

# Verlauf der Bodenreaktion und der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte im 140-jährigen Ewigen Roggenbau in Halle/Saale

## Course of the soil reaction and the plant-available nutrient contents in the 140-year-old Eternal Rye Trial in Halle/Saale

Friedhelm Herbst<sup>1\*</sup>, Wolfgang Gans<sup>1</sup>, Ulrich Völker<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Betty-Heimann-Straße, 06120 Halle/Saale, Deutschland

<sup>2</sup> KARNER Düngerproduktion GmbH, Umseerstraße 279, 3040 Neulengbach, Österreich

\* Korrespondierender Autor: herbst.halle@gmail.com, Alte Heerstraße 105, 06132 Halle/Saale, Deutschland

Einreichung: 16. März 2018, überarbeitete Einreichung: 30. April 2018, Annahme: 3. Mai 2018

### Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel wird über den Verlauf des pH-Wertes und der Gehalte an pflanzenverfügbaren Makro- und Mikronährstoffen im Boden von fünf Düngungsvarianten des Ewigen Roggenbaues in Halle/Saale seit 1926 berichtet. Der pH-Wert nahm im Versuchsverlauf bei allen Prüfvarianten ab. Der Basensättigungsgrad steht in enger Beziehung zum pH-Wert. Vorgenommene Kalkungen erhöhten den pH-Wert vorübergehend bzw. bremsten die Abnahme. Der niedrigste pH-Wert stellte sich nach ausschließlich mineralischer N-Düngung und der höchste nach PK-Düngung ein. Bei den pflanzenverfügbaren P-, K- und Mg-Gehalten kam es in den letzten Jahrzehnten in allen Düngungsvarianten zu einer Abnahme, mit Ausnahme des K-Gehaltes nach Stallmisdüngung. Bei Düngung von Mineralstoffen, einschließlich Stallmist, sind die P- und K-Gehalte und der pH-Wert bis in den Unterboden erhöht. Bei den Mikronährstoffen ist es durch die regelmäßige Stallmisdüngung zu einer deutlichen Erhöhung der Mn-, Fe- und Si-Gehalte gekommen.

**Schlagworte:** Dauerfeldversuch, Bodenreaktion, Makronährstoffe, Mikronährstoffe, Kalkung

### Summary

The topic of this article is the course of pH and the levels of plant-available macro- and micronutrients in the soil of five fertilizer variants of the Eternal Rye Trial in Halle/Saale since 1926. The pH decreased in the course of the trial in all test variants. The base saturation degree is closely related to the pH. Lime applications that were made, increased the pH temporarily or slowed down the decrease. The lowest pH was found in mineral N fertilization and the highest in PK fertilization. The plant-available P, K and Mg contents have decreased in all fertilizer variants in recent decades, with the exception of the K content after manure fertilization. With fertilization of minerals including manure, the P and K contents and the pH are increased in the subsoil. In the case of micronutrients, regular manure fertilization led to a significant increase of Mn, Fe and Si contents.

**Keywords:** Long-term field trial, soil reaction, macronutrients, micronutrients, liming

## 1. Einleitung

Im Jahre 1878 legte Julius Kühn in Halle/Saale auf dem Universitäts-Versuchsfeld einen Feldversuch an, welcher gegenwärtig der weltweit zweitälteste noch bestehende Versuch dieser Art ist. Das Ziel dieses Versuches war es, die 1840 von Justus von Liebig formulierten agrikulturemischen Grundaussagen zur Mineralstoffernährung der Pflanzen zu überprüfen. Dabei standen zunächst nur die Beobachtungen der Ertragswirksamkeit unterschiedlicher Düngergaben und deren Wirkung auf die Qualität der Ernteprodukte im Vordergrund. Im Boden wurden 1878 neben dem organischen Kohlenstoff lediglich die Gehalte an salzsäurelöslichem Phosphor (P), Kalium (K) und Calcium (Ca) bestimmt. Auch nach der folgenden Bodenprobeentnahme 1912 erfolgte eine Analyse der Gesamtgehalte der Mineralnährstoffe in Salzsäure- und Salpetersäureauszügen (Weinaug, 1921). Die Gehalte an pflanzenverfügbarem P und K und der pH-Wert wurden im Ewigen Roggenbau erstmals von Fritz Scheffer (1931a; 1931b; 1933) 1926 bzw. 1929 analysiert. Nachdem diese Nährstoffgehalte in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts auch in das Blickfeld der Ökologie gerückt waren, wird seitdem im Ewigen Roggenbau der Entwicklung dieser Nährstoffgehalte besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Leicht verfügbare Nährstoffe können einerseits das Pflanzenwachstum fördern, in zu hohen Konzentrationen allerdings zu Umweltbelastungen führen. Den Namen „Ewiger Roggenbau“ erhielt der Versuch erst Anfang der 1920er-Jahre, weil als eine ackerbauliche Besonderheit Winterroggen in Selbstfolge (Monokultur) angebaut wird. Aufgrund eines verstärkten Auftretens von Ackerschachtelhalm erfolgte 1961 eine Dreiteilung des Versuches. Seitdem kommen neben dem Winterroggen auch Kartoffeln und Mais zum Anbau. Nachfolgend wird über die Bodenreaktion, der damit verbundenen Parameter (austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität) und die pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte bei Roggenmonokultur und den fünf ursprünglichen Prüfvarianten berichtet.

## 2. Material und Methoden

Der Standort des Versuches (100 m über NN) liegt im mitteleuropäischen Trockengebiet mit einem mittleren Jahresniederschlag von ca. 500 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 9,2°C. Der Boden der Versuchsfläche ist eine stark lessivierte Schwarzerde (Parabraunerde-Tschernosem, Haplic Phaeozem) mit lehmigem Sand bis ca. 80 cm Tie-

fe und Geschiebemergel darunter. Die Bodenzahl beträgt 47 Bodempunkte. 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 m<sup>2</sup> (11,75 m × 85,15 m). Aufgrund der starken Ausbreitung von Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und seiner Bekämpfung wurde die Fläche 1961 in drei Großteilstücke (Abteilung A, B, C) mit dazwischen liegenden Schwarzbracheflächen (70 m Länge, 5 m Breite) geteilt. Seitdem werden neben dem Winterroggen in Monokultur (Abteilung C) auch Winterroggen im Fruchtwechsel mit Kartoffeln (Abteilung B) sowie Mais (Silomais) in Monokultur (Abteilung A) angebaut. Die Parzellengröße beträgt seitdem 290 m<sup>2</sup> (11,75 m × 24,75 m). Seit Versuchsanlage besteht je Frucht- und Düngungsvariante nur eine Parzelle (ohne Wiederholung). Bei der Ernte von Winterroggen und Mais wird die gesamte oberirdische Pflanzenmasse von den Parzellen abgefahren, während das Kartoffelkraut auf der Fläche verbleibt.

