

Friedhelm Herbst, Lothar Schmidt, Wolfgang Merbach

Die Entwicklung des Ertragsniveaus im „Ewigen Roggenbau“ in Halle/S. seit 1879

Development of the level of yields in Eternal Rye Trial in Halle/S. (Germany) since 1879

189

Zusammenfassung

Es werden die Ertragsentwicklung im „Ewigen Roggenbau“ an Winterroggen von 1879 bis 2010 sowie an Mais und Kartoffeln von 1962 bis 2010 bei vier Düngungsvarianten anhand von Dekadenmitteln betrachtet und mögliche Ursachen für Niveauänderungen genannt. Die Winterroggenerträge nahmen bis 1920 ab, blieben danach bis in die 1960er Jahre etwa konstant und stiegen dann bis zur Gegenwart bei allen Varianten an. Bei der ungedüngten Variante betrug das Dekadenmittel des Kornertrages nach Versuchsbeginn 22,7 dt/ha, fiel bis in die 1920er Jahre auf 10,7 dt/ha ab und nahm ab Ende der 1960er Jahre bis zur letzten Dekade wieder auf 22,2 dt/ha zu. Die Ursachen für den Ertragsabfall in den ersten 40 Jahren nach Versuchsbeginn lagen hauptsächlich in den negativen Wirkungen der Monokultur und der Verwendung von Saatgut von der Versuchsfläche. Für den Ertragsanstieg kommen vor allem der Einsatz neuer, ertragsreicherer Sorten, die regelmäßige Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und vielleicht auch die erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentration in Betracht.

Stichwörter: Dauerfeldversuch, Monokultur, Fruchtwechsel, Ertrag, Winterroggen

Abstract

In Eternal Rye Trial of Halle/Germany the development of yields is considered for winter rye 1879–2010 and as well as corn and potatoes 1962–2010 to four fertilizer treatments based on decade averages and possible causes for changes in level are mentioned. The yields of winter rye decreased up to 1920, thereafter they remained until

the 1960 years more or less constant, and then went up to the present on all variants. In the unfertilized variant, the decade average grain yield was after the start of 22.7 dt/ha, decreased to the 1920 s up to 10.7 dt/ha from and increased from the late 1960 s until the last decade again to 22.2 dt/ha. The causes of the yield drop in the first 40 years after the start of Eternal Rye were mainly in the negative effects of monoculture and the use of seed of the trial area. The yield increase since 1920 were caused mainly by cultivation of new, higher-yielding varieties, regular use of plant protection products and perhaps also by elevated atmospheric CO₂ concentration.

Key words: Long-term field trial, monoculture, crop rotation, yield, winter rye

Einleitung

Der „Ewige Roggenbau“ in Halle/S. ist der älteste in Deutschland noch bestehende Dauerdüngungsversuch (KÖRSCHENS, 1997). Er wurde 1878 von Julius KÜHN auf dem Versuchsfeld der damaligen Vereinigten Friedrichs-Universität am Rande der Stadt Halle/Saale als Dauerversuch mit fünf Varianten (ohne Wiederholungen) und Roggenmonokultur angelegt.

Die nachfolgende Betrachtung der Ertragsergebnisse stellt eine Fortschreibung bisheriger Auswertungen dar. Dabei stehen aber bei der jetzigen Darstellung nicht die Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten im Vordergrund, sondern vor allem die langjährige Entwicklung des Ertragsniveaus und die möglichen Ursachen für die eingetretenen Veränderungen. Die dazu vorliegenden Auswertungen von LEZOVIC (1998) und SCHMIDT et al. (2000) haben dieses Thema nur begrenzt behandelt. Auch

Institut

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle/Saale

Kontaktanschrift

Dr. Friedhelm Herbst, Alte Heerstr. 105, 06132 Halle/Saale, E-Mail: herbst.halle@gmail.com

Zur Veröffentlichung angenommen

19. April 2017

bei der Darstellung von Ergebnissen zu ähnlichen langjährigen Dauerdüngungsversuchen an anderen Standorten war diese Problematik bisher nicht die Hauptzielstellung der Betrachtungen (POWLSON und POULTON, 1998; KÖRSCHENS et al., 2002; JATE, 2010). Außerdem wird auch auf die in den bisherigen Untersuchungen genutzten, verschiedenen Auswertemethoden eingegangen, welche die Ergebnisinterpretation beeinflussen.

Material und Methoden

Der Versuch liegt im mitteldeutschen Trockengebiet mit einem mittleren Jahresniederschlag von ca. 500 mm und einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9,2°C. Der Boden der Versuchsfläche ist eine stark lessivierte Schwarzerde (Parabraunerde-Tschernosem) mit lehmigem Sand bis ca. 80 cm Tiefe und kiesführendem Lehm (aus Geschiebemergel) darunter. Die Bodenzahl beträgt 47. Der jüngste ausführliche Überblick zum Kühnfeld, den dortigen Dauerdüngungsversuchen und weiteren Ergebnissen zum „Ewigen Roggenbau“ liegt von MERBACH und DEUBEL (2007) vor.

Bei der Anlage des Versuches betrug die Parzellengröße je 1000 m² (11,75 m × 85,15 m). Aufgrund einer starken Ausbreitung von Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*), besonders auf dem nördlichen Versuchsteil, wurde die Fläche 1961 in drei Großteilstücke (Abt. A, B, C) mit dazwischen liegenden Schwarzbracheflächen geteilt, um den Ackerschachtelhalm auf den stark befallenen Teilflächen besser mechanisch bekämpfen zu können. Seitdem werden neben Winterroggen auch Mais (Silomais) in Monokultur und Kartoffeln im Fruchtwechsel mit Winterroggen angebaut. Die Parzellengröße beträgt seither 290 m² (11,75 m × 24,75 m). Bei Winterroggen und Mais wird bei der Ernte die gesamte oberirdische Pflanzenmasse von den Parzellen abgefahren, während bei den Kartoffeln das Kraut am Feld verbleibt.

