddüngung (70 kg N ha⁻¹) in Verbindung mit einer zweigeteilten, hoch dosierten N-Spät düngung (Varianten 8, 9 und 10, 120 kg N ha⁻¹ in EC 39–59) die günstigsten Voraussetzungen für hohe Kornertragsleistungen (105 dt ha⁻¹) bei sehr hohem Proteingehalt (16%) des Erntegutes und noch immer vollständiger Verwertung der mineralischen Stickstoffdüngung im Erntegut.

4. Auf die Verwertung des aufgenommenen Stickstoffs im Kornertrag und im Proteingehalt des Erntegutes nahm die durch Grunddüngungsmaßnahmen maßgeblich geprägte Differenzierung der Ertragsstruktur systematischen Einfluß. Von dominierender Bedeutung für einen hohen N-Ernteindex war dabei die Bildung hoher Einzelähren-erträge.

5. Die systematisch abgestuften Unterschiede in der Ausnutzung des Biomasse-N durch Kornertrag und Proteingehalt im Korn läßt sich auf die parallele Abstufung der Sinkkapazität hoher Einzelährengewichte während der Abreife zurückführen.

Schlüsselworte: Winterweizen, N-Spät düngung, Ertragskomponenten, Proteingehalt, N-Harvest-Index

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⁻¹ up to EC 32) were used to analyse the effects of 10 variants of additional late nitrogen applications (0–120 kg N ha⁻¹ between EC 39 and EC 59) on kernel yield and protein content.

1. Increase in biomass production generally continued until EC 92, but effects of late-N-dressings on biomass production have been observed only with low doses of basic N supply, while differentiation in biomass N-content generally increased until EC 92 in response to total dose of N supplies.

2. Kernel production per unit of biomass nitrogen declined systematically and substantially with total N fertilizer supply, while kernel protein production varied only in a range below 10% in relation to an overall mean of 4.6 kg kernel protein per kg biomass nitrogen.

3. In the overall average of the trial series modest doses of basic N supply (70 kg N ha⁻¹) combined with high doses of splitted late N applications (treatments 8, 9 and 10, 120 kg N ha⁻¹ at EC 39–59) provided the most favorable conditions for combinations of high kernel yield (~105 dt ha⁻¹) with very high protein content (~16%), together with complete deprival of applied fertilizer N dose with grain harvest.

4. The major differences in yield components were shaped in a systematic way by management of basic N applications which also affected the efficiency of utilization of biomass nitrogen in kernel yield and protein content. Development of high single ear weight dominated in importance for obtaining high N-harvest indices.

5. The differences in utilization of biomass-N for yield and protein content of harvested grains traces back to parallel differentiations in sink capacity characterised by the development of high single ear weight during grain formation.

Keywords: Winter wheat, late N fertilizer applications, yield components, protein content, N-harvest-index

Einleitung

Im heutigen Weizenanbau spielt neben dem Flächenenertrag auch die Beschaffenheit des Erntegutes eine große Rolle. Besonders für die Vermarktung von Mahl- und Qualitätsweizen kommt dem Proteingehalt dabei vorrangige Be-

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

Weather data based on duration of developmental stages of winter wheat stands, 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
Mw. 92–95	196	17	26	30	33
Temperatursumme (Summe der Tagesmittelwerte > 0 °C):					
1992	688	189	374	421	609
1993	765	208	320	477	670
1994	854	180	418	513	656
1995	911	205	415	500	566
Mw. 92–95	805	196	382	478	625
Mittelwert der Tagestemperatur (°C, nur Tagesmittelwerte > 0 °C):					
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
Mw. 92–95	4,1	11,7	15,0	16,1	18,8
Niederschlagssumme m ⁻² :					
1992	389	17	79	76	93
1993	419	22	34	135	252
1994	490	27	103	25	154
1995	394	13	177	95	89
Mw. 92–95	423	20	98	83	147

Tab. 2: Beschreibung der N-Düngungsvarianten (Angaben in kg N ha⁻¹)Layout of N-fertilizer applications (accounted in kg N ha⁻¹)

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

deutung zu. In der landwirtschaftlichen Praxis wird daher zur Sicherung eines ausreichend hohen Proteingehaltes eine N-Spät-düngung als „Qualitätsdüngung“ der vorausgegangenen N-Grundversorgung hinzugefügt.

Vorausgegangene Untersuchungen zur Optimierung der N-Düngung zu Winterweizen (FISCHBECK et al. 1993) haben jedoch regelmäßig ergeben, daß auch mit geringen, zur Ausschöpfung des Ertragspotentials gerade ausreichenden Düngungsmaßnahmen im Vergleich zu ungedüngten Parzellen eine bedeutsame Zunahme des Proteingehaltes im Erntegut erzielt wird. Es kann daher nicht erwartet werden, daß Spät-düngungsmaßnahmen unabhängig von der vorausgegangenen N-Grunddüngung zur Wirkung kommen.

Im Zuge der Auswertung einer vierjährigen Serie von Feldversuchen auf der Versuchsstation Roggenstein konnte bereits aufgezeigt werden, daß der N-Aufnahme von Weizenbeständen eine obere, von den jeweiligen Wachstumsbedingungen modifizierte Kapazitätsgrenze gesetzt ist (FISCHBECK et al. 1997). N-Grund- und N-Spät-düngungsmaßnahmen wirkten dabei regelmäßig zusammen, um die zwischen der N-Versorgung aus Bodenvorräten und dieser Kapazitätsgrenze bestehende Lücke auszufüllen. Es gelang aber nicht, diese Kapazitätsgrenze in Kombinationen von hoher Grund- und hoher Spät-düngung wesentlich anzuheben. Vielmehr hat sich gezeigt, daß mit der Verteilung der Gesamt-N-Dosis auf Grund- und Spät-düngungsmaßnahmen die Verteilung des in die Biomasse aufgenommenen Stickstoffs auf Korn und Stroh systematisch verändert wurde. Der vorliegenden Untersuchung liegt daher die Fragestellung zu Grunde, wie die Verteilung von N-Grund- und N-Spät-düngungsmaßnahmen im Hinblick auf hohe Ertrags- und Qualitätssteigerungen optimiert werden kann und worin die Ursachen für unterschiedlich hohe Ausnutzungsraten begründet liegen.