Bei der Anlage des Versuches diente die Stallmistdüngung als Bezugsbasis für den Düngervergleich. Ihre Menge betrug jährlich 120 dt/ha. Dies entsprach der jährlichen Anfallmenge einer Großvieheinheit (GVE = 500 kg Lebendgewicht) bei einem Tierbestand von 1 GVE/ha Ackerland. Die Mineraldüngergaben wurden auf der Grundlage der damaligen durchschnittlichen Gehalte an Nährstoffen im Stallmist festgelegt. Im Versuchsverlauf sind einige Prüfvarianten verändert worden, um aktuellen Fragestellungen, insbesondere in Bezug auf den praktischen Ackerbau, gerecht zu werden. Die Prüfvarianten und jährlichen Dünger-/Nährstoffmengen sind in Tabelle 1 und die eingesetzten Mineraldüngerformen in Tabelle 2 enthalten.

Der zum Einsatz kommende Stallmist ist von jeher Rinderdung, wobei sich die Herkunft mehrfach geändert hat. Eine Kalkung der Versuchspartellen war vom Versuchsgründer nicht festgelegt worden. Eine solche wurde 1949 und 1985 zur Vermeidung einer übermäßigen Versauerung auf der Grundlage der hydrolytischen Azidität des Bodens für die einzelnen Parzellen in einem unterschiedlichen Umfang (Ausgleichskalkung) vorgenommen. Die 1949 ausgebrachten Kalkmengen und die Kalkform sind nicht überliefert. Im Jahre 1985 wurde bei Roggenmonokultur nur die Variante „N“ mit 21 dt/ha CaO als Leunakalk (chemisch gefällter kohlensaurer Kalk als Nebenprodukt bei der Herstellung von schwefelsaurem Ammoniak) gedüngt. Mit der Umwandlung der Variante mit ausschließlicher mineralischer N-Düngung in eine kombinierte

Tabelle 1. Prüfvarianten und jährliche Dünger-/Nährstoffmengen  
Table 1. Test variants and annual fertilizer/nutrient quantities

| Variante | U                | N <sup>1</sup>                                     | PK                       | NPK                                    | Stallmist I <sup>2</sup>            | Stallmist II                                                             |
|----------|------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ab 1878  | keine<br>Düngung | 40 kg N/ha                                         | 24 kg P/ha<br>75 kg K/ha | 40 kg N/ha<br>24 kg P/ha<br>75 kg K/ha | 120 dt/ha<br>Stallmist <sup>3</sup> | von 1893 bis 1952:<br>80 dt/ha<br>Stallmist, seit 1953:<br>keine Düngung |
| ab 1990  | keine<br>Düngung | 60 kg N/ha<br>24 kg P/ha<br>75 kg K/ha + Stallmist | 24 kg P/ha<br>75 kg K/ha | 60 kg N/ha<br>24 kg P/ha<br>75 kg K/ha | 60 kg N/ha<br>als<br>Stallmist      |                                                                          |

<sup>1</sup> ab 1990: NPK + Stallmist (NPK+St)

<sup>2</sup> St I

<sup>3</sup> enthielt durchschnittlich 65–70 kg N/ha, 20–22 kg P/ha und 58–62 kg K/ha

mineralische NPK- plus Stallmistdüngung im Jahre 1990 erfolgte zusätzlich einmalig die Zufuhr von 200 kg P/ha als Doppelsuperphosphat und 400 kg K/ha als 60er Kali. Die Probenahmen zur Bodenuntersuchung erfolgten vorwiegend nach der Ernte des Winterroggens mit einem Rillenbohrer in der Regel bis 20 cm Tiefe und teilweise bis 100 cm Tiefe (Mischproben aus 15–20 Einstichen). In den Jahren 1984–1986, 1994–1996 und 1999–2001 wurden Bodenproben jährlich entnommen, das Analyseergebnis wird als Mittelwert dieser Jahre angegeben. Der Boden wurde luftgetrocknet und auf 2 mm abgesiebt. Die angewandten Analysemethoden sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die bei der pH-Wert-Bestimmung im Jahr 1959 vorgenommene Verringerung der Konzentration des Extraktionsmittels von 1 N auf 0,1 N KCl-Lösung hat sich aus der Anpassung an den damals in Ostdeutschland (DDR) geltenden Standard ergeben.

### 3. Ergebnisse

Die Darstellung des Verlaufes des pH-Wertes und der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte erfolgte anhand der Messwerte von Scheffer (1931a; 1931b; 1933), Riehm (1942), Schmalfuß (1950), Merker (1956), Schmalfuß

und Kolbe (1961), Lenz (1969), Garz (1979), Stumpe und Hagedorn (1979), Stumpe et al. (1990), Schliephake et al. (1999), Merbach et al. (1999), Herbst und Schmidt (2006), Merbach und Deubel (2007) und Völker (2012). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Analysen in der Regel zwar nach gleichen Methoden, aber teilweise in verschiedenen Laboratorien durchgeführt worden sind, was zu gewissen Abweichungen der Messwerte führen kann.

#### 3.1 pH-Wert und Kationensorption

Bereits 50 Jahre nach Versuchsanlage (1929) lag eine große Schwankungsbreite im pH-Wert zwischen den Varianten vor (Abbildung 1). Der höchste pH-Wert war bei ausschließlicher PK-Düngung (6,7) und der niedrigste bei reiner mineralischer N-Düngung (5,3) zu verzeichnen. Bis zur letzten Analyse (2011) blieben die Unterschiede zwischen den Varianten bestehen, wobei sich aber die Schwankungsbreite verringert hat (niedrigster pH-Wert: 4,9; höchster pH-Wert: 5,5). Die 1949 vorgenommene Kalkung führte zu einem Anstieg der pH-Werte. Dabei waren aber die höchsten Werte nicht zur unmittelbar folgenden Analyse (1953) zu verzeichnen, sondern erst 1958. Danach nahm der pH-Wert bei allen Varianten bis zur Gegenwart ab.