Im Versuchsverlauf sind einige Prüfvarianten verändert worden, um aktuellen Fragestellungen gerecht zu werden. Die wichtigsten Veränderungen sind in Tab. 1 aufgeführt. Der aktuelle Versuchsplan liegt in Abb. 1 vor und die ausgebrachten Düngermengen sind in Tab. 2 enthalten. Der zum Einsatz kommende Stallmist ist Rinderdung. Der Mineralstickstoff wurde bis 1948 als Ammonstickstoff je zur Hälfte im Herbst und Frühjahr verabfolgt. Danach wurden 15 kg N/ha im Herbst als Ammonsulfat und der Rest im Frühjahr als Kalkammonsalpeter gedüngt. Seit 2000 wird die gesamte N-Menge (60 kg N/ha) im Frühjahr als Kalkammonsalpeter verabreicht. Bis 1994 wurde K als Kainit, P bis 1925 als Thomasphosphat und später als Superphosphat gegeben. Seither wird K als granuliertes Kali und P als granuliertes Doppelsuperphosphat verabreicht.

Eine Kalkung der Versuchspartellen war vom Versuchsbegründer J. KÜHN nicht vorgesehen, wurde aber 1949 und 1985 zur Vermeidung einer übermäßigen Versauerung auf der Grundlage der hydrolytischen Azidität des Bodens für die einzelnen Partellen in einem unter-

schiedlichen Umfang vorgenommen. Chemische Pflanzenschutzmittel kamen ab 1966 auf der Grundlage der neuesten Erkenntnisse und einer guten fachlichen Praxis zum Einsatz, z.B. ab 1966 „Hedolit“ (Dinitrophenol), ab 1974 „Trazalex“ (Nitrofen + Simazin), ab 1988 „Uvon Kombi“ (Prometryn), ab 1992 der Halmstabilisator „Camposan“ (Ethepon), ab 1996 „Mikado“ (Sulcotrione) und ab 2001 „Artett (Bentazon + Terbutylazin)“. Die eingesetzten Winterroggen-, Mais- und Kartoffelsorten weist Tab. 3 aus.

In die Betrachtung der Ergebnisse werden nur die Varianten einbezogen, die im Versuchsverlauf keine Veränderungen (ohne Düngung und PK-Düngung) bzw. nur geringfügige Veränderungen (Stallmist- und NPK-Düngung) erfahren haben.

Tab. 1. Wesentliche Versuchsänderungen ab Versuchsbeginn
Important changes since the beginning of the trial

Jahr	Maßnahme
1878	Versuchsanlage mit 5 Partellen und Winterroggen-Monokultur
1893	Anlage einer 6. Partelle mit 80 dt/ha Stallmist pro Jahr
1952	Einstellung der Düngung auf der 6. Partelle
1961	Dreiteilung der Fläche in insgesamt 18 Partellen: Abt. A: Silomais-Monokultur Abt. B: Fruchtwechsel Winterroggen-Kartoffeln Abt. C: Winterroggen-Monokultur
1990	1. Auf Partellen mit ausschließlicher mineralischer N-Düngung – kombinierte Düngung von Stallmist + mineralischem NPK 2. Stallmist-Partellen: anstelle 120 dt/ha – 60 kg N/ha als Bemessungsgrundlage für die jährliche Stallmistgabe 3. Erhöhung der mineralischen N-Düngung von 40 auf 60 kg N/ha pro Jahr (Angleichung an die Stallmistvariante)

Stallmist-Düngung	mineral. PK-Düngung	mineral. NPK-Düngung	mineral. NPK-Düngung + Stallmist	ohne Düngung	ohne Düngung (von 1893 bis 1953 Stallmist)
			Silomais-Monokultur (Abt.A)		
			Schwarzbrache		
			Fruchtwechsel Winterroggen-Kartoffeln (Abt.B)		
			Schwarzbrache		
			Winterroggen-Monokultur (Abt.C)		

Abb. 1. Aktueller Versuchsplan ab 1990.
Current trial design since 1990

Tab. 2. Prüfvarianten und jährliche Düngermengen*Test variants and annual amounts of fertilizer*

Variante	Stallmist I	PK	NPK	N	ohne	Stallmist II
ab 1878	120 dt/ha Stallmist ¹⁾	24 kg P/ha 75 kg K/ha	40 kg N/ha 24 kg P/ha 75 kg K/ha	40 kg N/ha	keine Düngung	ab 1893 80 dt/ha Stallmist
ab 1990	60 kg N/ha als Stallmist	24 kg P/ha 75 kg K/ha	60 kg N/ha 24 kg P/ha 75 kg K/ha	NPK + Stallmist	keine Düngung	ab 1954 keine Düngung

¹⁾ enthielt ca. 65 kg N, ca. 20 kg P und ca. 60 kg K

Die Darstellung der Ertragsergebnisse erfolgt gemäß den jüngsten Auswertungen (MERBACH und DEUBEL, 2007; HERBST und SCHMIDT, 2009) für alle angebauten Fruchtarten als Dekadenmittel. Dadurch sollen die großen Jahresschwankungen, welche vor allem durch die Witterung verursacht worden sind und die unberücksichtigt bleiben sollen, ausgeglichen werden. Beim Vergleich der Erträge von Winterroggen in Monokultur und mit Fruchtwechsel fließen wie bei den Kartoffeln in die Dekadenmittel jeweils nur fünf Anbaujahre ein. Dazu werden aus Abt. C (Monokultur) nur die ungeraden Jahreszahlen herangezogen, in welchen in Abt. B (Fruchtwechsel) auch Winterroggen angebaut wurde. Die Winterroggenerträge in Abt. C (Monokultur) der Jahre 1989 und 1990 werden bei der Darstellung der Zeitreihe nicht berücksichtigt. Der Grund dafür liegt in den Versuchsänderungen im Herbst 1990 und der Fortsetzung von Dekadenmittelwerten ab 1991.

Anderenfalls hätte vor 1990 ein 12-jähriges Mittel gebildet werden müssen. Aus den gleichen Erwägungen kommt bei den Maiserträgen von 1982 bis 1990 nur ein 9-jähriger Mittelwert zur Anwendung. Ein ebenfalls nur 9-jähriges Mittel liegt bei Winterroggen von 1960 bis 1968 vor, weil im Herbst 1958 kein Roggen ausgesät wurde aufgrund der mechanischen Bekämpfung des Ackerschachtelhalmes bis Sommer 1959.

