

Auswirkungen unterschiedlicher Düngung auf Ertrag und Verarbeitungsqualität des Roggens bei langjährigem Anbau in Selbstfolge und Fruchtwechsel – Ergebnisse des Dauerversuches „Ewiger Roggenbau“

Long-term Effects of Different Fertilization on Yield and Processing Performance of Rye Grown Continuously or in Crop Rotation – Results of the Long-term Experiment „Eternal Rye Cropping“ Halle

H. Böttcher & J. Garz, Institut für Ernährungswissenschaften, Universität Halle-Wittenberg
D. Weipert, Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung Detmold

Zusammenfassung

In dem Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ wird Winterroggen (*Secale cereale* L.) auf einem aus Sandlöß hervorgegangenem Parabraunerde-Tschernosem seit 1878 in Selbstfolge angebaut. Die Düngungsvarianten sind: (I) „Stallmist I“, (II) „-PK“, (III) „NPK“, (IV) „NPK + Stallmist“ [seit 1991, vorher „N-“], (V) „ungedüngt“, (VI) „Stallmist II“ [bis 1952, seitdem ungedüngt]. Seit Teilung der Parzellen (1962) erfolgt der Anbau des Roggens auch in Fruchtwechsel mit Kartoffeln. Ziel der vorliegenden Arbeit war, den Einfluß der Fruchtfolge in Interaktion mit den Düngungsvarianten auf die Verarbeitungsqualität des Erntegutes zu prüfen. Untersucht wurde das Erntegut der Jahre 1993 und 1995. Auf „Ungedüngt“, wo sich die N-Zufuhr seit langem auf den Eintrag aus der Luft ($\approx 40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) beschränkt, lagen die Erträge (dem langjährigen Trend entsprechend) in diesen Jahren um 40 bzw. 48% niedriger als auf „NPK“. Ähnlich verhält es sich mit den Varianten II und VI. Bei Fruchtwechsel wurde im Mittel der Varianten ein Mehrertrag gegenüber der Selbstfolge ($41,2 \text{ dt ha}^{-1}$) von $9,4 \text{ dt ha}^{-1}$ erzielt. In qualitativer Hinsicht bestanden zwischen den Düngungsvarianten weder im Hektolitergewicht und Tausendkorngewicht, noch in den geprüften Mahleigenschaften bemerkenswerte Unterschiede. Auch die verarbeitungstechnologischen Merkmale (Fallzahl, Verkleisterungseigenschaften der Stärke sowie Brotvolumen, Porenlockerung und Krumenelastizität des erbackenen Brotes) lassen keinen Einfluß von Düngung und Fruchtwechsel erkennen. Jahresunterschiede im Pentosengehalt, in der Fallzahl und den Verkleisterungseigenschaften der Stärke waren deutlich witterungsbedingt. Wenn die hohen düngungsbedingten Ertragsdifferenzen nur von geringen Qualitätsunterschieden begleitet waren, so steht das in Zusammenhang mit dem Fakt, daß die Ertragsunterschiede bei stabilem Tausendkorngewicht vor allem auf Veränderungen in der Kornanzahl je Fläche zurückzuführen sind.

Schlüsselworte: Winterroggen, Dauerversuch, Düngung, Fruchtwechsel, Backeigenschaften

Summary

In the long-term experiment „Eternal Rye Cropping“ winter rye (*Secale cereale* L.) is continuously cropped on a Parabraunerde-Tschernosem derived from sandy loess since 1878. The treatments are: (I) „manure I“, (II) „-PK“ (III) „NPK“, (IV) „NPK + manure“ [since 1991, previously „N-“], (V) unfertilized“, (VI) „manure II“ [till 1952, then unfertilized]. After the subdivision of the initial plots (1962) rye was also cropped in rotation with potatoes. The present paper investigates the effect of crop rotation in interaction with fertilization on the processing performance of rye. Grain quality was analyzed in two years, 1993 and 1995. On the plots without any fertilization (V) where the N-input was confined to the atmospheric deposition ($\approx 40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), the yield in these years amounted (in accordance with the long-term trends) to only 40 and 48% respectively of that on „NPK“ plots. A similar response was observed with the treatments II and VI. Crop rotation increased the grain yield on an average of all treatments by 9.4 dt ha^{-1} compared to continuous cropping (with 42.2 dt ha^{-1}). With respect to quality there were no marked differences between the treatments, neither relating to the hectolitre weight and 1000 kernel weight nor to the tested milling properties. The same was true with processing criteria of the flour (as Falling Number or pasting properties of starch) and also with the quality parameters of the baked bread (as bread volume, pore space continuity and crumb elasticity). Differences between the two years regarding pentosane content, Falling Number and pasting properties of starch have likely been caused by climatic condition. The observation that the remarkable yield differences resulting from differentiated fertilization are accompanied by only small differences in quality may be connected to the fact that these yield differences were due mainly to differences in the number of kernels per square meter without any significant change in 1000 kernel weight.

Keywords: winter rye, long term field trial, fertilization, crop rotation, baking performance

Einleitung

Die steigenden Anforderungen an die Qualität und Verarbeitungsfähigkeit der Ernteprodukte machen es wünschenswert, diese Aspekte auch bei Dauerfeldversuchen stärker zu berücksichtigen. Das gilt auch für den 1878 von JULIUS KÜHN auf dem Versuchsfeld in Halle angelegten Düngungsversuch mit kontinuierlichem Anbau von Winterroggen, den „Ewigen Roggenbau“; und es gilt um so mehr, als der Winterroggen in Mitteleuropa als Brotgetreide ein wichtiger Rohstoff ist. Nachdem im Laufe der Geschichte dieses Versuches wiederholt über die Erträge und die Veränderung der Bodenfruchtbarkeitsmerkmale bei langjährig differenzierter Düngung berichtet wurde (KÜHN 1901, ROEMER & IHLE 1925, SCHEFFER 1931, SCHMALFUSS 1950, KOLBE & STUMPE 1969, STUMPE & HAGEDORN 1979, GARZ et al. 1996), sind Ergebnisse eingehender Untersuchungen zur Qualität und Verarbeitungsfähigkeit des Erntegutes aus diesem Versuch erst 1997 vorgestellt worden (BÖTTCHER et al. 1997).