Tabelle 2. Eingesetzte Mineraldüngerformen  
Table 2. Mineral fertilizer forms used

| ab Jahr | Stickstoff                                                               | Phosphor       | Kalium    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| 1878    | 50 % als Ammonsulfat im Herbst<br>50 % als Chilesalpeter im Frühjahr     | Superphosphat  | Kainit    |
| 1926    |                                                                          | Thomasphosphat |           |
| 1949    | 37 % als Ammonsulfat im Herbst<br>63 % als Kalkammonsalpeter im Frühjahr |                |           |
| 1995    |                                                                          | Triplephosphat | 60er Kali |
| 2002    | 100 % als Kalkammonsalpeter im Frühjahr                                  |                |           |

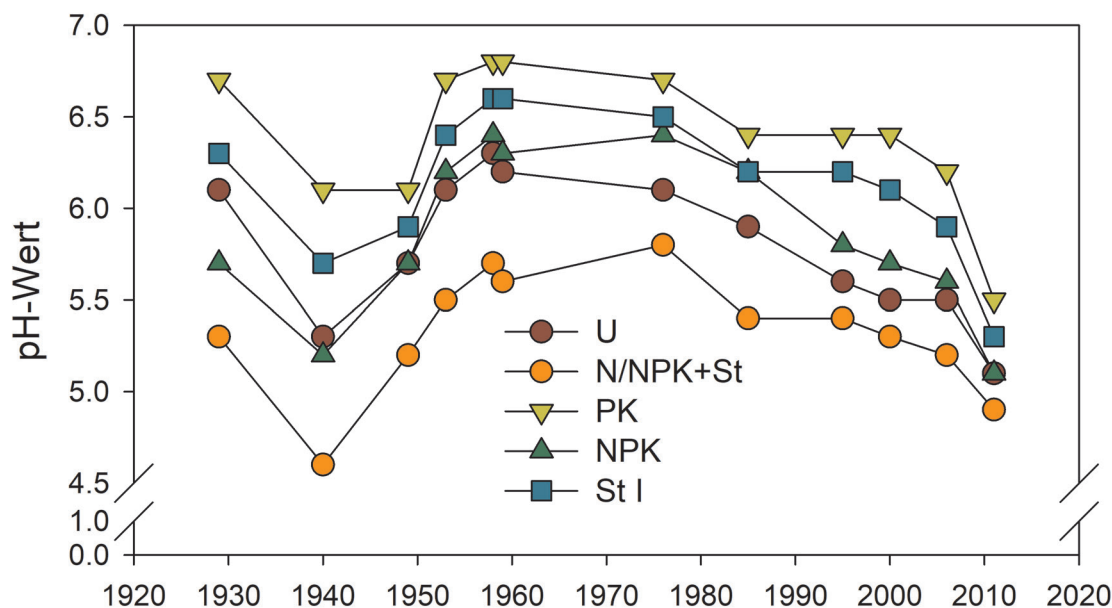


Abbildung 1. Verlauf des pH-Wertes von 1929 bis 2011

Figure 1. Course of the pH values from 1929 to 2011

Gegenüber „Ungedüngt“ (U) ist es bei N-Düngung zu einer zusätzlichen Abnahme des pH-Wertes gekommen. Bei Stallmistdüngung liegt generell ein höherer pH-Wert sowohl gegenüber „Ungedüngt“ als auch im Vergleich zur

NPK-Düngung vor. Mit zunehmender Bodentiefe steigt der pH-Wert bei allen Varianten an (Tabelle 4). Von 1959 bis 2006 hat der pH-Wert nicht nur im Oberboden, sondern auch im Unterboden abgenommen.

Tabelle 3. Angewandte Analysemethoden

Table 3. Applied analysis methods

|                               | Jahr              | Methode                                 | Extraktionsmittel                              |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|
| pH-Wert                       | ab 1929           | elektrometrisch                         | 1 N Kaliumchlorid                              |
|                               | ab 1959           |                                         | 0,1 N Kaliumchlorid                            |
|                               | 2011 <sup>1</sup> |                                         | 1 N Kaliumchlorid                              |
| T-Wert                        | 1952/59           | nach Mehlich                            | Triethanolamin + 0,2 N Bariumchlorid (pH 8,1)  |
| S-Wert                        | 1952/59           | nach Kappen                             | 0,1 N Salzsäure                                |
| V-Wert                        | 1952/59           | mathematisch aus: $S \times 100/T$      | –                                              |
| P, K                          | bis 1954          | Keimpflanzenmethode nach Neubauer       | –                                              |
|                               | ab 1959           | nach Egner und Riehm                    | 0,02 M Doppellaktat                            |
| Mg                            | ab 1976           | nach Schachtschabel                     | 0,025 M Calciumchlorid                         |
| B                             | 1976              | nach Berger und Truog                   | Heißwasser                                     |
| Cu                            | 1976              | nach Westerhoff                         | 0,43 M Salpetersäure                           |
| Mn                            | 1976              | nach Schachtschabel                     | 0,5 M Magnesiumchlorid + Natriumsulfit (2 g/l) |
| Mo                            | 1976              | nach Grigg                              | Ammoniumoxalat/Oxalat-Puffer pH 3,0            |
| Zn                            | 1976              | nach Trierweiler                        | 0,01 M EDTA/0,1 M Ammoniumcarbonat             |
| B, Cu, Mn, Mo, Zn, Si, Fe, Co | 2011 <sup>1</sup> | nach ÖNORM S2122-1 (Austrian Standards) | 0,4 M Lithiumchlorid                           |

<sup>1</sup> analysiert von TB Unterfrauner GmbH, Wien

Tabelle 4. pH-Werte im Bodenprofil  
Table 4. pH values in the soil profile

| Tiefe<br>(cm) | 1959 |     |     |     |      | 2006 |                     |     |     |      |
|---------------|------|-----|-----|-----|------|------|---------------------|-----|-----|------|
|               | U    | N   | PK  | NPK | St I | U    | NPK+St <sup>1</sup> | PK  | NPK | St I |
| 0–20          | 6,2  | 5,6 | 6,8 | 6,3 | 6,6  | 5,5  | 5,2                 | 6,2 | 5,6 | 5,9  |
| 20–40         | 6,5  | 6,1 | 6,9 | 6,3 | 6,8  | 5,5  | 5,4                 | 6,2 | 5,7 | 6,1  |
| 40–60         | 6,7  | 6,7 | 6,8 | 6,7 | 7,0  | 6,2  | 6,2                 | 6,5 | 6,3 | 6,3  |
| 60–80         | 6,7  | 7,0 | 6,9 | 7,0 | 7,2  | 6,4  | 6,6                 | 6,9 | 6,8 | 6,7  |
| 80–100        | 7,0  | 7,1 | 7,0 | 7,2 | 7,4  | 6,6  | 6,9                 | 7,1 | 7,1 | 7,1  |

<sup>1</sup> bis 1989 N

Die Untersuchungen zur Kationenaustauschkapazität des Bodens belegen eine hohe Korrelation mit seinem pH-Wert. Die höchsten Gehalte an austauschbar gebundenen Kationen einschließlich H<sup>+</sup>-Ionen (T-Wert) lagen 1952/59 in der Ackerkrume bei PK- und Stallmistdüngung vor (Tabelle 5). Bei allen Varianten und besonders bei Stallmistdüngung entfiel der größere Anteil auf die Bindung an die organische Bodensubstanz (Garz, 1979). Mit zunehmender Bodentiefe sank der T-Wert als Folge des abnehmenden Humusgehaltes. Der Basensättigungsgrad (V-Wert) war in der Ackerkrume bei N-Düngung am niedrigsten und bei PK-Düngung am höchsten und stieg mit zunehmender Tiefe, wie der pH-Wert, bei allen Prüfvarianten an (Tabelle 6).