Material und Methoden

Standortbeschreibung

Die Versuchsstation Roggenstein der TU München-Weihenstephan liegt ca. 40 km nordwestlich von München. Der Bodentyp ist als Parabraunerde, die Bodenart als sandiger Lehm anzusprechen. Die Profilmächtigkeit beträgt ca. 65 cm. C_r- und N_r-Gehalte in der Ackerkrume liegen bei 1,49% bzw. 0,13%. Die N_{min}-Vorräte zu Vegetationsbeginn waren mit Werten von 20 bis 35 kg N ha⁻¹ in 0–60 cm Tiefe stets sehr niedrig.

Das langjährige Niederschlagsmittel liegt bei 843 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur bei 8,1 °C. Witterungsdaten für die 4jährige Versuchsperiode sind in Tab. 1 für jeweils wichtige Entwicklungsphasen des Weizens angegeben.

Versuchsanlage

In den Jahren 1991/92 bis 1994/95 wurde eine zweifaktorielle Versuchsserie mit differenzierter Stickstoffgrunddüngung und unterschiedlicher N-Spät-düngung zu Winterweizen (Sorte Astron) 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⁻¹. In jeder Grunddüngungsstufe waren 10 Spät-düngungsstufen 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 Splitplot-anlage mit einer Parzellengröße von brutto 30 m² und 4 Wiederholungen angelegt. Die Nettoparzellen (Kernparzellen) für die Mähdruscherte bzw. für die Probenahme umfaßten 15 m².

Parzellen bei sonst gleicher Anbauweise aber ohne N-Düngergaben dienten als Kontrollparzellen, um die N-Versorgung aus den Bodenvorräten zu ermitteln.

Detailliertere Angaben zur Versuchsanlage sind bei FISCHBECK et al. (1997) nachzulesen.

Probennahmen und Untersuchungen

Zur Bestimmung des Trockenmassezuwachses wurden zu 5 Terminen (EC 30, EC 32, EC 49, EC 65/69 und EC 75) aus den dafür vorgesehenen Probeparzellen Schnittproben der oberirdischen Biomasse von jeweils 2 m Länge einer Saatreihe (0,23 m²) genommen. Im erntereifen Zustand wurden nochmals Schnittproben (0,23 m²) genommen, um die Ertragsstrukturkomponenten (Ähren m⁻² und Kornzahl pro Ähre), die Strohtrockenmasse und deren N-Gehalt zu bestimmen. Das Tausendkorngewicht und der N-Gehalt der Körner wurden aus den getrockneten Mähdruschproben ermittelt. Die Bestimmung des Stickstoffgehaltes erfolgte nach Kjeldahl mit einem Autoanalyser (Fa. Skalar).

Auswertung

Die biometrische Auswertung erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS (SPSS 1994). Soweit statistisch gerechtfertigt, sind jeweils die GD_{5%}-Werte angegeben. Wenn die Berechnung einer Grenzdifferenz nicht möglich war, sind die F-Werte aus der Varianzanalyse dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde dabei auf eine vollständige Wiedergabe der Varianzanalyse verzichtet und nur die F-Werte der beiden Faktoren „Grunddüngung“, „Spätdüngung“ sowie deren Wechselwirkung aufgeführt.

Der Harvest-Index (HI) sowie der Stickstoff-Harvest-Index (NHI) sind wie folgt berechnet:

HI: Korn trockenmasse / Gesamt trockenmasse × 100

NHI: N-Entzug Korn / Gesamt-N-Entzug × 100

Ergebnisse

Oberirdische Biomasse

Zur Kennzeichnung der Aufwuchsleistung sind in Tab. 3 Angaben zur Biomasse der Bestände in EC 65/69 und zur Ernte (EC 92) gegenübergestellt. Die jahrgangstypischen Differenzierungen (Tab. 3a) folgen tendenziell den auch in ungedüngten Parzellen ermittelten Unterschieden. Im Vergleich zu den ungedüngten Parzellen stieg die Aufwuchsleistung im Gefolge jeder Grunddüngungsmaßnahme erheblich und regelmäßig an. Zwischen den Grunddüngungsstufen waren die Unterschiede in der Aufwuchsleistung bis EC 65/69 in drei von vier Jahren zwar signifikant, jedoch nur von relativ geringer Dimension. Dabei zeigte die Schwankungsbreite der Jahrgangsdifferenzen mit zunehmender Dosierung der Grunddüngung eine abnehmende Tendenz. Die Aufwuchsleistung von EC 65/69 bis zur Erntereife nahm noch deutlich zu, insbesondere in der Abstufung zwischen geringer und mittlerer Dosierung. Im Gegensatz dazu bewirkten die Spätdüngungsmaßnahmen (Tab. 3b) kaum wahrnehmbare und in keinem Jahr gesicherte Veränderungen der Aufwuchsleistung. Nur bei der geringsten Dosierung der Grunddüngung war im 4jährigen Durchschnitt ein leicht positiver Einfluß zur Erntereife (EC 92) erkennbar. Die in einer vorausgegangenen Darstellung (FISCHBECK et al. 1997) bereits aufgezeigte Mehraufnahme von Stickstoff im Gefolge der in dieser Versuchsreihe praktizierten N-Spät-düngungsmaßnahmen blieb daher ohne Bedeutung für die Aufwuchsleistung der erzeugten Biomasse.