Diese Untersuchungen bezogen sich aber ausschließlich auf den Teil des Versuches (Abt. C), auf dem der Roggen nach wie vor in ununterbrochener Selbstfolge steht. Mit vorliegender Arbeit soll nun der Einfluß der Düngung auf die Qualität des Erntegutes unter Einbeziehung auch desjenigen Versuchsteiles (Abt. B) analysiert werden, auf dem der Roggen seit 1962 (nach Dreiteilung aller Parzellen) im Fruchtwechsel mit Kartoffeln angebaut wird. Dies kommt den heutigen Praxisbedingungen näher und erhöht die Aussagekraft der Ergebnisse im Hinblick auf die nachhaltige Landnutzung mit Getreide. Es dient aber zugleich auch der Zuverlässigkeit der Grundaussagen und zwar insofern, als dieser Versuch vor 120 Jahren zwar mit großen Parzellen (1000 m²), aber noch ohne Wiederholungen angelegt wurde.

Versuchsbeschreibung

Standort: Lehr- und Versuchsstation der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle, Parabraunerde-Tschernosem (FAO: Luvic Phaeozem) aus Sandlöß (100 cm: 68% Sand, 23% Schluff, 9% Ton) über Geschiebemergel im mitteldeutschen Trockengebiet mit einer Mächtigkeit des A-Horizontes von 60 cm. Mittlerer Jahresniederschlag (1965–

1995): 466 mm. Niederschlag Mai–Juni in den Untersuchungsjahren 1993: 184 mm, 1995: 124 mm. Langjähriges Mittel: 112 mm.

Varianten

Düngung:
 I St I organische Düngung: 120 dt ha⁻¹ Stallmist (= 60 kg N ha⁻¹)
 II -PK keine N-Düngung, nur 24 kg P ha⁻¹ und 75 kg K ha⁻¹
 III NPK NPK Volldüngung: 60 kg N ha⁻¹, 24 kg P kg ha⁻¹, 75 kg K ha⁻¹
 IV NPK + St bis 1990 ausschließlich mineral. N-Düngung, ab 1991 Kombination von Var. I + III
 V ungedüngt: seit 1878 ohne Zufuhr von N, P und K
 VI St II von 1893 bis 1952 Stallmist, ab 1953 ungedüngt.

Fruchtfolge:
 Abteilung C: kontinuierlicher Winterroggenanbau seit 1878
 Abteilung B: bis 1961 ebenfalls kontinuierlicher Winterroggenanbau, ab 1962 Fruchtwechsel mit der Kartoffel bei gleicher Düngung.

Sorte „Amando“: mittel- bis hochertragreich (AS 6), pentosanreich (AS 7), hervorragendes Backverhalten (Volumenausbeute AS 7), Auswuchsresistenz (Fallzahl) AS 8, Qualitätszahl bei integrierter Wertung AS 8 (WEIPERT 1998a, 1999).

Parzellengröße: Anbaufläche: 290 m², Erntefläche: 210 m².

Eine Charakterisierung der Böden hinsichtlich ihres gegenwärtigen Humus- und Nährstoffgehaltes gibt Tab. 1. Weitere Einzelheiten zum Standort sowie zur langjährigen Entwicklung von Ertrag und Bodenfruchtbarkeitsmerkmalen finden sich bei MERBACH et al. (1999).

Wesentlich für das Zustandekommen der zwischen den Varianten bestehenden Differenzierungen in Ertrag und Qualität ist die unterschiedliche N-Versorgung des Roggens. In Ergänzung zu den Angaben über die N-Düngung sei deshalb vermerkt, daß dem Roggen auf der ungedüngten Parzelle wegen der äußerst geringen Mineralisierbar-

Tab. 1: Gehalt an Humus (C) und verfügbaren Nährstoffen im Boden der langjährig unterschiedlich gedüngten Parzellen zum Untersuchungszeitpunkt (Bodenschicht 0–20 cm, zusammengestellt nach MERBACH et al. 1999)

Content of humus (C) and available nutrients in the soil of long-term differently fertilized plots in the reference period (soil layer 0–20 cm, compiled according to MERBACH et al. 1999)

Merkmal	Abteilung	Düngungsvariante						Mittelwert
		I	II	III	IV	V	VI	
C-Gehalt in %	C	1,63	1,19	1,33	1,33	1,13	1,35	1,33
	B	1,53	1,10	1,17	1,24	1,07	1,23	1,22
N-Gehalt mg kg ⁻¹	C	1160	770	830	820	710	880	860
	B	1110	680	750	770	640	760	780
P-Gehalt mg kg ⁻¹ 1)	C	15,1	21,7	14,2	5,4	3,5	3,9	–
	B	9,2	18,4	10,9	4,4	2,1	3,0	–
K-Gehalt mg kg ⁻¹ 1)	C	27,1	25,8	18,5	12,2	3,1	4,5	–
	B	20,1	21,8	11,6	10,6	3,5	3,6	–
Mg-Gehalt mg kg ⁻¹ 2)	C	6,3	6,7	5,4	4,9	4,2	3,9	–
	B	6,3	6,6	4,7	4,0	4,0	4,2	–
pH-Wert (0,01 M CaCl ₂)	C	6,2	6,4	5,8	5,4	5,6	5,5	5,8
	B	6,0	6,1	5,5	5,2	5,4	5,3	5,6

1) Doppellaktatmethode

2) nach SCHACHTSCHABEL (0,0125 M CaCl₂)

keit des dort nach 100 Jahren in organischer Bindung verbliebenen N ($\approx 5000 \text{ kg ha}^{-1}$) im wesentlichen nur noch der N-Eintrag aus der Atmosphäre zur Verfügung steht. Er beläuft sich gegenwärtig auf etwa 40 kg ha^{-1} , wovon ein Teil noch durch Auswaschung verloren geht (SCHLIEP-HAKE et al. 1999). Gleiches trifft für den Roggen bei PK-Düngung (Var. II) zu, und nur geringfügig höher ist die N-Versorgung auf Parzelle VI, wo die Stallmistdüngung vor 40 Jahren eingestellt wurde.

Einzelheiten der Versuchsdurchführung sind in der Arbeit von BÖTTCHER et al. (1997) festgehalten.