### 3.2 Makronährstoffe

Die pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte wurden von 1926 bis 1954 indirekt nach der Keimpflanzenmethode über die Ermittlung der Nährstoffaufnahme bestimmt (Tabelle 7) und werden seit 1959 nach Extraktion mit Doppellaktat (DL) analysiert. Bereits in den ersten Unter-

suchungen 1926 zeigten sich in der ungedüngten und N-Düngungsvariante deutlich niedrigere Nährstoffgehalte als in den übrigen gedüngten Parzellen. Dabei waren bei den mit mineralischem P und K gedüngten Prüfgliedern die Gehalte etwas höher als bei Stallmistdüngung. Bis 1954 bestanden bei allen Varianten keine erkennbaren Trends einer Zu- oder Abnahme der Gehalte.

Nach der 1959 erfolgten Umstellung auf die Doppellaktatmethode wurden die Variantenunterschiede generell bestätigt und traten teilweise deutlicher hervor (Abbildungen 2A und 2B). Zwischen der NPK- und Stallmistdüngung bestanden sowohl beim P- als auch beim K-Gehalt zunächst keine Unterschiede. Die P-Gehalte nehmen seit 1976 auf den mit PK gedüngten Varianten ab, während sie bei Ungedüngt und N-Düngung bzw. NPK+Stallmistdüngung nahezu konstant bleiben. Beim K trifft diese Entwicklung nicht für die mit Stallmist gedüngten Prüfglieder zu. Bei den Varianten mit Stallmistdüngung kommt es seit 1995 zu einem Anstieg des K-Gehaltes, sodass dieser bei der letzten Untersuchung (2006) bei reiner Stallmistdüngung deutlich höher liegt als bei NPK-Düngung.

Tabelle 5. Kationenaustauschkapazität (T-Wert) im Bodenprofil (mval/100 g)  
Table 5. Cation exchange capacity (T-value) in the soil profile (mval/100 g)

| Jahr | Tiefe (cm)                | U    | N    | PK   | NPK  | St I |
|------|---------------------------|------|------|------|------|------|
| 1952 | 0–20                      | 11,9 | 12,3 | 13,6 | 12,5 | 14,1 |
| 1959 | 0–20                      | 10,6 | 10,3 | 11,1 | 11,0 | 12,5 |
|      | 20–40                     | 9,2  | 9,2  | 8,9  | 9,3  | 9,1  |
|      | 40–60                     | 9,3  | 9,0  | 7,8  | 8,7  | 7,5  |
|      | 60–80                     | 9,5  | 8,2  | 7,4  | 8,2  | 7,1  |
|      | 80–100                    | 8,4  | 6,9  | 6,7  | 6,7  | 6,5  |
|      | in 0–20 cm entfallen auf: |      |      |      |      |      |
|      | org. Sub.                 | 6,4  | 6,4  | 7,2  | 7,2  | 8,7  |
|      | min. Sub.                 | 4,2  | 3,9  | 3,9  | 3,8  | 3,8  |

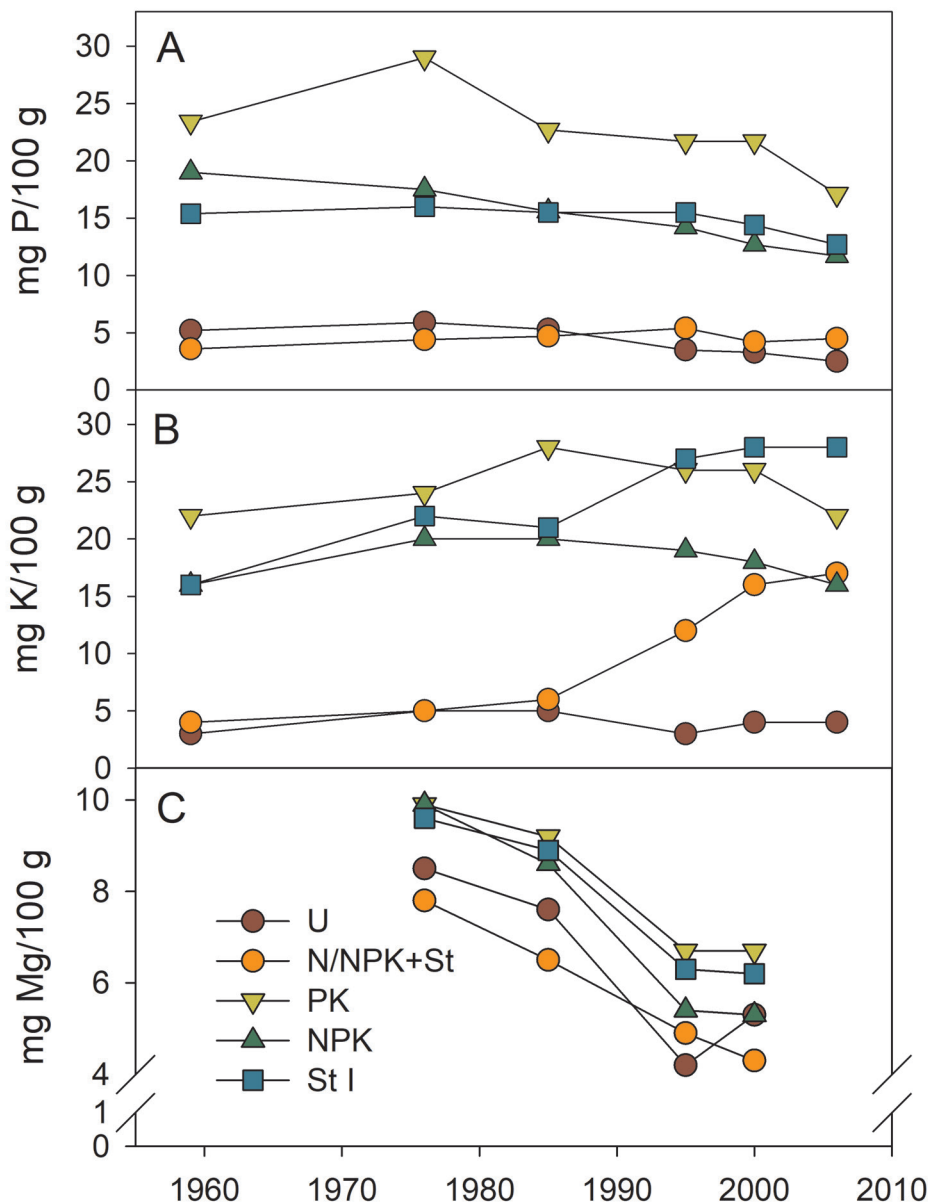


Abbildung 2. Verlauf der Gehalte von (A) Phosphor und (B) Kalium im 0,02 M Doppellaktatextrakt von 1959 bis 2006 sowie (C) Magnesium im 0,025 N Calciumchloridextrakt von 1976 bis 2000 in 0–20 cm Bodentiefe

