

Beziehungen zwischen dem Kornertrag und den Konzentrationen von Protein, Phosphor und Kalium in den Körnern von Sommerweizensorten

Relationships between Grain Yield and Concentrations of Protein, Phosphorus and Potassium in the Grains of Spring Wheat Cultivars

B. Feil & Marianne Bänziger

Institut für Pflanzenwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Zusammenfassung

In einem im Schweizer Mittelland durchgeführten zwei-jährigen Feldversuch mit 11 Sommerweizensorten/-linien sollte geklärt werden, wie sich der Anbau ertragreicherer Sorten auf die Konzentrationen von Stickstoff (N) bzw. Rohprotein ($N \times 5,7$), Phosphor (P) und Kalium (K) in den Körnern auswirkt. Gemittelt über die Jahre und vier N-Düngungsvarianten variierte die Rohproteinkonzentration der Sorten von 113 bis 153 g kg⁻¹, die P-Konzentration von 2,89 bis 3,55 g kg⁻¹ und die K-Konzentration von 2,57 bis 3,18 g kg⁻¹. Die Rohproteinkonzentration fiel unabhängig von der Höhe und Verteilung der N-Düngung mit zunehmendem Kornertrag ab ($r = -0,70^*$, $-0,88^{***}$, $-0,89^{***}$, $-0,89^{***}$ in den vier geprüften N-Düngungsvarianten; $r = -0,89^{***}$ gemittelt über die N-Düngungsvarianten). Im Gegensatz zur K- ($r = 0,15^{ns}$) war die P-Konzentration in den Körnern negativ mit dem Kornertrag korreliert ($r = -0,84^{**}$). Die unterschiedlichen Korrelationen erklären sich möglicherweise aus den sehr unterschiedlichen Ernteindizes (= Nährstoffmenge im Korn: gesamte Nährstoffmenge im Sproß) bei N und P (0,83) einerseits und K (0,24) andererseits. Der ertragszuwachsbedingte Rückgang der Korn-P-Konzentration könnte zwar insbesondere bei geringem Korngewicht die Saatgutqualität beeinträchtigen, bringt aber auch einige Vorteile: Dem Boden wird weniger P pro Ertragseinheit entzogen, und die mit dem Phytat (= Hauptspeicherform von P in Getreidekörnern) assoziierten ökologischen und ernährungsphysiologischen Probleme werden verringert.

Schlüsselworte: Protein, Phosphor, Kalium, Ertragsfortschritt, Körner, Weizen

Summary

A two-year field study including 11 spring wheat cultivars/lines was conducted in the Swiss midlands to assess how cultivation of high-yielding cultivars affects the concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in the grains. Averaged across the years and four N fertilization regimes, the concentrations of crude protein ($N \times 5.7$), P, and K varied from 113 to 153 g kg⁻¹, 2.89 to 3.55 g kg⁻¹, and 2.57 to 3.18 g kg⁻¹, respectively. The concentration of N decreased with increasing grain yield, independent of the rate and timing of N fertilizer application ($r = -0.70^*$, -0.88^{***} , -0.89^{***} , -0.89^{***} in the four N fertilization regimes; $r = -0.89^{***}$ averaged across the

N fertilization regimes). In contrast to K ($r = 0.15^{ns}$), the P concentration in the grains was negatively correlated with grain yield ($r = -0.84^{**}$). The divergent correlations may be explained by the fact that the harvest indices (= amount of nutrients in the grains: total amount of nutrients in the shoots) differed markedly for N and P (0.83) on the one hand and K (0.24) on the other. The decline in grain P concentration associated with higher yields may reduce the quality of seed wheat, especially when the grain weight is low, but it also offers some advantages: less P per unit yield is removed from the soil, and environmental and nutritional problems linked to phytate, the major storage form of grain P in cereals, are reduced.

Keywords: grain protein, grain phosphorus, grain potassium, yield progress, wheat

Einleitung

Weizen ist zwar primär ein Lieferant hochverdaulicher Kohlenhydrate, stellt aber auch eine bedeutende Quelle von Protein und Mineralstoffen für den Menschen dar. Weltweit werden ca. 22% des Proteinverbrauchs von Weizen gedeckt (FAO 1998). Daneben ist Weizen selbst in entwickelten Ländern, in denen vergleichsweise wenig Getreide direkt vom Menschen konsumiert wird, eine bedeutende Quelle von Mineralstoffen (HAZELL 1985). Mit steigender Proteinkonzentration nimmt die Lysinkonzentration im Protein ab; das Protein von Hochproteinweizen weist also eine relativ geringe biologische Wertigkeit auf. Aus ernährungsphysiologischer Sicht ist jedoch die Konzentration von Lysin in der Korntrockenmasse das relevantere Merkmal. Wegen der zunehmenden Lysinkonzentration in der Korntrockenmasse (MOSSÉ et al. 1985, JOHNSON & MATTERN 1987) und der höheren Verdaulichkeit des Proteins (EGGUM & BEAMES 1983) verbessert sich die ernährungsphysiologische Qualität von Weizen mit zunehmender Proteinkonzentration. Die technologische Qualität des Weizens wird ebenfalls stark von der Proteinkonzentration beeinflusst; je nach Verwertungsrichtung werden unterschiedliche Proteinkonzentrationen verlangt (CHUNG & POMERANZ 1985). Aus ernährungsphysiologischer Sicht sind zumeist hohe Mineralstoffkonzentrationen zu bevorzugen. Eine Sonderstellung unter den Mineralstoffen nimmt der Phosphor ein. In Getreidekörnern liegt ca. 70% des Phosphors als Phytat vor (LOLAS et al. 1976, RABOY et al. 1991, RABOY 1997). Phytat kann gesundheitliche (REDDY et al. 1982, ZHOU & ERDMAN 1995) und

ökologische (FEIL & FOSSATI 1997) Probleme verursachen.

BOSEMARK (1993) betrachtete die Nutzung des genetischen Ertragsfortschritts als die billigste und umweltverträglichste Möglichkeit, die Versorgung der schnell wachsenden Weltbevölkerung mit Nahrung zu sichern. In Getreidesortimenten sind Korntrag und Kornproteinkonzentration jedoch häufig negativ korreliert (SIMMONDS 1995, FEIL 1997, FEIL 1998). Folglich ist damit zu rechnen, daß die Nutzung des genetischen Ertragsfortschritts ohne Erhöhung der N-Düngung die Proteinkonzentration tendenziell senkt. Es gibt Hinweise, daß mit dem Anbau von ertragreicheren Weizensorten auch die Mineralstoffkonzentrationen absinken könnte (PETERSON et al. 1983, BATTEN 1986, RABOY et al. 1991, FEIL & BÄNZIGER 1993). Negative Beziehungen zwischen Ertragsleistung und den Konzentrationen zahlreicher Mineralstoffe wurden auch beim Weizen-Roggen-Hybriden Triticale beobachtet (FEIL & FOSSATI 1995).