Untersuchungs- und Verarbeitungsmethoden

Hektolitergewicht (hl-Gewicht) (kg hl^{-1}) nach AMTLICHE TAFELN (1967)

Proteingehalt im Mehl nach ICC Standard Nr. 105/1 (ARBEITSGEMEINSCHAFT 1994)

Pentosangehalt im Mehl, colorimetrisch nach HASHIMOTO (DELCOUR et al. 1989)

Fallzahl nach ICC Standard Nr. 107/1 (ARBEITSGEMEINSCHAFT 1994)

Amylogramm nach ICC Standard Nr. 126/1 (ARBEITSGEMEINSCHAFT 1994)

Mahlversuch zur experimentellen Bestimmung der Mahleigenschaften von Roggen sowie der Kornhärte (ARBEITSGEMEINSCHAFT 1994)

Amylogramm (AE) nach ICC Standard Nr. 126/1 (ARBEITSGEMEINSCHAFT 1994)

Backversuch nach Standard-Sauerteigbackversuch für Roggenmehltypen (ARBEITSGEMEINSCHAFT 1994)

Teigausbeute nach BRÜMMER (1997)

Qualitätszahl bei integrierter Bewertung nach SEIBEL & STEPHAN (1980)

Statistische Auswertung

Wegen der fehlenden Wiederholungen sind die Voraussetzungen für eine statistische Prüfung der Versuchsergebnisse stark eingeschränkt. Wenn die Mittelwerte langjähriger Zeitspannen zum Vergleich stehen, dann kann man zwar noch mit einigem Vorbehalt die einzelnen Jahre als Wiederholung betrachten; stehen jedoch die Ergebnisse einzelner Jahre in Betracht, dann bleibt zunächst nur übrig, sich bei der Bewertung von Unterschieden auf die Ergebnisse der langfristigen Trendanalysen zu stützen. DÖRFEL & LEZOVIC (1997) haben damit kürzlich die Eigenständigkeit der Ertragsentwicklung auf den 6 Düngungsvarianten

ten des „Ewigen Roggenbaues“ überzeugend herausgearbeitet.

Nach der Dreiteilung der ursprünglich 1000 m^2 großen Parzellen (1962) und der Kombination der bestehenden 6 Düngungsstufen mit 3 neu eingerichteten Fruchtfolgestufen (die dritte mit kontinuierlichem Silomaisanbau bleibt hier außer Betracht), lassen sich die Ergebnisse aber auch wie ein zweifaktorieller Versuch (mit insgesamt 12 Prüfgliedern) varianzanalytisch mit dem Modell $A \times B - R$, berechnet nach FEVESTAT, auswerten. Im vorliegenden Fall wurde so verfahren. Die beiden Untersuchungsjahre wurden dabei formal als Wiederholungen gewertet. Somit war kein direkter statistischer Nachweis von „Jahreseffekten“ möglich. Statistisch signifikante Differenzen auf der Basis $p < 0.05$ sind in den Tabellen mit dem Zeichen (*) gekennzeichnet worden, nicht signifikante Unterschiede sind mit „n.s.“ ausgewiesen. Als Bezugsbasis ist jeweils die Variante III (mineralische Volldüngung) gewählt worden.

Differenzen zwischen den Anbaujahren, die auf Unterschieden in der Witterung und den sonstigen Wachstumsbedingungen beruhen, werden ohne Tabellen im Text an Hand der Mittelwerte von den jeweils 12 Prüfgliedern (Fruchtfolge \times Düngungskombinationen) ($n = 12$) und ihrer zugehörigen Standardabweichung $\pm s$ erläutert. Ebenso wurde vereinzelt die Fruchtwechselwirkung in gleicher Weise als Mittelwert von Düngungskombinationen \times Jahreswerte ($n = 12$) ausgewiesen. Dabei ist vorher geprüft worden, daß keine gegensätzlichen Trends bei den einzelnen Wertereihen vorlagen.

Ergebnisse

Kornertrag und äußere Qualitätsmerkmale

Die Kornerträge (Abb. 1) liegen auf der ungedüngten Variante (Var. V) als Folge der im Laufe von 115 Jahren eingetretenen Nährstoffverarmung des Bodens erheblich unter denen bei mineralischer Volldüngung (Var. III), nämlich um 48% bei Monokultur (Abt. C) und um 40% bei Fruchtwechsel (Abt. B). Für die Varianten II (nur PK) und VI (seit 1953 ohne Düngung) war dieser Unterschied etwas geringer. Jedoch liegen die Erträge bei Fruchtwechsel im Mittel aller Varianten und Jahre $9,4^* \text{ dt ha}^{-1}$ höher (Abb. 1). Dies gilt mit nur geringen Abweichungen für jede der 6 Düngungsvarianten.

Zwischen beiden Jahren bestand im Mittel aller Fruchtfolge \times Düngungs-Kombinationen nur eine geringe und

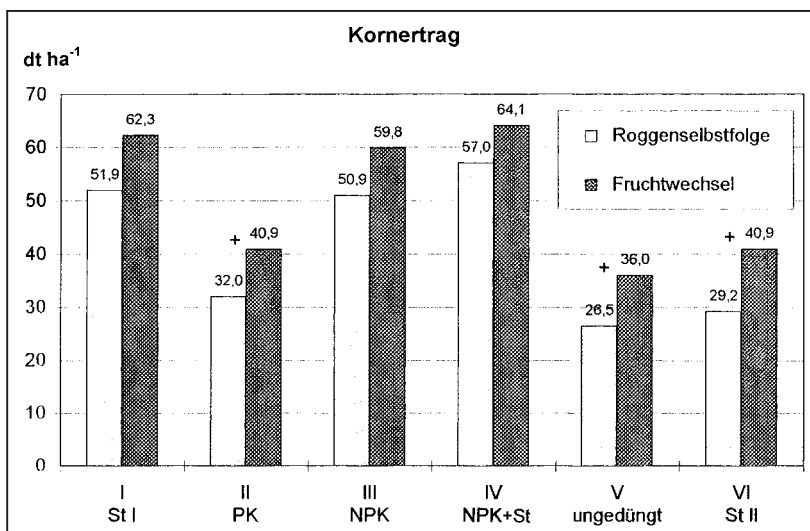


Abb. 1: Einfluß von unterschiedlicher Düngung und Fruchtwechsel auf den Kornertrag (Mittelwerte von 1993 und 1995)

Effect of different fertilization and crop rotation on grain yield (means of 1993 and 1995)

Tab. 2: Einfluß von unterschiedlicher Düngung und Fruchtwechsel auf die äußeren Qualitätsmerkmale und Vermahlungseigenschaften (Mittelwerte von zwei Jahren)

Effect of different fertilization and crop rotation on external quality traits and milling properties (means of two years)