Figure 2. Course of the contents of (A) phosphorus and (B) potassium in the 0.02 M double lactate extract from 1959 to 2006 as well as of (C) magnesium in the 0.025 N calcium chloride extract from 1976 to 2000 in 0–20 cm soil depth

Die Profiluntersuchungen bis 100 cm Tiefe in den Jahren 1959 und 2006 zeigen, dass es bei den P- und K-gedüngten Varianten zu einer Verlagerung dieser Nährstoffe gekommen ist (Tabellen 8 und 9). Diese reichte 2006 gegenüber Ungedüngt bei P bis mindestens 60 cm Tiefe und bei K bis mindestens 80 cm Tiefe. Die Erhöhung des K-Gehaltes fällt bei Stallmistdüngung deutlicher aus als bei mineralischer NPK-Düngung.

Beim pflanzenverfügbaren Gehalt an Magnesium (Mg) sind die Unterschiede zwischen den Prüfvarianten relativ gering (Abbildung 2C). In den letzten Jahrzehnten ist es zu einem generellen Abfall gekommen. Für den Anstieg bei Ungedüngt zur letzten Probenahme (1999–2001) fehlt die Erklärung. Der niedrigste Mg-Gehalt besteht bei der Düngung mit N bzw. NPK + Stallmist.

Tabelle 6. Basensättigungsgrad (V-Wert) im Bodenprofil (%)  
Table 6. Base saturation degree (V-value) in the soil profile (%)

| Jahr | Tiefe (cm) | U  | N  | PK | NPK | St I |
|------|------------|----|----|----|-----|------|
| 1952 | 0–20       | 81 | 65 | 91 | 75  | 85   |
| 1959 | 0–20       | 79 | 64 | 82 | 71  | 78   |
|      | 20–40      | 83 | 75 | 84 | 75  | 83   |
|      | 40–60      | 86 | 85 | 82 | 84  | 85   |
|      | 60–80      | 93 | 90 | 86 | 86  | 89   |
|      | 80–100     | 90 | 94 | 87 | 89  | 93   |

### 3.3 Mikronährstoffe

Umfangreiche Untersuchungen wurden 1976 für die einzelnen Mikronährstoffe differenziert nach den damaligen Standardmethoden und 2011 einheitlich im 0,4 M Lithiumchlorid-Bodenextrakt nach der ÖNORM S2122-1 vorgenommen. Aufgrund der unterschiedlichen Methoden lässt sich aus diesen Ergebnissen keine Tendenz der Entwicklung der Gehalte ableiten.

Bei der Untersuchung 1976 sind besonders der hohe Gehalt an Bor (B) und der niedrige Gehalt an Mangan (Mn) bei der Stallmistvariante auffällig (Tabelle 10). Die Untersuchung 2011 weist dagegen bei Stallmistdüngung neben erhöhten Gehalten an B, Silicium (Si) und Eisen (Fe) auch einen hohen Mn-Gehalt aus. Der Vergleich der NPK-Düngung mit der Stallmistdüngung ergab für 2011, dass die Zufuhr von Stallmist vor allem die pflanzenverfügbaren Mengen an B, Si und Fe im Boden erhöht hat.

## 4. Diskussion

Mit dem Ewigen Roggenbau etablierte Julius Kühn einen Feldversuch, dessen Ergebnisse zur Klärung zahlreicher Fragen der Pflanzenernährung und Düngung beigetragen haben. Anhand dieser Ergebnisse definierte Fritz Scheffer (1931a) erstmals den Begriff „Bodenfruchtbarkeit“ und

bezeichnete dabei die Bodenreaktion nach dem Humusgehalt als ein wertbestimmendes Merkmal. Karl Schmalfuß legte 1949 in der Nachbarschaft zum Ewigen Roggenbau sechs weitere Dauerdüngungsversuche an. Den Kalkdüngungsversuch stellte er dabei an die erste Stelle (Feld A), offensichtlich als Zeichen für den Rang der Bodenreaktion. Auch dieser Feldversuch existiert noch.

Der pH-Wert des Bodens ist von grundlegender Bedeutung für das Pflanzenwachstum, das Bodenleben und vom Boden ausgehende Umweltwirkungen, da der pH-Wert wesentlich die Löslichkeit der Nähr- und Schadstoffe beeinflusst. Er ist hauptsächlich das Ergebnis der Freisetzung von H<sup>+</sup>-Ionen infolge der Umsetzung der organischen Substanz im Boden, der Pufferkapazität des Bodens sowie des Eintrages von sauer und basisch wirkenden Stoffen aus der Umwelt und mit den Düngemitteln. Beim Ewigen Roggenbau fand bis Ende des 20. Jahrhunderts ein beachtlicher Eintrag von solchen Stoffen aus dem naheliegenden Hausbrand, dem Zugverkehr (insbesondere Dampflokbetrieb des Rangierbahnhofs) und einem Kohleheizwerk statt.

Nach Einschätzung von Riehm (1942) lag der ursprüngliche pH-Wert bei Versuchsanlage in der Krume bei ca. 6,5. Dieser pH-Wert wurde bis 1929 nur bei PK-Düngung aufrechterhalten und war nach Lenz (1969) noch 1959 in dieser Höhe durch eine hohe Basensättigung infolge der Basenzufuhr mit dem Thomasphosphat bedingt. Bei den anderen Varianten trat eine unterschiedlich starke Versauerung ein, vor allem als

Tabelle 7. P- und K-Gehalte in 0–20 cm Bodentiefe nach der Keimpflanzenmethode  
Table 7. P- and K-contents in 0–20 cm soil depth according to the seedling method

| Jahr      | mg P2O5/100g |     |      |      |      | mg K2O/100g |      |      |      |      |
|-----------|--------------|-----|------|------|------|-------------|------|------|------|------|
|           | U            | N   | PK   | NPK  | St I | U           | N    | PK   | NPK  | St I |
| 1926      | 2,5          | 3,0 | 12,8 | 11,2 | 8,6  | 6,3         | 7,9  | 36,6 | 29,2 | 25,0 |
| 1929      | 5,0          | 4,1 | 15,2 | 13,8 | 10,8 | 14,6        | 8,8  | 45,5 | 36,6 | 37,7 |
| 1949      | 5,1          | 6,7 | 11,7 | 9,9  | 6,9  | 6,3         | 10,8 | 36,9 | 25,3 | 28,6 |
| 1951–1954 | 4,6          | 4,6 | 11,5 | 10,8 | 8,4  | 7,0         | 6,3  | 34,2 | 26,7 | 30,1 |