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, die Variabilität der Konzentrationen von Protein, Phosphor (P), und Kalium (K) in den Körnern eines Sommerweizensortiments zu bestimmen. Insbesondere sollte geklärt werden, ob der Anbau ertragreicherer Sorten die Konzentrationen der zuvor genannten Inhaltsstoffe senkt.

Material und Methoden

Vier in der Schweiz zugelassene Sommerweizensorten (Albis, Calanda, Munk, Remia) und sieben Zuchtlinien (8715, 94052, 94419, 94491, 94502, 94591, 94598) wurden in zwei Feldexperimenten angebaut. Munk wurde in Deutschland, die Linie 8715 in den Niederlanden gezüchtet; die übrigen Sorten und Linien stammen aus der Schweiz. Die Linien werden im folgenden ebenfalls als Sorten bezeichnet. Die Versuche wurden in Delley FR (500 m ü.M.) in den Jahren 1989 und 1990 durchgeführt. Der Boden war ein sandiger Lehm mit einem C-Gehalt von 1,7% und einem pH (H₂O) von 7,5. Die P- und K-Gehalte des Oberbodens (0–30 cm) befanden sich nach Angaben des Beratungsdienstes der LONZA im Optimalbereich. P und K wurden mit Ammoniumacetat-EDTA (pH 4.65) extrahiert; die Konzentrationen im Filtrat wurden mittels ICP-AES bestimmt.

Die Saat erfolgte am 14. 3. 1989 und am 12. 3. 1990. Die Saatstärke betrug 400 Körner m⁻². Die Ernte wurde am 3. 8. 1989 und am 6. 8. 1990 durchgeführt. Gegen Un-

kräuter, Ungräser, Insekten und Blattkrankheiten wurden geeignete Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Es trat kaum Lager auf. Zwischen Saat und Ernte fielen 291 (1989) und 355 (1990) mm Regen. Nach den Unterlagen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (Zürich) betrug die kumulative potentielle Evapotranspiration während dieses Zeitraums 441 (1989) und 367 (1990) mm.

In beiden Jahren enthielt der Boden bis 100 cm Tiefe zur Zeit der Saat 50 kg N_{min} ha⁻¹. Der N-Dünger wurde bei der Saat, während der Bestockung (EC 23) und während des Ährenschiebens (EC 55) der Referenzsorte Albis appliziert. Es gab vier N-Düngungsvarianten: 20 + 20 + 0 (= N1), 60 + 30 + 0 (= N2), 20 + 20 + 50 (= N3) und 60 + 30 + 50 (= N4). Zur Saat und Bestockung wurde NH₄NO₃ gedüngt, während beim Ährenschieben Ca (NO₃)₂ eingesetzt wurde.

Die aus sieben Reihen bestehenden Parzellen waren 3,7 m² groß. Der Reihenabstand betrug 15 cm. Von den zentralen drei Reihen wurden während der Reife 0,27 m² abgeerntet. Aliquote des geernteten Materials wurden im Trockenschrank bei 65 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die getrockneten Proben wurden gewogen und gemahlen, wobei der Durchmesser der Sieblöcher 1 mm betrug. Die N-Konzentration des Materials wurde mit einer Kjeldahl-Methode bestimmt. Die P- und K-Konzentrationen wurden colorimetrisch (P) bzw. atomabsorptionsspektrometrisch (K) nach Naßveraschung der Proben (H₂SO₄ + H₂O₂; 300 °C über 4 h) gemessen.

Der Versuch war als Spaltanlage mit vier Wiederholungen angelegt, wobei die beiden Varianten der frühen N-Düngung (Düngung zur Saat und zum Stadium EC 23) die Hauptstücke bildeten. In den Varianzanalysen wurde der Faktor Jahr als zufällig betrachtet (GOMEZ & GOMEZ 1984). Da nur in wenigen Fällen signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren Sorte und Jahr bzw. Sorte und N-Düngung auftraten, werden in den Tabellen ausschließlich Mittelwerte über die Jahre und N-Varianten gezeigt.

Ergebnisse und Diskussion

Variabilität der untersuchten Merkmale

Die den Korrelationsanalysen zugrundeliegenden Daten sind übersichtsweise in den Tab. 1 und 2 präsentiert. Die erzielten Erträge (Tab. 1) sind praxisüblich; die N-, P- und K-Konzentrationen in den Körnern (Tab. 1) stimmen gut mit den in der Literatur genannten Werten überein. In

Tab. 1: Maximum, Minimum, Mittelwert, SE und F-Test für Merkmale der Körner in einem Sortiment von 11 Sommerweizensorten. Die Daten sind Mittelwerte von vier N-Düngungsvarianten und zwei Jahren

Maximum, minimum, mean, SE, and F-test for grain-related traits in a set of 11 spring wheat cultivars. Data are averages across four N regimes and two years

	Erträge yields			Nährstoffkonzentrationen nutrient concentrations			TKG 1000 kernel weight	Nährstoffmenge pro Korn nutrient content per grain			
	Trocken- masse dry matter	N	P	K	N	P		K	N	P	K
Einheit/Unit	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g	mg	mg	mg
Maximum	7,79	156,6	22,4	22,8	26,62	3,55	3,18	44,7	1,136	0,154	0,138
Minimum	5,53	138,9	18,7	16,6	19,88	2,89	2,57	36,4	0,756	0,109	0,097
Mittelwert/mean	6,43	147,9	20,4	18,8	23,09	3,20	2,92	41,2	0,951	0,132	0,121
SE	0,20	3,9	1,0	1,3	0,29	0,10	0,10	0,7	0,020	0,005	0,005
F-Test	***	+	ns	*	***	*	*	***	***	**	**

+, *, **, *** signifikant bei P = 0,10, 0,05, 0,01 und 0,001; ns = nicht signifikant

+, *, **, *** significant at P = 0.10, 0.05, 0.01 und 0.001; ns = not significant

Tab. 2: Maximum, Minimum, Mittelwert, SE und F-Test für Merkmale der oberirdischen Biomasse in einem Sortiment von 11 Sommerweizensorten. Die Daten sind Mittelwerte von vier N-Düngungsvarianten und zwei Jahren

Maximum, minimum, mean, SE, and F-test for traits of the above-ground biomass in a set of 11 spring wheat cultivars. Data are averages across four N regimes and two years