Variante	Düngung	Hektolitergewicht kg hl ⁻¹		Trockenmasse der Körner %		Tausendkorn- gewicht g (86% TM)		Mehlausbeute					
								Schrotmehl %		Type 997 %		Kornhärte NIR	
		ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel
I	St I	74,6	74,3	88,0	87,0	29,9	29,4	30,9	31,1	83,6	84,1	20,7	20,6
II	PK	75,0	75,1	87,5	87,7	30,0	30,4	31,9	32,1	81,1	84,8	21,4	21,7
III	NPK	74,7	74,8	88,0	87,6	29,3	29,5	32,0	32,0	81,4	83,8	21,0	20,2
IV	NPK + St	74,7	74,4	88,4	88,1	28,9	28,4	33,0	33,3	82,2	83,6	23,3	20,7
V	Ungedüngt	74,8	75,2	87,6	87,7	27,8	28,5	33,1	33,7	82,1	84,0	20,3	20,6
VI	St II	74,8	74,6	87,6	87,8	29,5	28,5	31,9	34,0	84,7	82,0	21,1	21,7
\bar{x}	Mittelwert	74,8	74,7	87,9	87,7	29,2	29,1	32,1	32,7	82,5	83,7	21,3	20,9
GD 5%	Düngung	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Fruchtwechsel	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	

nicht signifikante Ertragsdifferenz (1993: $44,4 \pm 7,8$ dt ha⁻¹; 1995: $47,1 \pm 14,4$ dt ha⁻¹). Die Standardabweichung der Ertragswerte in Abhängigkeit von der Fruchtfolgegestaltung war nahezu gleich groß (Selbstfolge 41,2 \pm 13,14 dt ha⁻¹, Fruchtwechsel $50,62 \pm 12,27$ dt ha⁻¹).

Der Trockenmassegehalt des Erntegutes nach Abschluß der Nachreife lag im Mittel aller Varianten bei $87,8 \pm 1,73\%$ (Tab. 2). Er zeigte keine düngungs- und fruchtwechselbedingten Unterschiede der Werte, die auf einen abweichenden Reifeverlauf der Körner hinweisen würden.

Hohe hl-Gewichte werden allgemein als Maß für ein gut entwickeltes und dickbauchiges Getreidekorn angesehen und sind deshalb ein wichtiges Kriterium im Getreidehandel. In diesen Versuchen zeigten sich überraschenderweise weder zwischen den Düngungsvarianten noch zwischen den Abteilungen ohne und mit Fruchtwechsel (Tab. 2) bemerkenswerte Unterschiede. Die Werte für die einzelnen Varianten schwankten nur zwischen 74,3 und 75,2 kg hl⁻¹ und lagen im Bereich einer hohen Qualitätseinschätzung für Winterroggen. Jahresunterschiede bestanden nicht (1993: $74,74 \pm 0,47$ kg hl⁻¹ und 1995: $74,76 \pm 0,31$ kg hl⁻¹).

Auch das Tausendkorngewicht (TKG) läßt in den Meßwerten keine Differenzen erkennen (Tab. 2). Im Mittel aller Varianten liegen sie bei 29,15 g. Im Jahr 1993 waren sie etwas günstiger ($30,0 \pm 0,96$ g) gegenüber 1995 ($28,33 \pm 1,25$ g).

Trotz der großen Ertragsunterschiede geben weder hl-Gewicht noch TKG einen Hinweis auf Unterschiede in der Qualität des Erntegutes, insbesondere der ungedüngten Varianten (Var. V, II und VI) im Vergleich zu vollgedüngten.

Mahlverhalten

Die unterschiedliche Witterung in den beiden Untersuchungsjahren hatte deutlichen Einfluß auf die Mahleigenschaften. So lag die Ausbeute an Schrotmehl im zweiten Jahr um absolut 2,5% niedriger (33,7/31,2%) und die von Roggenmehl der Mehltypen 997 andererseits um absolut 6,6% höher (79,8/86,4%) als im ersten Jahr. Eine Erklärung für diese letztgenannten höheren Werte kann nicht gegeben werden. Dagegen zeigte die Kornhärte keine jahresbedingten Unterschiede (Tab. 2).

Düngung und Fruchtwechsel blieben dagegen ohne signifikanten Einfluß auf die drei Merkmale (Tab. 2). Die

Mittelwerte der Schrotmehlausbeute lagen sortentypisch für „Amando“ nur bei 32,1 (ohne Fruchtwechsel) bzw. 32,7% (mit Fruchtwechsel). Bei der Ausbeute an Mehl der Type 997 zeigte das Erntegut bei Fruchtwechsel (Abt. B) nur eine geringfügig höhere Ausbeute als bei Selbstfolge (+1,2%) (Tab. 2), die offenbar mit dem um 9,4 dt ha⁻¹ höheren Ertrag in Verbindung steht.

Innere Qualitätsmerkmale

Auch bei den Inhaltsstoffen des Mehles führten die differenzierte Düngung und der Fruchtwechsel nicht zu gesicherten Abweichungen (Tab. 3), wohl aber ergaben sich sehr ausgeprägte Jahreseffekte.

Der Proteingehalt im Korn lag im Mittel aller Düngungsvarianten im Jahr 1993 bei $8,95 \pm 0,67$ und 1995 bei nur $7,48 \pm 0,62\%$. Bemerkenswerte, aber nicht signifikante Unterschiede bestanden zwischen den Varianten. Überwiegend lagen die Gehalte bei Selbstfolge etwas höher, und einen positiven Einfluß hatte auch die Stallmistdüngung (Var. I und IV) (Tab. 3).

Im Gehalt an den für das Backverhalten des Roggens wichtigen Pentosanen bestanden nur sehr geringe Unterschiede, die keine signifikante Beziehung zu den Düngungen und dem Fruchtwechsel erkennen lassen (Tab. 3).

Dagegen bestand offensichtlich ein Einfluß der Jahreswitterung. So brachte das Erntegut 1993 im Mittel höhere Werte für den Gehalt an den verschiedenen Komponenten als das zweite Erntejahr 1995: Gesamtgehalt an Pentosanen 1993: 9,26%; 1995: 9,03%. Gehalt an löslichen Pentosanen 1993: 2,62%; 1995: 1,99%. Löslicher Anteil am Gesamtgehalt 1993: 28,3%; 1995: 22,0%.

Auch in der Fallzahl war der Jahreseffekt dominierend. Das spiegelt die bekannte Empfindlichkeit des Roggens für die Witterungssituation unmittelbar vor der Ernte wider. Im Jahr 1993 deutet der Mittelwert von $175 \pm 12,6$ s an, daß im Vergleich zu 1995 mit $317 \pm 15,4$ s zur Ernte schon eine Aktivierung der α -Amylase eingetreten war.

