

**Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Landwirtschaftliche Fakultät**

**Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung**

## **Exkursionsführer**

**Dauerdüngungsversuche  
auf dem Julius-Kühn-Versuchsfeld  
in Halle (Saale)**

L. SCHMIDT · J. GARZ · W. MERBACH · L. WITTENMAYER

Exkursionsführer Dauerdüngungsversuche  
auf dem Julius-Kühn-Versuchsfeld in Halle (Saale)

L. SCHMIDT, J. GARZ, W. MERBACH, L. WITTENMAYER  
Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Adam-Kuckhoff-Straße 17b  
D-06108 Halle  
[http://www.landw.uni-halle.de/lfak/inst/boku/  
Halle/Saale, 2002](http://www.landw.uni-halle.de/lfak/inst/boku/Halle/Saale,2002)

Halle an der Saale, im März 2002

# Inhaltsverzeichnis

1	The long-term fertilization trials at Halle (Saale) .....	5
1.1	Eternal rye cropping trial <i>Ewiger Roggenbau</i> .....	5
1.2	Long-term fertilization experiments .....	7
2	Entstehungsgeschichte und Aufgabenstellung des Versuchsfeldes .....	11
3	Standortbeschreibung .....	13
3.1	Geografische Lage .....	13
3.2	Klima .....	13
3.3	Boden .....	16
4	Die Dauerdüngungsversuche auf dem Versuchsfeld in Halle .....	19
4.1	<i>Ewiger Roggenbau</i> .....	19
4.1.1	Material und Methoden .....	19
4.1.2	Erträge .....	20
4.1.3	Boden .....	22
4.2	Kalkdüngungsversuch <i>Feld A</i> .....	26
4.2.1	Material und Methoden .....	26
4.2.2	Erträge .....	27
4.2.3	Boden .....	28
4.3	K-Düngungsversuch <i>Feld C</i> .....	30
4.3.1	Material und Methoden .....	30
4.3.2	Erträge .....	31
4.3.3	Boden .....	34
4.4	P-Düngungsversuch <i>Feld D</i> .....	36
4.4.1	Material und Methoden .....	36
4.4.2	Erträge .....	37
4.4.3	Boden .....	38
4.5	Mineralisch-organische Düngungsversuche <i>Feld F</i> .....	41
4.5.1	Material und Methoden .....	41
4.5.2	Mineraldüngungsversuch <i>F1a</i> .....	42
4.5.2.1	Material und Methoden .....	42
4.5.2.2	Erträge .....	42
4.5.2.3	Boden .....	44
4.5.3	Mineralisch-organischer Düngungsversuch <i>F1b</i> .....	45
4.5.3.1	Material und Methoden .....	45
4.5.3.2	Erträge .....	45
4.5.3.3	Boden .....	46

4.5.4	Strohdüngungsversuch <i>F2a</i> .....	48
4.5.4.1	Material und Methoden .....	48
4.5.4.2	Erträge .....	48
4.5.4.3	Boden .....	49
4.5.5	Stallmistdüngungsversuch <i>F3</i> .....	51

5	Literatur .....	54
---	-----------------	----

# 1 The long-term fertilization trials at Halle (Saale)

## 1.1 Eternal rye cropping trial *Ewiger Roggenbau*

The world's second oldest still working long-term fertilization experiment was founded by Julius KÜHN in 1878 to investigate the yield efficiency of mineral fertilization and its effect on soil fertility in comparison to farmyard manuring and to omission of any fertilization. More recent investigations focus on the nutrient dynamics and the stability of soil organic matter (SOM), due to the different fertilization and cropping systems.

The soil of the trial site is a obviously leached Mollisol (Haplic Phaeozem) on sandy loess: 69 % sand, 22 % silt, 9 % clay (loamy sand) with a depth of 80...100 cm over glacial till. The mean groundwater level amounts to 150 cm. There are cool-temperate climatic conditions: 494 mm, 9.2 °C, and 1684 hours of sunshine (long-term annual average). The input of nitrogen by atmosphere depositions amounts 40...50 kg/(ha · a).

The fertilization treatments (without replication) consist of following annual application of fertilizers/nutrients (Table 1):

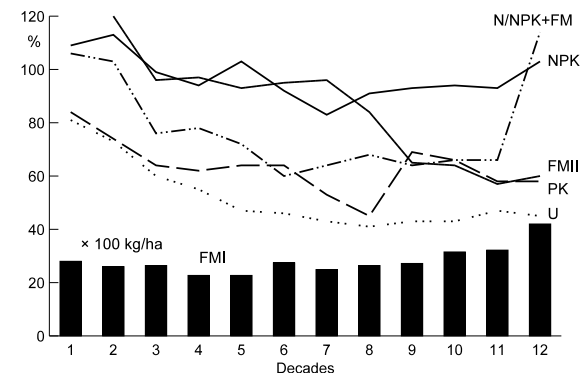
**Table 1.** Annual application of fertilizers and nutrients in kg per hectare — “Ewiger Roggenbau”.

Treatment	Symbol	Time period	N	P	K
12 t/ha farmyard manure	FMI	1878/1990	≈65	≈20	≈60
≈12 t/ha farmyard manure		1991/today	60	≈18	≈55
PK mineral fertilizers	PK	1878/today	0	24	75
NPK mineral fertilizers	NPK	1878/1990	40	24	75
		1991/today	60	24	75
N mineral fertilizers	N	1878/1990	40	0	0
NPK and farmyard manure	NPK+FM	1991/today	120	≈42	≈130
unfertilized	U	1878/today	0	0	0
8 t/ha farmyard manure	FMI	1893/1952	≈43	≈13	≈40
		1953/today	0	0	0

In summer of 1961, each of six plots was divided into three subplots to compare continuous rye cropping with rye-potato-rotation and continuous maize cropping in their interactions with fertilization treatments.

In autumn of 1990 the change of treatment N into NPK+FM was linked with a melioration fertilization of 200 and 400 kg P resp. K per hectare, and N amount was equilibrated between NPK and FM at 60 kg/ha.

The development of winter rye yield (see Figure 1) approve that the nutrient need of crops can be completely met by mineral fertilizers (NPK) without any yield decreases compared to FM with equilibrated N amount. N deficient fertilization (PK) led to immediate yield decrease, whereas PK deficiency (N) effected a yield reduction after about 20 years, due to soil release potential with P and K.



**Figure 1.** Development of rye yield from 1878 to 1998. Black columns: yield of FMI in 100 kg per hectare; lines: yield relative to FMI in percent — *Ewiger Roggenbau*.

After an adequate compensating P and K fertilization in 1990, the full yield capacity was immediately given in the harvest 1991 (NPK+FM). In particular the yield response of potato but also of silo maize on different fertilization was more sensitive than that of winter rye. Monoculture led to a considerable yield decrease (up to 30 %) of rye and silo maize too. Long-term yield trend was influenced by improvements of cropping management (e.g. cultivars, ploughing depth, pesticides), external factors (depositions) and weed investigations (e.g. legumes in the ninth decade).

Soil-C content (see Table 2) was enhanced by FMI about 30 %, maintained in NPK and decreased under nutrient deficiencies (U about 10 %). The levelling of a new C steady state according to fertilization took about 40...50 years. The residual effects of the 60 years FMI treatment on yield and SOM were still detectable after 45 years without fertilization and will be continued in the next decades. FM contributed to a higher percentage of stable SOM components, and also the lower SOM content in U got its than the mineral fertilized soil.

**Table 2.** C content (%) of soil in 0...20 cm depth — *Ewiger Roggenbau*.

Year	Division	Trial years	FMI	NPK	U
1878		0	1.24	1.24	1.24
1929		50	1.64	1.24	1.15
1953		75	1.68	1.26	1.12
1986	Rye	108	1.73	1.41	1.29
1986	Potato – rye	108	1.53	1.30	1.24
1986	Silo maize	108	1.66	1.37	1.22
1995	Rye	117	1.72	1.42	1.16
1995	Potato – rye	117	1.53	1.19	1.07
1995	Silo maize	117	1.67	1.28	1.12

## 1.2 Long-term fertilization experiments

The complex of six fertilization trials was established by Karl SCHMALFUSS in 1949 to examine the response of crops and soil to different doses and kinds of fertilizers. Up to now, four trials have been continued.

The soil of the trial site is a slightly leached Mollisol (Haploboroll, FAO: Haplic Phaeozem) on sandy loess (55 % sand, 33 % silt, 12 % clay), with a depth of 0.8 m, pH 6.2 (0.1 M KCl), CEC of 130 mmol/kg, and a bulk density of 1.5 g/cm<sup>3</sup>, over glacial till. The groundwater level is 2.0 m. The climatic conditions are cool temperate: 494 mm precipitation, 9.2 °C, and 1684 hours of sunshine (annual average). The block design with systematic distribution of three to six replications contains 30 m<sup>2</sup> plots.

### *Field A: Lime fertilization trial*

Four Ca fertilization levels have been tested: 0, 0.5, 1.0, 2.0 t CaO/ha every three years after the harvest of barley, since twenty years with two P levels: with and

**Table 3.** Influence of liming on pH of soil in 0...20 cm depth — *Field A*.

Trial years	0 t CaO	0.5 t CaO	1.0 t CaO	2.0 t CaO
0	6.1	5.9	6.0	5.9
15	5.4	5.7	6.5	7.2
30	5.3	5.8	6.7	7.1
50	4.5	5.3	6.4	7.0

without P fertilization. The crop rotation includes: bean/pea – sugar beet/potato – spring barley.

The liming influenced considerably the soil pH in the upper layers (Table 3). In the soil layer deeper than 60 cm, no influence of liming on pH was observed. In order to sustain the original pH value, doses of about 250 kg/(ha · a) were necessary. The crop yields responded slightly to the liming (Table 4). Even twenty years after the cessation of P fertilization, no significant yield differences are recorded.

**Table 4.** Influence of liming on crop yield (in t dry matter per hectare) and relative to the 1.0 t-CaO treatment (in per cent). Mean values for 1981...1996, with P. — *Field A*.

Crop	1.0 t CaO	0 t CaO	0.5 t CaO	2.0 t CaO
	t/ha	%		
Sugar beet	9.33	104	106	94
Potato	7.95	100	102	98
Bean	2.89	96	97	99
Spring barley	4.87	101	100	101

### *Field C: Potassium fertilization trial*

Four K treatments : K0 = 0, K1 = 60, K2 = 120, K4 = 240 kg K/ha, and four K fertilizers: kainite, muriate of potassium, potassium sulfate, Kamex on the level K2, have been examined in the crop rotation: potato – silo maize – spring wheat –

**Table 5.** Dry matter (dm) yield and gain compared to K0 — *Field C*.

Crop	dry matter yield in t/(ha · a)				gain in kg dm/kg K		
	K0	K1	K2	K4	K1	K2	K3
Spring barley	4.14	4.75	4.85	4.81	10	6	3
Spring wheat	4.85	5.01	4.92	4.85	3	1	0
Pea	2.10	2.40	2.60	2.50	5	4	2
Silo maize	12.50	13.70	14.00	14.30	20	12	8
Potato	4.91	6.36	7.88	8.25	24	25	14
Fodder beet	6.16	7.79	9.40	10.01	27	27	17
Sugar beet	8.20	10.20	11.30	12.20	34	26	17
Average	5.80	6.80	7.40	7.64	17	15	8

sugar beet – spring barley. The crops responded differently to K fertilization (Table 5). The different K fertilizers did not significantly influence the average crop yields. After 50 years, the K balance (K fertilized minus K removal) was at  $K0 = -66$ ,  $K1 = -31$ ,  $K2 = -4$ , and  $K4 = +93$  kg/ha.

The DL soluble K concentration of the soil changed from 90 mg/kg in 1949 to 64, 67, 98, and 164 mg/kg in  $K0$ ,  $K1$ ,  $K2$ , and  $K4$ , respectively, in 1991. The results show a large K release potential of the sandy loess due to its illitic clay minerals. K fertilization influenced the ammonium-fixation capacity and other soil properties.

*Field D: Phosphate fertilization trial*

P amounts of 0, 15, 45 kg/(ha · a) as annual doses and applied in three-years intervals were combined with three P fertilizer forms: basic slag, superphosphate, and alkali sinterphosphate have been examined in the following crop rotation: lucerne – lucerne – potato – winter rye – sugar beet – barley. There was a significant decrease in the DL soluble P concentration of the soil (Table 6) in the treatments with a negative P balance:

**Table 6.** Influence of P fertilization on DL soluble P concentration (mg/kg) of soil of 0... 20 cm depth in 1949 and in 1979 and of 0...30 cm depth in 1999 — *Field D*.

Year	0 kg P/ha	15 kg P/ha	45 kg P/ha
1949	85	85	85
1979	37	52	85
1999	38	55	66

**Table 7.** Influence of P fertilization on crop yield (t dry matter/ha) after 50 years of different P fertilization— *Field D*.

Crop	0 kg P/ha	15 kg P/ha	45 kg P/ha
Lucerne	10.54	10.86	11.23
Potato	7.02	7.25	7.52
Sugar beet	10.23	10.51	10.52
Winter rye	5.43	5.56	5.56
Spring barley	3.47	3.69	3.86
Average	7.99	8.25	8.47

Smaller differences in the DL soluble P content among the treatments were found in the deeper soil layers.

In the first three rotations, no significant yield differences caused by P were observed. The mean crop yields responded slightly to the 50 year lasting differences in the P input (Table 7).

Mainly crops like barley, potato, and lucerne in the sowing year (by shallow roots) responded to P fertilization by a higher yield. The different kinds of P fertilizer and P storage fertilization did not significantly influence the yield.

*Field F: mineral and organic fertilization trial*

The field F is divided in three sections:

*F1* – nutrient lack and combination of organic and mineral fertilization. Yield decreases due to nutrient lack compared to complete inorganic fertilization have been observed in the following cases: Non-fertilized 30 to 60 %, PK 25 to 40 %, NP 10 to 30 %. Omission of P fertilization caused no yield depressions, which points out to a higher P than K release potential of the soil. Farmyard manure (FM) compared with NPK (same N amount) yielded (mean 1950...1997) from 62 (potato) to 106 % (winter wheat). The combination of NPK and FM showed no additional yield effect of FM. Farmyard manure increased soil organic matter (SOM) content in comparison to NPK.

*F2* – straw manuring [5 t/(ha · a)] without N decreased the yields, but increased the SOM, mainly the decomposable C content like FM. Without straw and mineral N fertilization, the humus content decreased rapidly.

*F3* – fertilization trial with different kinds of farmyard manure from 1949 to 1971. The highest yield gain was obtained with fresh FM followed by silo FM – stacked FM – hot FM.

In general, organic fertilizers should not be applied in too large amount to avoid losses. A residual effect of FM and straw due to higher SOM on yields was only shown in case of no or low mineral N fertilization.

## 2 Entstehungsgeschichte und Aufgabenstellung des Versuchsfeldes

Das Versuchsfeld ist am Nordostrand der Altstadt von Halle gelegen, nur etwa 15 Minuten Fußweg vom Zentrum der Landwirtschaftlichen Fakultät entfernt. Seine Geschichte reicht heute schon über 135 Jahre zurück.