Die Witterungsdaten im Versuchszeitraum (Niederschlag, Lufttemperatur) stammen von der naheliegenden Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Halle-Kröllwitz (DÖRING, 2015) und sind entsprechend den Dekaden der Ertragsdaten zusammengefasst worden.

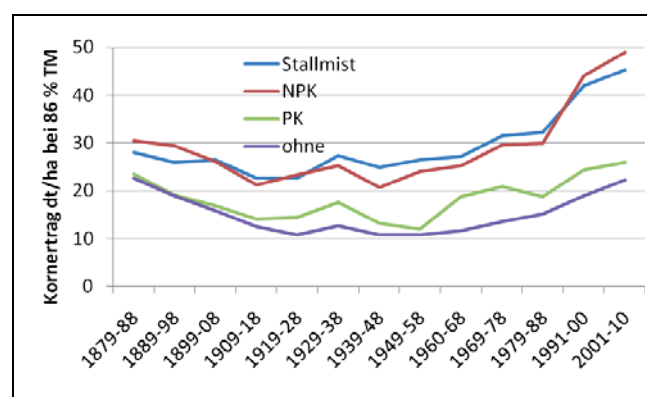
Zur Deutung der Beziehungen zwischen der Ertragsbildung und Witterungsfaktoren wurden die linearen Korrelationskoeffizienten mit dem Programm „Excel“ ermittelt.

Tab. 3. Angebaute Sorten*Cultivated varieties*

ab Jahr	Winterroggen	Mais	Kartoffeln
1878	Saaleroggen		
1922	Petkuser		
1962		Siloma	Meise
1970			unbekannt
1971		Boss	
1972	Danae		
1975	Dankowski Zlote		
1976		BEKE 270	
1982	Janos	Bermador	
1987	Pluto	Bekelux	
1990			Solina
1993	Amando		
1994		Boss	
1996		Lenz	Karatop
1998			Koretta
2000	Nikita		Agave
2008			Agria

Ergebnisse

Die Entwicklung der Erträge von Winterroggen, Mais und Kartoffeln ist in den Abb. 2, 3 und 4 dargestellt. Sie ist bei den drei Fruchtarten unterschiedlich verlaufen. In Bezug auf die Wirkung der Düngungsmaßnahmen besteht

**Abb. 2. Entwicklung der Winterroggenerträge als Dekadenmittel (Abt. C, Monokultur).***Development of winter rye yields as decade means (Abt. C, monoculture)*

bei allen drei Fruchtarten dahingehend Übereinstimmung, dass ohne Düngung das niedrigste Ertragsniveau vorliegt, gefolgt von der PK-Düngung. Bei der NPK- und Stallmist-Düngung ist das höchste und annähernd gleiche Ertragsniveau zu verzeichnen.

Beim Winterroggen (Abb. 2) ist es von 1879 bis ca. 1920 zu einem andauernden Absinken der Erträge gekommen. Danach blieben sie bis in die 1960er Jahre etwa konstant und stiegen nachfolgend bis zur Gegenwart wieder kontinuierlich. Von dieser Entwicklung sind alle vier dargestellten Varianten in gleicher Weise betroffen. Der Anstieg der letzten Jahrzehnte war jedoch bei den Volldüngungsvarianten (Stallmist, NPK) tendenziell stärker als bei den Mangelvarianten. Bei der ungedüngten Variante betrug das Dekadenmittel des Kornertrages nach Versuchsbeginn 22,7 dt/ha, fiel bis in die 1920er Jahre bis auf 10,7 dt/ha ab und stieg ab Ende der 1960er Jahre bis zur letzten Dekade (2001–2010) wieder auf 22,2 dt/ha an.

Bei den Maiserträgen (Abb. 3) kam es von Versuchsbeginn (1962) bis ca. 1990 zu keinen wesentlichen Veränderungen im Ertragsniveau. Danach nahmen die Erträge bei den NPK- und Stallmist-Düngung stark zu, während sie bei PK-Düngung und ohne Düngung auf etwa dem gleichen Niveau stagnierten.

Bei den Kartoffeln (Abb. 4) blieben die Erträge bei der ungedüngten Variante von Versuchsbeginn (1962) an relativ konstant auf einem niedrigen Niveau. Bei den gedüngten Varianten ist es bis ca. 1980 zu einem Abfall der Erträge gekommen. Dieses Ergebnis ist jedoch bei nur 5 Messwerten pro Dekade stark beeinträchtigt durch den fast völligen Ertragsausfall im Jahre 1976 wegen starker Trockenheit im Sommer. Danach stiegen die Erträge bis ca. 2000 geringfügig an und fielen im letzten Jahrzehnt wieder ab.

Der Vergleich der Ertragsentwicklung des Winterroggens mit den Witterungsdaten im Versuchszeitraum anhand von Dekadenmittelwerten lässt weder zur Niederschlagsmenge (Tab. 4) noch zur Lufttemperatur (Tab. 5) eine enge Beziehung erkennen. Die Korrelationskoeffizienten liegen zur Niederschlagsmenge nur bei 0,14 bzw. 0,40 und zur Temperatur zwischen 0,06 und 0,21. Auch bei Zugrundelegung der jährlichen Messwerte (nicht auf-

geführt) werden keine engeren Beziehungen festgestellt. Dies bedeutet, dass die Niederschläge und die Lufttemperatur bei der vorgenommenen Auswertung keinen entscheidenden Einfluss auf die dargestellte Ertragsentwicklung ausgeübt haben. In der über 130-jährigen Versuchszeit zeichnet sich bei beiden Witterungsparametern keine Tendenz zu einer Zu- oder Abnahme der Messwerte ab.

In der Tab. 6 sind die Ergebnisse zur Entwicklung der Winterroggenerträge bei Monokultur (Abt. C) und Fruchtwechsel (Abt. B) aufgeführt. Der wechselnde Anbau mit Kartoffeln hat bei allen Varianten zu einem deutlichen Ertragsanstieg des Roggens geführt. Im Mittel des Versuchszeitraumes von 1963 bis 2009 wurden durch den Fruchtwechsel ohne Düngung etwa 10 dt Korn/ha mehr geerntet. Bei der NPK- und Stallmistdüngung lag der Mehrertrag im Mittel des Versuchszeitraumes noch höher.