	Erträge yields				Nährstoffkonzentration nutrient concentrations			Ernteindices harvest indices			
	Trocken- masse dry matter	N	P	K	N	P	K	Trocken- masse dry matter ^a	N ^b	P ^b	K ^b
Einheit/ Unit	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹				
Maximum	15,3	190,9	27,3	89,2	12,00	1,90	6,15	0,521	0,857	0,875	0,284
Minimum	12,5	170,2	23,1	73,9	15,11	1,69	5,47	0,425	0,811	0,793	0,197
Mittelwert/mean	13,8	179,0	24,7	80,4	12,93	1,80	5,80	0,466	0,830	0,834	0,239
SE	0,3	4,7	0,1	3,5	0,15	0,06	0,18	0,008	0,010	0,018	0,010
F-Test	***	*	ns	+	***	ns	ns	***	ns	ns	***

+ , * , *** signifikant bei $P = 0,10, 0,05$ und $0,001$; ns = nicht signifikant

+ , * , *** significant at $P = 0.10, 0.05,$ and 0.001 ; ns = not significant

^a Trockenmasseernteindex: Anteil der Korntrockenmasse an der gesamten Trockenmasse des Sprosses

^b N-, P-, K-Ernteindex: Anteil der Nährstoffmasse im Korn an der gesamten Nährstoffmasse des Sprosses

^a Dry matter harvest index: ratio of grain dry matter to total shoot dry matter

^b N, P, K harvest indices: ratio of the amount of nutrients in the grains to total amount of the nutrients in the shoots

Tab. 3: Korrelationen (r) zwischen verschiedenen Merkmalen in einem Sortiment von 11 Sommerweizensorten. Die Sortenmittelwerte basieren auf vier N-Düngungsvarianten und zwei Versuchsjahren

1 = Kornertrag; 2 = Korn-N-Masse; 3 = Korn-P-Masse; 4 = Korn-K-Masse; 5 = Korn-N-Konz.; 6 = Korn-P-Konz.; 7 = Korn-K-Konz.; 8 = TKG; 9 = N-Menge pro Korn; 10 = P-Menge pro Korn; 11 = K-Menge pro Korn; 12 = oberirdische Biomasse; 13 = N-Masse im Sproß; 14 = P-Masse im Sproß; 15 = K-Masse im Sproß; 16 = N-Konz. im Sproß; 17 = P-Konz. im Sproß; 18 = K-Konz. im Sproß; 19 = Trockenmasse-Ernteindex; 20 = N-Ernteindex; 21 = P-Ernteindex; 22 = K-Ernteindex

Correlations (r) between various traits in a set of 11 spring wheat cultivars. Cultivar means are based on four N regimes and two years

1 = Grain yield; 2 = grain N yield; 3 = grain P yield; 4 = grain K yield; 5 = grain N conc.; 6 = grain P conc.; 7 = grain K conc.; 8 = 1000-kernel weight; 9 = amount of N per grain; 10 = amount of P per grain; 11 = amount of K per grain; 12 = above-ground biomass; 13 = total shoot N; 14 = total shoot P; 15 = total shoot K; 16 = shoot N conc.; 17 = shoot P conc.; 18 = shoot K conc.; 19 = dry matter harvest index; 20 = N harvest index; 21 = P harvest index; 22 = K harvest index

	1	2	3	4	5	6	7
2	0,50						
3	0,81**	0,31					
4	0,90***	0,39	0,87***				
5	-0,89***	-0,05	-0,78**	-0,84***			
6	-0,84**	-0,51	-0,39	-0,64	0,70*		
7	0,15	-0,02	0,46	0,56+	-0,20	0,17	
8	-0,08	0,21	-0,02	0,13	0,21	0,14	0,44
9	-0,67*	0,08	-0,56+	-0,50	0,82**	0,57+	0,12
10	-0,58+	-0,18	-0,23	-0,30	0,57+	0,72*	0,43
11	0,02	0,12	-0,29	0,37	0,04	0,19	0,80**
12	0,77**	0,39	0,84**	0,81**	-0,69*	-0,47	0,36
13	0,33	0,92***	0,18	0,28	0,11	-0,34	0,02
14	0,63*	0,25	0,85**	0,73**	-0,59+	-0,21	0,46
15	0,67+	0,43	0,76	0,64*	-0,44	-0,20	0,38
16	-0,54	0,30	-0,69*	-0,59+	0,79**	0,23	-0,32
17	-0,51	-0,31	-0,59+	-0,43	0,45	0,54	0,01
18	-0,31	0,13	-0,08	-0,23	0,43	0,44	0,11
19	0,79**	0,39	0,44	0,61*	-0,70*	-0,84**	-0,09
20	0,22	0,04	0,29	0,31	-0,47	-0,42	-0,05
21	0,52	0,15	0,51	0,49	-0,55+	-0,39	0,15
22	0,73*	0,16	0,56+	0,81***	-0,76**	-0,66*	0,46

+ , * , ** , *** signifikant bei $P = 0,10, 0,05, 0,01, 0,001$

+ , * , ** , *** significant at $P = 0.10, 0.05, 0.01, 0.001$

einigen Untersuchungen wurden jedoch deutlich niedrige (SPIERTZ & ELLEN 1978) und höhere (MCGRATH 1985, CHAUDRI et al. 1993, BATTEN 1994) K-Konzentrationen nachgewiesen. Die N-Ernteindices (Tab. 2) sind höher als die von DUBOIS & FOSSATI (1981) und PACCAUD et al. (1985) im selben Klimarum bei Winterweizen gefundenen Werte. In Mittel- und Nordwesteuropa sind bei Weizen N-Ernteindices von über 0,8 bis zu 0,9 jedoch keine Seltenheit (SPIERTZ & ELLEN 1978, ELLEN 1993, ROONEY & LEIGH 1993, BÄNZIGER et al. 1994). Die von uns beobachteten P- und K-Ernteindices bestätigen die in der Literatur präsentierten Werte (FEIL & BÄNZIGER 1993, PAPA-KOSTA 1994, SCHULTHESS et al. 1997). SPIERTZ & ELLEN (1978) fanden dagegen P-Ernteindices von über 0,9, während in derselben Studie die K-Ernteindices unter 0,2 lagen.