Tabelle 8. P-Gehalte im Bodenprofil (mg PDL/100g)  
Table 8. P-contents in the soil profile (mg PDL/100 g)

| Tiefe<br>(cm) | 1959 |     |      |      |      | 2006 |                     |      |      |      |
|---------------|------|-----|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|
|               | U    | N   | PK   | NPK  | St I | U    | NPK+St <sup>1</sup> | PK   | NPK  | St I |
| 0–20          | 5,2  | 3,6 | 23,4 | 19,0 | 15,4 | 2,5  | 4,5                 | 17,1 | 11,7 | 12,7 |
| 20–40         | 4,2  | 3,6 | 10,9 | 9,0  | 7,8  | 2,5  | 4,2                 | 13,5 | 9,8  | 11,8 |
| 40–60         | 2,0  | 2,3 | 2,8  | 2,6  | 3,1  | 1,4  | 1,6                 | 2,0  | 2,6  | 4,2  |
| 60–80         | 1,3  | 1,3 | 1,4  | 2,0  | 1,8  | 0,7  | 0,9                 | 1,4  | 2,3  | 1,8  |
| 80–100        | 0,9  | 0,9 | 1,0  | 1,0  | 1,2  | 0,9  | 0,7                 | 1,3  | 1,3  | 1,3  |

<sup>1</sup> bis 1989 N

Folge des unterschiedlichen Entzuges, der Verlagerung und der unterschiedlichen Rückführung von Basen.

Die Versauerung wird sowohl am pH-Wert als auch mit der Basensättigung nachgewiesen, da beim Basensättigungsgrad die Differenz zu 100 den Anteil an sorbierten H<sup>+</sup>-Ionen darstellt. Wie die Ergebnisse sowohl aus der Krume als auch im Unterboden deutlich zeigen, laufen der pH-Wert und die Basensättigung parallel. Die auch im Unterboden eingetretene Versauerung ist Folge des Basenentzuges aus diesem Bereich sowie der Verlagerung der H<sup>+</sup>-Ionen dahin.

Bemerkenswert ist, dass erstmals 70 Jahre nach Versuchsanlage eine Kalkung für notwendig erachtet und vorgenommen wurde. Die Ursache dafür liegt offensichtlich an dem erheblichen Baseneintrag aus der Umwelt und in der hohen Basensättigung des Geschiebemergels im Unterboden. Ungewöhnlich ist auch, dass die Wirkung der 1949 erfolgten Kalkung erst nach etwa 8–10 Jahren ihr Maximum erreicht hat. Wahrscheinlich wurde ein grobkörniger, kohlensaurer Naturkalk angewendet.

Erwartungsgemäß liegen die niedrigsten pH-Werte bei ausschließlicher mineralischer N-Düngung vor, besonders auch wegen des 124 Jahre langen Einsatzes des doppelt sauer wirkenden Ammonsulfats. Bereits vor der erstmaligen Messung des pH-Wertes (1929) wurde festgestellt, dass die mit Ammonsulfat gedüngten Parzellen die nied-

rigsten HCl-löslichen Ca-Mengen aufweisen (Weihaug, 1921; Scheffer, 1931a). Dass bei ausschließlicher mineralischer PK-Düngung während des gesamten Versuchsverlaufs die höchsten pH-Werte bestehen, hängt vor allem mit dem Fehlen der sauer wirkenden N-Komponente, dem Einsatz von Thomasphosphat mit seinen basisch wirkenden Inhaltsstoffen sowie dem niedrigen Ernteertrag bzw. Basenentzug zusammen.

In der Nachbarschaft zum Ewigen Roggenbau wurden von 1949 bis 1969 in einem Dauerdüngungsversuch (Feld B) Düngemittel mit unterschiedlich physiologischer Wirkung geprüft. Dabei ist u. a. die stark pH-Wert-senkende Wirkung des Ammonsulfats festgestellt worden (Hagemann und Kolbe, 1968). Im daneben liegenden und noch bestehenden Feld D mit Prüfung von drei P-Düngemitteln konnte nach 35 Versuchsjahren bei Einsatz von Thomasphosphat mit einer hohen P-Düngung (26–45 kg P/ha/Jahr) der pH-Wert (ca. 6,0) auch ohne Kalkdüngung aufrechterhalten werden (Stumpe et al., 1990). Bereits Hagemann und Kolbe (1968) kamen bei der Auswertung des Feldes B zu der Schlussfolgerung, dass auf dem Kühnfeld in Halle die alkalische Düngerkombination von Natronsalpeter und Thomasphosphat die Erhaltung des Kalkzustandes und pH-Wertes ohne zusätzliche Kalkung gewährleistet hat, zumindest unter den damaligen Umweltbedingungen.

Tabelle 9. K-Gehalte im Bodenprofil (mg KDL/100 g)  
Table 9. K-contents in the soil profile (mg KDL/100 g)

| Tiefe<br>(cm) | 1959 |   |    |     |      | 2006 |                     |    |     |      |
|---------------|------|---|----|-----|------|------|---------------------|----|-----|------|
|               | U    | N | PK | NPK | St I | U    | NPK+St <sup>1</sup> | PK | NPK | St I |
| 0–20          | 3    | 4 | 22 | 16  | 16   | 4    | 17                  | 22 | 16  | 27   |
| 20–40         | 2    | 2 | 13 | 9   | 13   | 4    | 16                  | 21 | 13  | 25   |
| 40–60         | 2    | 2 | 7  | 7   | 12   | 4    | 15                  | 11 | 7   | 15   |
| 60–80         | 2    | 2 | 3  | 2   | 3    | 4    | 4                   | 9  | 5   | 11   |
| 80–100        | 3    | 2 | 2  | 2   | 2    | 4    | 4                   | 6  | 4   | 6    |

<sup>1</sup> bis 1989 N

Tabelle 10. Mikronährstoffgehalte in 0–20 cm Bodentiefe  
Table 10. Micronutrient contents in 0–20 cm soil depth

|                 | 1976 (in ppm) |      |      |      |      | 2011 (in kg/ha) |                     |      |      |      |
|-----------------|---------------|------|------|------|------|-----------------|---------------------|------|------|------|
|                 | U             | N    | PK   | NPK  | St I | U               | NPK+St <sup>2</sup> | PK   | NPK  | St I |
| B               | 1,56          | 1,43 | 2,29 | 1,92 | 2,64 | 0,58            | 0,87                | 0,79 | 0,70 | 1,19 |
| Cu              | 20,4          | 18,0 | 16,8 | 19,5 | 16,5 | 0,35            | 0,45                | 0,28 | 0,32 | 0,49 |
| Mn              | 23            | 20   | 23   | 27   | 14   | 1,18            | 4,36                | 1,54 | 3,30 | 4,05 |
| Mo <sup>1</sup> | 9,6           | 9,2  | 10,7 | 9,8  | 10,0 | 0,00            | 0,00                | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Zn              | 11,5          | 13,4 | 13,6 | 11,5 | 11,5 | 3,94            | 5,73                | 1,27 | 3,75 | 3,54 |
| Si              | –             | –    | –    | –    | –    | 208             | 421                 | 294  | 336  | 615  |
| Fe              | –             | –    | –    | –    | –    | 43              | 114                 | 70   | 85   | 163  |
| Co              | –             | –    | –    | –    | –    | 0,00            | 0,00                | 0,00 | 0,05 | 0,07 |