Tab. 3a: Wirkung der N-Grunddüngung auf die Bildung oberirdischer Biomasse (dt TM ha⁻¹) vor und während der Kornbildungsphase (EC 65/69 und EC 92)

Effect of basic fertilizer N applications on biomass production (dt ha⁻¹ dm) before and during grainfill (EC 65/69 and EC 92)

Grunddüngung (kg N ha ⁻¹)	1992		1993		1994		1995		Mittelwert	
	EC 65	EC 92	EC 69	EC 92	EC 69	EC 92	EC 69	EC 92	EC 65/69	EC 92
ungedüngt	91	113	74	73	75	83	117	141	89	102
70	120	174	127	159	112	151	136	181	124	166
100	127	185	125	175	116	169	131	187	125	179
130	132	189	136	180	129	176	139	189	134	184
GD 5%	5	7	5	6	6	6	5	5	3	3

Tab. 3b: Wirkung der N-Spätdüngung auf die Bildung oberirdischer Biomasse (dt TM ha⁻¹) vor und während der Kornbildungsphase (EC 65/69 und EC 92) (Mittelwerte 1992–1995)

Effect of late fertilizer N applications on biomass production (dt ha⁻¹ dm) before and during grainfill (EC 65/69 and EC 92) (mean values 1992–1995)

Spätdüngung (kg N ha ⁻¹)	G 70		G 100		G 130		Mittelwert			
	EC 65/69	EC 92	EC 65/69	EC 92	EC 65/69	EC 92	EC 65/69	EC 92		
0	123	162	125	177	135	182	128	173		
40	127	167	124	178	134	186	128	177		
80	120	167	126	182	132	184	126	178		
120	125	169	124	179	136	182	128	177		
	F-Werte						Grunddg.		19,8***	33,3***
							Spätdg.		1,3 (n. s.)	0,9 (n. s.)
							Wechselwirkung		0,6 (n. s.)	0,4 (n. s.)

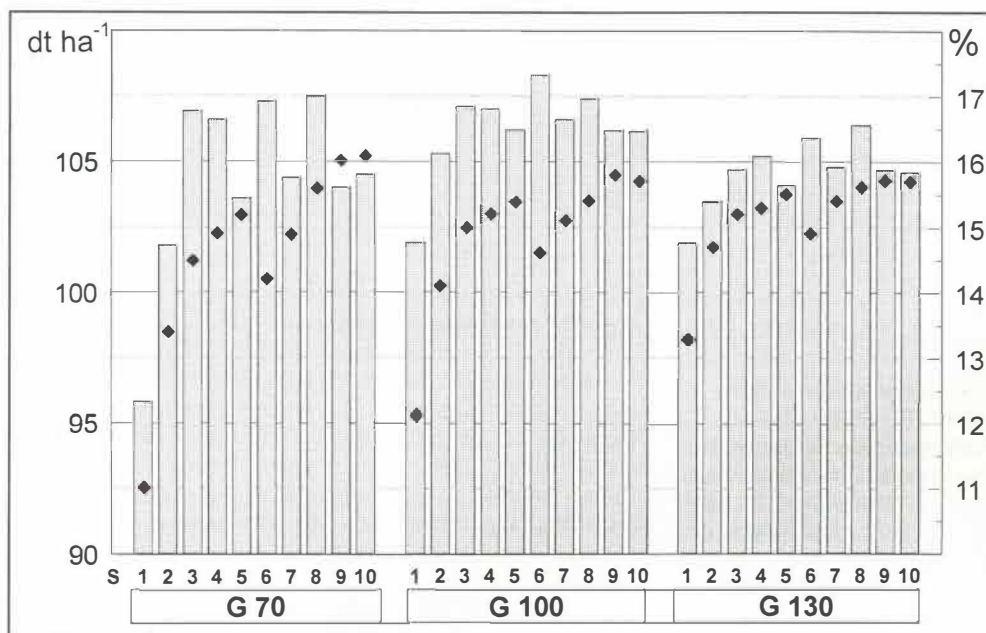


Abb. 1: Einfluß der N-Spät-düngung (S) auf den Kornertrag (Säulen, dt ha⁻¹ bei 86% TS) und den Gehalt an Rohprotein im Korn (Punkte) bei unterschiedlich dosierter N-Grunddüngung (G) (Mittelwerte 1992 bis 1995)

Effect of late fertilizer N applications (S) on kernel yield (bars, dt ha⁻¹ 86% dm) and kernel protein content (dots) at different levels of basic fertilizer N (G) (mean values 1992-1995)

Kornertrag und Gehalt an Rohprotein

Die Wuchsleistung und der in die oberirdische Biomasse aufgenommene Stickstoff bilden die Grundlage für den erzielten Kornertrag und dessen Proteingehalt. Im 4jährigen Durchschnitt gelang die volle Ausschöpfung des Ertragspotentials auch bei niedriger Grunddüngung immer dann, wenn zumindest ein Teil der späteren N-Düngung schon in EC 39 verabreicht wurde (Variante 3, 4, 6 und 8, Abb. 1). Mit dem Einsatz von insgesamt 80 kg ha⁻¹ Spät-N wurde in jeder Grunddüngungsstufe ein mittlerer Proteingehalt von etwa 14,5% erreicht, wenn ein Teil der Spät-düngung erst beim Ährenschieben (EC 49) ausgebracht wurde. Die Beschränkung auf nur eine Spät-düngung in Höhe von 80 kg N ha⁻¹ im Stadium EC 39 (Var. 6) hatte jedoch auch in der höchsten Stufe der Grunddüngung stets einen geringeren Proteingehalt zur Folge als die Aufteilung der gleichen Dosis (Variante 3, 4 und 5, Abb. 1). Dagegen konnte eine weitere Steigerung der mittleren Proteingehalte bis 16% durch Erhöhung der Spät-N-Dosierung auf 120 kg N ha⁻¹ (Variante 9 und 10) nur bei geringer Dosierung der N-Grunddüngung erreicht werden. Aus den in Tab. 3 dargestellten Unterschieden in der Aufwuchsleistung an oberirdischer Biomasse ist daher die bis zur Abreife anhaltende, systematische Differenzierung der Umsetzung dieser Wuchsleistungen in den Kornertrag und dessen Proteingehalt nur unvollständig erkennbar.

In drei von vier Versuchsjahren wurden entweder die Spitzenleistungen im Kornertrag oder im Proteingehalt, in 2 Jahren sogar beides, in einer der ausgewählten Spät-N-Varianten bei niedriger Grunddüngung erzielt (Tab. 4). In den Erntejahren 1993 und 1995 verschoben sich die Spitzenleistungen auf Grund der Besonderheiten des Witterungsablaufs (Tab. 1) zugunsten einer höheren Dosierung der N-Grunddüngung.