Korntrag vs. Kornproteinkonzentration

In Übereinstimmung mit einer Vielzahl von Arbeiten (SIMMONDS 1995, FEIL 1997, FEIL 1998) waren Korntrag und Korn-N-Konzentration negativ korreliert (Abb. 1a, b). Für die Sortenmittelwerte über die vier N-Varianten wurde ein Korrelationskoeffizient von $r = -0,89^{***}$ gefunden (Tab. 3). Innerhalb der einzelnen N-Düngungsverfahren traten vergleichbare Korrelationen auf: $-0,70^*$ (N1), $-0,88^{***}$ (N2) und $-0,89^{***}$ (N3 und N4). Somit hatten die Höhe und auch die Verteilung der N-Düngung wenig Einfluß auf die negative Beziehung zwischen Korntrag und Rohproteinkonzentration. Daß die inverse Beziehung zwischen Korntrag und Rohproteinkonzentration unabhängig von der Höhe der N-Düngung ist, wurde bereits von anderen Versuchsanstellern berichtet (PUSHMAN & BINGHAM 1976, MESDAG et al. 1978, COX et al. 1985, BERTHOLDSSON & STOY 1995). Möglicherweise verschwindet die negative Korrelation bei sehr hoher N-Düngung, weil dann die Proteinbildung nicht durch die mangelnde N-Verfügbarkeit begrenzt wird. Hohe Rest- N_{\min} -Mengen können anzeigen, daß der Proteinertrag nicht von der N-Verfügbarkeit limitiert wurde. In unseren Versuchen wurde der Boden bis auf ein relativ niedriges N_{\min} -Niveau entleert: Im Jahre 1989 betrug die Rest- N_{\min} -Mengen bis 100 cm Tiefe 30 (N1), 39 (N2), 34 (N3) und 37 (N4) kg N ha⁻¹. Die entsprechenden Werte für 1990 waren 24, 23, 26 und 27 kg N ha⁻¹. Der nach der Ernte gefundene N_{\min} war möglicherweise nicht wirklich pflanzenverfügbar, weil die oberen Bodenschichten gegen Ende der Kornfüllung ausgetrocknet waren und weil der N teilweise erst nach der physiologischen Reife aus der organischen Substanz des Bodens freigesetzt wurde. Die Jahreseffekte erklären sich also möglicherweise aus Unterschieden im Wassergehalt des Oberbodens (in 1989 fiel weniger Regen als in 1990, zudem war die potentielle Evapotranspiration in 1989 höher) und im Umfang der N-Mineralisation zwischen der Einstellung der N-Aufnahme durch die Pflanzen und der Probenahme. Die Abwesenheit eines größeren N-Düngungseffektes auf den N_{\min} -Gehalt deutet darauf hin, daß die mangelnde Verfügbarkeit von N auch in der höchsten von uns geprüften Düngungsvariante ein limitierender Faktor für die Proteinbildung war.

Die Rohproteinkonzentration im Korn ergibt sich aus dem Verhältnis von Kornproteinertrag zum Korntrag. Hohertragsorten müssen daher einen weit höheren Proteinertrag als weniger ertragreiche Sorten erzielen, wenn die Proteinkonzentration im Korn unverändert bleiben soll. Korntrag und Proteinertrag sind zumeist positiv korreliert (SIMMONDS 1995, FEIL 1998). Dies war auch in der

vorliegenden Studie der Fall; allerdings war die Korrelation nicht signifikant (Tab. 3). KRAMER (1979) vermutete, daß die inverse Beziehung zwischen Korntrag und Kornproteinkonzentration eine Begleiterscheinung der einseitigen Verbesserung des Ernteindex ist. Es wurde daher die Hypothese aufgestellt, daß die Züchtung auf höhere Biomasse die Speicherkapazität des Sprosses für N erhöht, wodurch die negative Korrelation zwischen Korntrag und Proteinkonzentration überwunden werden könne. In vielen Arbeiten wurden tatsächlich signifikante positive Korrelationen zwischen oberirdischer Biomasse und Sproß-N-Masse bzw. Proteinertrag gefunden (AUSTIN et al. 1977, DESAI & BHATIA 1978, PACCAUD et al. 1985, DAY et al. 1985, MAY et al. 1991). In unserem Sortiment konnten solche Beziehungen jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden ($r = 0,36^{ns}$ für Biomasse vs. Sproß-N bzw. $r = 0,39^{ns}$ für Biomasse vs. Korn-N-Ertrag). Die Sorten unterschieden sich beträchtlich in der Sproß-N-Konzentration (Tab. 2), aber wie auch in anderen Arbeiten (AUSTIN et al. 1977) lag keine signifikante positive Korrelation zwischen Sproß-N-Konzentration und Proteinertrag vor (Tab. 3). Sproß-N-Konzentration und Biomasse waren signifikant negativ korreliert ($r = -0,72^*$), was als Resultat eines Verdünnungseffektes interpretiert werden kann.

Die höchsten Rohproteinerträge wurden von den Linien 94491 und 94419 erzielt (BÄNZIGER et al. 1992). Aus diesem Grunde befindet sich die Linie 94491 in den Abb. 1a und b konsistent oberhalb der Regressionsgeraden. Diese Linie erzeugte einen sehr niedrigen Korntrag (Abb. 1a, b) und hatte gleichzeitig die niedrigste Biomasse des Sortiments (BÄNZIGER 1992). Die Eigenschaften der Linie 94419 (geringer Ertrag, geringe Biomasse, hohe N-Akkumulation im Sproß und in den Körnern) wurden in weiteren Versuchen bestätigt (BÄNZIGER 1992, BÄNZIGER et al. 1994). Linie 94419 erreichte die Blüte im vorliegenden Versuch etwa 2,6 Tage früher als das Sortimentsmittel (Daten nicht gezeigt). Der Verlauf der Seneszenz während der Kornfüllungsphase konnte leider nicht verfolgt werden; Beobachtungen in anderen Versuchen lassen jedoch vermuten, daß diese Linie relativ früh abreifte (BÄNZIGER 1992, BÄNZIGER et al. 1994). Diese Befunde sind in zweierlei Hinsicht interessant. Zunächst wird deutlich, daß entgegen der Hypothese von KRAMER (1979) auch biomassearme Sorten hohe Proteinerträge erzielen können. BORCHI et al. (1983) vermuteten, daß eine lange Kornfüllungsphase die Einlagerung von Protein in die Körner begünstigt. Dies mag zwar grundsätzlich zutreffen, das Beispiel der Linie 94491 demonstriert aber, daß auch relativ frühreife Sorten hohe Proteinerträge zu realisieren vermögen. Die Ausnahmestellung der Linie 94491 veranlaßte uns, die Korrelationsanalysen versuchsweise ohne diese Linie durchzuführen. In dem nur noch aus 10 Sorten bestehenden Restsortiment ist die Biomasse signifikant positiv sowohl mit der N-Menge im Sproß ($r = 0,74^*$) als auch mit dem Proteinertrag ($r = 0,75^*$) korreliert; die positive Beziehung zwischen Korntrag und Proteinertrag wurde ebenfalls deutlicher ($r = 0,72^*$). Somit ergibt sich eine bessere Übereinstimmung mit der Mehrheit der Literaturbefunde und eine Bestätigung für die von KRAMER (1979) vorgeschlagenen Selektionsstrategie. In diesem Zusammenhang ist erwähnenswert, daß bei Hafer die Züchtung auf hohe Proteinerträge indirekt die Biomasse erhöhte (MCFERSON & FREY 1992). Allerdings sind der Züchtung auf Protein Grenzen gesetzt, wenn die Verfügbarkeit von N den Proteinertrag limitiert (FEIL 1997, FEIL 1998).