<sup>1</sup> Mo = Mo-Bodenzahl (ppm × 10 + pH); <sup>2</sup> bis 1989 N

Aus den Analysenergebnissen des Ewigen Roggenbaus lässt sich ableiten, dass die Stallmistdüngung im Vergleich zu Ungedüngt und mineralischer NPK-Düngung eine weniger pH-Wert-senkende Wirkung zur Folge hat. Offensichtlich ist die Wirkung der mit dem Stallmist zugeführten basisch wirkenden Substanzen stärker als die versauernde Wirkung der  $\text{NH}_4^+$ -Verbindungen bzw. der  $\text{H}^+$ -Freisetzung aus der organischen Substanz. Im Ergebnis der Betrachtungen zur Basensättigung und zum Ca-Entzug scheinen nach Lenz (1969) „die mit der organischen Düngung zugeführten Kationen fester am Sorptionskomplex gebunden zu sein und dadurch weniger großen Auswaschungsverlusten zu unterliegen“.

In langjährigen, ähnlichen Dauerversuchen in Rothamsted (angelegt 1843; Powlson und Poulton, 1998), Bad Lauchstädt (angelegt 1902; Merbach, 2017) und Berlin-Dahlem (angelegt 1923; Köhn, 1975), welche sowohl den Prüffaktor „Stallmistdüngung“ als auch „Kalkdüngung“ beinhalten, wird ebenfalls festgestellt, dass sich der Einsatz von Stallmist positiv auf die Bodenreaktion auswirkt. In den Varianten ohne Einsatz von Mineral-N lagen erhöhte pH-Werte vor, auch bedingt durch den geringeren Ertrag und Ca-Entzug (Körschens et al., 2002).

Beim Verlauf der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte im Boden spielen die Höhe der Nährstoffzufuhr und das Ertragsniveau bzw. der Nährstoffentzug durch die Abfuhr der Ernte- und Koppelprodukte sowie die Nährstofffestlegung und -verluste eine noch größere Rolle als beim pH-Wert. Die Kornerträge des Winterroggens nehmen im Mittel des Versuchsverlaufes in folgender Reihenfolge ab: St I ~ NPK > N > PK > U (Herbst et al., 2017). Die Mindererträge gegenüber den Volldüngungsvarianten beruhen hauptsächlich auf dem Mangel an den jeweils nicht zu-

geführten Nährstoffen. Seit den 1970er-Jahren ist bis zur Gegenwart bei allen Varianten ein deutlicher Ertragsanstieg zu verzeichnen, bei einem Bestehenbleiben der Unterschiede zwischen den Prüfgliedern (Herbst et al., 2017). Dieser Anstieg ist offensichtlich mit ein Grund für die Abnahme der pflanzenverfügbaren P-, K- und Mg-Gehalte in der Ackerkrume seit den 1980er-Jahren. Gegebenenfalls ist durch den Ertragsanstieg auch bei den Volldüngungsvarianten ein negativer Saldo zwischen Nährstoffzufuhr und -entzug entstanden. Ein solcher liegt für die Mineralstoffe seit Versuchsbeginn für die ungedüngte und N-Variante vor. Die Erträge und Mineralstoffentzüge dieser Varianten sind Ausdruck für das hohe Nachlieferungsvermögen des Versuchsbodens einschließlich Unterboden.

Eine weitere Ursache für die Abnahme der Gehalte an Mineralstoffen in der Ackerkrume kann ihre Verlagerung in den Unterboden sein, welche in Abhängigkeit von der Jahreswitterung Schwankungen unterliegt. Hagemann und Kolbe (1968) weisen des Weiteren anhand der Ergebnisse vom Feld B darauf hin, dass die auch dort eingetretene Abnahme des pflanzenverfügbaren Mg-Gehaltes durch die physiologisch saure Düngung mit Ammonsulfat forciert wurde.

Als ein zusätzlicher Grund für die Abnahme aller Nährstoffgehalte wird angesehen, dass es seit Ende der 1960er-Jahre bis Anfang des 21. Jahrhunderts fortlaufend zu einer Vertiefung der Ackerkrume gekommen ist, von ursprünglich ca. 20 cm auf gegenwärtig ca. 35 cm Tiefe. Bei dieser Vertiefung wurde nährstoffärmerer Boden in die Ackerkrume eingemischt, wodurch es zu einer Verdünnung der Gehalte gekommen ist. Bei den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten ist dies noch stärker ausgeprägt als bei den Mineralstoffgehalten (Herbst et al., 2016). Beim pH-Wert

kann die Vertiefung der Krume die Ursache dafür sein, dass sich die Schwankungsbreite zwischen den Prüfvarianten in den letzten Jahrzehnten verringert hat, weil der Unterboden kalkreicher ist als der Oberboden.

Zu keiner Abnahme des K-Gehaltes ist es in den stallmistgedüngten Varianten gekommen. Dies hängt offenbar damit zusammen, dass sich Anfang der 1990er-Jahre die Herkunft des Stallmistes geändert und der neue Stallmist einen höheren K-Gehalt aufgewiesen hat. Bis 1989 wurde dem Boden mit dem Stallmist deutlich weniger K zugeführt als bei Mineraldüngung (ca. 60 kg/ha/Jahr im Vergleich zu 75 kg/ha/Jahr). Bei etwa gleichen Erträgen bzw. K-Entzügen kam es bei NPK-Düngung jedoch zu keinem wesentlichen Anstieg des pflanzenverfügbaren K-Gehaltes in der Ackerkrume. Im Unterboden liegt sogar ein deutlich geringerer K-Gehalt als bei Stallmistdüngung vor. Diese Ergebnisse deuten in Übereinstimmung mit der von Lenz bereits 1969 geäußerten Einschätzung (Lenz, 1969) daraufhin, dass das mit dem Stallmist zugeführte K stärker im Boden gebunden wird und die K-Auswaschung des mineralisch gedüngten K im Boden des Versuchsfeldes Halle höher ist.