Im 4jährigen Mittelwert wurde die vollständige Ausschöpfung des vorhandenen Ertragspotentials bei zugleich sehr hohem Proteingehalt in der Kombination von niedriger Grunddüngung mit sehr hoher Spät-düngung (Variante 8, Abb. 1) realisiert. In einer vorausgehenden Mitteilung über die Aufnahme von Stickstoff in die oberirdische Biomasse (FISCHBECK et al. 1997) ist zudem bereits aufgezeigt worden, daß die diesen Düngungsmaßnahmen folgende Mehraufnahme an Stickstoff in die

erntereife Biomasse der verabreichten Gesamtdüngerdosis noch immer voll entsprach.

Ertragsstruktur

Hinweise auf die Ursachen der unterschiedlichen Verwertung des in der Biomasse enthaltenen Stickstoffs vermittelt die Analyse der Ertragsstruktur. Die Übersicht in Tab. 5a dokumentiert zunächst die erheblichen Unterschiede, welche die Ertragsstruktur jedes einzelnen Jahrgangs charakterisieren. Mit Ausnahme des Jahrgangs 1992 stimmen die Abstufungen der Bestandesdichte in den einzelnen Versuchsjahren weitgehend mit der Temperatursumme „Saat bis EC 30“ überein (Tab. 1 und 5a), während die beiden Trockenperioden in der Hauptwachstumszeit 1994 sowohl die Kornanlage als auch die Kornausbildung beeinträchtigten. Im Erntejahr 1993 bewirkten niedrige Tagesdurchschnittstemperaturen in Verbindung mit hohen Niederschlagsmengen in der Kornbildungsphase eine langsamere Abreife (hohe Temperatursumme) und die Ausbildung hoher Tausendkorngewichte. Unabhängig davon nahm aber mit ansteigender Dosierung der Grunddüngung die Bestandesdichte in jedem Jahr hochsignifikant und deutlich zu. Mit gleicher Regelmäßigkeit ging dabei jedoch die Kornzahl pro Ähre zurück, außerdem fiel auch das Tausendkorngewicht in der Regel signifikant ab, 1995 allerdings in nur sehr geringem Maße. Werden Bestandesdichte und Kornzahl pro Ähre zur Kornzahl pro Fläche zusammengefaßt und die Kornzahl pro Ähre mit dem Tausendkorngewicht zum Einzelährenertrag verbunden, so ist unverkennbar, daß mit steigender Grunddüngung höhere Kornzahlen pro Fläche erreicht werden, die sich jedoch mit einer wesentlich kräftiger ausgeprägten Tendenz zu sinkenden Einzelährenerträgen verbinden. Im 4jährigen Mittel wird deutlich (Tab. 5b), daß von der Handhabung der Grunddüngung zweifellos der dominierende Einfluß auf die düngungsbedingten Veränderungen der Ertragsstruktur ausgeht. Gesichert positive Auswirkungen der Spät-düngungsmaßnahmen wurden im 4jährigen Durchschnitt lediglich für die Kornzahl pro Ähre festgestellt. In der Verbindung mit dem (in einzelnen Jahren ebenfalls signifikant) ansteigenden Tausendkorngewicht kam ihnen jedoch die letztlich entscheidende Bedeutung zu. Wenn gleich infolge der Variabilität des Ertragsaufbaus in den

Tab. 4: Wirkung ausgewählter N-Spätdüngungsmaßnahmen auf den Kornertrag (KE, dt ha⁻¹) und den Gehalt an Rohprotein (RP, %) bei unterschiedlicher Grunddüngung (G)Effect of late fertilizer N applications on kernel yield (KE, dt ha⁻¹) and grain protein content (RP, %) obtained at different levels of basic fertilizer N applications (G)

		Spätdüngung (kg N ha ⁻¹) zu:			G 70		G 100		G 130		
		EC 39	EC 49	EC 59	KE	RP	KE	RP	KE	RP	
1992	1	-	-	-	107,6	11,9	113,0	13,7	107,1	14,5	
	2	-	40	-	112,8	14,5	113,2	14,8	110,1	14,9	
	3	40	40	-	113,8	15,3	112,1	15,3	109,3	15,1	
	4	40	-	40	116,9	15,2	114,1	15,1	110,3	15,2	
	6	80	-	-	113,7	15,2	115,5	15,0	110,6	15,2	
	7	-	80	-	115,0	15,3	113,3	15,0	110,8	15,3	
	8	40	80	-	114,2	15,8	114,0	15,3	114,0	15,3	
	10	-	40	80	114,1	15,6	112,6	15,2	110,5	15,5	
	1993	1	-	-	-	100,1	10,4	109,4	11,1	110,6	12,2
		2	-	40	-	107,2	12,6	113,3	13,2	113,4	13,5
3		40	40	-	112,1	13,8	114,9	14,2	113,1	14,2	
4		40	-	40	112,1	14,2	114,4	14,4	114,6	14,2	
6		80	-	-	111,4	13,9	113,9	14,1	115,3	13,7	
7		-	80	-	112,7	14,0	115,2	14,0	114,2	14,0	
8		40	80	-	113,3	15,2	112,7	14,8	115,9	14,5	
10		-	40	80	112,9	15,6	114,7	15,0	114,2	14,2	
1994		1	-	-	-	78,6	10,1	82,4	11,3	84,1	12,8
		2	-	40	-	84,5	12,9	87,3	13,9	86,7	14,7
	3	40	40	-	92,7	14,0	89,8	15,0	87,7	15,4	
	4	40	-	40	86,8	15,4	88,4	15,7	86,7	15,9	
	6	80	-	-	92,5	13,5	91,0	14,5	88,1	15,1	
	7	-	80	-	86,6	14,9	89,7	15,4	86,6	15,6	
	8	40	80	-	92,5	15,4	91,3	15,6	87,4	15,8	
	10	-	40	80	87,7	16,6	89,1	16,1	86,7	16,0	
	1995	1	-	-	-	96,8	11,5	102,9	12,5	106,0	13,6
		2	-	40	-	102,5	13,6	107,4	14,8	103,8	15,5
3		40	40	-	108,9	14,8	111,5	15,6	108,8	16,0	
4		40	-	40	110,7	14,9	111,1	15,5	109,2	15,9	
6		80	-	-	111,8	14,3	112,9	15,1	109,5	15,6	
7		-	80	-	103,4	15,4	108,2	16,0	107,6	16,5	
8		40	80	-	110,2	16,0	111,4	16,2	108,2	16,6	
10		-	40	80	103,0	16,5	108,5	16,7	107,2	17,0	
F-Werte											
Grunddüngung					45,8***	137,4***					
Spätdüngung					55,9***	663,0***					
Wechselwirkung					6,7***	28,6***					