Diskussion

Die Ergebnisse zur Entwicklung des Ertragsniveaus anhand von Dekadenmitteln bekräftigen die Ergebnisse von LEZOVIC (1998) und SCHMIDT et al. (2000), die die Methode der „lokal angepassten funktionalen Approximation“ (LOAP-Kurven) angewendet haben. Mit dieser Methode kann das mittlere Niveau einer Ertragsentwicklung über die Jahre ermittelt werden. LEZOVIC (1998) kommt in Auswertung der Jahresmesswerte bis 1995 zu dem Schluss, dass sich die Ertragsverläufe aller Varianten in vier Abschnitte zerlegen lassen: 1878 bis 1920, 1920 bis 1960, 1960 bis 1992 und ab 1992. Die Abschnittsgrenzen sind dabei als Intervall von bis zu vier Jahren zu verstehen. Die Niveauänderungen deuten auf Versuchsumstellungen, z.B. geänderte Düngungsmaßnahmen und Sorten sowie Pflanzschutzmaßnahmen hin. Die vorliegenden Auswertungen anhand von Dekadenmitteln bestätigen die von LEZOVIC (1998) ermittelten Niveauänderungen, auch die von Anfang der 1990er Jahre. Diese tritt aber nur bei der NPK- und Stallmistdüngung auf und kann vor allem mit der veränderten Düngung bei diesen Varianten erklärt werden.

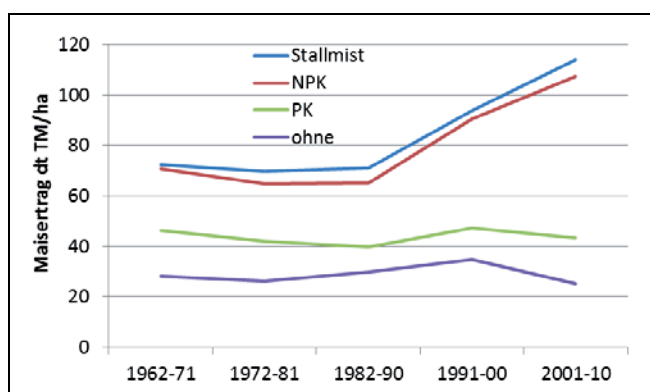


Abb. 3. Entwicklung der Maiserträge als Dekadenmittel (Abt. A, Monokultur).
Development of maize yields as decade means (Abt. A, monoculture)

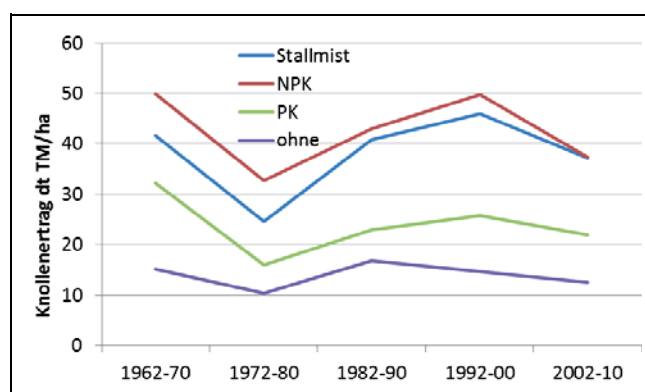


Abb. 4. Entwicklung der Kartoffelerträge (Abt. B, Fruchtwechsel).
Development of potato yields (Abt. B, crop rotation)

Tab. 4. Niederschlagsmengen im Versuchszeitraum und Korrelationskoeffizienten zum Kornertag (n = 13)*Rainfall during the trial period and correlation coefficients to the grain yield (n = 13)*

Dekade	Niederschlagsmenge in mm			
	Januar bis Dezember		April bis Juli	
	Mittel	Abweichung ¹⁾	Mittel	Abweichung ¹⁾
1879–88	502	–5	224	+11
1889–98	544	+37	196	–17
1899–08	532	+25	255	+42
1909–18	469	–38	190	–23
1919–28	529	+22	221	+8
1929–38	466	–41	206	–7
1939–48	565	+58	225	+12
1949–58	508	+1	233	+20
1959–68	456	–51	192	–21
1969–78	462	–45	188	–25
1979–88	461	–46	204	–9
1991–00	514	+7	221	+8
2001–10	598	+91	226	+13
1879 bis 2010	507		213	
Korrelationskoeffizient ²⁾	0,40		0,14	

¹⁾ Abweichung zum langjährigen Mittel von 1879 bis 2010²⁾ Korrelationskoeffizient zu den Dekaden-Kornertträgen der NPK-Variante in Abb. 2**Tab. 5. Lufttemperatur im Versuchszeitraum und Korrelationskoeffizienten zum Kornertag (n = 13)***Air temperature during the trial period and correlation coefficients to the grain yield (n = 13)*

Dekade	Lufttemperatur in °C					
	Gesamtjahr Januar–Dezember		Winterhalbjahr Oktober–März		Sommerhalbjahr April–September	
	Mittel	Abweich. ¹⁾	Mittel	Abweich. ¹⁾	Mittel	Abweich. ¹⁾
1879–88	8,6	–0,6	2,6	–0,8	14,6	–0,3
1889–98	8,9	–0,3	2,9	–0,5	15,0	+0,1
1899–08	9,2	0	3,4	0	14,7	–0,2
1909–18	9,3	+0,1	3,9	+0,5	14,8	–0,1
1919–28	9,2	0	3,7	+0,3	14,7	–0,2
1929–38	9,6	+0,4	3,7	+0,3	15,5	+0,6
1939–48	9,4	+0,2	3,0	–0,4	15,9	+1,0
1949–58	9,0	–0,2	3,2	–0,2	14,7	–0,2
1959–68	8,9	–0,3	3,1	–0,3	14,7	–0,2
1969–78	9,0	–0,2	3,5	+0,1	14,5	–0,4
1979–88	9,0	–0,2	3,1	–0,3	14,8	–0,1
1991–00	9,4	+0,2	3,7	+0,3	15,0	+0,1
2001–10	9,5	+0,3	3,6	+0,2	15,3	+0,4
1879–2010	9,2		3,4		14,9	
Korrelationskoeffizient ²⁾	0,21		0,15		0,06	