Der Wert für Var. V (ungedüngt) lag dagegen nur um 8 s unter dem der Var. III (NPK-Düngung). Der Fruchtwechsel (Abt. B) ließ den Meßwert um 8 s im Vergleich zur Selbstfolge ansteigen (242/250 s) (Tab. 3).

Auch beim Verkleisterungsverhalten der Stärke (Viskosität und Temperatur im Verkleisterungsmaximum der Amylogramme) war der Jahreseinfluß stark ausgeprägt: Das Erntejahr 1993 fällt deutlich mit 770 ± 50 AE-Ein-

Tab. 3: Einfluß von unterschiedlicher Düngung und Fruchtwechsel auf die inneren Qualitätsmerkmale (Mittelwerte von zwei Jahren)
Effect of different fertilization and crop rotation on internal quality traits (means of two years)

Variante	Düngung	Proteingehalt %		Pentosane						Fallzahl ^s	
				gesamt %		löslich %		Anteil, löslich %			
		ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel
I	St I	9,1	8,5	9,44	9,20	2,41	2,11	25,2	22,9	236	247
II	PK	7,9	8,0	9,35	9,19	2,07	2,39	22,3	26,8	260	252
III	NPK	8,3	7,8	8,98	9,34	2,25	2,40	24,8	25,4	242	249
IV	NPK + St	9,2	8,7	9,33	8,85	2,59	2,46	27,8	27,8	234	250
V	Ungedüngt	8,0	8,0	8,65	9,14	2,29	2,18	26,5	22,9	234	241
VI	St II	7,9	7,7	9,34	8,91	2,13	2,38	22,8	26,6	250	262
\bar{x}	Mittelwert	8,4	8,1	9,18	9,10	2,29	2,32	24,9	25,4	242	250
GD 5%	Düngung	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Fruchtwechsel		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.

heiten und $63,7 \pm 3,5$ °C gegenüber dem Erntejahr 1995 mit 1421 ± 97 AE-Einheiten und $80,6 \pm 1,3$ °C ab. Die Differenz zwischen Ungedüngt (Var. V) und Volldüngung (Var. III) ist dagegen mit 19 AE-Einheiten und 0,4 °C sehr gering und statistisch nicht als gesichert einzuschätzen (Tab. 4). Niedrigere Amylogramm Daten sind mit dem höheren Auswuchsdruck 1993 zu erklären. Auch diese Werte liegen im Optimum für die Verarbeitung zu Brot.

Backverhalten

Hinsichtlich der Backeigenschaften ist hervorzuheben:

1) Die Mehle wiesen in beiden Versuchsjahren relativ günstige Parameter für die verschiedenen Backeigenschaften auf,

2) die vorstehend für die inneren Qualitätsmerkmalen dargelegten beträchtlichen Jahresunterschiede übertragen sich nur sehr geringfügig auf die Backergebnisse und mindern die Qualität des Backwerkes nicht.

So zeigte die insgesamt hohe Teigausbeute im Mittel aller Varianten für die beiden Versuchsjahre (Tab. 5) nur eine Differenz von 1,4 g. Es bestanden auch keine Unterschiede in der Krumenelastizität (gut bis gut/etwas weich). Das erzielte hohe Backvolumen ist – auch bedingt durch

Tab. 4: Einfluß von unterschiedlicher Düngung und Fruchtwechsel auf die Eigenschaften des Mehles (Mittelwerte von zwei Jahren)

Effect of different fertilization and crop rotation on flour quality (means of two years)

Variante	Düngung	Verkleisterungsmaximum			
		Viskosität AE		Temperatur °C	
		ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel
I	St I	1005	1055	72,3	73,3
II	PK	1070	1068	73,0	71,8
III	NPK	1093	1195	72,0	73,0
IV	NPK + St	1080	1110	72,0	73,3
V	Ungedüngt	1120	1130	73,0	72,8
VI	St II	1013	1213	71,8	73,8
\bar{x}	Mittelwert	1063	1128	72,3	73,0
GD 5%	Düngung	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Fruchtwechsel		n.s.		n.s.

die Sorte „Amando“ – insgesamt als sehr gut einzuschätzen (Abb. 2). Die Volumenausbeute der einzelnen Varianten schwankte nur zwischen 294 und 340 ml 100 g⁻¹ Mehl. Das Backvolumen war im Erntejahr 1993 mit 328 ± 7 ml um 25 ml größer als 1995 mit 303 ± 8 ml, dies ist offenbar auf die leicht erhöhte α -Amylase-Aktivität zurückzuführen.

Die langjährig einseitige Düngung und auch der Fruchtwechsel im Anbau mit Kartoffeln zeigten keine gesicherten Auswirkungen auf die Backeigenschaften. Das Mehl des Erntegutes der ungedüngten bzw. ohne N-Düngung gebliebenen Parzellen (Var. V, VI und II) ließ keine meßbaren Unterschiede in der Teigausbeute g 100 g⁻¹ Mehl, in der Porenlockerung und -gleichmäßigkeit des Backwerkes und in der Krumenelastizität zu den optimal versorgten Beständen erkennen (Abb. 3). Die Volumenausbeute schwankte bei insgesamt hohen Mittelwerten ebenfalls nur minimal (Abb. 2). Zwischen dem Erntegut von den NPK-Parzellen (Var. III) und den ungedüngten (Var. V) war die Differenz bei kontinuierlicher Selbstfolge des Roggens (Abt. C) <4 ml, bei Fruchtwechsel (Abt. B) bestand dagegen gar keine solche (Tab. 5). Die integrierte Qualitätszahl der beschreibenden Backmerkmale nach WEIPERT (1998c) ließ ebenso keine Unterschiede erkennen (Tab. 5), mit den Werten im Bereich von 24–20 ist eine sehr gute Qualität beschrieben.

Auch die Auswirkungen des Fruchtwechsels auf die Backverhalten blieben sehr geringfügig. Die Teigausbeute zeigt zwar unter Bedingungen des Fruchtwechsels im Mittel aller Varianten eine signifikante Abnahme um 1 g Teig 100 g⁻¹ Mehl (Tab. 5). Sie ist jedoch produktionstechnisch unbedeutend. Die Volumenausbeute an Backwerk fiel unter diesen Anbaubedingungen nur unbedeutend (nicht signifikant) um 2,8 ml 100 g⁻¹ Mehl gegenüber der Monokultur ab (Tab. 5).