Bereits 1866 hatte Julius KÜHN, der Begründer des Landwirtschaftsstudiums an der Universität in Halle, die ersten sechs Hektar Land zur Einrichtung einer landwirtschaftlichen Versuchsstation gepachtet. Im Verlauf der folgenden 20 Jahre erweiterte sich die Versuchsfläche schnell und nahm Ende der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts über 100 ha ein. Heute beschränkt sich das eigentliche Versuchsfeld auf die westlich der Bahnlinie Halle – Halberstadt gelegene Fläche von etwa 37 ha (Lageplan 1 und 2, S. 14 – 15). Die ersten für den Versuchsbetrieb notwendigen Baulichkeiten wurden im Jahr 1878 errichtet, nachdem der größte Teil des Landes in das Eigentum der Universität übergegangen war.

Die Einrichtung des Versuchsfeldes war notwendig, um viele der zu jener Zeit aktuelle Fragen des Acker- und Pflanzenbaues, angefangen bei der Melioration (Dränage) und der Bodenbearbeitung (Dampfpflug, Bearbeitungstiefe) bis hin zum Pflanzenschutz (Rübennekrotodien) und dem Sortenvergleich, praxisnah erforschen zu können. Die Nähe des Versuchsfeldes zu den Hörsälen ermöglichte außerdem dessen intensive Nutzung für Lehr- und Demonstrationszwecke.

Die besondere Aufmerksamkeit KÜHNS galt aber der Erhaltung und Mehrung der Bodenfruchtbarkeit. Da viele ackerbauliche Maßnahmen eine nachhaltige Wirkung haben, legte KÜHN dazu Dauerversuche an, in denen er verschiedene Anbau- und Bodennutzungssysteme verglich. Einen Überblick darüber findet sich bei WOHLTMANN (1911). Die meisten dieser Versuche mußten jedoch nach dem 1. Weltkrieg abgebrochen werden. Erhalten blieb bis heute der Versuch *Ewiger Roggenbau*, der in erster Linie ein Düngungsversuch ist und der die Erprobung der von LIEBIG und seinen Zeitgenossen begründeten und propagierten Mineräldüngung zum Ziel hatte.

Nachfolger KÜHNS wurde 1909 Ferdinand WOHLTMANN. Er leitete auf dem Versuchsfeld eine stärkere Hinwendung zur Pflanzenzüchtung ein, die ihren Höhepunkt unter Theodor ROEMER fand, der zwischen 1919 und 1950 den Lehrstuhl für Acker- und Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung inne hatte. Zu den herausragenden Ergebnissen dieser Zeit gehört die Entwicklung der Resistenzzüchtung, die eng mit den Namen von Th. ROEMER, W. H. FUCHS und K. ISENBECK verbunden ist. Wenn auch eingeschränkt, fand die acker- und pflanzenbauliche Forschung jedoch weiterhin ihren Platz auf diesem Versuchsfeld.

Einen deutlichen Wandel in der Versuchstätigkeit brachte im Jahr 1947 die Umwandlung der Landwirtschaftlichen Institute in eine Landwirtschaftliche

Fakultät mit sich: Das Institut für Pflanzenzüchtung wurde mit seinen Zuchtgärten in das wenige Kilometer nord-östlich vor Halle gelegene Hohenthurm verlagert und das Versuchsfeld dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde zugeordnet, dessen Direktor damals Karl SCHMALFUSS war. Es erfuhr nun eine weitgehende Ausrichtung auf agrarisch-chemische Themen.

SCHMALFUSS legte 1949 im Zentrum des Versuchsfeldes einen großen, geschlossenen Komplex von Dauerdüngungsversuchen an. Er umfaßte sechs Einzelversuche, die der Kalkdüngung, der Düngung mit unterschiedlicher physiologischer Reaktion, der Kalium-, Phosphor- und Stickstoffdüngung sowie der mineralisch-organischen Düngung gewidmet waren. Die Aufwandmengen des jeweiligen Nährstoffs oder Düngers sind über einen weiten Bereich gestaffelt, und verschiedene Düngerformen werden verglichen. Insgesamt umfaßte diese Anlage 1116 Parzellen von jeweils 30 m<sup>2</sup> Größe. Bis zur Mitte der 60er Jahre standen sie im Mittelpunkt der experimentellen Arbeit auf dem Versuchsfeld.

Das reichliche Nachlieferungsvermögen des Versuchsfeldbodens an Calcium, Phosphor und Kalium führte zunächst nur zu geringen Ertragsdifferenzierungen, so daß anfangs vor allem die Beeinflussung der Qualität der Ernteprodukte bei hoher Düngung verfolgt wurde. Dies drückte sich auch in der Vielzahl der geprüften Fruchtarten aus. So wurden beispielsweise im Kalkdüngungsversuch 21 verschiedene Fruchtarten (sieben Hackfrüchte, sieben Leguminosen, sieben Getreidearten einschließlich Lein und Senf) nebeneinander bestellt. In den übrigen Dauerdüngungsversuchen (Ausnahme *Feld F*) gab es neben der rein landwirtschaftlichen auch eine Feldgemüse-Fruchtfolge.

Die Verarmung an Nährstoffen bei unzureichender und ihre Anreicherung bei hoher Düngung führte im Verlauf der Zeit dazu, daß der Boden und die darin ablaufenden Nährstoffflüsse immer mehr in den Vordergrund rückten.

Die 1969 erfolgte Umwandlung der Landwirtschaftlichen Fakultät in eine Sektion Pflanzenproduktion öffnete das Versuchsfeld wieder allen pflanzenbauwissenschaftlichen Disziplinen. Die Dauerdüngungsversuche erfuhren eine erhebliche Einschränkung auch zugunsten von einjährigen Versuchen. Bearbeitet wurden nun unter anderem solche aktuellen Fragestellungen wie: optimale Mischungsverhältnisse verschiedener Futterpflanzen, Nachwachsende Rohstoffe, Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau, Prüfung von Pflanzenschutzmitteln, Anwendung der N<sub>am</sub>-Methode usw.

Einen besonderen Schwerpunkt der Untersuchungen bildete die Stickstoffdüngung. In zahlreichen Versuchen wurde die optimale Bemessung der N-Mineraldüngung zu den verschiedenen Fruchtarten studiert. Als Ende der 70er Jahre die gestiegenen Aufwendungen an Stickstoffdüngern immer mehr den Aspekt der Umweltbelastung mit Nitrat in den Vordergrund rückten, wurde den Fragen des N-Haushalts auch in den Dauerversuchen nachgegangen. Dabei machten sich deutlich die Besonderheiten der vorzugsweise ackerbaulich genutzten Löß-

Schwarzerden im östlichen Harzvorland bemerkbar, nämlich ihr erhebliches Wasserspeichervermögen und ihre tiefreichende Durchwurzelung bei relativ geringen Niederschlägen sowie verhältnismäßig hoher Einstrahlung.

Auf Grund der geringen Entfernung zu den Hörsälen und Seminarräumen ist das Versuchsfeld seit seiner Gründung stets in die Ausbildung der Studenten eingebunden. Dafür werden sowohl die laufenden Feldversuche genutzt als auch speziell für die Ausbildung angelegte Parzellen, auf denen die verschiedenen Fruchtarten, Sorten, Bodenbearbeitungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen demonstriert werden. Es bestanden immer ausreichend Übungsmöglichkeiten, um das im Hörsaal erworbene Wissen unter Feldbedingungen anwenden zu können.

## 3 Standortbeschreibung

### 3.1 Geografische Lage

Der Versuchsstandort gehört zu dem etwa 10 bis 15 km breiten Sandlößstreifen, der den eigentlichen Lößgürtel an seiner Nordost-Flanke begleitet. Das Versuchsfeld liegt mit durchschnittlich 113 m über NN auf einer Hochfläche, die sich östlich des Saale-Götschetals und in Nord-Süd-Richtung zwischen Petersberg und der Reideniederung erstreckt. Die Basis dieser Hochfläche bilden Vorschüttssande der Saaleeiszeit. Diese sind von einer Geschiebemergeldecke überzogen, in deren oberem Bereich es sowohl Sandlinsen als auch tonige Schichten gibt. (MERBACH *et al.*, 1999) Darüber ist in der Weichseleiszeit in wechselnder Mächtigkeit Sandlöß abgelagert worden (80 ... 120 cm). Das Gelände ist eben bis sehr flach geneigt.

### 3.2 Klima

Der Standort gehört zum mitteldeutschen Trockengebiet. Im Mittel der Jahre 1878 – 1995 betrug der jährliche Niederschlag in Halle-Kröllwitz 494 mm. Zwischen 1965 und 1996 belief sich der mittlere jährliche Niederschlag nur auf 466 mm. Die Verteilung weist ein deutliches Sommermaximum auf. Im einzelnen gibt es aber gravierende Abweichungen vom Jahresmittel (z. B. 1982: 258 mm, 1942: 773 mm) und in der Verteilung.

Die Lufttemperatur betrug von 1878 bis 1995 im Jahresmittel 9,2 °C. In dem etwas weiter vom Stadtkern entfernten Zöberitz wurden von 1965 bis 1995 im Mittel 9,0 °C gemessen.

**Lageplan 1.** Versuchsfeld zur Zeit der Anlage der Dauerdüngungsversuche durch SCHMALFUSS 1950 — westlicher Teil.

**Lageplan 2.** Versuchsfeld zur Zeit der Anlage der Dauerdüngungsversuche durch SCHMALFUSS 1950 — östlicher Teil.

### 3.3 Boden

**Tab. 1.** Bodenprofilaufnahme vom nordwestlichen Teil des Julius-Kühn-Feldes in Halle

Symbol	Tiefe [cm]	Farbe	Humus	Kalk	pedogene Merkmale und Substratmerkmal
Axh1	0..5	10YR3/2	h 4	c 0	Plattengefüge; sehr stark durchwurzelt; Uls, mG1 (sandig-lehmiger Schluff, sehr schwach mittelkiesig); Fremdmaterialeintrag (Ziegelsplitter, Holzkohlebröckchen) durch Wegebau.
Axh2	5..40	10YR2/2	h 3	c 0	Plattengefüge; sehr stark durchwurzelt; Krotowinen; Wurzelröhren; Su4, mG1 (stark schluffiger Sand; sehr schwach mittelkiesig); Fremdmaterialeintrag (Ziegelsplitter, Holzkohlebröckchen) durch Wegebau.
Bv-Axh	40..80	10YR3/2-2/3	h 2	c 0	Krümelgefüge; mittelstark durchwurzelt; Krotowinen, Wurzelröhren; Su4, mG1 (stark schluffiger Sand; sehr schwach mittelkiesig); Steinsohle als Basis.
II Bht	80..110	7,5-10YR5/6	h 1	c 1	Ton-Humusbeläge; Polyedergefüge; schwach durchwurzelt, Wurzelröhren; Sl4, gG2f01 (stark lehmiger Sand, schwach grobkiesig, sehr schwach steinig).
elCc1	110..150	10YR5/6	h 0	c 4	Polyedergefüge; sehr schwach durchwurzelt, Wurzelröhren; Ls3, gG2, f01 (mittel sandiger Lehm, schwach grobkiesig, sehr schwach steinig); Kryoturbationen, Eiskeile.
elCc2	150..190	10YR4/6	h 0	c 4	Plattengefüge; Rostadern; Sl4, gG2, f01 (stark lehmiger Sand, schwach grobkiesig, sehr schwach steinig); Kryoturbationen, Eiskeile

Der Boden ist eine deutlich lessivierte Schwarzerde (Parabraunerde-Tschernosem; FAO: Haplic Phaeozem). Innerhalb des Versuchsfeldes variiert die Korngrößenzusammensetzung des Sandlösses beträchtlich. Von Südwesten (*Ewiger Roggenbau*) nach Nordosten nimmt der Sandgehalt von 70 auf 52 % ab, während der Schluffgehalt von 22 auf 34 % und der Tongehalt von 8 auf 14 % zunehmen. Im wesentlichen betrifft diese Änderung den Feinsand, der zugunsten der Grobschlufffraktion abnimmt. Dementsprechend steigt die Feldkapazität im Mittel der Schicht 0 ... 100 cm in gleicher Richtung von  $\approx 0,17$  auf  $\approx 0,27 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  an. Die nutzbare Feldkapazität beträgt in 0 ... 100 cm (Wurzelbereich)  $\approx 140 \dots 180 \text{ l/m}^2$ . Der Grundwasserspiegel bewegt sich im Jahresgang zwischen 1,5 und 2,5 m unter Flur,



kann aber in feuchten Jahren ausgangs des Winters bis auf wenige Dezimeter unter Flur ansteigen oder in der Folge mehrerer Trockenjahre auf fast 4 m absinken. Der Humusgehalt beträgt im A<sub>p</sub>-Horizont 2,5 ... 3,0 % und in 60 cm Tiefe noch etwa 1,2 %.

Die Profilbeschreibung von M. ALTERMANN (Tab. 1 und 2) repräsentiert die etwas tiefer gelegenen Flächenteile am nordwestlichen Rand des Versuchsfeldes (STUMPE u. a. 1995).

**Tab. 2.** Bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften des Bodens auf dem Julius-Kühn-Feld in Halle (Details vgl. Tab. 1).

Nr.	Horizont	Tiefe cm	X %	kf* cm/d	dB* g/cm <sup>3</sup>	dF* g/cm <sup>3</sup>	Wassergehalt bei pF* [Vol.-%]			
							–	1,8	2,5	4,2
1	Axh1	0...5	2	22	1,22	2,49	51,0	33,6	28,9	17,8
2	Axh2	5...40	3	4	1,56	2,54	37,8	27,7	25,2	11,8
3	Bv-Axh	40...80	9	65	1,76	2,54	30,7	27,3	22,2	10,8
4	II Bht	80...110	13	6	1,78	2,59	31,3	27,6	24,8	12,2
5	elCc1	110...150	13	10	1,67	2,61	36,0	25,8	24,0	11,7
6	elCc2	150...190	5	5	1,60	2,56	37,5	25,2	23,5	12,8

Nr.	pH (CaCl <sub>2</sub> )	kalk- und humusfreier Feinboden [%]							Kalk	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub>	C/N
		gS	mS	fs	gU	mU	fU	T				
1	7,0	2,9	13,2	13,8	24,2	20,2	14,0	11,8	0,2	2,7	0,170	15,6
2	7,1	3,7	23,0	23,1	18,2	15,3	9,4	7,5	0,1	1,9	0,112	16,7
3	7,2	3,6	23,3	22,0	23,3	12,9	8,7	6,4	0,1	0,7	0,070	10,1
4	7,5	5,6	21,4	23,3	13,6	10,7	10,1	15,4	0,3	0,3	0,039	7,4
5	7,6	4,5	20,2	24,2	14,0	9,8	8,4	18,8	14,0	0,1	0,026	4,2
6	7,7	4,7	19,7	23,1	18,9	7,6	10,5	15,7	13,4	0,1	0,015	6,0

Nr.	Fe <sub>o</sub> mg/g	Fe <sub>d</sub> mg/g	Fe <sub>o</sub> / Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub> mg/g	Al <sub>o</sub> mg/g	austauschbare Kationen [cmol <sub>e</sub> /kg]					KAK cmol <sub>e</sub> /kg	BS %
						Ca	Mg	K	Na	H + Al		
1	2,26	11,8	0,19	0,49	1,16	10,4	1,6	1,4	0,3	0,0	13,7	100
2	1,77	7,7	0,23	0,30	0,85	7,9	0,9	0,8	0,2	0,0	9,8	100
3	1,84	6,5	0,28	0,25	0,61	6,7	0,7	0,6	0,1	0,0	8,1	100
4	0,41	7,2	0,06	0,20	0,60	7,2	1,0	0,5	0,1	0,0	8,8	100
5	0,29	5,8	0,05	0,09	0,26	5,4	1,0	0,2	0,2	0,0	6,8	100
6	0,24	5,8	0,04	0,08	0,22	5,9	1,1	0,2	0,2	0,0	7,4	100

\*) Die Stechzylinderproben für die Untersuchungen zum Porenvolumen und des kf-Wertes wurden aus der Mitte der angegebenen Horizonte entnommen.