¹⁾ Abweichung zum langjährigen Mittel von 1879 bis 2010²⁾ Korrelationskoeffizient zu den Dekaden-Kornertträgen der NPK-Variante in Abb. 2

Tab. 6. Entwicklung der Winterroggenerträge bei Monokultur (Abt. C) und Fruchtwechsel (Abt. B)
Development of winter rye yields in monoculture (Abt. C) and crop rotation (Abt. B)

Zeitraum	Kornertrag dt/ha (86% TM)			prozentualer Anstieg
	Monokultur	Fruchtwechsel	Differenz	
ohne Düngung				
1963–69	12,7	21,3	8,6	67
1971–79	11,5	25,7	14,2	123
1981–89	18,1	25,7	7,6	42
1991–99	21,5	32,7	11,2	52
2001–09	18,6	28,5	9,9	53
Mittel	16,5	26,8	10,3	62
PK-Düngung				
1963–69	25,3	35,5	10,2	40
1971–79	21,3	30,5	9,2	43
1981–89	19,8	24,9	5,1	25
1991–99	27,3	36,3	9,0	33
2001–09	19,9	24,9	5,0	25
Mittel	22,7	30,4	7,7	34
NPK-Düngung				
1963–69	29,2	41,3	12,1	42
1971–79	27,5	40,8	13,3	48
1981–89	31,1	41,2	10,1	32
1991–99	49,4	61,1	11,7	24
2001–09	45,4	57,0	11,6	26
Mittel	36,5	48,3	11,8	32
Stallmist-Düngung				
1963–69	32,7	39,1	6,4	19
1971–79	25,0	42,0	17,0	68
1981–89	35,6	43,2	7,6	21
1991–99	45,8	59,4	13,6	30
2001–09	36,9	54,2	17,3	47
Mittel	35,2	47,6	12,4	35

SCHMIDT et al. (2000) legten bei der lokal angepassten funktionalen Approximation die Dekadenmittel des Kornertrages von 1879 bis 1989 zu Grunde und ermittelten bis 1989 die gleichen Veränderungen des Ertragsniveaus wie LEZOVIC (1998). Außerdem wiesen die Autoren mit der „Piecewise Regression“ anhand der Jahreserträge einen Bruchpunkt im Ertragsniveau zwischen 1921 und 1922 für die fünf ursprünglichen Prüfvarianten nach. Ein zweiter Bruchpunkt wurde zwischen 1958 und 1960 ermittelt, jedoch nur bei der PK-Düngung.

Die Darstellungen von RÖMER und IHLE (1925) nach 40 Versuchsjahren sowie von BÖHME (1930) und SCHEFFER (1931) nach 50 Versuchsjahren ergaben bis zu diesem Zeitpunkt anhand von Dekadenmitteln einen Ertragsrückgang bei allen Versuchsvarianten.

In den darauf folgenden Auswertungen wurden von MERKER (1956) nach 75 Versuchsjahren sowie KOLBE und

STUMPE (1969) nach 90 Versuchsjahren bei Heranziehung von Pentadenmitteln über den gesamten Versuchsverlauf ein Rückgang der Kornerträge festgestellt, der bei der Stallmistvariante am geringsten war. RAUHE und LEHNE (1966) haben bis 1958 unter Nutzung der Jahreswerte und der Anwendung der Regressionsanalyse für die ungedüngte Variante und die NPK-Düngung einen Ertragsabfall ermittelt, und zwar sowohl von Versuchsbeginn bis 1958 als auch für den Zeitraum von 1924 bis 1958. Demgegenüber blieb der Ertrag bei der Stallmistparzelle in beiden Zeiträumen fast konstant. SCHMALFUSS und KOLBE (1966) bewerteten das Ergebnis von RAUHE und LEHNE (1966) bezüglich des Vergleiches der NPK- und Stallmistvarianten kritisch und verwiesen darauf, dass mit 120 dt Stallmist/ha ca. 65 kg N/ha und mit der NPK-Düngung nur 40 kg N/ha jährlich zugeführt worden sind. Deshalb ist ein Vergleich nur begrenzt möglich und kann das Ergeb-

nis nicht verallgemeinert werden. Die N-Düngedifferenz zwischen der NPK- und Stallmistvariante war bei der 1990 erfolgten Versuchsänderung Anlass, die in beiden Varianten zugeführte N-Menge anzugleichen (60 kg N/ha).

Der Versuchsbegründer KÜHN (1901) hatte in seiner Auswertung nach 21 Versuchsjahren nicht auf die Abnahme der Kornerträge hingewiesen, was in der darauf folgenden Auswertung von RÖMER und IHLE (1925) ausdrücklich kritisiert wurde.

Bei der Betrachtung von ebenfalls langjährigen Dauerdüngungsversuchen an anderen Standorten zeigen sich ähnliche Ertragsentwicklungen wie beim „Ewigen Roggenbau“. Im 1843 angelegten Versuch in Rothamsted mit Winterweizen in Monokultur weist die Darstellung von Dekadenmitteln aus, dass der Ertrag sowohl bei der ungedüngten Variante als auch bei Volldüngung bis in die 1960er Jahre relativ konstant blieb. Danach kam es in Folge des Einsatzes neuer Sorten und von Herbiziden sowie Fungiziden zu einem Ertragsanstieg (POWLSON und POULTON, 1998). Im 1902 installierten Statischen Düngungsversuch in Bad Lauchstädt mit einer 4-feldrigen Fruchtfolge und jährlichem Anbau von Winterweizen nahmen dessen Kornerträge bei Darstellung von Regressionsgeraden bis nach 100 Versuchsjahren bei allen Versuchsvarianten einschließlich der ungedüngten Variante kontinuierlich zu (KÖRSCHENS et al., 2002). Der 1958 auf dem Hanninghof bei Dülmen angelegte Dauerdüngungsversuch mit einer 3-jährigen Fruchtfolge ergibt bei Bildung von langjährigen, zeitlich unterschiedlichen Mittelwerten bis 2007 bei den ungedüngten und mit PK-gedüngten Varianten keine Veränderung des Ertragsniveaus von Winterroggen, wohingegen bei der NPKMg-gedüngten Variante ein kontinuierlicher Anstieg des Ertrages zu verzeichnen ist (JATE, 2010).