einzelnen Versuchsjahren gleichsinnig wirksame Wechselwirkungen zwischen Grund- und Spätdüngungsmaßnahmen über die 4-jährige Versuchsdauer varianzanalytisch nicht gesichert werden konnten, macht die zusammenfassende Darstellung in Abb. 1 deutlich, daß positive Auswirkungen von Spätdüngungsmaßnahmen auf den Kornertrag in dieser Versuchsreihe insbesondere bei zurückhaltender Handhabung der Grunddüngung zu erreichen waren und vorwiegend durch die Steigerung des Einzelähnerertrages zustande gekommen sind (Tab. 5b).

Mit der Abstufung und Terminierung der einzelnen Spätdüngungsmaßnahmen wurden diese Relationen teilweise noch modifiziert (Abb. 2). Erwähnenswert erscheint die bei geringerer N-Grunddüngung nach frühzeitigem Einsatz (EC 39) höherer Spät-N-Gaben (Variante 6, 80 kg N ha⁻¹) eingetretene Steigerung der Bestandesdichte um durchschnittlich 20 Ähren m⁻². Kennzeichnend war für die niedrigste Stufe der Grunddüngung ferner die mit allen frühzeitig eingesetzten Spätdüngungsmaßnahmen (Varianten 3, 4, 6 und 8) erzielte deutliche Erhöhung der Kornzahl

pro Ähre und die mit steigenden Spät-N-Gaben (Varianten 3, 6 und 8) fast systematische Zunahme des Tausendkorngewichtes. Im Gegensatz dazu bewirkten frühe Spät-N-Gaben bei höherer N-Grunddüngung sehr häufig eine weitere Beeinträchtigung der ohnehin geringeren Korngröße (Abb. 2).

Diskussion

Der N-Gehalt der Biomasse ist nicht nur Voraussetzung (Quelle) für hohe Wachstumsraten, sondern die vorhandene Biomasse fungiert ebenso als Senke für den im Verlauf der Vegetationszeit aufgenommenen Stickstoff (FISCHBECK et al. 1992). Zwar hält der Zuwachs an Biomasse bis zur Abreife der Pflanzen an, die Steigerung der Aufwuchsleistung heutiger Weizenbestände durch hohe N-Grunddüngung ist jedoch wesentlich geringer zu veranschlagen, als allgemein bekannt ist oder angenommen wird (Tab. 3).

Die vergleichende Gegenüberstellung von Kornertrag und Proteingehalt in Abbildung 1 macht vollends deutlich, daß für die in der vorliegenden Versuchsserie ermittelte und durch Düngungsmaßnahmen bewirkte N-Aufnahme die vorhandene Biomasse sehr viel stärker als Senke für das verfügbare N-Angebot gedient hat, als sie zu einer Steigerung der Aufwuchsleistung beitragen konnte (FISCHBECK et al. 1997). Sättigungseffekte für die Biomasseproduktion treten daher schon bei erheblich geringerem N-Angebot in Erscheinung, als dies für die N-Konzentration in der Biomasse zutrifft.

Noch vor der weitergehenden Annäherung an die Kapazitätsgrenze für die N-Aufnahme wurde die ansonsten weitgehend dosisabhängige N-Einlagerung in die Körner nahezu abrupt beendet, und der noch zusätzlich aufgenommene Stickstoff verblieb im Stroh (FISCHBECK et al. 1997). Allerdings kam dabei eine nach der Höhe der Grunddüngung abgestufte Differenzierung deutlich zum Ausdruck. Bei ähnlicher Gesamt-N-Dosis gelangte regelmäßig ein höherer Anteil der zusätzlichen N-Aufnahme aus der Spätdüngung in das Korn, je vorsichtiger die Grunddüngung gehandhabt wurde, obwohl die Produktion an oberirdischer Biomasse geringer war (Tab. 3). Auf dieser Basis sind auch die in Abb. 1 dargestellten Relationen zwischen Kornertrag und Proteingehalt in der vorliegenden Versuchsreihe zu verstehen.

An Hand der Berechnung der auf die Einheit Biomasse-N entfallenden durchschnittlichen Produktionsleistung wird deutlich, daß die Kornerzeugung je kg Biomasse-N auf ungedüngten Parzellen am höchsten ausfiel und mit zunehmender Düngung systematisch um nahezu 50% zurückging (Abb. 3). Dagegen differierte die Erzeugung von Kornprotein je kg Biomasse-N nur um etwa 10% um einen Mittelwert von 4,6 kg Protein pro kg Biomasse-N. Diesem Mittel entsprach bereits die Bildung von Protein im Erntegut ungedüngter Parzellen. Im Vergleich dazu konnte die Bildung von Korn-Protein je Einheit Biomasse-N bei geringer Dosierung der Grunddüngung sogar noch gesteigert werden, während sie bei hoher Dosierung der Grunddüngung auch ohne zusätzliche Spätdüngung stets

unterdurchschnittlich ausfiel und mit den Spät-N-Gaben in systematischer Weise weiter abnahm. Diese auf den ersten Blick überraschenden Unterschiede an düngungsbedingten Veränderungen der in Abb. 3 verzeichneten Parameter weisen auf die dominierende Rolle des Proteinstoffwechsels während der reproduktiven Phase der Pflanzenentwicklung hin (ELLEN & SPIERTZ 1980), der augenscheinlich engeren Regulationsmechanismen unterliegt, als sie für die Gesamteinlagerung von Reservestoffen in das Korn gültig sind. Bei hoher N-Nachlieferung aus dem Boden können schon relativ geringe zusätzliche Düngergaben die zumindest zeitweilige Annäherung an eine vollständige Ausschöpfung der Photosynthesekapazität des Weizenbestandes bewirken. Steht darüber hinaus pflanzenaufnehmbarer Stickstoff zur Verfügung, wird seine Aufnahme ermöglicht, solange die bereits vorhandene Biomasse die dafür erforderliche Sinkkapazität schafft. Wenn dann mit der Kornentwicklung die Sinkkapazität nahezu vollständig in die Ähre verlagert wird, fällt auch die Entscheidung, wie weit neben der noch andauernden N-Aufnahme auch der vorher bereits in die Biomasse eingelagerte Stickstoff im Zuge von Remobilisierungsprozessen in den Kornbildungsprozeß einbezogen werden kann (VAN SANFORD & MACKOWN 1987).