Diskussion und Schlußfolgerungen

Im Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ führte die differenzierte Düngung, vor allem bei unterlassener N-Zufuhr mit der Düngung, im Verlauf von >100 Jahren zu einem starken Rückgang der Kornerträge. Als Folge des eingetretenen Nährstoffmangels betrug die Erträge auf der ungedüngten Parzelle (Var. V) bei kontinuierlicher Selbstfolge des Roggens nur 52 bis 60% im Vergleich zur mine-

Tab. 5: Einfluß von unterschiedlicher Düngung und Fruchtwechsel auf die Qualität des aus dem Mehl der Ernteprodukte gebackenen Brotes (Mittelwerte von zwei Jahren)

Effect of different fertilization and crop rotation on the quality of the baked products (means of two years)

Variante	Düngung	Teigausbeute g 100 g ⁻¹ Mehl		Brotvolumenausbeute ml 100 g ⁻¹ Mehl		Krumenelastizität (Jahr 1993)		Qualitätszahl	
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
		Fruchtwechsel		Fruchtwechsel		Fruchtwechsel		Fruchtwechsel	
I	St I	178	176	329	314	gut, etwas weich	gut, etwas weich	21	22
II	PK	177	175	311	312	gut, etwas weich	gut, etwas weich	22	22
III	NPK	176	176	317	316	gut, etwas weich	gut, etwas weich	23	22
IV	NPK + St	177	176	323	320	gut, etwas weich	gut, etwas weich	22	22
V	Ungedüngt	176	175	313	316	gut, etwas weich	gut, etwas weich	22	22
VI	St II	175	174	309	308	gut, etwas weich	gut, etwas weich	23	23
\bar{x}	Mittelwert	176	175	317	314			22,2	22,2
GD 5%	Düngung	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.
	Fruchtwechsel		0,91		n.s.				n.s.

ralischen Volldüngung. Auch in anderen Versuchen mit langjährigem Roggenanbau war auf ungedüngten Parzellen ein solcher Ertragsabfall gegeben, z. B. im Statischen Versuch in Moskau auf Rasenpodsol-Boden nach 75 Jahren bei Monokultur auf 51% und bei Fruchtwechsel auf 79,4% bezogen auf die NPK-Mineraldüngungen (KIRJUSHIN 1997).

Für die Varianten II (ohne N-Zufuhr) und VI (frühere Stallmistdüngung) war in unserem Versuch der Minderertrag etwas geringer. Eine analoge Differenzierung besteht in der Abteilung B (Fruchtwechsel). Das im Mittel aller Varianten und Anbaujahre um 9,4 dt ha⁻¹ höhere Ertragsniveau beim Fruchtwechsel ist auf die unterschiedliche Nutzungsweise der beiden im Fruchtwechsel stehenden Pflanzen zurückzuführen. Beim Winterroggen werden bei der Ernte mit dem Korn und Stroh beachtliche Mengen an Stickstoff u. a. Nährstoffen entnommen. Bei den Kartoffeln stirbt das Kraut in der Regel vor der Ernte ab. Es verbleibt auf dem Boden und wird schnell mineralisiert, so daß mit den Kartoffelknollen insgesamt relativ geringe

Nährstoffmengen entzogen werden. So steht dem auf die Kartoffeln folgenden Winterroggen im Vergleich zu dem in Selbstfolge eine insgesamt höhere N-Menge zur Verfügung. Dies erklärt wenigstens teilweise die höheren Erträge beim Fruchtwechsel (Abt. B).

Insgesamt entsprechen die Ertragsabstufungen zwischen den Varianten in beiden Untersuchungsjahren denen, die bereits STUMPE & HAGEDORN (1979) und GARZ et al. (1996) für diesen Versuch beschrieben haben.

Anders als der Ertrag waren weder die äußeren Qualitätsmerkmale (hl- und Tausendkorngewicht) noch die Vermahlungseigenschaften durch die verschiedenen Düngungsvarianten und den Fruchtwechsel verändert.

Bei den inneren Qualitätsmerkmalen wird üblicherweise zuerst auf den Proteingehalt geachtet, doch der ist für die Verarbeitung des Roggens von untergeordneter Bedeutung. Die Stallmistgaben bewirkten eine bemerkenswerte Erhöhung im Proteingehalt (bis zu 1,2%). Zwischen dem Erntegut aus mineralischer Düngung und Ungedüngt gab es lediglich Differenzen von <0,35% absolut.

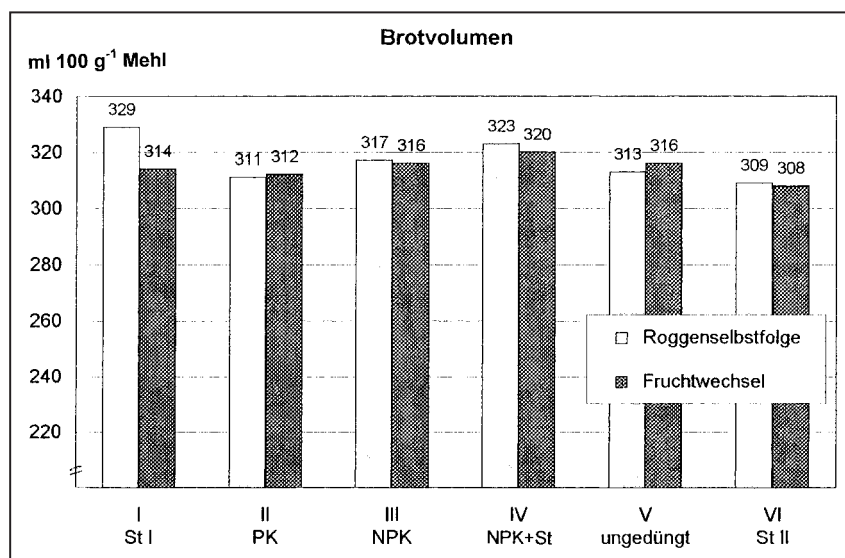


Abb. 2: Einfluß von unterschiedlicher Düngung und Fruchtwechsel auf das Brotvolumen nach dem Rapid Mix Test (Mittelwerte von 1993 und 1995)

Effect of different fertilization and crop rotation on the loaf volume according to the Rapid Mix Test (means of 1993 and 1995)