### Bodensystematische Angaben

KA 4: Bodentyp: Parabraunerde-Tschernosem (LL-TT);  
 Substrattyp: Sandlöß über tiefem, kiesführendem Lehm (aus Geschiebemergel) p-sö//p-(k)l(Mg);  
 Bodenform: Parabraunerde-Tschernosem aus Sandlöß über tiefem kiesführendem Kryolehm (aus Geschiebemergel)  
 Symbol: LL-TT.p-sö//p-(k)l(Mg)  
 TGL 24 300: Sandlößtieflehm Griserde (sö/II);  
 Standortregionaltyp der MMK: D 6c4;  
 FAO: Haplic Phaeozem.

## 4 Die Dauerdüngungsversuche auf dem Versuchsfeld in Halle

### 4.1 Ewiger Roggenbau

#### 4.1.1 Material und Methoden

Anlagejahr: 1878

Versuchsfrage: Prüfung der Mineralstofftheorie und der Wirkung unterschiedlicher Düngung auf die Bodenfruchtbarkeit

Gesamtfläche: ..... 70,60 m × 85,15 m = 6012 m<sup>2</sup>

Teilstückgröße:

1878 bis 1960 ..... 85,15 m × 11,75 m = 1000 m<sup>2</sup>

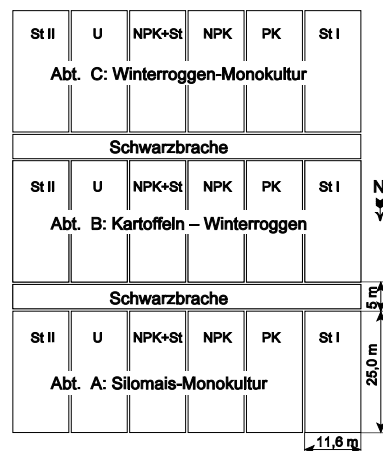
ab 1961 ..... 25,00 m × 11,60 m = 290 m<sup>2</sup>

Prüfglieder: siehe Abb. 1 und Tab. 3.

Folgende Änderungen an den Prüfgliedern wurden im Verlauf seiner 125jährigen Geschichte vorgenommen: Auf der 1893 zugefügten Variante *St II* wurde nach 60 Jahren (1952) die Stallmistdüngung eingestellt, um deren Nachwirkung der zu prüfen.

Im Herbst 1961 wurde auf Grund einer starken Verunkrautung mit Schachtelhalm (*Equisetum arvense*) auf dem nördlichen Teil der Versuchsfläche die Roggenselbstfolge eingestellt und auf einem Drittel durch Kartoffel-Roggen-Folge (Abteilung B) und auf dem anderen durch Maismonokultur (Abteilung A) ersetzt.

Seit Herbst 1990 werden die Varianten *NPK* und *St I* mit einheitlicher N-Düngemenge von 60 kg/ha gedüngt. Die Variante *N* wurde in eine kombinierte *NPK plus St* umgewandelt. Dabei erfolgte eine einmalige PK-Meliorationsdüngung (200 bzw. 400 kg/ha), um die erschöpften Bodenvorräte teilweise aufzufüllen. Zielstellungen dabei waren zu prüfen, wie lange es dauert, ein normales Ertragsniveau wieder herzustellen, und eine Variante zu schaffen, die besser dem heutigen N-Düngenniveau entspricht (Tab. 3).



**Abb. 1.** Anlageplan des Dauerdüngungsversuches *Ewiger Roggenbau* seit 1961.

**Tab. 3.** Jährliche Düngung (kg/ha) im Versuch *Ewiger Roggenbau*. *U*: ungedüngt, *NPK*: mineralische Volldüngung, *PK*: nur PK, keine N-Düngung, *N*: alleinige mineralische N-Düngung, *St I*: Stallmist 12 t/(ha · a), *St II*: Stallmist 8 t/(ha · a), von 1893 bis 1952, danach ungedüngt.

Zeitraum	Dünger bzw. Nährstoff	Düngungsvariante*					
		St I	U	NPK	PK	N	St II
Herbst 1878	Stallmist	12000	0	0	0	0	8000
bis Frühjahr 1990	N	(≈ 60)	0	40	0	40	(≈ 45)
	P	(≈ 20)	0	24	24	0	(≈ 13)
	K	(≈ 60)	0	75	75	0	(≈ 40)
		St I	U	NPK	PK	NPK + St	St II
ab Herbst 1990	Stallmist	≈ 12000	0	0	0	≈ 12000	0
	N	(60)	0	60	0	60 + (60)	0
	P	(≈ 20)	0	24	24	24 + (≈ 20)	0
	K	(≈ 60)	0	75	75	75 + (≈ 60)	0

\*): Die in Klammern gesetzten Zahlen geben die mit dem Stallmist zugeführten Nährstoffmengen an. Der Mineralstickstoff wurde bis 1948 als Ammonstickstoff zur Hälfte im Herbst und zur Hälfte im Frühjahr verabfolgt. Seitdem werden 15 kg/ha im Herbst als Ammonsulfat und der Rest im Frühjahr als Kakamonsalpäter gedüngt. Bis 1994 wurde K als Kainit, P bis 1925 als Thomasphosphat und später als Superphosphat gegeben. Seit 1995 werden K als granuliertes 60er Kali und P als granuliertes Tripelphosphat verabfolgt.

#### 4.1.2 Erträge

Die Entwicklung des Roggenkernertrages in den ersten elf Versuchsjahrzehnten in Abhängigkeit von Düngung bei Monokultur ist in der Tab. 4 dargestellt. In den ersten vier Jahrzehnten nahm der Ertrag in allen Varianten durch den Monokultureffekt und den Abbau des Saatgutes infolge Eigenzeugung auf der Versuchsfläche ohne Erhaltungszüchtung ab. Danach stieg der Ertrag durch Sorten- und Saatgutwechsel sowie Nutzung des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes, mit Ausnahme der 1940er Kriegsjahre, an.

Die Kernerträge der Varianten *St I* und *NPK* sind bei Roggenmonokultur im Mittel der 110 Versuchsjahre bis 1988 fast gleich groß. In den ersten 20 Versuchsjahren übertraf die mineralische Volldüngung die Stallmistdüngung, danach war es umgekehrt. Die Unterlassung jeglicher Düngung (*U*) führte in den ersten 40 Versuchsjahren zu einer kontinuierlichen Abnahme des Ertrages, danach blieb das Ertragsniveau bei ≈ 45 % des auf *St I* erreichten weitgehend stabil. Bei ausschließlicher PK-Düngung nahmen die Erträge in den ersten 30 Jahren wie bei *Ungedüngt* ab, blieben dann jedoch um etwa 10 % darüber (siehe Figure 1).

Die alleinige Anwendung von Stickstoff erbrachte in den ersten 20 Jahren fast die gleichen Erträge wie NPK. In den folgenden 30 Jahren kam es infolge P- und K-Mangels ebenfalls zu einer bedeutenden Abnahme der Kornerträge. Danach stabilisierte sich das Ertragsniveau bei 65 % von *St I*. Auf der dem Versuch später angegliederten Parzelle *St II* trat nach der 1953 erfolgten Einstellung der Düngung eine erhebliche Nachwirkung des in den vorangegangenen 60 Jahre verabfolgten Stallmistes in Erscheinung. Nach nunmehr über 40 Jahren ohne Düngung liegen die Kornerträge noch immer um etwa 20 % über denen auf der seit 120 Jahren ungedüngten Variante.

In der Abteilung *B* sind die Roggenerträge nach Kartoffelvorfrucht bei allen Varianten um 10 ... 15 dt/ha höher als die bei Monokultur, was vermutlich mit dem geringen N-Entzug durch die Kartoffelknollen und dem bei Fruchtwechsel verminderten Fußkrankheitsbefall des Roggens zusammenhängt. Die Relationen zwischen den Düngungsvarianten gleichen weitestgehend denen auf Abteilung *C*.

Die Erträge der Kartoffeln sind der geringen Nährstoffzufuhr entsprechend niedrig. Die Kartoffeln zogen in der Vergangenheit auch nicht wie der Roggen Vorteile aus der höheren N-Zufuhr durch den Stallmist, sondern reagieren nach wie vor positiv auf die schnellere Verfügbarkeit des Mineraldünger-N. Die Erträge auf NPK liegen dadurch regelmäßig um 15 ... 30 % über denen auf *St I*.

Beim Silomais auf der Abteilung *A* sind die Ertragsrelationen zwischen den Düngungsvarianten ähnlich wie beim Roggen.

Seit der Angleichung der auf *St I* und NPK mit der Düngung zugeführten N-Mengen (auf 60 kg/ha) bestehen zwischen beiden Varianten in den Roggen- und Maiserträgen keine nennenswerten Unterschiede mehr und in den Roggenerträgen signifikante Mehrerträge bei NPK-Düngung.

Die Umstellung der ausschließlichen Mineral-N-Düngung auf eine organisch-mineralische Volldüngung (NPK+St) bewirkte bereits im darauf folgenden Versuchsjahr auf allen Abteilungen bzw. bei allen Fruchtarten eine Anhebung der

**Tab. 4.** Kornerträge (bei 86 % TM) im Versuch *Ewiger Roggenbau*: elf Dezentennienmittel von 1879 bis 1988. Angaben absolut und relativ zur *St I*-Variante.

Dezentennien	Düngungsvarianten					
	St I	U	NPK	PK	N	St II
	dt/ha	%				
1879...1888	28,0	81	109	84	106	–
1889...1898	26,0	73	113	74	103	120
1899...1908	26,4	60	99	64	76	96
1909...1918	22,7	55	94	62	78	96
1919...1928	22,7	47	103	64	72	91
1929...1938	27,4	46	92	64	60	94
1939...1948	24,9	43	83	53	64	94
1949...1958	26,4	41	91	45	68	84
1959...1968	27,2	43	93	69	64	65
1969...1978	31,5	43	94	66	66	64
1979...1988	32,2	47	93	58	66	57
1879...1988	26,9	53	97	64	75	86*

\*) Mittelwert 1894...1988

Erträge auf das Niveau von *St I* und NPK (GARZ *et al.* 1996). Im Mittel der Jahre 1991 bis 2000 lagen die Erträge um 8 % bei Silomais, 22 % bei Kartoffeln, 13 bzw. 16 % bei Winterroggen über denen von *St I* (Tab. 5).

**Tab. 5.** Erträge im Versuch *Ewiger Roggenbau* vor und nach der Umstellung der Düngung im Herbst 1990.

Abteilung	Jahr/ Zeitraum	Düngungsvarianten							
		St I	St I	U	NPK	PK	(N) NPK+St	St II	
		dt/ha	%						
C: Roggenmonokultur, Korn (86 % TM)	1979...1988	32,2	100	47	93	64	(66)	57	
	1991...2000	48,5	100	49	107	60	116	62	
B: Roggen, Korn (86 % TM)	1979...1988	46,5	100	54	95	60	(73)	69	
	1991...1999	59,4	100	55	103	61	113	68	
Roggen- Frucht- wechsel	Kartoffeln, Knol- len (25 % TM)	1979...1988	149	100	43	116	55	(59)	65
		1992...2000	184	100	32	108	56	122	44
A: Maismonokultur, Silomais (25 % TM)	1979...1988	289	100	40	92	56	(54)	52	
	1991...2000	376	100	37	96	50	108	54	

#### 4.1.3 Boden

Zu Versuchsbeginn betrug der C-Gehalt des Bodens 1,24 %; N wurde nicht bestimmt (Tab. 6). Die unterschiedliche Düngung hat auf den verschiedenen Teilstücken im Laufe der ersten Jahrzehnte zur Ausprägung deutlicher Differenzierungen im Humus- und Stickstoffgehalt des Bodens geführt. Nach 50jähriger Versuchsdurchführung konnte SCHEFFER (1931) feststellen, daß bei regelmäßiger Stallmistdüngung der Humusgehalt des Bodens um 30 % höher lag als bei ausschließlicher Mineraldüngung. Der Vergleich mit dem Ausgangsgehalt an Humus verdeutlicht, daß dieser Unterschied durch eine Anreicherung organischer Substanz aus der Stallmistdüngung herrührt. Unterlassung jeglicher Düngung hatte indessen zu einer Minderung des Humusgehaltes um etwa 10 % geführt.

Die erneute Untersuchung des Bodens durch MERKER (1956) nach 75 Versuchsjahren ließ keine wesentlichen Veränderungen mehr erkennen. Die Zufuhr von organischer Substanz (mit Stallmist und/oder Ernterückständen) und die Mineralisierung waren offensichtlich in ein Gleichgewicht getreten. Dies war ein deutlicher Hinweis darauf, wie begrenzt unter praktischen Bedingungen die Möglichkeiten zur Steigerung des Humusgehaltes der Böden sind.

**Tab. 6.** C- und N-Gehalte (%) des Bodens (0...20 cm) im Versuch *Ewiger Roggenbau* vor der Teilung.

Jahr		Düngungsvarianten					St II
		St I	U	NPK	PK	N	
1878	C	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
	N	-	-	-	-	-	-
1929	C	1,64	1,15	1,24	1,17	1,23	-
	N	0,109	0,071	0,080	0,076	0,074	-
1953	C	1,62	1,06	1,20	1,11	1,19	1,45
	N	0,132	0,085	0,094	0,090	0,092	0,113

**Tab. 7.** C-Gehalte (%) des Bodens (0...20 cm) im Versuch *Ewiger Roggenbau* nach der Teilung.

Abteilung	Zeitraum	Düngungsvarianten					Mittel	
		St I	U	NPK	PK	N*		
C:	1963...1967	1,89	1,26	1,42	1,42	1,39	1,52	1,48
	1975...1977	1,79	1,15	1,26	1,28	1,32	1,38	1,36
	1984...1987	1,73	1,29	1,41	1,32	1,39	1,45	1,43
	1993...1996	1,63	1,13	1,33	1,19	1,33	1,35	1,33
B:	1963...1967	1,79	1,26	1,35	1,30	1,36	1,52	1,43
	1975...1977	1,58	1,13	1,27	1,18	1,23	1,34	1,29
	1984...1987	1,53	1,24	1,30	1,28	1,29	1,40	1,24
	1993...1996	1,53	1,07	1,17	1,10	1,24	1,23	1,22
C:	1963...1967	1,96	1,33	1,49	1,37	1,38	1,61	1,52
	1975...1977	1,70	1,16	1,36	1,25	1,24	1,38	1,35
	1984...1987	1,66	1,22	1,37	1,28	1,32	1,37	1,37
	1993...1996	1,63	1,11	1,24	1,19	1,26	1,18	1,27

\*) Im Herbst 1990 wurde die ausschließliche N-Düngung auf eine organisch-mineralische Volldüngung umgestellt.