Systematisch differenzierende Bedeutung kommt dabei dem von den Düngungsmaßnahmen beeinflussten Aufbau der Ertragsstruktur zu (Tab. 5 und Abb. 2), insbesondere im Hinblick auf die von der Grunddüngung bestimmten Ausprägung der Bestandesdichte. Der durch geringe Dosierung der Grunddüngung bedingte Verzicht auf maximale Zuwachsraten oberirdischer Biomasse vor dem Eintritt in die Kornbildungsphase (Tab. 3a) schuf somit die Voraussetzungen für die Entwicklung hoher Einzelähnerträge, die dann durch Spätdüngungsmaßnahmen noch weiter gesteigert werden können (FISCHBECK et al. 1993). Auf dem bei hoch dosierter N-Grunddüngung generell abgesenkten Niveau der Einzelähnergewichte gelingt dies entweder nur in abgeschwächtem Umfang oder nur noch bei geringen Dosierungen der Spätdüngung. Die maßgebliche Bedeutung hoher Einzelähnergewichte für die Ver-

Tab. 5a: Wirkung der N-Grunddüngung auf Bestandesdichte, Kornzahl pro Ähre, Tausendkorngewicht sowie Einzelähnergewicht und Kornzahl pro Fläche

Effect of basic fertilizer N applications on ears m^{-2} , number of grains per ear, thousand kernel weight as well as single ear weight and number of kernels per area

Grunddüngung (kg N ha^{-1})	Bestandesdichte (Ähren m^{-2})				Kornzahl pro Ähre				1000-Korngewicht (g bei 86% TM)			
	1992	1993	1994	1995	1992	1993	1994	1995	1992	1993	1994	1995
0	373	253	308	437	38,1	37,2	29,4	35,4	43,8	47,4	45,8	45,6
70	501	416	441	567	43,9	45,3	38,8	33,6	48,2	51,9	47,0	48,9
100	548	461	524	613	42,1	45,0	36,2	32,0	45,3	50,0	44,7	48,4
130	561	501	571	626	41,9	43,2	34,7	30,9	44,3	48,0	42,3	48,5
GD 5%	21	16	19	22	1,3	1,3	1,3	1,3	0,4	0,5	0,7	0,5

Grunddüngung (kg N ha^{-1})	Einzelähnergewicht (g bei 86% TM)				Kornzahl pro Fläche (1000 m^{-2})			
	1992	1993	1993	1995	1992	1993	1994	1995
0	1,80	1,69	1,36	1,58	14,2	9,4	9,0	15,5
70	2,09	2,36	1,83	1,62	22,0	18,8	17,1	19,0
100	1,79	2,26	1,59	1,49	23,0	20,7	19,0	19,6
130	1,77	2,06	1,45	1,45	23,5	21,6	19,8	19,3
GD 5%	0,06	0,06	0,05	0,05	0,9	0,8	0,8	0,5

Tab. 5b: Wirkung der N-Spätdüngung (S) auf Bestandesdichte, Kornzahl pro Ähre, Tausendkorngewicht sowie Einzelährengewicht und Kornzahl pro Fläche (Mittelwerte 1992–1995)

Effect of late fertilizer N applications (S) on ears m⁻², number of grains per ear, thousand kernel weight as well as single ear weight and number of kernels per area (mean values 1992–1995)

N-Grunddüngung		Bestandesdichte (Ähren m ⁻²)			Kornzahl pro Ähre			1000-Korngewicht (g bei 86% TM)			Einzelährengewicht (g bei 86% TM)			Kornzahl pro Fläche (1000 m ⁻²)		
		G70	G100	G130	G70	G100	G130	G70	G100	G130	G70	G100	G130	G70	G100	G130
S	0	482	536	570	39,8	38,3	37,0	48,0	46,7	45,9	1,90	1,72	1,65	19,1	20,3	20,9
S	40	487	536	572	39,1	38,3	37,8	49,3	47,5	45,9	1,95	1,77	1,70	18,8	20,4	21,4
S	80	479	542	557	41,0	39,2	38,6	49,2	47,0	45,4	2,02	1,81	1,71	19,5	21,0	21,3
S	120	477	531	560	41,6	39,5	37,3	49,5	47,2	45,9	2,05	1,83	1,68	19,6	20,7	20,5
F-Wert																
Grunddüngung		36,7***			5,3**			37,7***			21,9***			16,7***		
Spätdüngung		0,5 n. s.			1,1 n. s.			2,9*			1,5 n. s.			1,4 n. s.		
Wechselwirkung		0,3 n. s.			0,3 n. s.			0,4 n. s.			0,2 n. s.			0,4 n. s.		