Diese Ergebnisse lassen nicht nur den Einfluss der Versuchsbedingungen auf die Ertragsentwicklung erkennen. Es wird auch der Effekt der unterschiedlichen Mittelbildung und der verschiedenen Auswertemethoden deutlich, was die früheren Auswertungen zum „Ewigen Roggenbau“ ebenfalls zeigen. Zur Mittelbildung gilt grundsätzlich, dass die Ergebnisse von extremen Versuchsjahren umso weniger Einfluss auf das Mittel ausüben, je mehr Versuchsjahre dafür herangezogen werden. Dadurch lässt sich ein Trend sicherer abschätzen.

Als Ursachen für die Abnahme der Kornerträge nach Versuchsbeginn bis ca. 1920 kommen vor allem in Betracht:

- die negativen Wirkungen der Monokultur (SCHMALFUSS und KOLBE, 1961; SCHMIDT et al., 1999, 2000),
- der ständige Nachbau der Sorte 'Saaleroggen' und die Verwendung von Saatgut aus derselben Parzelle (SCHEFFER, 1931; SCHMIDT et al., 1999),
- die Erschöpfung des Bodens an den bei der Düngung fehlenden Nährstoffen (RÖMER und IHLE, 1925; SCHMALFUSS, 1950).

Ab Anfang der 1920er Jahre fielen in der dargestellten Auswertung und denen von LEZOVIC (1998) und SCHMIDT et al. (2000) die Erträge nicht weiter ab und blieben bis

in die 1960er Jahre relativ konstant. Verantwortlich dafür waren vermutlich der Anbau der Sorte 'Petkuser' und der Einsatz von zugekauftem Saatgut aus der Erhaltungszüchtung. Dadurch konnten offensichtlich die negativen Wirkungen der Monokultur ausgeglichen werden.

Seit den 1960er Jahren wird in allen Auswertungen ein kontinuierlicher Anstieg der Erträge bei Winterroggen bei allen Prüfvarianten deutlich. Als Ursache dafür kommen mehrere Faktoren in Betracht, deren Anteil an der Ertragssteigerung aber nicht quantifiziert werden kann. Die nachfolgende Reihenfolge der Auflistung der möglichen Ursachen stellt eine gewisse Bewertung ihrer Bedeutung beim Ertragsanstieg dar:

- Der Einsatz ertragreicherer Sorten und die Verwendung von zertifiziertem Saatgut schöpften das Ertragspotential des Bodens besser aus (GARZ, 1979; SCHMIDT et al., 1999).
- Durch die regelmäßige Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wurde die Konkurrenz von Unkräutern und Krankheiten unterdrückt und der Einsatz des Halmstabilisators „Camposan“ verringerte das Risiko von Lagergetreide (SCHMIDT et al., 1999).
- Die Vertiefung der Ackerkrume seit Ende der 1960er Jahre von ca. 20 cm Tiefe auf gegenwärtig ca. 35 cm Tiefe ermöglichte ein stärkeres Wurzelwachstum und eine bessere Ausnutzung des Ertragspotentials des Bodens (SCHMIDT et al., 1999; HERBST und SCHMIDT, 2009).
- Der hohe Eintrag von anorganischem Stickstoff mit dem Niederschlag, wobei dieser Eintrag seit den 1990er Jahren rückläufig ist (SCHMIDT et al., 1999; HERBST und SCHMIDT, 2009).
- Die kontinuierliche Zunahme des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre, wodurch eine höhere Assimilation möglich ist (HERBST und SCHMIDT, 2009). Letzteres wird durch neuere globale Analysen aus CO₂-Steigerungsversuchen bekräftigt (vgl. z.B. WANG et al., 2013; DAHM et al., 2015) und dürfte auf eine Verringerung des spezifischen Wasserverbrauchs pro Mengeneinheit gebildeter Pflanzenbiomasse zurückgehen (LÜTTGE et al., 2002; SCHULZE und MERBACH, 2008).
- Die häufige Bodenprobenahme zwischen 1980 und 2006 auf den Versuchspartellen mit einem Bohrstock bis 1 m Tiefe und teilweise noch tiefer, wodurch ein stärkeres Wurzelwachstum im Unterboden gefördert wurde.

Eine Ursache für die ermittelte ausbleibende Wirkung der Witterungsfaktoren auf die Ertragsbildung (Tab. 4 und 5) könnte darin zu sehen sein, dass bei den Niederschlägen eine Summenbildung und bei der Temperatur eine Mittelbildung für lange Zeiträume vorgenommen wurde. Dabei werden die kurzen Entwicklungsabschnitte des Winterroggens, in denen die Witterungsbedingungen eine größere Rolle für die Ertragsbildung gespielt haben könnten, überdeckt. Mit der Einstufung einer Vielzahl von kurzen Zeiträumen kann dem entgegengewirkt werden, was von MÄDE (1968) und LEZOVIC (1998) vorgenommen wurde. Eine solche Auswertung war aber nicht der Gegenstand dieser Arbeit.

Der Ertragsanstieg bei der PK-Düngung in der 9. und 10. Dekade (1959–1978) hängt mit einer sprunghaften Ausbreitung legumer Unkräuter als Folge des anhaltenden N-Mangels zusammen (GARZ et al., 1996). Nach ihrer Bekämpfung durch Herbizidanwendung normalisierten sich die Verhältnisse wieder.

Bei der Ertragsentwicklung von Mais und Kartoffeln bestehen im Vergleich zum Winterroggen zwei wesentliche Unterschiede:

Erstens setzte beim Winterroggen der Ertragsanstieg bereits in den 1960er Jahren ein, bei Mais und Kartoffeln dagegen erst in den 1980er Jahren. Die Gründe dafür könnten in Folgenden liegen:

- ein späterer züchterischer Fortschritt bei den Mais- und Kartoffelsorten,
- eine stärkere züchterische Ausrichtung bei Mais und Kartoffeln auf Intensivsorten mit einem höheren Düngungsanspruch, währenddessen beim Winterroggen im Versuch absichtlich keine Hybridsorten zum Einsatz kamen,
- bei Mais begann der negative Monokultureffekt erst mit dem Anbaubeginn (1962), während dieser bei Winterroggen schon seit über 80 Jahren bestand. In gleicher Richtung wirkte die nur einjährige Anbaupause bei Kartoffeln.