Auch nach der Teilung des Versuches haben sich in der Abstufung der C- und N-Gehalte zwischen den Varianten keine wesentlichen Veränderungen ergeben (Tab. 7 und 8). Das Niveau, auf dem diese Abstufungen festgestellt wurden, wechselte allerdings trotz der Mittelwertbildung über jeweils drei bis vier Jahre. Der Einfluß des Fruchtwechsels und der Maismonokultur (Unterschiede in den Ernterückständen, veränderte Bodenbearbeitung, Witterungsbedingungen, Bodenfeuchte, -temperatur und -durchlüftung) auf den Gehalt an organischer Bo-

denstanz läßt sich aus verschiedenen Gründen besser am N-Gehalt als am C-Gehalt ablesen.

**Tab. 8.** N-Gehalte (mg/kg) des Bodens (0...20 cm) im Versuch *Ewiger Roggenbau* nach der Teilung.

Abteilung	Zeitraum	Düngungsvarianten					Mittel	
		St I	U	NPK	PK	N*		
C: Roggen- monokultur	1963...1967	1270	720	840	810	800	940	900
	1975...1977	1270	710	830	800	820	930	890
	1984...1987	1170	730	800	820	800	890	870
	1993...1996	1160	710	830	770	820	880	860
B: Kartoffel- Roggen-Frucht- wechsel	1963...1967	1210	750	830	810	800	940	890
	1975...1977	1120	700	800	750	760	900	840
	1984...1987	1060	760	790	740	730	840	820
	1993...1996	1110	640	750	680	770	760	780
A: Mais- monokultur	1963...1967	1360	780	890	850	860	1080	970
	1975...1977	1250	740	820	780	790	930	880
	1984...1987	1170	740	820	770	780	830	850
	1993...1996	1180	680	810	770	840	820	850

\*) Im Herbst 1990 wurde die ausschließliche N-Düngung auf eine organisch-mineralische Volldüngung umgestellt.

Die Boden-N-Gehalte nahmen in diesem Versuchsabschnitt insgesamt ab. Am ausgeprägtesten war dies auf den Abteilungen A und B. Davon besonders betroffen sind die Varianten mit der höchsten Anreicherung organischer Bodensubstanz.

Aber auch andere Bodeneigenschaften verdienen Aufmerksamkeit (Tab. 9). Veränderungen im pH-Wert des Bodens machen sich am stärksten bei *Ungedüngt* sowie bei den N-Varianten, in denen Ammonsulfat zur Anwendung kommt, bemerkbar. Durch eine in mehrjährigem Abstand vorgenommene und der eingetretenen Versauerung angemessene Kalkung werden die Unterschiede aber immer wieder ausgeglichen. Angestrebt wird ein pH-Wert von 6,2. Die letzte Kalkanwendung erfolgte im Jahr 1985.

Die Gehalte an laktatlöslichem P und K (DL-P und DL-K) haben eine deutliche, der Düngung entsprechende Differenzierung erfahren. Ein Vergleich der DL-P-Gehalte aus den letzten Untersuchungsreihen läßt einen leichten Rückgang bei den Varianten ohne P-Düngung erkennen. Bei der Variante *NPK+St* hat die Ausgleichsdüngung im Herbst 1990 und die nachfolgende P-Düngung zu einer Anhebung geführt. Gemessen am Überschuß — in den Jahren 1990/91 bis 1993/94 kamen insgesamt  $\approx 400$  kg/ha zur Anwendung, während der Entzug nur  $\approx 60$  kg/ha betrug — sind diese Anhebungen mit etwa 1 mg P/100 g Boden jedoch sehr

gering. Offensichtlich sind erhebliche Teile des Dünger-P sehr schnell in eine nichtdaktatlösliche Form übergegangen.

**Tab. 9.** Gehalte an DL-löslichem K und P sowie Mg (CaCl<sub>2</sub>) in mg/100 g Boden und pH-Wert (CaCl<sub>2</sub>) im Boden (0...20 cm), Versuch *Ewiger Roggenbau*.

Abteilung	Zeitraum		Düngungsvarianten							
			St I	U	NPK	PK	N/NPK + St	St II		
C: Roggen- monokultur	1984... 1986	pH	6,2	5,9	6,2	6,4	5,4	5,9		
		P	15,5	5,3	15,6	22,7	4,7	7,9		
		K	21,0	5,0	20,0	28,0	6,0	11,0		
		Mg	8,9	7,6	8,6	9,2	6,5	7,4		
	1994... 1996	pH	6,2	5,6	5,8	6,4	5,4	5,5		
		P	15,5	3,5	14,2	21,7	5,4	3,9		
		K	27,1	3,1	18,5	25,8	12,2	4,5		
		Mg	6,3	4,2	5,4	6,7	4,9	3,9		
		B: Kartoffel- Roggen-Frucht- wechsel	1984... 1986	pH	6,0	5,8	5,8	6,2	5,3	5,7
				P	11,6	4,1	12,0	19,2	3,6	4,8
K	16,0			4,0	14,0	21,0	4,0	5,0		
Mg	8,5			7,4	7,7	8,6	6,4	7,3		
1994... 1996	pH		6,0	5,4	5,5	6,1	5,2	5,3		
	P		9,2	2,1	10,9	18,4	4,4	3,0		
	K		20,1	3,5	11,6	21,8	10,6	3,6		
	Mg		6,3	4,0	4,7	6,6	4,0	4,2		
	A: Mais- monokultur		1984... 1986	pH	6,0	5,7	5,9	6,3	5,5	5,6
				P	13,0	3,3	13,3	18,9	2,9	4,2
K		13,0		5,0	10,0	16,0	5,0	5,0		
Mg		8,7		7,5	9,0	9,1	6,2	7,2		
1994... 1996		pH	5,6	5,4	5,6	6,0	5,3	5,3		
		P	10,3	2,2	12,2	19,8	4,5	3,3		
		K	13,0	3,4	10,2	18,7	10,8	3,3		
		Mg	6,3	3,8	5,8	6,7	5,2	3,8		

Ähnlich verhält es sich mit den Gehalten an DL-K: weitere Abnahme bei fehlender K-Düngung (*U* und *St II*), deutliche Zunahme bei der Variante *NPK+St*. Auf Abteilung *C* haben die 825 kg K/ha, die von 1990/91 bis 1994/95 über den Entzug der Pflanzen hinaus verabreicht wurden, zu einem Anstieg um etwa 7 mg DL-K/100 g Boden geführt.

Überraschend ist der deutliche Rückgang der Gehalte an CaCl<sub>2</sub>-extrahierbarem Mg in den letzten zehn Versuchsjahren, zumal die Entzüge durch Roggen und Kartoffeln jährlich nur etwa 3 bis 6 kg/ha und durch den Mais 10 bis 15 kg/ha betragen. Eine Kontrolle der Mg-Versorgung der Pflanzen durch Pflanzenanalyse ist angezeigt.

## 4.2 Kalkdüngungsversuch *Feld A*

### 4.2.1 Material und Methoden

Anlagejahr: 1949

Versuchsfrage: Einfluß unterschiedlicher Kalkmengen auf Boden und Pflanze

Gesamtfläche:

1949 bis 1980 ..... 141 m × 73,5 m = 10364 m<sup>2</sup>  
mit 252 Teilstücken

ab 1981 ..... 58 m × 73,5 m = 4263 m<sup>2</sup>  
mit 108 Teilstücken in drei Abteilungen (*A1*, *A2* und *A3*) zu je drei Parzellenreihen (Abb. 2)

Teilstückgröße: ..... 6 m × 5 m = 30 m<sup>2</sup>

Versuchsanlage: Systematische Blockanlage



**Abb. 2.** Gegenwärtiger Anlageplan des Kalkdüngungsversuches — *Feld A*. 0, 5, 10 und 20 dt CaO/ha dreijährlich nach Sommergerste.

Bis 1969 kamen alljährlich in sieben dreifeldrigen Fruchtfolgen 21 verschiedene Fruchtarten zum Anbau. Seit 1985 sind auf den drei Abteilungen in jedem Jahr nur noch drei Fruchtarten im Anbau.

Dabei wechseln im dreijährigen Turnus die Folgen: Ackerbohnen – Zuckerrüben – Sommergerste und Erbsen – Kartoffeln – Sommergerste. Die Kalkung erfolgt dreijährlich nach Sommergerste: 0, 5, 10 und 20 dt CaO/ha (als CaCO<sub>3</sub>).

Seit 1981 unterbleibt auf zwei der drei Reihen jeder Abteilung die P-Düngung. Damit soll die Verfügbarkeit des Phosphates in Abhängigkeit vom pH-Wert geprüft werden. Der Versuch erhält keine organische Düngung. Die gegenwärtig mineralisch verabfolgten Nährstoffmengen sind in Tab. 10 zusammengestellt. Verwendet werden Ammoniumsulfat, Superphosphat und 50er Kali.

#### 4.2.2 Erträge

Nachdem die pH-Werte im Laufe der ersten 15 Jahre eine von 5,4 bis 7,2 reichende Differenzierung erfahren hatten (Tab. 12), reagierten die Gelben Lupinen regelmäßig in bekannter Weise mit Chlorose auf die hohe Kalkgabe, während bei

**Tab. 11.** Trockenmasseerträge für das Haupternteprodukt (absolut und relativ zur Variante mit 10 dt CaO/ha, Mittelwerte der Jahre 1981...2000) in Abhängigkeit von der Kalk- und P-Düngung — *Feld A*.

Fruchtart	Anbaujahre	P-Düngung	Kalkdüngung [dt CaO/ha]			
			10		20	
			dt/ha	%	dt/ha	%
Zuckerrüben	11	ohne	103,0	98	102	92
		mit	102,9	99	103	94
Kartoffeln	13	ohne	82,1	98	97	97
		mit	82,8	99	100	98
Ackerbohnen/Erbsen	20	ohne	29,8	95	96	101
		mit	32,0	94	96	100
Sommergerste	23	ohne	48,7	99	98	101
		mit	48,9	100	100	100

**Tab. 10.** Düngemengen (kg/ha) zu angebauten Fruchtarten — *Feld A*.

Fruchtart	N	P <sup>1)</sup>	K
Sommergerste	60*	20	125
Ackerbohnen/Erbsen	–	20	125
Kartoffeln	120	40	250
Zuckerrüben	80 + 80	40	250

<sup>1)</sup>: Nur auf der ersten Parzellenreihe jeder Abteilung als Superphosphat.

\*): seit 1990, vorher 40 kg N/ha

Weißen Lupinen, Esparsette, Buschbohnen und Sellerie die Versauerung des Bodens zu Mindererträgen führte.

Bei Zuckerrüben, Kartoffeln, Ackerbohnen und Sommergerste blieben die Unterschiede dagegen gering. Auch später, als diese Früchte allein im Anbau waren und das pH in der Ackerkrume auf Werte unter 5 abgesunken war, waren die Unterschiede nur selten signifikant (Tab. 11).

Nach über 15jähriger Unterlassung der P-Düngung auf einem Teil der Versuchsfläche sind die Ertragsunterschiede zwischen *mit* und *ohne* Phosphat noch immer gering

#### 4.2.3 Boden

Die nach 15 Jahren im pH-Wert der Ackerkrume (0 ... 20 cm) zu verzeichnende Differenzierung (Tab. 12) hat in den dann folgenden Jahren nur noch wenig zugenommen.

**Tab. 12.** Einfluß der Kalkdüngung auf den pH-Wert des Bodens — *Feld A*.

Jahre nach Versuchsbeginn	Tiefe cm	Kalkdüngung [dt CaO/ha]			
		0	5	10	20
0	0...20	6,1	5,9	6,0	5,9
	15	5,4	5,7	6,5	7,2
	30 <sup>†</sup>	5,3	5,8	6,7	7,1
30 <sup>†</sup>	20...40	6,0	6,3	6,8	7,0
	40...60	6,9	7,2	7,2	7,2
	45 <sup>†</sup>	4,6	5,3	6,4	7,1
45 <sup>†</sup>	20...40	5,5	5,9	6,8	7,2
	40...60	7,2	7,2	7,3	7,4
	50*	4,5	5,3	6,4	7,0
50*	20...40	5,3	5,8	6,8	7,1
	40...60	6,7	6,8	7,1	7,3

<sup>†</sup>): Mittelwerte von 1981...1983; <sup>†</sup>): von 1993/94; \*) von 1999/2000.

Ursache dafür war die Vertiefung der Pflugfurche von 20 cm auf 30 cm nach 1970, als die Bodenbearbeitung nicht mehr mit Gespannen, sondern mit Traktoren durchgeführt wurde. Erst später, nach 45 Versuchsjahren, war auf den niedrigen Kalkdüngungsstufen ein weiteres Absinken festzustellen. Bei unterlassener Kalkung liegt der pH-Wert nunmehr deutlich unter 5, und es sind geringe Mengen an

austauschbarem  $Al^{3+}$  nachweisbar. Auf die Bodenschicht 40 ... 60 cm hat die Kalkdüngung gegenwärtig nur einen geringen Einfluß.

In diesem Versuch zeigt sich ein deutlicher Einfluß des pH-Wertes auf den Gehalt des Bodens an laktatlöslichem Phosphat (Tab. 13).

**Tab. 13.** Wirkung der abgestuften Kalkdüngung auf den Gehalt an DL-P (mg/100 g) im Boden (0...20 cm) — *Feld A*.

Versuchsjahre	P-Düngung	Kalkdüngung [dt CaO/ha]			
		0	5	10	20
30	ohne <sup>†</sup>	6,4	7,1	8,8	9,1
	mit	6,5	7,7	9,3	9,2
45	ohne <sup>‡</sup>	5,7	6,1	7,3	8,1
	mit	7,4	8,2	10,4	9,7

<sup>†</sup>): fünf Jahre ohne P; <sup>‡</sup>): 20 Jahre ohne P

**Tab. 14.** Kationenaustauschkapazität (KAK), H-Wert und Basensättigung in Abhängigkeit von der Kalkdüngung; Bodenproben von 1988 (SCHLIEP-*HAKE* und *OTTO*, 1990) — *Feld A*.

	Tiefe cm	Kalkdüngung [dt CaO/ha]			
		0	5	10	20
Potentielle KAK in cmol <sub>c</sub> /kg Boden nach Mehlich, gepuffert, pH 8,1	0...20	12,8	12,7	13,0	13,0
	20...40	11,7	11,6	11,5	11,6
	40...60	11,8	11,5	10,6	11,0
Effektive KAK in cmol <sub>c</sub> /kg Boden ungepuffert, nach Belegung mit Ca <sup>2+</sup>	0...20	8,3	9,0	10,4	11,6
H-Wert in cmol <sub>c</sub> /kg Boden	0...20	5,4	4,3	2,5	0,7
	20...40	3,2	2,6	1,5	0,4
	40...60	0,5	0,5	0,3	0,0
Basensättigung in %	0...20	58	66	81	95
	20...40	73	78	87	97
	40...60	96	96	97	100

Der inzwischen bei der höchsten Kalkstufe gegenüber *ohne Kalk* um  $\approx 3$  mg/100 g Boden höhere Gehalt an DL-P bleibt aber bei allen Früchten, die im Ertrag nicht auf die Kalkdüngung reagieren, ohne nennenswerten Einfluß auf den P-Entzug.