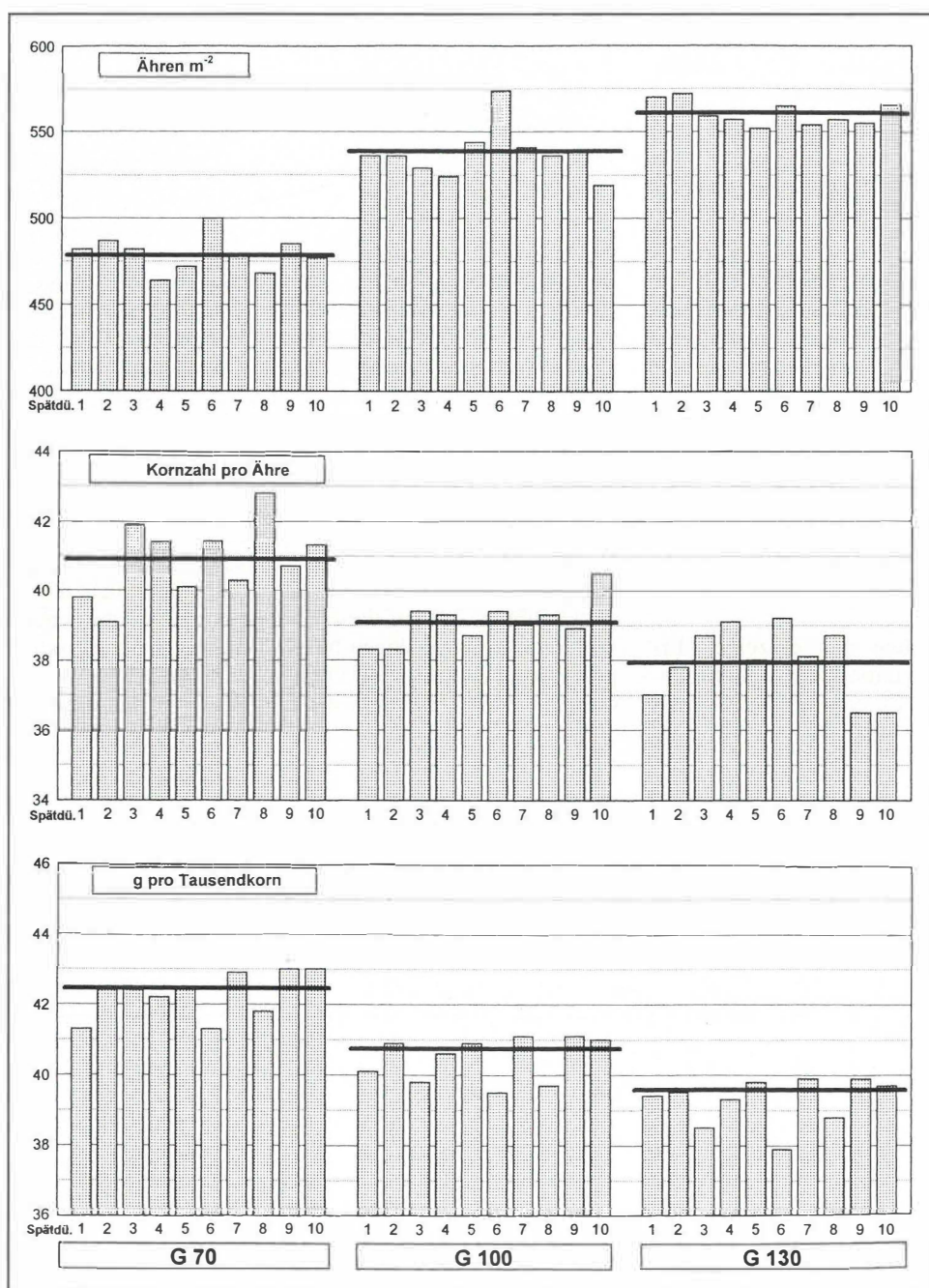


Abb. 2: Veränderung der Ertragsstruktur unter dem Einfluß von N-Grund- und N-Spätdüngungsmaßnahmen (Mittelwerte 1992 bis 1995)

Changes in yield structure as influenced by level of basic N fertilizer supply and variants of late fertilizer N applications (mean values 1992–1995)

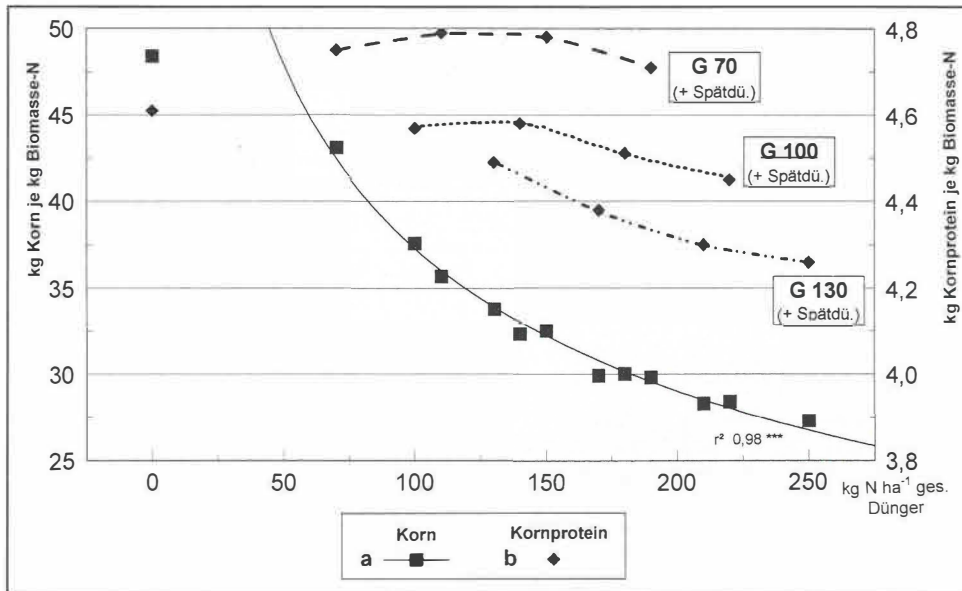


Abb. 3: Funktionale Beziehungen zwischen der N-Akkumulation in der erntereifen Biomasse (EC 92) aus Bodennachlieferung und mineralischer N-Düngung im Bereich zunehmender Dosierung aus Grund- und Spätungsmaßnahmen und a) der Kornbildung (kg kg⁻¹ Biomasse N) sowie b) der Erzeugung von Kornprotein (kg kg⁻¹ Biomasse N)

Functional relations for biomass N accumulation (EC 92) from soil sources and fertilizer N supply in the range of total N dosage increase from basic and late N applications for a) kernel production (kg kg⁻¹ biomass N) and b) kernel protein production (kg kg⁻¹ biomass N)

wertung eines hauptsächlich aus Spätungsmaßnahmen herrührenden erhöhten N-Angebotes während der Kornbildung und Abreife geht aus der in Tab. 6 aufgeführten Berechnung der Ernteindizes und N-Ernte-Indices hervor. Es ist augenscheinlich die Sink-Funktion der Ähre, die maßgeblichen Einfluß auf die Entleerung des in der vegetativen Biomasse enthaltenen Vorrats an Stickstoff ausübt. Untersuchungen von RETZER (1995) an unterschiedlich großen Ähren aus den gleichen Parzellen belegen, daß weder im Korn noch im Stroh großer bzw. mittelgroßer Ähren Unterschiede im N-Gehalt bestehen, hingegen sowohl die Körner als auch das Stroh kleiner Ähren deutlich höhere N-Gehalte aufweisen.