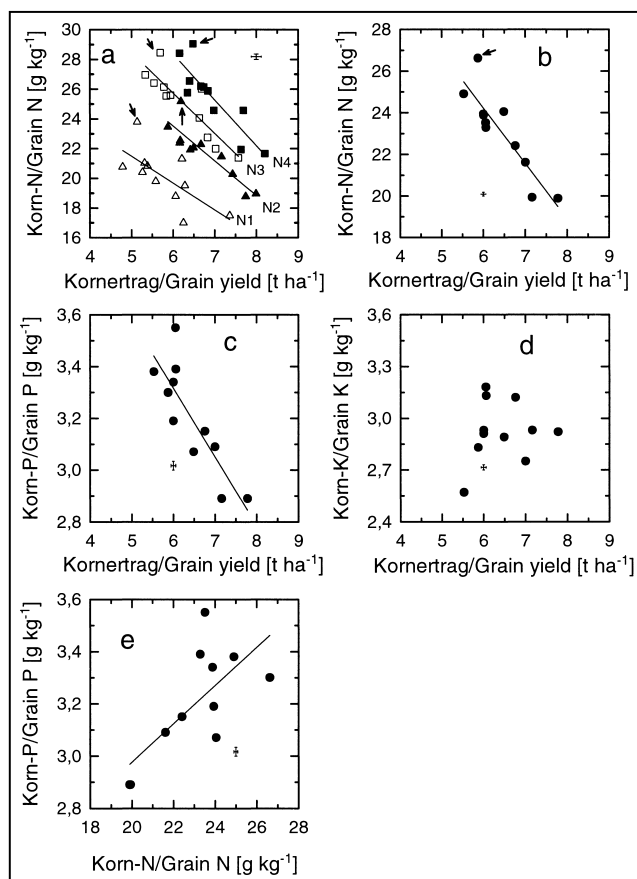


Abb. 1: Beziehungen zwischen Kornertrag und Korn-N-Konzentration innerhalb von vier N-Düngungsvarianten (a); Kornertrag und den Konzentrationen von N (b), P (c) und K (d) in den Körnern; N- und P-Konzentration in den Körnern (e). Die Daten in (a) sind Mittelwerte von zwei Versuchsjahren, die in (b), (c), (d) und (e) sind Mittelwerte von zwei Versuchsjahren und vier N-Düngungsregimes. Die Pfeile zeigen auf die Linie 94491. Die Kreuze sind SE

Relationships between grain yield and grain N concentration within four N fertilization regimes (a); grain yield and concentration of N (b), P (c), and K (d) in the grains; concentrations of N and P in the grains (e). Data in (a) are averages across two cropping years, those in (b), (c), (d), and (e) are averages across two cropping years and four N fertilization regimes. Arrows indicate line 94491. Crosses are SE

Kornertrag vs. P- und K-Konzentration in den Körnern

Obwohl P-Ertrag und Kornertrag signifikant positiv korreliert waren (Tab. 3), wurde eine signifikante negative Beziehung zwischen Kornertrag und Korn-P-Konzentration vorgefunden (Tab. 3; Abb. 1c). Dieses Resultat läßt vermuten, daß der Zuchtfortschritt im Ertrag mit einer Senkung der Korn-P-Konzentration assoziiert ist. In der Tat liegen entsprechende Hinweise aus vergleichenden Untersuchungen an alten und neuen Weizensorten vor (CALDERINI et al. 1995, MANSKE et al. 1998). CALDERINI et al. (1995) fanden, daß moderne argentinische Weizensorten deutlich niedrige P-Konzentrationen im Korn aufweisen als alte Sorten, obwohl der P-Ernteindex im Laufe der Züchtungsgeschichte von 0,4 auf 0,65 anstieg. Der N-Ernteindex wurde ebenfalls deutlich höher. In der vorliegenden Studie waren P- und N-Ernteindex signifikant positiv korreliert (0,80***); N- und P-Translokationseffizienz scheinen also in enger Beziehung zueinander zu stehen.

Im Einklang mit PETERSON et al. (1983) und FEIL & BÄNZIGER (1993) fanden wir keine klare negative Bezie-

hung zwischen Kornertrag und Korn-K-Konzentration (Abb. 1d). Die Konzentration von N, insbesondere aber die der Mineralstoffe, ist in den äußeren Schichten der Weizenkaryopsen höher als im Endosperm (O'DELL et al. 1972, PEDERSEN et al. 1989). Möglicherweise ist der Anteil des Endosperms am gesamten Korngewicht bei Sorten mit geringem Tausendkorngewicht (TKG) vergleichsweise klein. Diese Sorten könnten dann eine besonders hohe Mineralstoffkonzentration in den Körnern aufweisen (PETERSON et al. 1983). Wir fanden jedoch keine Beziehungen zwischen dem TKG und der N-, P- und K-Konzentration in den Körnern (Tab. 3).

Wie sind die unterschiedlichen Korrelationen von N, P und K mit dem Kornertrag zu erklären? Wie der niedrige K-Ernteindex zeigt, ist nur ein geringer Teil der Spross-K-Masse in den Körnern lokalisiert (Tab. 2). Des weiteren ist zu beachten, daß der Sproß während der Kornfüllung größere Mengen K verlieren kann (GASSER & THORBURN 1972). Postflorale K-Verluste wurden auch in der vorliegenden Studie gefunden (Daten nicht gezeigt); der K-Ernteindex unterschätzt also die potentiell translozierbare K-Menge im Sproß. Wahrscheinlich wird also die K-Einlagerung in die Körner nicht durch das pflanzeninterne K-Angebot, sondern durch die K-Aufnahmekapazität der Körner limitiert. Dagegen waren die N- und P-Ernteindices auch bei ertragschwachen Sorten bereits sehr hoch (Tab. 2). Im Gegensatz zum K konnte ein zusätzlicher Bedarf der Körner an N und P, induziert durch höhere Kornerträge, nicht ausschließlich durch eine effizientere Entleerung des Strohs gedeckt werden. Damit auch Hohertragssorten hohe N- und P-Konzentrationen in den Körnern erreichen, müssen sie mehr N und P als die ertragschwachen Sorten aus dem Boden aufnehmen. Kornertrag und Sproß-N-Masse bzw. Sproß-P-Masse waren zwar positiv korreliert (Tab. 3), offenbar aber reichte bei den Hohertragssorten die zusätzliche N- und P-Aufnahme nicht aus, um den höheren N- und P-Bedarf der Körner zu decken. Daraus resultierte dann die Abnahme der N- und P-Konzentration in den Körnern mit zunehmendem Kornertrag.