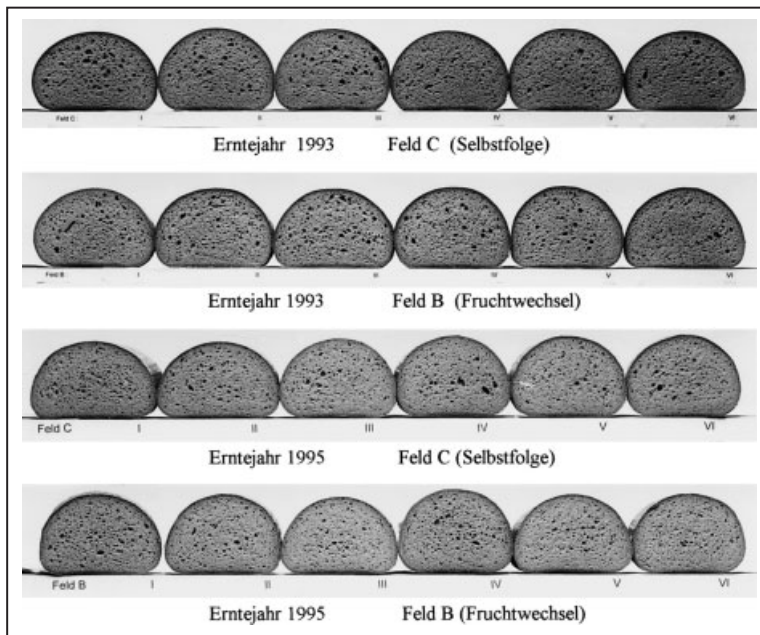


Abb. 3: Querschnitt des Gebäckes aus dem Erntegut der verschiedenen Varianten von Düngung und Fruchtwechsel (hergestellt nach dem Standard-Sauerteig-Verfahren)

Cross section of loafs made of flour from the various fertilizer and crop rotation variants (using the sour dough formula baking test)

Da das Backverhalten des Roggens entscheidend vom Gehalt an Pentosanen und ihrem löslichen Anteil sowie von den Verkleisterungseigenschaften der Stärke (Viskosität und Temperatur im Verkleisterungsmaximum der Amylogramme) bestimmt wird, verlangen diese Merkmale vorrangige Beachtung. Doch auch für sie brachte weder die mehr als 100 Jahre gleichartige, stark differenzierte Düngung noch der Fruchtwechsel mit Kartoffeln signifikante Unterschiede. Daher überrascht es letztendlich nicht, daß auch an den hergestellten Backwaren keine erkennbaren Abweichungen im Brotvolumen, in der Porenverteilung und in der Krumenelastizität bestimmt werden konnten. Der letztgenannte Parameter ist wiederum für die Kaufähigkeit des Gebäckes verantwortlich (WEIPERT 1998c). Für alle Back-Prüfmerkmale wurden sehr gute Werte Zahlen bestimmt. Sie liegen in dem Bereich, der kürzlich auch von WEIPERT (1998b) als sortentypisch für die Hybridsorte „Amando“ angegeben wurde.

In gewissem Widerspruch zu diesen Befunden steht, daß Roggenpflanzen bei Sommerdürre und der dabei kurzfristig eintretenden starken Verknappung der Wasser- und Nährstoffversorgung während der Vegetation, vor allem während der Kornausbildung, mit einem Ertragsabfall reagieren. Dies ist in der Regel mit einem Absinken des TKG und des hl-Gewichtes und einem Rückgang in der Backqualität verbunden (SEIBEL & STELLER 1988). Bei dem vorliegenden Versuch lag in den Untersuchungsjahren keine solche „Notreife“ vor. Die Tatsache, daß der erhebliche Nährstoffmangel hier ohne Folgen für die innere und verarbeitungstechnologische Qualität blieb, liegt in der Fähigkeit der Roggenpflanze, bei einer vom Keimstadium an geringen Nährstoffversorgung frühzeitig mit einer Verringerung der Anzahl der zur Ausbildung kommenden Reproduktionsorgane (Karyopsen) zu reagieren. Dadurch können auch unter diesen ungünstigen Bedingungen genügend Nährstoffe in das Endosperm für den sich später entwickelnden Keimling eingelagert und die notwendigen enzymatischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Keimung erfüllt werden. Sie sind die Voraussetzung, daß sich aus diesen Körnern auch ein hochqualitatives Backwerk herstellen läßt. Visuell ließen in diesem Versuch die Hauptähren von den vollgedüngten und den ungedüngten Parzellen keine Unterschiede

erkennen. Somit ging der Ertragsabfall zu Lasten der sekundären und tertiären Ähren im ungedüngten Bestand. Auch SPECHT (1995) stellte in einem anderen Dauerversuch mit Roggen auf ungedüngten Parzellen einen Ertragsabfall um 47,3 bis 54,1% (bei gleicher Aussaatstärke) fest. Dieser war in erster Linie auf einen stärkeren Rückgang der Ährenzahl m^{-2} (um 21,6 bis 44,5%), aber weniger auf eine Abnahme der Kornzahl je Ähre (um 17 bis 35% bezogen auf Parzellen mit 75 kg N ha^{-1}) zurückzuführen.

Die während der gesamten Vegetationszeit gefallene Niederschlagsmenge (1995 nahe dem langjährigen Mittelwert, 1993 60 mm erhöht) und ihre Verteilung veränderte vorrangig die Mahleigenschaften und besonders den Pentosan-Gehalt des Mehles. Die Feuchtigkeitsbedingungen in den letzten 30 Tagen vor der Ernte wirkten sich auf Grund der für Roggen bekannten geringen Auswuchsresistenz (WEIPERT 1998b) in erster Linie auf die inneren qualitativen Eigenschaften, wie die Fallzahl und das Verkleisterungsverhalten der Stärke aus. Sie belegen eine sehr zeitig eingeleitete Aktivierung der α -Amylase und den beginnenden korrosiven Stärkeabbau schon vor dem Zeitpunkt des Mähdrusches. So führte das Erntejahr 1995 mit seinem trockenen Erntewetter (60,7 mm in 30 Tagen) zu hervorragenden Backqualitätsmerkmalen. Das Jahr 1993 war zur Erntezeit deutlich feuchter (106 mm in 30 Tagen), daher zeigten verschiedenen Parameter einen beginnenden Qualitätsrückgang an. Trotzdem konnte aus dem Mehl aller Düngungs- und Fruchtwechselvarianten noch ein qualitativ hochwertiges Gebäck gewonnen werden, weil der eingeleitete Qualitätsabbau noch rechtzeitig mit der Bergung des Getreides vom Halm begrenzt werden konnte.