Negative Korrelationen zwischen den einzelnen Ertragskomponenten sind ein charakteristischer Befund einschlägiger Untersuchungen (ANDERL et al. 1981; MÜLLER et al. 1991). Sie können jedoch durch ein beträchtliches

Kompensationspotential (AUFHAMMER 1986) zumindest teilweise abgepuffert werden. Es ist aber nicht genau bekannt, wie sie im Einzelfall zustande kommen. Unter den gegebenen Verhältnissen dürfte der Wasserkonkurrenz in den fast in jedem Jahr zu verzeichnenden Trockenperioden eine größere Bedeutung zukommen als der aber ebenfalls denkbaren Lichtkonkurrenz (insbesondere bei ungleichmäßiger Wuchshöhe). Die Ursache der vorteilhaften Wechselwirkung zwischen zurückhaltender Grunddüngung und hoher Effizienz der Spätung ist nicht nur in der damit eher vermeidbaren Überschreitung der N-Aufnahmekapazität zu sehen, sondern läßt sich auch darauf zurückführen, daß auf diesem Wege durch Abschwächung von Reduktionsvorgängen beim Übergang in die reproduktive Phase (HÄNSEL 1955) eine hohe Kornzahl pro Fläche ohne Steigerung von intraspezifischen Konkurrenzeffekten erreicht wird und die zu hohen Einzelährengewichten heran-

Tab. 6: Einfluß von N-Spätungsmaßnahmen (S) auf das Einzelährengewicht (EÄ, g), die Kornzahl pro Fläche (KZ, 1000 m⁻²) sowie auf den Ernteindex (HI) und den N-Harvest-Index (NHI) bei unterschiedlicher Grunddüngung (G)

Effect of late fertilizer N applications (S) on single ear weight (EÄ, g), number of kernels per area (KZ, 1000 m⁻²), harvest index (HI) and N-harvest-index (NHI) at different levels of basic fertilizer N applications (G)

S			G70				G100				G130			
EC 39	EC 49	EC 59	EÄ	KZ	HI	NHI	EÄ	KZ	HI	NHI	EÄ	KZ	HI	NHI
-	-	-	1,90	19,1	51,0	83,3	1,72	20,3	49,6	80,2	1,65	20,9	48,3	78,9
-	40	-	1,95	18,8	52,6	84,2	1,77	20,4	50,7	80,4	1,70	21,4	47,9	76,7
40	40	-	2,05	19,9	54,0	83,6	1,80	20,7	52,2	79,1	1,68	21,4	50,8	76,1
40	-	40	2,07	19,1	55,3	84,5	1,83	20,4	51,7	79,5	1,74	21,6	47,8	75,0
80	-	-	1,99	20,4	53,8	82,8	1,79	22,4	49,2	79,2	1,70	22,0	49,1	75,3
-	80	-	2,00	19,1	54,0	84,4	1,81	20,8	50,3	79,1	1,72	20,9	48,9	75,6
40	80	-	2,06	19,8	55,4	83,1	1,80	20,8	51,8	77,9	1,70	21,3	49,5	73,6
-	40	80	2,07	19,3	52,7	82,9	1,88	20,8	51,0	78,3	1,65	20,3	48,9	74,1
GD 5%			0,21	4,0	2,8	2,9	0,20	4,2	2,8	3,3	0,18	4,2	2,2	4,1

reifenden Halme die notwendige Sinkkapazität entwickeln, um den in der vegetativen Biomasse angereicherten Stickstoff mit einem überdurchschnittlichen Wirkungsgrad in die Kornbildung einbeziehen zu können.

Literatur

- ANDERL, A., A. MANGSTL & L. REINER, 1981: Ertragsstruktur bei Winterweizen, dargestellt an der Datenbasis ISPLANZ. Bayer. Landw. Jb. **58**, 455–468.
- AUFHAMMER, W., 1986: Zur Bedeutung der Kompensationsfähigkeit eines Weizenbestandes. Kali Briefe (Büntehof) **18**(5), 357–370.
- ELLEN J. & J. H. J. SPIERTZ, 1980: Effects of rate and timing of nitrogen dressings on grain yield formation of winter wheat. Fert. Res. **1**, 177–190.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT & R. MÜLLER, 1992: 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, 1993: Untersuchungen zur Optimierung der N-Aufnahme von Winterweizenbeständen durch ergänzende Düngungsmaßnahmen. J. Agr. Crop. Sci. **171**, 82–95.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT & F. X. MAIDL, 1997: Aufnahme und Wirkung von Stickstoff bei Einsatz von Spätdüngungsmaßnahmen zu Winterweizen. Pflanzenbauwissenschaften **1**, 49–56.
- HÄNSEL, H., 1955: Entwicklungs-Relationen ertragsbildender Organe von Winterweizen (und Winterroggen) und ihre Bedeutung für Termine zusätzlicher Nährstoff- und Wassergaben. Z. Acker- und Pflanzenbau **100**, 85–98.
- MÜLLER, S., H. ANSORGE & I. WEIGERT, 1991: Einfluß der Stickstoffdüngung auf Ertrag, Ertragsstruktur und N-Verwertung von Winterweizen – Möglichkeiten und Grenzen der Bestandesführung. Z. Pflanzenern., Bdk. **15**, 115–119.
- RETZER, F., 1995: Untersuchungen zur Stickstoffverwertung von Winterweizenbeständen. Diss. TUM-Weihenstephan.
- SPSS, 1994: SPSS for Windows. Version 6. SPSS, Inc.
- VAN SANFORD, D. A. & C. T. MACKOWN, 1987: Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat. Crop Sci. **27**, 295–300.

Eingegangen am 12. März 1997;
angenommen am 17. September 1997

Anschrift der Verfasser:
em. Prof. 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