Andererseits waren fünf Jahre nach der Einstellung der P-Düngung auf einem Teil der Parzellen noch keine Anzeichen einer Abnahme vorhanden. Erst im folgenden Versuchabschnitt zeichnet sich eine erste Differenzierung ab. Sie beruht sowohl auf einer leichten Zunahme bei den mit P gedüngten, als auch auf einer Abnahme bei den ohne P-Düngung gebliebenen Varianten.

Die Bestimmung der potentiellen KAK nach MEHLICH läßt keinen Einfluß der Kalkdüngung erkennen. Sie beträgt in der Ackerkrume (0 ... 20 cm) 13,0 und im Unterboden (40 ... 60 cm) noch 11,2 cmol<sub>c</sub>/kg Boden (Tab. 14). Die gleichzeitig damit bestimmten H-Werte lagen je nach Kalkdüngung und Bodenschicht zwischen 0 und 5,4 cmol<sub>c</sub>/kg Boden. Die aus KAK und H-Wert errechnete Basensättigung bewegte sich zwischen 58 und 100 %.

Eine Vorstellung vom effektiven Kationensorptionsvermögen vermittelt jedoch nur die Bestimmung der KAK mittels ungepuffert Neutralsalzlösung. Auf der hohen Kalkdüngungsstufe ergaben sich 1988 bei pH-Werten  $> 7$  11,6 cmol<sub>c</sub>/kg Boden, ohne Kalkdüngung bei pH-Werten um 5 jedoch nur noch 8,3 cmol<sub>c</sub>/kg.

### 4.3 K-Düngungsversuch *Feld C*

#### 4.3.1 Material und Methoden

Anlagejahr: 1949

Versuchsfrage: Einfluß unterschiedlicher K-Düngemengen und K-Düngerformen auf Pflanze und Boden

Gesamtfläche:

Von 1949 bis 1969: ..... 136,5 m × 73,5 m = 10033 m<sup>2</sup>,  
mit 240 Teilstücken in 20 Parzellenreihen, auf denen zu je einer Hälfte eine landwirtschaftliche und eine gemüsebauliche Fruchtfolge liefen. Auf diesen Versuchabschnitt wird hier nicht näher eingegangen.

Ab 1970: ..... 65,5 m × 73,5 m = 4814 m<sup>2</sup>,  
mit 120 Teilstücken in fünf Abteilungen mit je zwei Reihen, die ein Fruchtfolgefeld bilden.

Teilstückgröße: ..... 6 m × 5 m = 30 m<sup>2</sup>

Anzahl der Wiederholungen: ..... 3

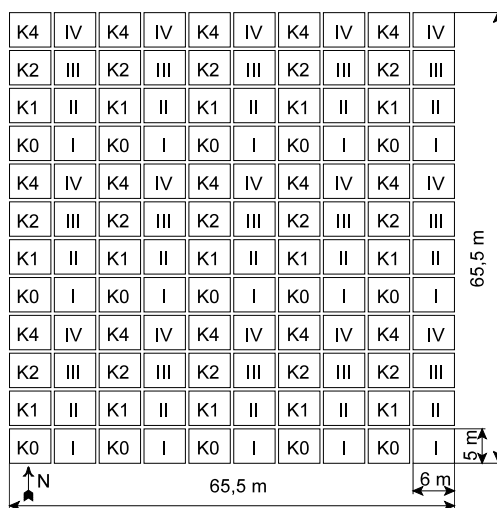
Versuchsanlage: Systematische Blockanlage

Bei der Einschränkung des Versuches auf die landwirtschaftliche Fruchtfolge ab Ernte 1970 blieben die Anordnung der Teilstücke und die Düngungsvarianten (Abb. 3) unverändert. Die fünf in jedem Jahr nebeneinander angebauten Fruchtarten (gleichzeitig die Fruchtfolge) waren bzw. sind Kartoffeln – Silomais (bis 1987 Erbsen) – Sommerweizen – Zuckerrüben (bis 1984 Futterrüben) – Sommergerste. Die Prüfglieder sind aus der Abb. 3 ersichtlich.

Die PK-Düngung erfolgt seit 1970 im Herbst und die N-Düngung im Frühjahr. Zu den angebauten Fruchtarten werden folgende P- und N-Mengen ausgebracht (Tab. 15):

**Tab. 15.** P- und N-Düngung in kg/ha zu den angebauten Fruchtarten — *Feld C*.

Fruchtart	Nährstoffzufuhr	
	N	P
Kartoffeln	150	40
Silomais	150	40
Sommerweizen	60	20
Zuckerrüben	160	40
Sommergerste	50	20
Mittelwert	138	32



**Abb. 3.** Anlageplan des K-Düngungsversuchs — *Feld C* (seit 1970). *K0, K1, K2* und *K4* entsprechen folgenden Mengen: 0, 40, 80 und 160 kg K/ha bei Getreide bzw. 0, 80, 160 und 320 kg K/ha bei Hackfrüchten (als 50er Kali), Formen: I — Kainit, II — 50er Kali, III — Schwefelsaures Kali, IV — Kamex auf *K2*-Stufe.

### 4.3.2 Erträge

Als Bezugsbasis für die Relativerträge (Tab. 16) wird seit 1970 die Variante *K2* (80 bzw. 160 kg/ha) herangezogen, weil diese eine ausgeglichene K-Bilanz aufweist (Tab. 19).

Bis in die 80er Jahre bestanden die größten Ertragsunterschiede bei den Futterrüben. Seit den 90er Jahren haben die flachwurzelnden Kartoffeln den höchsten Ertragszuwachs durch K-Düngung. Der an die Stelle der Erbsen getretene Silomais reagierte schwächer auf die abgestufte K-Düngung. Sommergerste zeigte nur zwischen ungedüngt und gedüngt einen signifikanten Ertragszuwachs, und Sommerweizen reagierte bisher nicht deutlich auf K-Düngung.

**Tab. 16.** Trockenmasseerträge (absolut und relativ zur *K2*-Variante) an den Haupternteprodukten seit 1970 in Abhängigkeit von der Kaliumdüngemenge — *Feld C*.

Fruchtart	Zeitraum	K-Mengenstufen			
		K2	K0	K1	K4
		dt/ha	%		
Futterrüben	1970...1979	106	65	86	109
	1980...1984	95	66	82	108
	1985...1999	113	73	90	108
Kartoffeln	1970...1979	71	70	90	98
	1980...1989	72	71	90	103
	1990...1999	84	54	73	107
Trockenspeiserbsen	1970...1979	19	84	95	98
	1980...1986	27	80	93	96
	1988...1999	140	89	98	102
Sommergerste	1970...1979	38	88	100	101
	1980...1989	52	86	98	100
	1990...1999	44	84	98	98
Sommerweizen	1970...1979	38	98	102	99
	1980...1989	45	99	102	99
	1990...1999	44	97	103	98

In der Formenreihe (Tab. 17) reagierten die Futterrüben im Ertrag deutlich positiv auf das Kaliohsalz Kainit — auch nach der Umstellung auf Herbsdüngung 1970. Die seit 1985 angebauten Zuckerrüben zeigen diese Reaktion nicht.

Die negative Wirkung des Kainits auf den Ertrag von Kartoffeln und Erbsen verringerte sich mit der Herbstanwendung. Die angebauten Getreidearten lassen bisher keine Reaktion auf die verschiedenen K-Düngerformen erkennen.

Aus den Erträgen in Tab. 16 und den nicht mitgeteilten K-Gehalten des Erntegutes errechnen sich die K-Entzüge, die in Tab. 18 für die Jahre von 1977 bis 1999 der K-Zufuhr mit der Düngung gegenübergestellt sind. Eine weitgehend ausgeglichene Bilanz wird auf Stufe *K2* erreicht, wenn die K-Einträge aus der Atmosphäre berücksichtigt werden. Das hohe K-Nachlieferungsvermögen bei *K0* läßt sich nur unter Verzicht auf hohe Erträge nutzen.



**Tab. 17.** Trockenmasseerträge (absolut und relativ zur 50er Kali-Variante) an den Haupternteprodukten seit 1950 in Abhängigkeit von der Kalidüngerform — *Feld C*.

Fruchtart	Zeitraum	K-Düngerform			
		50er Kali	Kainit	Kamex	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
		dt/ha			
Futterrüben	1950...1969 <sup>†</sup>	613	115	109	106
	1970...1984 <sup>‡</sup>	93	112	112	103
Zuckerrüben	1985...1996 <sup>†</sup>	96	102	110	104
Kartoffeln	1950...1969	282	92	99	99
	1970...1996	75	95	99	100
Erbsen	1950...1969	20	89	106	105
	1970...1987	24	96	99	101
Silomais	1988...1996	131	96	103	103
Sommergerste	1950...1969	42	100	97	98
	1970...1996	45	98	99	100
Winterweizen	1950...1969	48	101	98	99
Sommerweizen	1970...1996	48	98	99	100

<sup>†</sup>): 1950 bis 1969 Frischmasseerträge in dt/ha

<sup>‡</sup>): Seit 1970 Trockenmasseerträge in dt/ha

**Tab. 18.** Einfache K-Bilanz (kg/ha) im Mittel der Jahre (1977 bis 1999) und der angebauten Fruchtarten — *Feld C*.

	K-Düngerstufen			
	K0	K1	K2	K4
K-Zufuhr	0	60	121	242
K-Abfuhr	66	92	125	149
Saldo	-66	-32	-4 <sup>†</sup>	+93

<sup>†</sup>): Entspricht ≈ K-Eintrag aus der Atmosphäre

### 4.3.3 Boden

Eine deutliche Differenzierung in den Gehalten an laktatlöslichem K (DL-K) zeichnete sich in der Ackerkrume nach 10 Versuchsjahren ab (Tab. 19).

**Tab. 19.** Gehalt an DL-K in mg/100 g Boden bei abgestufter Düngung — *Feld C*.

Jahre nach Versuchsbeginn	Tiefe cm	K-Mengenstufen				Mittel der K-Düngerformen
		K0	K1	K2	K4	
0	0...20	..... 9,0 .....				9,0
10*	0...20	3,9	4,4	6,9	12,2	7,4
30 <sup>†</sup>	0...20	5,8	6,2	9,0	15,2	8,1
40 <sup>‡</sup>	0...20	4,2	5,6	9,8	18,2	8,5
	20...40	3,6	4,2	5,6	12,1	5,3
	40...60	3,1	3,1	3,3	3,8	3,2

\*): Mittelwerte der Jahre 1959, 1961 und 1963,

<sup>†</sup>): Mittelwerte 1979...1983, <sup>‡</sup>): Mittelwerte 1989...1993.

Danach blieben die Veränderungen — mit Ausnahme der Stufe K4 — geringfügig. Auf Stufe K2 blieb bei ausgeglichener Bilanz bisher der Ausgangsgehalt praktisch unverändert. Der hohe Überschuss auf Stufe K4 hat seit Versuchsbeginn zu einem erheblichen Anstieg des Gehaltes an DL-K geführt. Dieser blieb im wesentlichen auf die Ackerkrume beschränkt und lag der Menge nach erheblich unter dem nach der Bilanz zu erwartenden Überschuss (analog zum *Ewigen Roggenbau*).

Die Bestimmung des mit Salzsäure extrahierbarem K als Maß für das K-Nachlieferungsvermögen (Tab. 20) hat K-Mengen erfaßt, die ein Mehrfaches des DL-K ausmachen. Der größte Anteil entstammt dabei offensichtlich jenem nichtlaktatlöslichen K, das bei K-Mangel in größerer Menge pflanzenverfügbar wird.

Der Ausgangsgehalt an verfügbarem Magnesium von ≈ 6 mg/100 g Boden in der Krume hat sich bei Verwendung von Kainit und Kamex auf 8 ... 9 mg erhöht. In Abhängigkeit von der K-Düngung und der Witterung (Tiefenversickerung) ergeben sich deutliche Unterschiede in den Cl<sup>-</sup>-Mengen und deren Verteilung über das P-Profil.

**Tab. 20.** Gehalt\* an HCl-extrahierbarem Kalium (mg/100 g Boden) in Abhängigkeit von der K-Düngemenge; Proben aus dem Jahre 1991 — *Feld C*.

Tiefe cm	K-Mengenstufen				Mittel K0...K4
	K0	K1	K2	K4	
0...20	42,8a	46,6a	53,4b	65,2c	52,0
20...40	40,2a	46,5b	52,5b	61,3c	50,1
40...60	42,1				42,1
60...80	38,3				38,3
80...100	34,8				34,8

\*): 10 g Boden mit 100 ml 1 M HCl 20 h bei 50 °C im Brutschrank (ohne Schütteln); Mittelwerte innerhalb einer Bodenschicht, denen der gleiche Buchstabe folgt, sind nicht signifikant verschieden.

Das hat vor allem für den Anbau von Kartoffeln Bedeutung. Tab. 21 ist zu entnehmen, daß es nach einer für das östliche Harzvorland nicht seltenen Häufung niederschlagsarmer Jahre (von 1987/88 bis 1990/91 fielen im Mittel nur 409 mm Niederschlag) zu einer Akkumulation von erheblichen Chloridmengen kommen kann, die weit über das in einem Jahr mit der K-Düngung zugeführte Cl<sup>-</sup> hinausgeht. In niederschlagsreichen Jahren wird dieses Cl<sup>-</sup> dann wieder ausgewaschen. Während sich das Nitrat diesbezüglich ähnlich wie das Chlorid verhält, wird das mit Düngung oder Niederschlag in den Boden gelangte Sulfat weniger leicht ausgewaschen und teilweise als Gips akkumuliert.

**Tab. 21.** Chloridmengen im Boden (kg/ha) in den Jahren 1990 und 1991 in Abhängigkeit von der K-Düngung — *Feld C*.

Jahr	Tiefe cm	K-Mengenstufen			
		K0	K1	K2	K4
Jährliche Cl <sup>-</sup> -Zufuhr <sup>†</sup>		0	75	150	300
1990 <sup>‡</sup>	0...20	6	26	36	83
	20...40	10	33	49	126
	40...60	7	40	104	163
	60...80	2	26	89	145
	80...100	3	30	77	131
0...100		28	155	355	648
1991 <sup>‡</sup>	0...20	5	7	23	44
	20...40	5	9	7	27
	40...60	5	42	73	133
	60...80	14	74	122	238
	80...100	28	131	179	364
0...100		57	263	404	806

<sup>†</sup>): Mittlere jährliche Chloridzufuhr mit der Düngung seit 1970

<sup>‡</sup>): Probenahme jeweils nach der Ernte von Kartoffeln am 20. September 1990 bzw. 6. November 1991

## 4.4 P-Düngungsversuch *Feld D*

### 4.4.1 Material und Methoden

Anlagejahr: 1949

Versuchsfrage: Einfluß unterschiedlicher P-Düngemengen und -formen auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte sowie auf wichtige Bodeneigenschaften

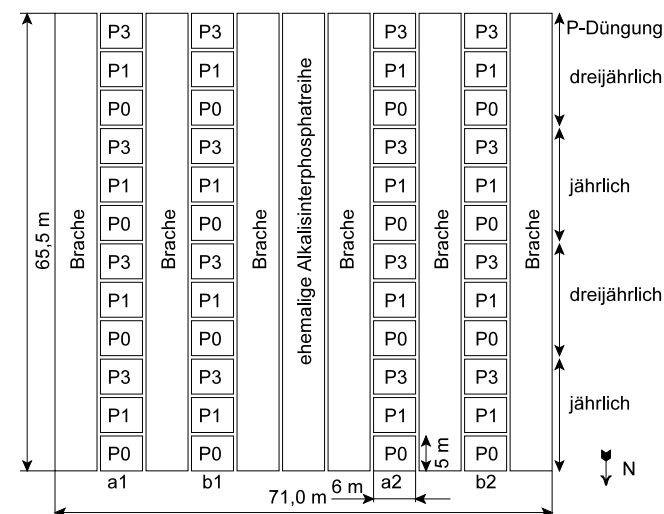
Gesamtfläche:

1949 bis 1969 ..... 85,0 m × 73,5 m = 6248 m<sup>2</sup>  
mit 144 Teilstücken in zwölf Teilstückreihen

Teilstückgröße: ..... 6 m × 5 m = 30 m<sup>2</sup>

Anzahl der Wiederholungen: ..... 4

Versuchsanlage: Systematische Blockanlage



**Abb. 4.** Anlageplan des P-Düngungsversuches — *Feld D* (seit 1970). Formen: a — Thomasphosphat, b — Superphosphat, P0, P1 und P3 entsprechen folgenden Mengen: 0, 15 und 45 (jährlich) bzw. 0, 45 und 135 kg P/ha (dreijährlich) seit 1977, von 1963 bis 1976 0, 13 bzw. 39 kg P/(ha · a) und von 1950 bis 1962 0, 13 bzw. 26 kg P/(ha · a).