Der durch höhere Erträge verursachte Abfall der Korn-N-Konzentration (Abb. 1b) war relativ stärker als der der Korn-P-Konzentration (Abb. 1c). Der Grund dafür ist, daß die Sproß-P-Masse mit zunehmendem Kornertrag der Sorten relativ stärker anstieg als die Sproß-N-Masse (Daten nicht gezeigt). Im Einklang mit mehreren anderen Arbeiten (BATTEN 1986, PETERSON et al. 1986, RABOY et al. 1991, SCHULTHESS et al. 1997) waren die N- und P-Konzentrationen in den Körnern signifikant positiv korreliert (Tab. 3). Deutlich unterhalb bzw. oberhalb der Regressionsgeraden sind nur die Linien 94419 und 94591 angesiedelt (Abb. 1e). Sowohl Korn-N als auch Korn-P wurden durch die steigenden Kornerträge verdünnt (Abb. 1b und 1c); unter diesen Bedingungen müssen zwangsläufig positive Beziehungen zwischen den Konzentrationen von N und P im Korn auftreten. In der Literatur werden jedoch auch einige Beispiele für positive Korrelationen zwischen Korn-N- und Korn-P-Konzentration bei verschiedenen Getreidearten präsentiert, die sich nicht auf Variation im Kornertrag zurückführen lassen, sondern offenbar einen zur Zeit noch unbekanntem physiologischen Hintergrund haben (Weizen: SCHULTHESS et al. 1997; Triticale: FEIL & FOSATI 1995; Mais: FEIL et al. 1990, 1993). Solche Befunde weisen darauf hin, daß zumindest einige der Faktoren, welche die Einlagerung von Protein in die Körner regulieren, auch die P-Akkumulation beeinflussen.

Konsequenzen

Die Nutzung des genetischen Ertragsfortschritts senkt offenbar unabhängig von der Höhe und Verteilung der N-Düngung die Proteinkonzentration in den Körnern. Wenn mit zukünftigen Hohertragsorten eine hohe Proteinkonzentration erreicht werden soll, muß mehr N als heute üblich gedüngt werden – es sei denn, der Proteinertag wird auf züchterischem Wege entscheidend verbessert. Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die Möglichkeiten der Züchtung auf Protein in N-limitierten Umwelten und bei bereits hohen N-Ernteindices (Tab. 3) begrenzt sind (FEIL 1997, FEIL 1998).

Der Zuchtfortschritt im Kornertag senkt nach den vorliegenden Ergebnissen auch die P-Konzentration in den Körnern. Sowohl in Weizen- (RABOY et al. 1991) als auch in Triticalesortimenten (FEIL & FOSSATI 1997) wurde gefunden, daß die Konzentrationen von Phytat-P und Gesamt-P hoch positiv korreliert sind. Unsere Resultate lassen also vermuten, daß die Züchtung auf Ertrag die Phytatkonzentration in Weizenkörnern senkt. Phytat kann als toxisch wirkende Substanz betrachtet werden, weil es die Verfügbarkeit von Zink und anderen Mineralstoffen im Verdauungstrakt von monogastrischen Tieren und des Menschen zu reduzieren vermag (REDDY et al. 1982, ZHOU & ERDMAN 1995). Andererseits wird Phytat eine krebshemmende Wirkung zugeschrieben (SHAMSUDDIN et al. 1997). Aufgrund der schlechten Verwertung von Phytat scheiden Monogastriden große Mengen an Phytat-P aus, was zu einer aus ökologischer Sicht unerwünschten Eutrophierung von Böden und Gewässern in getreidekonsumierenden Regionen führen kann. Es wurden verschiedene Möglichkeiten vorgeschlagen, wie die mit einer hohen Phytatkonzentration verbundenen Probleme gelöst bzw. zumindest reduziert werden könnten: konventionelle Selektion auf niedrige Phytatkonzentration (RABOY et al. 1991), Nutzung von gentechnisch modifizierten Sorten mit niedriger Phytatkonzentration (MENDOZA et al. 1998), Zusatz von mikrobieller Phytase zur Diät (PALLAUF & RIMBACH 1997) und Beimengung einer gentechnisch veränderten Komponente mit hoher Phytaseaktivität (z. B. Raps) zum Futter (PEN et al. 1993, PEN 1996). Aus Sicht der Phytatproblematik ist eine mit dem genetischen Ertragsfortschritt assoziierte Reduktion der P- bzw. Phytatkonzentration in den Körnern also eher positiv zu bewerten, zumindest wenn der Weizen für die tierische Ernährung verwendet wird.

Der Anbau ertragreicherer Sorten führt zu höheren P-Erträgen und damit zu höheren P-Exporten von den Feldern. Aus der inversen Beziehung zwischen Kornertag und Korn-P-Konzentration läßt sich jedoch ableiten, daß ertragreiche Sorten dem Boden pro Einheit Kornertag weniger P als ertragschwache Sorten entziehen. Dies ist besonders interessant für Weizenproduzenten, die aus ökonomischen Gründen oder aufgrund mangelnder Infrastruktur für die Herstellung und Distribution von P-Düngern kein oder nur wenig P düngen (LIPSETT & DANN 1983, FEIL et al. 1992, SCHULTHESS et al. 1997). Allerdings könnten sehr geringe P-Konzentrationen in den Körnern die Auflauftrate und Wüchsigkeit von Saatweizen verringern (DE MARCO 1990, BURNETT et al. 1997). Für die Keimkraft ist jedoch nicht die P-Konzentration, sondern die absolute P-Menge in den Körnern maßgeblich (DE MARCO 1990). Die P-Menge pro Korn sank tendenziell mit zunehmendem Kornertag der Sorten (Tab. 3). Möglicherweise beeinträchtigt also die Züchtung auf Ertrag die Saatgutqualität. Ein solcher Trend wird verstärkt, wenn – wie z. B. in Italien (CANEVARA et al. 1994) – das

TKG im Laufe der Züchtungsgeschichte deutlich absinkt. Um auch von Höchstertagsorten mit niedrigem TKG einwandfreies Saatgut zu erhalten, muß möglicherweise zukünftig verstärkt darauf geachtet werden, daß Saatgut vorzugsweise auf gut mit P versorgten Böden erzeugt wird.

Danksagung

Wir danken Dr. R. Jaquiéry von der DSP in Delley FR für die Unterstützung bei der Durchführung der Versuche.