Die Ergebnisse aus diesem Dauerversuch lassen erkennen, daß ein ausgesprochen niedriges Nährstoffniveau im Boden beim Anbau von Roggen weder bei einem integrierten noch bei einem ökologischen Anbau von sich aus zu einer ungünstigen Backqualität führt. Voraussetzung ist aber, daß das sehr geringe Nährstoffangebot bereits während der frühesten Jugendentwicklung der Roggenpflanze vorliegt und daß durch andere Streßfaktoren (wie einsetzender deutlicher Wassermangel während der Vegetation, starke Spätverunkrautung u. a.) keine „Notreife“-Situation für die Pflanze entsteht.

Literatur

- AMTLICHE TAFELN zur Ermittlung der Schüttdichte, 1967: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Deutscher Eichverlag, Braunschweig, 4. Auflage.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT Getreideforschung e.V., 1994: Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot. Verlag M. Schäfer, Detmold, 7. Auflage.
- BÖTTCHER, H., D. WEIPERT, E. HAGEDORN & J. GARZ, 1997: Zur Verarbeitungsfähigkeit des Erntegutes aus dem Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ in Halle/Saale. *Kühn-Arch.* **91**, 111–125.
- BRÜMMER, J.-M., 1997: Ermittlung der Wasseraufnahme von Roggen-Typenmehlen für den Sauerteig Standard-Backversuch. *Mühle und Mischfutertechn.* **124**, 306–310.
- DELCOUR, J. A., S. VANHAMEL & C. DE GEEST, 1989: Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides. I. Colorimetric analysis of pentosans and their relative monosaccharide composition in fractionated (milled) rye products. *Cereal Chemistry* **66**, 107ff.
- DÖRFEL, H. & P. LEZOVIC, 1997: Ein Komponentenmodell für den Ertrag der Prüfglieder im „Ewigen Roggenbau“. *Kühn-Arch.* **91**, 205–216.
- GARZ, J., H. STUMPE, W. SCHLIEPHAKE & E. HAGEDORN, 1996: Ertragsentwicklung im Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ Halle nach den 1990 vorgenommenen Umstellungen in der Düngung. *Z. Pflanzenernährung Boden.* **159**, 373–376.
- KIRJUSHIN, B. D., 1997: Der Statische Feldversuch an der Timirjasev-Akademie Moskau – Ergebnisse aus langjährigen Untersuchungen. *Arch. Acker- Pfl. Boden.* **42**, 235–245.
- KOLBE, G. & H. STUMPE, 1969: Neunzig Jahre „Ewiger Roggenbau“. *Thaer-Arch.* **13**, 933–949.
- KÜHN, J., 1901: Das Versuchsfeld des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle a. d. Saale. *Ber. physiolog. Labor. u. Vers.-Anstalt landw. Inst. Univ. Halle* **15**, 169–189.
- MERBACH, W., L. SCHMIDT & L. WITTENMEYER, 1999: Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale). B.G. Teubner Stuttgart – Leipzig, 28–44.
- ROEMER, T. & H. IHLE, 1925: Die Einfelderwirtschaft auf dem Versuchsfeld des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Halle. *Kühn-Arch.* **9**, 13–52.
- SCHEFFER, F., 1931: Chemische und biologische Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Böden des „Ewigen Roggenbaus“ in Halle a. d. Saale. *Wiss. Arch. Landw., Abt. A. Arch. Pflanzenbau* **7**, 169–238.
- SCHLIEPHAKE, W., J. GARZ & H. STUMPE, 1999: Verbleib des ¹⁵N nach einmaliger Verabreichung von markiertem Düngestickstoff im Dauerversuch Ewiger Roggenbau Halle. *J. Plant Nutrition Soil Sci.* **162**, 429–435.
- SCHMALFUSS, K., 1950: Siebzig Jahre „Ewiger Roggenbau“. *Kühn-Arch.* **63**, 1–14.
- SEIBEL, W. & W. STELLER, 1988: Roggen. Behr's Verlag, Hamburg.
- SEIBEL, W. & H. STEPHAN, 1980: Verarbeitungswert von Roggenmählerzeugnissen. Auswertung von Roggenbackversuchen. *Getreide, Mehl und Brot* **34**, 203–206.
- SPECHT, M., 1995: Auswirkungen verringerter Aufwandmengen an Stickstoff auf Ertragshöhe, Ertragsstruktur und Qualität von Backweizen, Braugerste und Brotroggen unter Berücksichtigung der Bodennitratgehalte und der optimalen speziellen Intensität. Dissertation, Landwirtschaftliche Fakultät Halle.
- STUMPE, H. & H. HAGEDORN, 1979: Die Ergebnisse des Versuches „Ewiger Roggenbau“ in den letzten 16 Jahren nach teilweiser Umwandlung der Roggen-Monokultur in Mais-Monokultur und Kartoffel-Roggen-Fruchtwechsel. *Wiss. Beitr. Univ. Halle*, **5** (S 14) 32–46.
- WEIPERT, D., 1998a: Beschreibung des Verarbeitungswertes von im Jahr 1997 zugelassenen Winterroggensorten. *Getreide, Mehl und Brot* **52**, 131–134.
- WEIPERT, D., 1998b: Roggen: Sorte und Umwelt. – 1. Teil: Indirekte Qualitätsmerkmale. *Getreide, Mehl und Brot* **52**, 208–217.
- WEIPERT, D., 1998c: Roggen: Sorte und Umwelt. – 2. Teil: Qualitätsmerkmale und Verarbeitungswert. *Getreide, Mehl und Brot* **52**, 259–263.
- WEIPERT, D., 1999: Roggen: Sorten und ihre Verarbeitungswerte. Profile der deutschen Winterroggensorten. *Mühle und Mischfutertechn.* **136**, 441–447.

Eingegangen am 15. September 1999;
angenommen am 10. März 2000

Anschriften der Verfasser:

- Prof. Dr. Horst Böttcher, Institut für Ernährungswissenschaften, Universität Halle-Wittenberg, Emil Abderhalden-Str. 26, D-06108 Halle.
- Dr. Dorian Weipert, Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold und Münster, Schützenberg 12, D-32756 Detmold.
- Prof. Dr. Joachim Garz, Zechenhausstr. 4a, D-06120 Halle.