Auf jeweils 72 Teilstücken lief bis 1970 eine landwirtschaftliche und eine Feldgemüsefruchtfolge. Danach wurde auf die weitere Bebauung der zahlreichen Standardparzellen (jede zweite Parzellenreihe) verzichtet und der Gemüseanbau eingestellt. Es verblieben 72 Teilstücke für die Prüfung der drei P-Düngerformen in drei

Mengenstufen. Seit 1974 wird auf jeweils vier der acht vorhandenen Wiederholungen die P-Düngung als dreijährliche Vorratsdüngung verabreicht (Abb. 4). Fruchtfolge: Luzerne – Luzerne – Kartoffeln – Winterroggen – Zuckerrüben – Sommergerste (seit 1975).

Geprüft werden Thomasphosphat und Superphosphat (bis 1995 auch Alkalisinterphosphat). Die P-Düngung erfolgt jährlich und dreijährlich, die P-Vorratsdüngung jeweils vor der Luzerneansaat und dem Winterroggen. Zu den angebauten Fruchtarten werden seit 1970 folgende N- und K-Mengen verabreicht (Tab. 22):

Die PK-Düngung erfolgt seit 1974 im Herbst. Der Stickstoff wird weiterhin im Frühjahr ausgebracht.

#### 4.4.2 Erträge

Durch die P-Düngung wurde im bisherigen Versuchsverlauf ein kontinuierlich steigender Ertragszuwachs erzielt (Tab. 23). Ab der fünften Rotation traten vor allem bei Luzerne und Kartoffeln häufiger signifikante Mehrerträge auf. Der weit über dem Trend liegende Ertragszuwachs in der Rotation 1988 bis 1993 ist auf den Ausfall der P-Mehrertrag schwächeren Zuckerrüben und des Winterroggens zurückzuführen. Im Mittel der Fruchtarten wurde in der letzten Rotation ein TM-Mehrertrag von 3,1 und 5,4 % (P1 bzw. P3) erzielt (Tab. 23); das entspricht einer Verwertungseffizienz von 19 bzw. 12 kg TM pro kg P-Düngung. Zwischen den Fruchtarten bestehen dabei erhebliche Unterschiede (Tab. 24). Luzerne, insbesondere im Aussaatjahr, reagierte mit dem höchsten Ertragszuwachs, aber auch die flachwurzelnde Kartoffel und Sommergerste (mit relativ niedrigem P-Entzug); während Zuckerrüben und vor allem Winterroggen mit etwa gleich hohem P-Entzug den geringsten Ertragszuwachs aufwiesen.

**Tab. 22.** N- und K-Düngung in kg/ha — *Feld D.*

Fruchtart	1950 bis 1969		ab 1970	
	N	K	N	K
Luzerne	–	133	–	400
Luzerne	–	–	–	–
Kartoffeln	80	133	50	250
Winterroggen	40	42	40	125
Zuckerrüben	160	166	160	250
Sommergerste	kein Anbau		50	125

**Tab. 23.** Trockemasseerträge (dt/ha) an den Haupternteerzeugnissen über neun Rotationen im Mittel aller Fruchtarten, Düngerformen und Düngungshäufigkeit — *Feld D.*

Rotation	P-Mengenstufe			Differenz P3 - P0
	P0	P1	P3	
1950...1954	63,7	64,1	64,1	0,4
1955...1959	66,9	66,2	68,5	1,6
1960...1964	88,3	89,8	89,7	1,4
1965...1969	76,7	77,6	79,3	2,6
1970...1975	90,0	81,5	93,4	3,4
1976...1981	73,1	75,5	76,9	3,8
1982...1987	80,5	83,1	84,7	4,2
1988...1993	76,8	79,6	83,9	7,1
1994...1999	94,2	97,1	99,5	5,3
Mittel	77,8	79,7	82,0	4,2

**Tab. 24.** Vergleich der mittleren Trockenmasseerträge (dt/ha) der Fruchtarten in Abhängigkeit von der P-Düngemenge — *Feld D.*

Fruchtart	Jahre	P-Mengenstufen			Differenz P3 - P0
		P0	P1	P3	
Luzerne	9	105,4	108,6	112,3	6,9
Kartoffeln	4	70,2	72,5	75,2	5,0
Zuckerrüben	3	102,3	105,1	105,2	2,9
Winterroggen	3	54,3	55,6	55,6	1,3
Sommergerste	4	34,7	36,9	38,6	3,9
1976...2000	23	79,9	82,5	84,7	4,8

Zwischen jährlicher und dreijährlicher Vorratsdüngung (ab 1975) und auch den drei P-Düngerformen bestanden keine bedeutenden Ertragsunterschiede.

Die einfache P-Bilanz (Tab. 25) weist eine mittlere jährliche P-Nachlieferung von 22,8 kg/ha aus. Der P-Entzug bei P0 als ein Kriterium für das Boden-P-Aneignungsvermögen der Pflanzen zeigt in der Rangfolge Luzerne > Zuckerrüben, Winterroggen > Kartoffeln > Sommergerste, daß die tiefwurzelnden Fruchtarten Vorteile besitzen, da sie u. a. die Phosphate des Unterbodens besser nutzen können. Bei P1 sind es 9,1 kg/ha. Diese P-Nachlieferung ist größer als sie sich aus den Veränderungen der P-Gehalte der Ackerkrume errechnet. Dies weist darauf hin, daß ein Teil des von den Pflanzen aufgenommenen Phosphates aus dem Unterboden stammt.

**Tab. 25.** Einfache P-Bilanz (kg/ha) im Mittel der Düngerformen Thomasmehl und Superphosphat von 1950 bis 1999 — *Feld D.*

	P-Mengenstufen		
	P0	P1	P3
P-Zufuhr	0	685	1885
P-Abfuhr	1116	1159	1203
Saldo, gesamt	-1116	-474	+682
Saldo, jährlich			
Luzerne	-32	-20	1,6
Zuckerrüben	-20,6	-2,4	21,7
Winterroggen			
Kartoffeln	-15,9	-7,1	15,7
Sommergerste	-14,7	-2,3	20,1
Mittel	-22,8	-9,1	13,9

#### 4.4.3 Boden

Die Gehalte an laktatlöslichem P (DL-P) wiesen bereits nach zehn Jahren deutliche Unterschiede zwischen den P-Düngungsstufen auf (Tab. 26).

**Tab. 26.** Gehalt an DL-P in mg/100 g Boden bei abgestufter Superphosphatdüngung — *Feld D.*

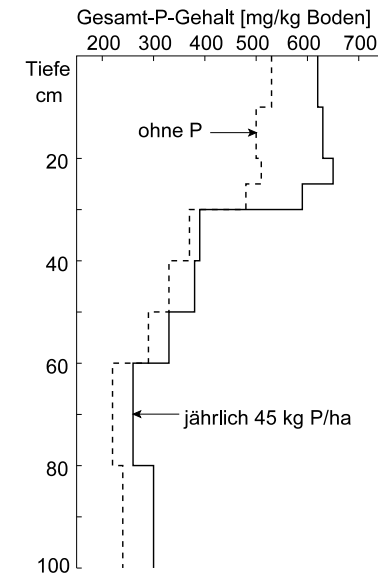
Jahre nach Ver- suchsbeginn	Tiefe cm	P-Mengenstufen		
		P0	P1	P3
0	0...20	8,5	8,5	8,5
10	0...20	7,3	7,8	12,0
20	0...20	5,7	7,1	10,6
30	0...20	3,7	5,2	8,5
	20...40	3,8	4,6	5,5
	40...60	2,3	2,8	3,4
45	0...20	3,2	4,2	7,7
	20...40	3,2	4,2	6,3
	40...60	2,6	3,1	3,4
50	0...30	3,8	5,5	6,6
	30...60	2,9	3,0	4,5
	60...90	1,5	1,5	2,0

Diese erfuhren in den folgenden 20 Jahren eine weitere Ausprägung. Der Rückgang der Gehalte bei allen Stufen nach 30 Jahren beruht vor allem auf einem Verdünnungseffekt durch die Einmischung von P-armem Unterboden, verursacht durch die Krümmenvertiefung auf 25 cm beim Übergang vom Pferde- zum Traktorenzug und auf 30 cm in den 90er Jahren.

Eine 1993 vorgenommene schichtweise Be-  
probung und Bestimmung der Gesamt-P-Gehalte bei den Varianten P0 und P3 (jährlich) macht deutlich, daß sich die Differenzierung nicht allein auf die gepflegte Bodenschicht beschränkt, sondern bis in 100 cm Tiefe reicht (Abb. 5). Doch auch diese Unterschiede im Unterboden erklären die Differenz von 1116 kg P/ha, die nach dem Saldo von P-Düngung und -Entzug (Tab. 25) zwischen den P-Mengen in den beiden Böden bestehen sollte, nur zu etwa 55 %.

**Tab. 27.** Gesamt-P-Gehalt des Bodens (mg/kg) — *Feld D.*

Jahr	Tiefe cm	P-Mengenstufen		
		P0	P1	P3
1949	0...20	580	565	567
1991 bis	0...20	495	534	643
	20...40	477	488	521
1993	40...60	358	379	396



**Abb. 5.** Gesamt-P im Boden (0...100 cm) der Varianten P0 und P3 (jährlich) der Superphosphatreihe im Jahr 1993. — *Feld D.*

Wesentliche Ergebnisse dieses Versuchs für die praktische Düngung sind, daß:

- der Ertragsabfall nach 50jähriger Unterlassung der P-Düngung immer noch weniger als 10 % im Mittel der Fruchtfolge beträgt,
- jährlich 15 kg P/ha genügen, um bei Zuckerrüben und Winterroggen den höchsten Ertrag zu erzielen und
- die P-Düngung wegen ihrer jahrzehntelangen Nachwirkung immer auf die Fruchtfolge zu beziehen ist und nicht auf einzelne Jahre oder Früchte.

## 4.5 Mineralisch-organische Düngungsversuche Feld F

### 4.5.1 Material und Methoden

Anlagejahr: 1949

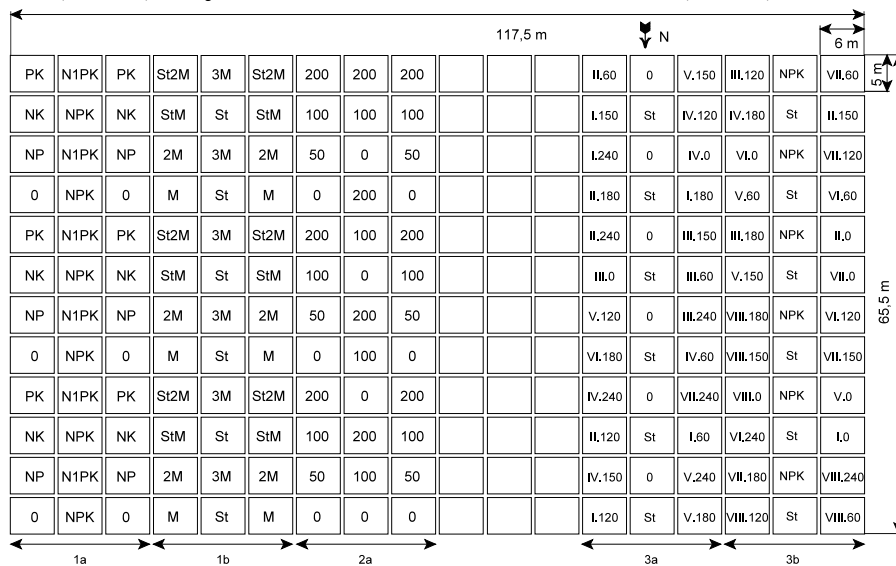
Gesamtfläche:

ursprünglich . . . . . 117,5 m × 73,5 m = 8636 m<sup>2</sup>  
mit 216 Teilstücken,  
von 1993 bis 1997 180 Teilstücke  
seit 1998 108 Teilstücke

Teilstückgröße: . . . . . 6 m × 5 m = 30 m<sup>2</sup>

Fruchtfolge: von 1949 bis 1961 bestand eine vierfeldrige Fruchtfolge, seit 1962 sind Kartoffeln – (Hafer bis 1980) Winterweizen – Silomais – Sommergerste – Zuckerrüben – Sommerweizen im Anbau.

In diesem umfangreichen Versuch werden verschiedene Fragestellungen der mineralischen und organischen Düngung nebeneinander bearbeitet. Dazu ist der Versuch in drei Abteilungen (F1...F3) gegliedert, die wiederum in je zwei Bereiche (a und b) von jeweils drei Parzellenreihen unterteilt sind (Abb. 6).



**Abb. 6.** Anlageplan — Feld F: F1a — Mineraldüngung ohne und F1b mit organischer Düngung, F2a — jährlich 50 dt Stroh/ha + 0, 50 (25), 100 (50) oder 200 (100) kg N/ha zu den Hackfrüchten (Getreide) auf der linken und rechten Teilstückreihe und ohne Stroh auf der mittleren mit 0, 100 (50) oder 200 (100) kg N/ha, F3 — C-Bereiche I...VIII, 0...240 kg N/ha zu den Hackfrüchten.

Die Abteilung F1 ist elementaren Fragen der Düngung gewidmet: Im Bereich F1a wird der Mangel an den einzelnen Hauptnährstoffen (N, P und K) erforscht. Im Bereich F1b wird die Kombination von organischer und mineralischer Düngung bei verschiedenen Düngemengen geprüft.

Die Abteilung F2 hat die Strohdüngung zum Gegenstand, und zwar in Kombination mit abgestufter Mineral-N-Düngung. Im Bereich F2a erfolgt die Strohdüngung jährlich, im Bereich F2b wurde diese bis 1992 alle zwei Jahre durchgeführt.