Der zweite Unterschied besteht darin, dass bei Mais und Kartoffeln ein wesentlicher Ertragsanstieg nur bei den NPK- und Stallmist-Parzellen und nicht auch bei den Varianten ohne Düngung und mit PK-Düngung vorliegt. Als Ursache dafür kommt neben dem Anbau von Intensivsorten ein erneutes starkes Auftreten von Ackerschachtelhalm seit den 1990er Jahren in Betracht. Davon betroffen sind bis zur Gegenwart besonders der Anbau von Mais und Kartoffeln und dabei hauptsächlich die Parzellen ohne Düngung und mit PK-Düngung. Die Gründe dafür liegen offensichtlich vor allem darin, dass der Winterroggen durch seinen Anbau bereits im Herbst den Ackerschachtelhalm stärker unterdrückt als Mais und Kartoffeln, die erst im späten Frühjahr gelegt werden. Andererseits breitet sich der Ackerschachtelhalm vor allem dort verstärkt aus, wo nährstoffbedingt das geringste Pflanzenwachstum vorliegt, d.h. ohne Düngung und bei einseitiger PK-Düngung. Als Schlussfolgerung ergibt sich hieraus, dass vermutlich der Ackerschachtelhalm wegen seiner Nährstoff- und Wasserkonkurrenz bei Mais und Kartoffeln bei den Parzellen ohne Düngung und mit PK-Düngung trotz verbesserter agrotechnischer Bedingungen seit den 1990er Jahren keinen wesentlichen Ertragsanstieg zugelassen hat.

Der Vergleich der Ertragsentwicklung bei den drei Fruchtarten lässt den Schluss zu, dass es in den letzten Jahrzehnten bei Winterroggen und Mais offensichtlich einen größeren züchterischen Fortschritt in Bezug auf die Ertragsbildung gegeben hat als bei Kartoffeln. Bei Kartoffeln kam es bei extremer Sommertrockenheit zu höheren Ertragseinbußen als bei Winterroggen und Mais. Bei der ungedüngten Variante reagierten Mais und Kartoffeln wesentlich stärker mit Ertragsrückgang als Winterroggen

(SCHMIDT et al., 2000). Bei den Volldüngungsvarianten (Stallmist, NPK) ist bei der C4-Pflanze Mais im letzten Jahrzehnt ein deutlich höherer Trockenmasseertrag erreicht worden als bei den C3-Pflanzen Winterroggen und Kartoffeln, auch bei Berücksichtigung der Massebildung des Strohes bzw. Kartoffelkrautes. Dabei ist die Vegetationszeit des Maises nur etwa halb so lang wie bei Winterroggen. Beim Winterroggen kamen jedoch bisher im Gegensatz zum Mais keine Hybridsorten zum Einsatz. Zum Mais im „Ewigen Roggenbau“ ist weiterhin bemerkenswert, dass es bei dem mehr als 50-jährigen Anbau in Monokultur bisher zu keinem ertragsbeeinflussenden Auftreten von Schaderregern, wie z.B. Maiszünsler, gekommen ist (HERBST et al., 2013). Von ausschlaggebender Bedeutung hierfür könnte sein, dass nach der Ernte die Maisstopplern stets untergepflügt wurden.

Der Mehrertrag des Winterroggens bei Fruchtwechsel mit Kartoffeln gegenüber der Monokultur liegt gemessen am absoluten Ertrag tendenziell bei den NPK- und Stallmisdüngung höher als ohne Düngung und PK-Düngung (Tab. 6). Dagegen ist der prozentuale Ertragsanstieg bei Fruchtwechsel bei der ungedüngten Variante deutlich höher als bei den Düngungsvarianten. Während des Versuchszeitraumes ist keine Tendenz zu einer Zu- oder Abnahme des Mehrertrages durch den Fruchtwechsel erkennbar. Als Ursachen für den Mehrertrag kommen vor allem in Betracht:

- die phytosanitären Effekte des Fruchtwechsels (STUMPE, 1979; MERBACH et al., 1999; SCHMIDT et al., 1999, 2000; MERBACH und DEUBEL, 2007),
- die Nährstoffaufnahme aus dem verbleibenden Kartoffelkraut auf der Parzelle (GARZ und STUMPE, 1992; SCHMIDT et al., 1999),
- eine geringere Beanspruchung des Boden- und Dünger-N wegen der flacheren Durchwurzelung des Bodens durch die Kartoffeln und wegen des Anbaus von Frühkartoffeln aufgrund der rechtzeitigen Aussaat des folgenden Winterroggens (GARZ und STUMPE, 1992; MERBACH et al., 1999; SCHMIDT et al., 2000; MERBACH und DEUBEL, 2007),
- eine höhere Nährstoffmobilisation durch den Kartoffelanbau (STUMPE, 1979).

Die Ergebnisse zum „Ewigen Roggenbau“ veranschaulichen, dass aus diesem Feldversuch vielfältige Erkenntnisse nicht nur zu Düngungsmaßnahmen, sondern auch zum Anbau verschiedener Fruchtarten und zu weiteren agrotechnischen Maßnahmen gewonnen werden können, die eine Weiterführung dieses und ähnlicher Versuche notwendig machen.

Literatur

- BÖHME, R.W., 1930: Die Dauer der Ertragsfähigkeit der Böden unter verschiedenen Anbausystemen. *Kühn-Archiv* 26, 47-412.
 DAHM, K.P., D. LAVES, W. MERBACH, 2015: Der heutige Klimawandel. Eine kritische Analyse des Modells von der menschlich verursachten globalen Erwärmung, Verlag Dr. Köster Berlin.