Literatur

- AUSTIN, R. B., M. A. FORD, J. A. EDRICH & R. D. BLACKWELL, 1977: The nitrogen economy of winter wheat. *J. Agric. Sci. Camb.* **88**, 159–167.
- BÄNZIGER, M., 1992: Nitrogen efficiency of spring wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Diss. ETH Zürich No. 9790.
- BÄNZIGER, M., B. FEIL, J. E. SCHMID & P. STAMP, 1992: Genotypic variation in grain N content of wheat as affected by mineral N supply in the soil. *Eur. J. Agron.* **1**, 155–162.
- BÄNZIGER, M., B. FEIL, J. E. SCHMID & P. STAMP, 1994: Utilization of late-applied nitrogen by spring wheat genotypes. *Eur. J. Agron.* **3**, 63–69.
- BATTEN, G. D., 1986: The uptake and utilization of phosphorus and nitrogen by diploid, tetraploid and hexaploid wheats (*Triticum* spp.). *Ann. Bot.* **58**, 49–59.
- BATTEN, G. D., 1994: Concentrations of elements in wheat grains grown in Australia, North America, and the United Kingdom. *Aust. J. Exp. Agric.* **34**, 51–56.
- BERTHOLDSSON, N.-O. & V. STOY, 1995: Yields of dry matter and nitrogen in highly diverging genotypes of winter wheat in relation to N-uptake and N-utilization. *J. Agron. Crop Sci.* **175**, 285–295.
- BORGHI, B., M. CORBELLINI, G. BOGGINI & N. E. POGNA, 1983: Kinetics of dry matter accumulation and composition changes in developing bread wheat kernel. *J. Agron. Crop Sci.* **152**, 224–237.
- BOSEMARK, N. O., 1993: The need for a comprehensive plant breeding strategy. In: HAYWARD, M. D., N. O. BOSEMARK & I. ROMAGOSA (Hrsg.): *Plant Breeding: Principles and Prospects*, 525–533. Chapman and Hall, London.
- BURNETT, V. F., D. R. COVENTRY & P. J. NEWTON, 1997: Effect of seed source and seed phosphorus content on the growth and yield of wheat in north-eastern Victoria. *Aust. J. Exp. Agric.* **37**, 191–198.
- CHUNG, O. K. & Y. POMERANZ, 1985: Functional and nutritional characteristics of cereal proteins. In: FINLEY, J. W. & D. T. HOPKINS (Hrsg.): *Digestibility and Amino Acid Availability in Cereals and Oilseeds*, 169–231. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul MI.
- CALDERINI, D. F., S. TORRES-LÉON & G. A. SLAFER, 1995: Consequences of wheat breeding on nitrogen and phosphorus yield, grain nitrogen and phosphorus concentration and associated traits. *Ann. Bot.* **76**, 315–322.
- CANEVARA, M. G., M. ROMANI, M. CORBELLINI, M. PERENZIN & B. BORGHI, 1994: Evolutionary trends in morphological, physiological, agronomical and qualitative traits of *Triticum aestivum* L. cultivars bred in Italy since 1900. *Eur. J. Agron.* **3**, 175–185.
- CHAUDRI, A. M., S. P. MCGRATH, A. R. CROSLAND & F. ZHAO, 1993: Minerals status of British wheat. *Asp. Appl. Biol.* **36**, 347–353.
- COX, M. C., C. O. QUALSET & D. W. RAINS, 1985: Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. I. Dry matter and nitrogen accumulation. *Crop Sci.* **25**, 430–435.
- DAY, G. E., G. M. PAULSEN & R. G. SEARS, 1985: Relationships among important traits in the nitrogen economy of winter wheat. *J. Plant Nutr.* **8**, 357–368.
- DE MARCO, D. G., 1990: Effect of seed weight, and seed phosphorus and nitrogen concentrations on the early growth of wheat seedlings. *Austr. J. Exp. Agric.* **30**, 545–549.