In der Abteilung F3 wurde bis 1971 verschieden gelagerter Stallmist geprüft. Danach wurde bis 1997 die Nachwirkung der Stallmistdüngung verfolgt.

### 4.5.2 Mineraldüngungsversuch F1a

#### 4.5.2.1 Material und Methoden

Anzahl der Teilstücke: . . . . . 36

Prüfglieder: 0, NP, NK, PK, NPK und N1PK

Wiederholungen: . . . . . 6

Düngung seit 1980: (Tab. 28)

**Tab. 28.** N-, P- und K-Düngemengen in kg/ha. — F1a.

Variante	N		P*	K*
	Hackfrucht	Getreide		
0	0	0	0	0
NP	100	50	60	0
NK	100	50	0	300
PK	0	0	60	300
NPK	100	50	60	300
N1PK	200	50	60	300

\*) : zweijährliche Vorratsdüngung jeweils im Herbst zu Hackfrucht

#### 4.5.2.2 Erträge

Die Varianten ohne N-Düngung (0, PK) zeigten bereits im ersten Versuchsjahrzehnt einen raschen Ertragsabfall um etwa 20 % im Vergleich zu NPK, der in den letzten zwei Versuchsjahrzehnten auf 41 % (Mittel aller Fruchtarten, Tab. 29) angewachsen ist. Der Mangel an P und K in der Düngung war hingegen auf Grund der reichen Nachlieferung des Bodens bisher nur mit einem Minderertrag von 6 bzw. 10 % verbunden. Zuckerrüben und besonders Kartoffeln reagierten in

Übereinstimmung mit den Ergebnissen vom Feld C besonders stark auf eine Unterlassung der K-Düngung (18 bzw. 24 % Ertragsreduktion).

Die doppelte N-Gabe zu den Hackfrüchten (*N1PK*) verursachte bei Kartoffeln und Mais sowie beim nachfolgenden Sommerweizen einen deutlichen Mehrertrag, während Zuckerrüben, Sommergerste und Winterweizen nicht reagierten; bei Zuckerrüben wurde vor allem der Blattertrag erhöht (nicht dargestellt).

**Tab. 29.** Trockenmassererträge (absolut und relativ zur *NPK*-Variante) der Haupternteerzeugnisse in Abhängigkeit von der Mineraldüngung — *F1a*.

Fruchtart	Zeitraum	Jahre	Mineraldüngungsvariante						GD (Tukey, $P \leq 0,05$ )
			NPK	0	NP	NK	PK	N1PK	
Zuckerrüben	1984...1996	3	107	50	82	95	55	99	
Kartoffeln	1980...1998	4	63	48	76	95	59	136	
Silomais	1982...2000	4	131	70	91	98	72	109	
Sommerweizen	1985...1997	4	44	63	101	95	60	114	
Sommergerste	1983...1995	3	49	51	90	92	52	102	
Winterweizen	1981...1999	4	57	70	99	90	58	102	
Fruchtartenmittel	1980...2000	22	75	59	90	94	59	110	

**Tab. 30.** Einfache N-, P- und K-Bilanz (kg/ha) im Mittel der Jahre 1980...2000 — *F1a*.

	0			NP			NK			PK			NPK			N1PK		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	Düngung	0	0	0	75	30	0	75	0	150	0	30	150	75	30	150	125	30
Entzug	66	12	46	111	19	64	109	18	106	60	13	65	117	20	111	138	23	128
Saldo	-66	-12	-46	-36	11	-64	-34	-18	44	-60	17	85	-42	10	39	-13	7	22

Der Vergleich der zugeführten und entzogenen Nährstoffmengen (Tab. 30) ergibt, daß beim Stickstoff alle Varianten eine negative Bilanz aufweisen. Der N-Entzug bei der 0-Variante und bei *PK* ist im Mittel der Fruchtfolge mit 66 bzw. 60 kg/ha beachtlich. Zu der negativen Bilanz bei (*N1PK*) trägt vor allem das Getreide bei, dessen N-Entzug 75 kg/ha über der gedüngten N-Menge liegt (nicht dargestellt).

#### 4.5.2.3 Boden

Die C-Gehalte sind bei allen Mangelvarianten gegenüber den Ausgangswerten abgesunken und nur bei *NPK*-Düngung erhalten geblieben, offensichtlich als Folge der reichlicheren Ernte- und Wurzelrückstände (Tab. 31).

**Tab. 31.** Bodenuntersuchungsergebnisse zu Versuchsbeginn (1949) und nach 46 Versuchsjahren (1995) — *F1a*.

	Jahr	Tiefe cm	Mineraldüngungsvariante						GD (Tukey, $P \leq 0,05$ )
			0	NP	NK	PK	NPK	N1PK	
C-Gehalt %	1949	0...20	1,46	1,48	1,47	1,45	1,45	—	—
		1995	0...20	1,32	1,33	1,35	1,30	1,45	1,44
	1995	20...40	1,09	1,17	1,15	1,09	1,24	1,22	0,10
		40...60	0,65	0,75	0,72	0,61	0,70	0,73	—
N-Gehalt mg/kg	1949	0...20	1240	1270	1260	1240	1220	—	—
		1995	0...20	980	1010	1030	980	1070	1070
	1995	20...40	890	940	950	900	970	970	56
		40...60	630	670	640	590	630	650	—
pH (0,01 M CaCl <sub>2</sub> )	1959*	0...20	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	—	—
		1995	0...20	6,4	6,4	6,3	6,2	6,0	5,9
	1995	20...40	6,8	6,6	6,7	6,6	6,5	6,5	—
		40...60	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	—
DL-P-Gehalt mg je 100 g	1959*	0...20	8,9	10,9	7,5	10,4	9,9	—	1,8
		1995	0...20	6,2	6,8	5,1	7,6	7,5	7,3
	1995	20...40	4,7	5,9	4,4	5,9	7,2	6,5	1,8
		40...60	2,0	3,0	2,3	2,0	2,1	2,2	0,7
DL-K-Gehalt mg je 100 g	1959*	0...20	8,2	7,2	16,3	20,8	16,6	—	3,2
		1995	0...20	7,0	5,8	16,7	22,3	18,3	16,4
	1995	20...40	4,6	3,9	13,1	18,5	13,5	11,4	3,4
		40...60	3,0	2,6	5,0	5,4	4,2	4,1	1,8

\*) : Ausgangsgehalte von 1949 fehlen.

Der Gehalt an Gesamt-N im Boden ist stärker zurückgegangen als der C-Gehalt, bei den Varianten ohne Stickstoffdüngung um 21 % und bei der *NPK*-Variante um 12 % in der Ackerkrume.

Die Gehalte an laktatlöslichem P und K werden sowohl von der differenzierten Düngung als auch von den ertragsbedingten Unterschieden im Entzug beeinflusst.

Bis in die Bodentiefe von 40 ... 60 cm ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, wobei insbesondere auf das Kalium hingewiesen werden soll.

### 4.5.3 Mineralisch-organischer Düngungsversuch F1b

#### 4.5.3.1 Material und Methoden

Anzahl der Teilstücke: . . . . . 36

Anzahl der Wiederholungen: . . . . . 6

Tabelle 32 zeigt die differenzierte Düngung, die hauptsächlich die N-Versorgung der Hackfrüchte berührt. Nur in jedem zweiten Jahr erfolgt zu diesen eine unterschiedliche Mineral-N- (M), Stallmist- (St) und kombinierte Düngung. Das Getreide wird zur Erfassung der Nachwirkung einheitlich gedüngt.

**Tab. 32.** Düngungsvarianten (kg/ha) — F1b.

Variante	Symbol	N		P <sup>†</sup>	K <sup>‡</sup>
		Hackfrucht	Getreide		
Einfache Mineraldüngung	M	50	50	40	200
Doppelte Mineraldüngung	2M	100	50	60	300
höhere N-Gabe, PK wie 2M	3M	200	50	60	300
200 dt/ha Stallmist <sup>†</sup>	St	0 + (100)*	50	20 + (20)	100 + (100)
Stallmist <sup>†</sup> + M	StM	50 + (100)	50	40 + (20)	200 + (100)
Stallmist <sup>†</sup> + 2M	St2M	100 + (100)	50	60 + (20)	300 + (100)

\*) Die schätzungsweise mit dem Stallmist ausgebrachte Nährstoffmengen wurden in Klammern gesetzt.

†): Die angeführten P- und K-Mengen werden zweijährlich als Vorratsdüngung zur Hackfrucht verabreicht.

‡): Stallmist zweijährlich zur Hackfrucht (einschließlich Silomais)

#### 4.5.3.2 Erträge

Bei den unterschiedlich gedüngten Hackfrüchten hatte der Mineraldünger-N eine wesentlich höhere Ertragswirksamkeit als der Stallmist-N (Tab. 33). Auch in der Nachwirkung beim Getreideertrag ist dies in der Tendenz erkennbar. Nur der Winterweizen weist einen etwa gleichhohen Nachwirkungseffekt beider N-Formen auf. Weiterhin ist aufgefallen, daß die Kartoffeln im Vergleich zu Silomais und Zuckerrüben den Stallmist-N schlechter verwerten.

**Tab. 33.** Trockenmasseerträge (absolut und relativ zur 3M-Variante) der Haupternteerträge in Abhängigkeit von der organischen und mineralischen Düngung — F1b.

Fruchtart	Zeitraum	Jahre	Düngungsvariante					
			3M	M	2M	St	StM	St2M
			dt/ha		%			
Zuckerrüben	1952...1996	9	106	80	96	72	90	97
Kartoffeln	1950...1998	10	77	74	88	62	82	90
Silomais	1959...2000	8	145	77	83	74	83	87
Sommerweizen	1953...1997	9	51	75	75	78	78	78
Sommergerste	1951...1995	7	50	78	82	80	82	84
Winterweizen	1981...1999	4	59	88	95	102	100	100

Eine Bilanz der gedüngten und der entzogenen Nährstoffe (Tab. 34) erbringt beim Stickstoff für alle Varianten insgesamt einen negativen Saldo. Eine getrennte Betrachtung der Hackfrucht- und den Getreideentzüge läßt erkennen, daß dieser negative Saldo von Getreide herrührt. Die Hackfrüchte entzogen — bei hohen N-Gaben (3M und St2M) — insgesamt 200 kg/ha im Mittel der letzten drei Rotationen nur 160 bzw. 140 kg/ha. Dies läßt nach Jahren mit niedrigen Hackfruchterträgen und hohen Winterniederschlägen natürlich beachtliche N-Verluste zu, erklärt aber auch, daß das folgende Getreide auf diesem Standort in acht von neun Jahren daraus deutliche Vorteile gezogen hat. Der bei den einzelnen Düngungsvarianten unterschiedliche Überschuß an P und K in den Salden spiegelt sich auch in den DL-P- und DL-K-Gehalten wider (Tab. 35).

**Tab. 34.** Einfache N-, P- und K-Bilanz (kg/ha) im Mittel der Jahre 1980...1995 — F1b.

	M			2M			3M			St			StM			St2M		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Düngung	50	20	100	75	30	150	125	30	150	75	20	100	100	30	150	125	40	200
Entzug	103	20	98	115	21	113	147	21	126	98	19	91	116	21	121	131	23	127
Saldo	-53	0	2	-40	9	37	-22	9	24	-23	1	9	-16	9	29	-6	17	73

#### 4.5.3.3 Boden

Die Unterschiede im C-Gehalt (Tab. 35) sind in Abhängigkeit von der Düngung relativ gering.

**Tab. 35.** Bodenuntersuchungsergebnisse zu Versuchsbeginn (1949) und nach 46 Versuchsjahren (1995) — *F1b*.

	Jahr	Tiefe cm	Düngungsvariante						GD (Tu- key, $P \leq$ 0,05)
			M	2M	3M	St	StM	St2M	
C-Gehalt %	1949	0...20	1,42	1,45	—	1,44	1,44	1,40	—
	1995	0...20	1,34	1,35	1,39	1,43	1,42	1,45	0,07
		20...40	1,12	1,14	1,13	1,11	1,17	1,21	—
		40...60	0,64	0,60	0,52	0,49	0,61	0,61	—
N-Gehalt mg/kg	1949	0...20	1210	1230	—	1210	1210	1200	—
	1995	0...20	1030	1020	1070	1110	1110	1130	61
		20...40	900	930	920	940	960	980	73
		40...60	590	570	560	530	570	570	—
pH	1959*	0...20	6,2	6,1	—	6,4	6,2	6,1	0,2
	1995	0...20	6,6	6,6	6,6	6,9	6,7	6,5	0,3
		20...40	7,0	6,7	6,6	6,9	6,7	6,5	0,3
		40...60	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	—
DL-P-Gehalt mg je 100 g	1959*	0...20	9,4	10,2	—	10,3	9,6	9,5	—
	1995	0...20	6,8	7,5	6,7	7,6	8,8	9,4	1,7
		20...40	5,1	6,1	5,5	5,4	6,5	6,6	1,6
		40...60	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	—
DL-K-Gehalt mg je 100 g	1959*	0...20	13,8	15,5	—	16,2	19,0	20,5	3,7
	1995	0...20	10,0	14,3	13,1	14,5	20,8	24,2	4,4
		20...40	6,8	10,6	7,3	9,1	16,4	19,6	2,9
		40...60	3,1	3,3	2,8	2,6	4,4	5,2	2,4

\*): Ausgangsgehalte von 1949 fehlen.

Die Mineraldüngungsvarianten *M* und *2M* führten zu einer signifikanten Minderung der Boden-C-Gehalte. Die Kombinationen von Stallmist und Mineraldüngung erbrachten keinen Anstieg.

Der N-Gehalt des Bodens ging bei den Mineraldüngungsvarianten (*M*, *2M*) in der Schicht 0 ... 20 cm um ca. 15 % zurück. Diese Abnahme (Mineralisation) gleicht jedoch die negative N-Bilanz (Tab. 34) bei weitem nicht aus. Für diese Varianten ergibt sich erst eine weitgehend ausgeglichene Bilanz, wenn man die an diesem Standort gemessenen jährlichen N-Einträge mit dem Niederschlag und der Deposition von etwa 50 kg/ha in Betracht zieht (Mittel 1991...1995).

Wie im Bereich *F 1a* treten bei den DL-K-Werten signifikante Unterschiede bis in 60 cm Tiefe auf. Auffallend ist im Vergleich zum Kaliumdüngungsversuch *Feld C* und der dortigen höchsten K-Stufe, daß bei der Variante *St2M* mit +73 kg/ha zwar im Mittel der Jahre die gleiche K-Bilanz vorliegt (Tab. 34), der Unterboden jedoch wesentlich stärker beeinflusst wurde.

#### 4.5.4 Strohdüngungsversuch *F2a*

##### 4.5.4.1 Material und Methoden

Anzahl der Teilstücke: . . . . . 36

Anzahl der Wiederholungen:

mit Stroh: 50 dt/ha gehäckseltes Weizenstroh jährlich . . . . . 6

ohne Stroh seit 1974 (von 1950 bis 1973 mit Stroh) . . . . . 4

Prüfglieder: siehe Tab. 36.

Bis 1973 wurde das Stroh im Frühjahr ausgebracht. Von 1973 bis 1979 kam auf drei der sechs Wiederholungen das Stroh wie gehabt und auf den anderen im Herbst zur Ausbringung. Da die Unterschiede nur unwesentlich waren, erfolgt die Strohdüngung seit 1980 einheitlich im Herbst. Die zweijährliche Vorratsdüngung von 60 kg P/ha und 300 kg K/ha erfolgt im Herbst zur Hackfrucht.