- DÖRING, J., 2015: Werden Wetterextreme zur Normalität? 165 Jahre Klimamessungen in Halle/S. geben Antwort. Vortrag am 18.11.2015 im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Hallesche Gesprächsreihe Klimawandel“ des Unabhängigen Institutes für Umweltfragen UfU e.V. und des Dienstleistungszentrums Klimaschutz der Stadt Halle (Saale).
- GARZ, J., 1979: 100jähriges Bestehen des Versuches „Ewiger Roggenbau“ Halle. Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde **23**, 563-571.
- GARZ, J., H. STUMPE, 1992: Der von Julius Kühn begründete Versuch „Ewiger Roggenbau“ in Halle nach 11 Jahrzehnten. Kühn-Archiv **86**, 1-8.
- GARZ, J., H. STUMPE, W. SCHLIEPHAKE, E. HAGEDORN, 1996: Ertragsentwicklung im Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ Halle nach den 1990 vorgenommenen Umstellungen in der Düngung. Z. Pflanzenern. Bdk. **159**, 373-376.
- HERBST, F., L. SCHMIDT, 2009: 130 Jahre Ewiger Roggenbau: Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft. Mitteilungen Agrarwissenschaften **16**, Grauer Verlag Beuren – Stuttgart, 33-44.
- HERBST, F., H. EISSNER, L. SCHMIDT, W. MERBACH, 2013: Untersuchungen zum Maisanbau in den Dauerdüngungsversuchen auf dem Julius-Kühn-Feld in Halle (Saale). Mitteilungen Agrarwissenschaften **24**, Verlag Dr. Köster Berlin, 142-154.
- JATE, M., 2010: Long-term effect of balanced mineral fertilizer application on potato, winter rye, and oat yields; nutrient use efficiency; and soil fertility. Archiv Agron. Soil Sci. **56**, 421-432.
- KOLBE, G., H. STUMPE, 1969: Neunzig Jahre „Ewiger Roggenbau“. Albrecht-Thaer-Archiv **13**, 933-949.
- KÖRSCHENS, M., 1997: Die wichtigsten Dauerfeldversuche der Welt – Übersicht, Bedeutung, Ergebnisse. Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde **42**, 157-168.
- KÖRSCHENS, M., I. MERBACH, E. SCHULZ, 2002: 100 Jahre Statistischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.
- KÜHN, J., 1901: Das Versuchsfeld des landwirtschaftlichen Institutes der Universität Halle/Saale. Berichte aus dem physiologischen Laboratorium und der Versuchsanstalt des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle **15**, 169-189.
- LEZOVIC, P., 1998: Beitrag zur Methodik der Dauerfeldversuche. Diss. Univ. Halle-Wittenberg, München, Herbert Utz Verlag.
- LÜTTGE, U., M. KLUGE, G. BAUER, 2002: Botanik. 4. Auflage, Weinheim, Verlag Wiley-VCH.
- MÄDE, A., 1968: Some remarks on the influence of precipitation on the yield of rye. Proc. UNESCO-Symp. Natural Resources Research, 337-340.
- MERBACH, W., A. DEUBEL, 2007: The long-Term Fertilization Trials in Halle/Saale, Germany. A Tool for Sustainable and Environmentally Compatible Land Management – Contributions of Plant Nutrition Science in Halle 13. Teubner Research, Dt. Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- MERBACH, W., L. SCHMIDT, L. WITTENMAYER (Hrsg.), 1999: Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale). Beitr. Hallenser Pflanzenernährungsforschung, Stuttgart, Leipzig, B.G. Teubner Verlag.
- MERKER, J., 1956: Untersuchungen an den Ernten und den Böden des Versuches „Ewiger Roggenbau“ in Halle (Saale). Kühn-Arch. **70**, 153-215.
- POWELSON, D.S., P.R. POULTON, 1998: Using the long-term experiments at Rothamsted to address current agricultural and environmental issues. Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde **42**, 455-478.
- RAUHE, K., I. LEHNE, 1966: Betrachtungen zu den Ergebnissen des Dauerdüngungsversuches „Ewiger Roggenbau“ in Halle im Hinblick auf die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. 1. Mitteilung: Die Ertragsentwicklung. Albrecht-Thaer-Archiv **10**, 3-18.
- RÖMER, Th., H. IHLE, 1925: Die Einfelderwirtschaft auf dem Versuchsfelde des Institutes für Pflanzenbau- und Pflanzenzüchtung der Universität Halle. Kühn-Archiv **9**, 13-52.
- SCHAEFFER, F., 1931: Chemische und biologische Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Böden des „Ewigen Roggenbaues“ in Halle a. S. Archiv f. Pflanzenbau **7**, 169-238.
- SCHMALFUSS, K., 1950: Siebzig Jahre „Ewiger Roggenbau“. Kühn-Archiv **63**, 1-14.
- SCHMALFUSS, K., G. KOLBE, 1961: Der „Ewige Roggenbau“ in Halle nach 80 Jahren. Wiss. Z. Univ. Halle, Math.-Nat. X, **2/3**, 425-430.
- SCHMALFUSS, K., G. KOLBE, 1966: Einige Bemerkungen zu den Ergebnissen des „Ewigen Roggenbaues“ in Halle. Albrecht-Thaer-Archiv **10**, 35-41.
- SCHMIDT, L., J. GARZ, W. MERBACH, 1999: 120 Jahre Dauerdüngungsversuch Ewiger Roggenbau in Halle/Saale. UFZ-Bericht **24/1999**, 5-8.
- SCHMIDT, L., K. WARNSTORFF, H. DÖRFEL, P. LEINWEBER, H. LANGE, W. MERBACH, 2000: The influence of fertilization and rotation on soil organic matter and plant yields in the long-term Eternal Rye trial in Halle (Saale), Germany. J. Plant Nutr. Soil Sci. **163**, 639-648.
- SCHULZE, J., W. MERBACH, 2008: Nitrogen rhizodeposition of young wheat plants under elevated CO₂ and drought stress. Biol. Fert. Soils **44**, 417-423.
- STUMPE, H., 1979: Die Ergebnisse des Versuches „Ewiger Roggenbau“ Halle nach seiner Teilung im Jahre 1961. Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde **23**, 573-580.
- WANG, L., Z. FENG, J.K. SCHJOERRING, 2013: Effects of elevated atmospheric CO₂ on physiology and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). A meta-analysis test of current hypotheses. Agric. Ecosys. Environment **178**, 57-63.