- DESAI, R. M. & C. R. BHATIA, 1978: Nitrogen uptake and nitrogen harvest index in durum wheat cultivars varying in their grain protein concentration. *Euphytica* **27**, 561–566.
- DUBOIS, J.-B. & A. FOSSATI, 1981: Influence of nitrogen uptake and nitrogen partitioning efficiency on grain yield and grain protein concentration of twelve winter wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Z. Pflanzenzüchtung* **86**, 41–49.
- EGGUM, B. O. & R. M. BEAMES, 1983: The nutritive value of seed proteins. In: GOTTSCHALK, W. & H. P. MÜLLER (Hrsg.): *Seed Proteins. Biochemistry, Genetics, Nutritive value*, 499–531. Nijhoff/Junk.
- ELLEN, J., 1993: Growth, yield and composition of four winter cereals. II. Nitrogen and carbohydrate economy. *Neth. J. Agric. Sci.* **41**, 235–246.
- FAO, 1998: Food Balance Sheet for 1995, <http://apps.fao.org/lim500/nph-wrap.pl?FoodBalanceSheet&Domain=FoodBalanceSheet>.
- FEIL, B., 1997: The inverse yield-protein relationship in cereals: possibilities and limitations for genetically improving the grain protein yield. *Trends in Agron.* **1**, 103–119.
- FEIL, B., 1998: Physiologische und pflanzenbauliche Aspekte der inversen Beziehung zwischen Ertrag und Proteinkonzentration bei Getreidesorten: Eine Übersicht. *Pflanzenbauwiss.* **2**, 37–46.
- FEIL, B. & M. BÄNZIGER, 1993: Nitrogen and cultivar effects on the mineral element concentration in the grain of spring wheat. *Eur. J. Agron.* **2**, 205–212.
- FEIL, B. & D. FOSSATI, 1995: Mineral composition of triticale grains as related to grain yield and grain protein. *Crop Sci.* **35**, 1426–1431.
- FEIL, B. & D. FOSSATI, 1997: Phytic acid in triticale grains as affected by cultivar and environment. *Crop Sci.* **37**, 916–921.
- FEIL, B., R. THIRAPORN, G. GEISLER & P. STAMP, 1990: Genotype variation in grain nutrient concentration in tropical maize grown during a rainy and a dry season. *Agronomie* **10**, 717–725.
- FEIL, B., R. THIRAPORN & P. STAMP, 1992: Can maize cultivars with low mineral nutrient concentrations in the grains help to reduce the need for fertilizers in third world countries? *Plant and Soil* **146**, 227–231.
- FEIL, B., R. THIRAPORN & H. R. LAFITTE, 1993: Accumulation of nitrogen and phosphorus in the grain of tropical maize cultivars. *Maydica* **38**, 291–300.
- GASSER, J. K. R. & M. A. P. THORBURN, 1972: The growth, composition and nutrient uptake of spring wheat. *J. Agric. Sci. Camb.* **78**, 393–404.
- GOMEZ, A. K. & A. A. GOMEZ, 1984: *Statistical procedures for agricultural research*. 2. Aufl., John Wiley & Sons, New York.
- HAZELL, T., 1985: Minerals in foods: Dietary sources, chemical forms, interactions, bioavailability. *Wld Rev. Nutr. Diet.* **46**, 1–123.
- JOHNSON, V. A. & P. J. MATTERN, 1987: Wheat, rye, and triticale. In: OLSON, R. A. & K. J. FREY (Hrsg.): *Nutritional Quality of Cereal Grains: Genetic and Agronomic Improvement*, 133–182. ASA-CSSA-SSA, Madison WI.
- KRAMER, T., 1979: Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* **28**, 209–218.
- LIPSETT, J. & P. R. DANN, 1983: Wheat: Australia's hidden mineral export. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* **49**, 81–89.
- LOLAS, G. M., PALAMIDIS, N. & P. MARKAKIS, 1976: The phytic acid – total phosphorus relationship in barley, oats, soybeans, and wheat. *Cereal Chem.* **53**, 867–871.
- MANSKE, G. G. B., I. ORTIZ-MONASTERIO, M. VAN GINKEL, S. RAJARAM & P. L. G. VLEK, 1998: Development of phosphorus use efficiency in bread wheat released by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) over the last five decades. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **11**, 247–248.
- MAY, L., D. A. VAN SANFORD, C. T. MACKOWN & P. L. CORNELIUS, 1991: Genetic variation for nitrogen use in soft red × hard red winter wheat populations. *Crop Sci.* **31**, 626–630.
- McFERSON, J. K. & K. J. FREY, 1992: Correlated responses to selection for protein yield in oats after three cycles of recurrent selection. *Plant Breeding* **108**, 149–161.
- MCGRATH, S. P., 1985: The effects of increasing yields on the macro- and microelement concentrations and offtakes in the grain of winter wheat. *J. Sci. Food Agric.* **36**, 1073–1083.
- MESDAG, J., J. SCHEPERS & J. POST, 1978: Testing genotypes of spring wheat for kernel yield, protein content and protein yield: Experiences of three years. In: MIFLIN, B. J. & M. ZOSCHKE (Hrsg.): *Carbohydrate and Protein Synthesis*, 81–91. Commission of the European Communities, Luxembourg.
- MENDOZA, C., F. E. VITERI, B. LONNERDAL, K. A. YOUNG, V. RABOY & K. H. BROWN, 1998: Effect of genetically modified, low-phytic acid maize on absorption of iron from tortillas. *Am. J. Clin. Nutr.* **68**, 1123–1127.
- MOSSÉ, J., J. C. HUET & J. BAUDET, 1985: The amino acid composition of wheat grain as a function of nitrogen content. *J. Cereal Sci.* **3**, 115–130.
- O'DELL, B. L., A. R. DE BOLAND & S. R. KOIRTYOHANN, 1972: Distribution of phytate and nutritionally important elements among the morphological component of cereal grains. *J. Agr. Food Chem.* **20**, 718–721.
- PACCAUD, F. X., A. FOSSATI & S. C. HONG, 1985: Breeding for yield and quality in winter wheat: Consequences for nitrogen uptake and partitioning efficiency. *Z. Pflanzenzüchtung* **94**, 89–100.
- PALLAUF, J. & G. RIMBACH, 1997: Nutritional significance of phytic acid and phytase. *Arch. Anim. Nutr.* **50**, 301–319.
- PAPAKOSTA, D. K., 1994: Phosphorus accumulation and translocation in wheat as affected by cultivar and nitrogen fertilization. *J. Agron. Crop Sci.* **173**, 260–270.
- PEDERSEN, B., K. E. BACH KNUDSEN & B. O. EGGUM, 1989: Nutritive value of cereal products with emphasis on the effect of milling. *Wld Rev. Nutr. Diet.* **60**, 1–91.
- PEN, J., 1996: Phytase produced in transgenic plants for use as a novel feed additive. In: VERWOERD, T. C., J. PEN & M. R. L. OWEN (Hrsg.): *Transgenic Plants: a Production System for Industrial and Pharmaceutical Proteins*, 213–225. John Wiley & Sons, Chichester.
- PEN, J., T. C. VERWOERD, P. A. VAN PARIDON, R. F. BEUDEKER, P. J. M. VAN DEN ELZEN, K. GEERSE, J. D. VAN DER KLIS, H. A. J. VERSTEEGH, A. J. J. VAN OOYEN & A. HOEKEMA, 1993: Phytase-containing transgenic seeds as a novel feed additive for improved phosphorus utilization. *Bio/Technology* **11**, 811–814.
- PETERSON, C. J., V. A. JOHNSON & P. J. MATTERN, 1983: Evaluation of variation in mineral element concentrations in wheat flour and bran of different cultivars. *Cereal Chem.* **60**, 450–455.
- PETERSON, C. J., V. A. JOHNSON & P. J. MATTERN, 1986: Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat flour, bran, and grain. *Cereal Chem.* **63**, 183–186.
- PUSHMAN, F. M. & J. BINGHAM, 1976: The effects of a granular nitrogen fertilizer and a foliar spray of urea on the yield and bread-making quality of ten winter wheats. *J. Agric. Sci. Camb.* **87**, 281–292.
- RABOY, V., 1997: Accumulation and storage of phosphate and minerals. In: LARKINS, B. A. & I. K. VASIL (Hrsg.): *Cellular and Molecular Biology of Plant Seed Development*, 441–477. Kluwer Academic Publishers.
- RABOY, V., M. H. NOAMAN, G. A. TAYLOR & S. G. PICKETT, 1991: Grain phytic acid and protein are highly correlated in winter wheat. *Crop Sci.* **31**, 631–635.
- REDDY, N. R., S. K. SATHE & D. K. SALUNKHE, 1982: Phytates in legumes and cereals. *Adv. Food Res.* **28**, 1–91.
- ROONEY, J. M. & R. A. LEIGH, 1993: Dry matter and nitrogen partitioning to the grains of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars grown on Broadbalk since 1843. *Asp. Appl. Biol.* **34**, 219–227.
- SCHULTHESS, U., B. FEIL & S. C. JUTZI, 1997: Yield-independent variation in grain nitrogen and phosphorus concentration among Ethiopian wheats. *Agron. J.* **89**, 497–506.
- SHAMSUDDIN, A. M., I. VUCENIK & K. E. COLE, 1997: IP₆: a novel anti-cancer agent. *Life Sci.* **61**, 343–354.
- SIMMONDS, N. W., 1995: The relation between yield and protein in cereal grain. *J. Sci. Food Agric.* **67**, 309–315.
- SPIERTZ, J. H. J. & J. ELLEN, 1978: Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to

assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Neth. J. agric. Sci.* **26**, 210–231.

ZHOU, J. R. & J. W. ERDMAN Jr., 1995: Phytic acid in health and disease. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **35**, 495–508.

Eingegangen am 09. November 1998;
angenommen am 16. März 1999

Anschriften der Autoren:

PD Dr. B. Feil, Institut für Acker- und Pflanzenbau, Lehrstuhl Allgemeiner Pflanzenbau/Ökologischer Landbau, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Ludwig-Wucherer-Str. 2, D-06099 Halle; e-mail: boy.feil@ipw.agrl.ethz.ch.

Dr. M. Bänziger, CIMMYT-Zimbabwe, P.O. Box MP163, Harare, Zimbabwe; e-mail: m.banziger@cgnet.com.