**Tab. 36.** Düngungsvarianten in kg N/ha — *F2a*.

Jährliche Stroh- düngung, dt/ha	Symbol	Hackfrucht	Getreide
50	N0	0	0
50	N1*	50	25
50	N2	100	50
50	N4	200	100
—	N0	0	0
—	N2	100	50
—	N4	200	100

\*): seit Herbst 1997 zweijährlich 400 dt/ha Stallmist zur Hackfrucht

##### 4.5.4.2 Erträge

Der Ertrag an Haupternteprodukten wurde hauptsächlich durch die Stickstoffdüngung beeinflusst. Die Strohdüngung senkte den Trockenmasseertrag aller Fruchtarten nur dann beträchtlich, wenn keine Mineral-N-Düngung erfolgte (Tab. 37).



**Tab. 37.** Trockenmasseerträge (dt/ha) der Haupternteerträge in Abhängigkeit von der Stroh- und Mineral-N-Düngung — F2a.

Fruchtart	Zeitraum	Jahre	Düngungsvarianten						
			mit Strohdüngung			ohne Strohdüngung			
			N0	N1	N2	N4	N0	N2	N4
Zuckerrüben	1978...1996	4	79	97	106	108	89	107	109
Kartoffeln	1974...1998	5	46	63	73	79	53	76	80
Silomais	1976...2000	5	87	113	126	125	106	126	132
Sommerweizen	1979...1997	4	25	33	47	59	26	44	53
Sommergerste	1977...1995	4	27	39	46	44	30	45	44
Winterweizen	1981...1998	4	41	47	56	64	41	55	65

**Tab. 38.** Einfache N-Bilanz (kg/ha) getrennt nach Hackfrüchten und Getreide in den Jahren 1980 bis 1995 — F2a.

Fruchtart		Düngungsvarianten						
		mit Strohdüngung			ohne Strohdüngung			
		N0	N1	N2	N4	N0	N2	N4
Hackfrucht	Düngung	0	50	100	200	0	100	200
	Entzug	68	94	122	169	73	125	162
	Saldo	-68	-44	-22	31	-73	-25	38
Getreide	Düngung	0	25	50	100	0	50	100
	Entzug	65	81	104	149	65	111	151
	Saldo	-65	-56	-54	-49	-65	-61	-51

Auf den nicht mit Stickstoff gedüngten Parzellen wurden im Mittel der Jahre 65 bis 73 kg N entzogen (Tab. 38). Beim Getreide lag der Entzug selbst auf der höchsten N-Stufe (100 kg/ha) noch um etwa 50 kg/ha über der gedüngten N-Menge. Bei der gleichen N-Düngung beläuft sich dieser Betrag zu Hackfrüchten nur auf etwa die Hälfte.

#### 4.5.4.3 Boden

Der C-Gehalt in der Ackerkrume wurde im Verlauf der Versuchsdurchführung durch Stroh- mit N-Düngung um durchschnittlich 11 % erhöht (Tab. 39, N4).

**Tab. 39.** Bodenuntersuchungsergebnisse zu Versuchsbeginn (1949) und nach 48 Versuchsjahren (1997)\* — F2a.

	Jahr	Tiefe cm	Düngungsvariante						GD <sup>†</sup> (Tukey, P ≤ 0,05)	
			mit Strohdüngung			ohne Strohdüngung				
			N0	N1	N2	N4	N0	N2		N4
C-Gehalt %	1949	0...20	1,41	1,38	1,41	1,36	1,39	1,39	1,39	—
	1997	0...20	1,42	1,46	1,50	1,50	1,32	1,37	1,37	0,06
		20...40	1,18	1,18	1,25	1,25	1,09	1,16	1,19	0,07
		40...60	0,63	0,63	0,65	0,63	0,63	0,68	0,70	—
N <sub>t</sub> -Gehalt mg/kg	1949	0...20	1220	1220	1180	1150	1190	1190	1190	—
	1997	0...20	1050	1080	1120	1120	1000	1040	1050	32
		20...40	930	920	970	950	880	910	940	45
40...60		580	580	580	570	590	600	620	—	
pH	1959 <sup>‡</sup>	0...20	6,2	6,0	5,9	5,6	—	—	—	0,2
	1997	0...20	6,0	6,0	5,8	5,6	5,9	5,9	5,7	0,2
		20...40	6,2	6,2	6,0	5,9	6,2	6,1	5,9	0,3
		40...60	7,2	7,3	7,2	7,2	7,4	7,3	7,1	—
DL-P-Gehalt mg je 100 g	1959 <sup>‡</sup>	0...20	9,5	8,6	7,3	6,6	—	—	—	2,0
	1995	0...20	6,7	6,6	5,4	4,9	6,1	5,7	4,8	0,8
		20...40	5,2	4,7	4,2	3,8	4,4	4,1	3,7	1,0
40...60		1,6	1,4	1,7	1,8	1,5	1,5	1,4	—	
DL-K-Gehalt mg je 100 g	1959 <sup>‡</sup>	0...20	24	21	20	17	—	—	—	3,4
	1995	0...20	42	35	29	23	22	16	14	4,2
		20...40	34	29	22	17	17	12	10	6,3
40...60		11	8	5	5	5	4	4	3,9	

\*): Mittelwerte von 1995 und 1997.

<sup>‡</sup>): Ausgangsgehalte von 1949 fehlen, Varianten ohne Strohdüngung erst ab 1974.

<sup>†</sup>): Grenzdifferenz gilt nur für Varianten mit Strohdüngung.

Die Boden-N-Gehalte nahmen bei allen Varianten ab. Zugleich kam es auch bei den N-Gehalten zu einer Differenzierung in Abhängigkeit von der N-Düngung. Dies ist vermutlich in erster Linie auf die vermehrten Ernte- und Wurzelrückstände zurückzuführen.

Bei der Beurteilung der Entwicklung der Bodenparameter muß berücksichtigt werden, daß erst seit 1974 keine Strohdüngung erfolgt und daß die neuen Gleich-

gewichte zwischen den auf- und abbauenden Prozessen wahrscheinlich noch nicht erreicht sind.

Die pH-Werte des Bodens sind mit steigenden N-Gaben etwas abgesunken. Dieser Einfluß ist bis in 40 cm Tiefe signifikant.

Die Gehalte an DL-P und DL-K werden deutlich durch das Ertragsniveau in Abhängigkeit vom N-Einsatz beeinflusst. Die Strohdüngung erhöhte den DL-K-Gehalt im Boden signifikant.

#### 4.5.5 Stallmistdüngungsversuch F3

Von 1949 bis 1971 wurde auf dieser Abteilung verschieden gelagerter Stallmist geprüft, und zwar:

- Frischmist
- Stapelmist
- Heißmist
- Silomist mit Wasserzusatz
- Silomist mit Jauchezusatz.

Im Bereich F3a erfolgte dies auf der Basis gleicher Ausgangsmengen (die Aufwandmengen wurden entsprechend den Lagerungsverlusten reduziert) und im Bereich F3b auf der Basis gleicher Mengen „Endprodukt“. Auf F3a erwies sich der Ertrag vor allem von der mit dem Mist zugeführten Menge an löslichem N abhängig. Am günstigsten wirkten deshalb Frischmist und streng anaerob gelagerter Silomist. Auf F3b waren die Ertragsunterschiede weniger ausgeprägt. Hier führte die Anwendung von gleichen Mengen „Endprodukt“ besonders bei Rotte- und Heißmist zu einer Anreicherung organischer Bodensubstanz.

Dies wurde von 1974 bis 1983 genutzt, um die Beziehung zwischen Humusgehalt und Ertrag zu prüfen (Nachwirkung). Dabei ergab sich, daß unter den gegebenen Standort- und Anbaubedingungen die unterschiedlichen Humusgehalte nicht zu signifikanten Ertragsunterschieden führten und keine Einsparungen von Mineraldünger-N bei höherem Humusgehalt möglich ist.

Der Versuch wurde ab 1984 mit folgenden Prüffaktoren weitergeführt:

- A Humusgehalt:
  - A1 relativ niedriger Gehalt an schwerersetzlichem Humus,
  - A2 relativ hoher Gehalt an schwerersetzlichem Humus.
- B Stallmistdüngung:
  - B1 ohne Stallmist,
  - B2 zweijährlich Stallmist (400 dt/ha zur Hackfrucht)
- C Mineraldüngung (Tab. 40)

**Tab. 40.** N-, P- und K-Düngemengen in kg/ha — F3.

Dün- gungs- variante	N		P*	K*
	Hackfrucht	Getreide <sup>†</sup>		
1	0	0	60	300
2	60	30	60	300
3	120	60	60	300
4	150	60/30	60	300
5	180	60/60	60	300
6	240	60/90	60	300

\*): zweijährliche Vorratsdüngung jeweils im Herbst zur Hackfrucht

<sup>†</sup>): 1. N-Gabe/2. N-Gabe

Zusatzvarianten auf den beiden ehemaligen Standardreihen (24 Teilstücke): NPK (sechs Teilstücke), Ungedüngt (sechs Teilstücke) und jährlich 300 dt Stallmist/ha (zwölf Teilstücke).

Die Unterschiede an schwerersetzlichen Humus hatten keinen Einfluß auf den Ertrag. Der Stallmist hatte nur bei keiner oder geringer N-Düngung eine ertragssteigernde Wirkung, äquivalent einer Mineral-N-Gabe von 60 kg/ha zur Hackfrucht und 10...20 kg/ha zur Getreidenachfrucht. Die erhebliche Differenzierung des N-Angebotes führte nur zu geringen Ertragsunterschieden (Tab. 41).

**Tab. 41.** Trockenmasseerträge (dt/ha) des Hauptproduktes bei niedrigeren und höheren Humusgehalten des Bodens und Stallmisteinsatz zu den Hackfrüchten — F3.

Fruchtart	Stallmist	Humus- gehalt	Düngungsvarianten						Mittel
			1	2	3	4	5	6	
Hack- frucht	ohne	niedrig	84	92	102	103	102	100	97
		höher	81	97	106	107	104	110	101
	mit	niedrig	102	107	107	110	110	108	107
		höher	99	109	109	107	107	106	106
Getreide	ohne	niedrig	37	49	55	57	57	56	52
		höher	38	53	56	61	59	60	54
	mit	niedrig	46	54	58	60	57	57	55
		höher	48	56	59	59	58	57	56

Bei Hackfrüchten genügten 120 kg Mineral-N/ha für hohe Erträge. Mit Stallmist waren sogar 60 kg/ha ausreichend. Die Stallmistauswirkung beim Getreide war deutlich. Niedrige Humusgehalte führten bei geringer und mittlerer N-Düngung in einigen Jahren zu Mindererträgen. Bei Stallmistauswendung waren diese Unterschiede im Humusgehalt bedeutungslos.

Die zweijährliche Stallmistausdüngung trug zur Erhaltung des Ausgangs-C- und -N-Gehaltes im Boden bei, während dieser im Versuchszeitraum auf den ohne Stallmist gedüngten Parzellen abnahm. Die stallmistgedüngten Varianten wiesen 1997 einen signifikant höheren pH-Wert, DL-P- und DL-K-Gehalt auf (Tab. 42).

Eine erhöhte Mineralstickstoffdüngung steigerte den C-, N<sub>t</sub>- und DL-K-Gehalt im Boden signifikant (STUMPE *et al.* 2000).

**Tab. 42.** C-, N<sub>t</sub>-, DL-P-, DL-K-Gehalt und pH-Wert des Bodens (0...20 cm) in Abhängigkeit von Humusgehalt und Stallmistausdüngung — F3.

Jahre	Merkmal	Humusgehalt			
		niedrig		hoch	
		Stallmistausdüngung			
		ohne	mit	ohne	mit
1984	C (%)	1,48a	1,48a	1,54b	1,57b
	N <sub>t</sub> (mg/100 g)	115a	116b	120b	122b
1997	C (%)	1,38a	1,44b	1,42b	1,56c
	C (t/ha, 0...60 cm)	91a	95b	98b	104c
	N <sub>t</sub> (mg/100 g)	108a	116b	111b	125c
	N <sub>t</sub> (t/ha, 0... 60 cm)	7,7a	8,2b	8,2b	8,8c
	pH	5,8a	6,1b	5,9a	6,0b
	DL-P (mg/100 g)	6,3a	9,0c	7,1b	10,0d
	DL-K (mg/100 g)	16,8a	33,2b	20,7a	33,9b

## 5 Literatur

- GARZ, J., H. STUMPE und W. SCHLIEPHAKE, 1996: Ertragsentwicklung im Dauerversuch *Ewiger Roggenbau* Halle nach der 1990 vorgenommenen Umstellung in der Düngung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **159**, 373 – 376.
- MERBACH, W., L. SCHMIDT und L. WITTENMAYER (Hrsg.) 1999: *Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale)* Beiträge aus der Hallenser Pflanzenernährungsforschung. Stuttgart, Leipzig: B. G. Teubner, 150 S., ISBN 3-519-00284-1
- MERKER, J., 1956: Untersuchungen an den Ernten und den Böden des Versuches „Ewiger Roggenbau“ in Halle/S. *Kühn-Archiv* **70**, 154 – 215.
- SCHIEFFER, F., 1931: *Über das Problem der Bodenfruchtbarkeit*. Habilitationsschrift, Univ. Halle/S.
- SCHLIEPHAKE, W., J. GARZ und L. SCHMIDT, 1999: *Exkursionsführer zu den Dauerversuchen auf dem Julius-Kühn-Feld in Halle*. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 52 S.
- SCHLIEPHAKE, W., und R. OTTO, 1990: Die Entwicklung der Bodenacidität im Kalkdüngungsversuch Feld A und ihr Einfluß auf den Kohlenstoffgehalt des Bodens, das Kationensorptionsvermögen und die Nitrifikation. In: *110 Jahre Ewiger Roggenbau*. Hrsg.: H.-J. Liste. *Kongreß- und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg* (Wissenschaftliche Beiträge), Heft 31 = S 72. Halle (Saale), ISBN 3-86010-291-5, 74 – 81.
- STUMPE, H., J. GARZ und E. HAGEDORN, 1990: Die Dauerversuche auf dem Versuchsfeld in Halle. In: *Dauerversuche: Übersicht, Entwicklung und Ergebnisse von Feldversuchen mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer*. Hrsg.: Autorenkollektiv unter der Leitung von M. KÖRSCHENS. — 2. Auflage. Berlin: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, ISBN 3-7440-0078-8, 25 – 71.
- STUMPE, H., J. GARZ und W. SCHLIEPHAKE, 1995: Das Versuchsfeld der Landwirtschaftlichen Fakultät in Halle und seine Dauerversuche. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* **77**, 375 – 382.
- STUMPE, H., J. GARZ, W. SCHLIEPHAKE, L. WITTENMAYER und W. MERBACH, 2000: Effects of humus content, farmyard manuring, and mineral-N fertilization on yields and soil properties in a long-term trial. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **163**, 657 – 662.
- WOHLTMANN, F., 1911: Das Landwirtschaftliche Institut zu Halle a. d. Saale, seine Entwicklung und Neugestaltung. *Kühn-Archiv* **1**, 1 – 59.