Bemerkenswert ist auch, dass die 1990 erfolgte Umstellung der ehemaligen N-Variante in die Variante NPK-plus Stallmist mit zusätzlich einmalig hohen P- und K-Gaben nur in einer Erhöhung des K-Gehaltes im Boden und nicht auch im P-Gehalt zum Ausdruck kommt. Der drastische Anstieg des K-Gehaltes bei dieser Düngungsvariante hängt zunächst mit der einmaligen Zufuhr von 400 kg K/ha zusammen. Der anhaltende Anstieg ist offenbar auch Folge der erhöhten K-Zufuhr (mineralisch + organisch) und eines erhöhten K-Gehaltes des Stallmistes.

Nach der meliorativen K-Düngung im Jahr 1990 auf der ehemaligen N-Variante hat Garz (1995) auf dieser Parzelle jährlich bis 1994 die Abwärtsverlagerung des mit dem K gedüngten Chlorides bis 200 cm Tiefe verfolgt und dabei seine hohe Beweglichkeit mit dem Bodenwasser nachgewiesen und quantifiziert.

Im 1906 in Groß-Enzersdorf (Marchfeld) angelegten Dauerdüngungsversuch wurde nach 94 Versuchsjahren bei Ausbringung gleicher NPK-Nährstoffmengen bei der Stallmistapplikation ein deutlich höherer pflanzenverfügbare Mg-Gehalt im Boden als bei der Anwendung leichtlöslicher Mineraldünger (Nitramoncal, Superphosphat, 60er Kaliumchlorid) festgestellt (Gollner et al., 2011), was seine Ursache im Einsatz Mg-armen Mineraldünger hat. Die Ergebnisse zu den Mikronährstoffgehalten im Boden können nur begrenzt verallgemeinert werden, da die Zu-

fuhr dieser Nährstoffe mit den Düngemitteln in weiten Grenzen schwankt. Von Einfluss hierauf sind die Düngerart, das Herstellungsverfahren sowie die Herkunft der Rohstoffe für die Mineraldünger bzw. der organischen Düngemittel. Von den herkömmlichen Mineraldüngern weist das Thomasphosphat, welches im Ewigen Roggen 70 Jahre zum Einsatz gekommen ist, nicht nur einen hohen Basenanteil, sondern auch den höchsten Gehalt an Mikronährstoffen, einschließlich Si, auf. Auch im Stallmist sind alle Mikronährstoffe enthalten, wobei bei verschiedenen Untersuchungen besonders der hohe Mn-Gehalt auffällig ist (Rübensam und Rauhe, 1968). Darüber hinaus erhöht besonders ein Stallmisteinsatz die biologische Aktivität im Boden, wodurch die Verfügbarkeit der Mikronährstoffe, aber auch Schadstoffe, erhöht werden kann. Ein Ansteigen des pflanzenverfügbaren Mn-Gehaltes kann auch die Folge einer zunehmenden Versauerung des Bodens sein (Merbach et al., 1999).

Die Ergebnisse des Ewigen Roggenbaus bestätigen prinzipiell die Vorstellungen von Liebig. Seit der Verbreitung seiner Theorien hat trotzdem die Mehrheit der Wissenschaftler und Praktiker nicht infrage gestellt, dass die sinnvolle Verwertung der anfallenden tierischen Exkremente die Grundlage der Düngung und die Anwendung von Mineraldüngern eine wertvolle Ergänzung dazu darstellt. Der Versuchsrührer des Ewigen Roggenbaus schrieb bereits nach 23 Versuchsjahren (Kühn, 1901): „Wir werden nach wie vor den Wert des Stallmistes hoch schätzen, aber wir bestimmen nicht mehr nach dem Düngerbedürfnis der Äcker das Ausdehnungsverhältnis der Viehhaltung“. Scheffer (1931a) kommt bei der Einschätzung der Ergebnisse des Ewigen Roggenbaus nach 50 Versuchsjahren zu der Schlussfolgerung, dass „der Stallmist auch heute nicht allein unseren besten Pflanzendünger, sondern auch den geeignetsten Bodendünger darstellt“.

## 5. Schlussfolgerungen

- Bei einem Verzicht auf die Regulierung der Bodenreaktion und die Rückführung der mit den Ernteprodukten entzogenen Nährstoffe kommt es zu einer Versauerung des Bodens bzw. zu seiner Nährstoffverarmung, die zu Ertragsdepressionen führen.
- Wenn in Dauerversuchen eine Kalkdüngung nicht zu den Prüffaktoren gehört, muss in regelmäßigen Abständen die Bodenreaktion überprüft werden und gegebenenfalls eine Kalkung erfolgen, um auszuschlie-

ßen, dass durch eine Versauerung des Bodens die Wirkung der Prüffaktoren überdeckt wird.

- Mit den gegenwärtig im Ewigen Roggenbau eingesetzten Mineraldüngern Kalkammonsalpeter, Triplephosphat und 60er Kali ist eine weniger sauer wirkende N-Düngung und eine weniger basisch wirkende PK-Düngung als mit den zuvor angewandten Mineraldüngemitteln sowie eine geringere Zufuhr von Schwefel, Magnesium und Mikronährstoffen zu erwarten. Diese Nährstoffe sind künftig, sowohl im Ewigen Roggenbau als auch in der landwirtschaftlichen Praxis, stärker im Auge zu behalten und gegebenenfalls zuzuführen, z. B. auch mit einem dolomitischen Kalkdünger.
- Bei einer regelmäßigen Düngung von Rindermist und gegebenenfalls auch Rindergülle kann es zu erhöhten pflanzenverfügbaren K-Gehalten im Boden und zu einer erhöhten K-Auswaschung aus dem Wurzelhorizont kommen.

## Literatur

- Garz, J. (1979): 100jähriges Bestehen des Versuches „Ewiger Roggenbau“ Halle. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 23, 563–571.
- Garz, J. (1995): Durchfeuchtung, Verlagerungsvorgänge und Kalkbedarf in ackerbaulich genutzten Sandlößböden des Mitteldeutschen Trockengebiets (nach Ergebnissen von Dauerversuchen). Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 76, 767–770.
- Gollner, M.J., Wagentristl, H., Liebhard P. und J.K. Friedel (2011): Yield and arbuscular mycorrhiza of winter rye in a 40-year fertilisation trail. Agronomy of Sustainable Development 31, 373–378.
- Hagemann, O. und G. Kolbe (1968): Über den Einfluß von Düngesalzen mit unterschiedlicher physiologischer Reaktion auf den Ertrag sowie den Kationenhaushalt der Ackerkrume und des Unterbodens. Albrecht-Thaer-Archiv 12, 747–768.
- Herbst, F. und L. Schmidt (2006): unveröffentlicht.
- Herbst, F., Schmidt, L. und W. Merbach (2016): Wirkung der Mineraldüngung auf die C- und N-Gehalte im Boden der Hallenser Dauerdüngungsversuche. Journal für Kulturpflanzen 68, 328–337.
- Herbst, F., Schmidt, L. und W. Merbach (2017): Die Entwicklung des Ertragsniveaus im „Ewigen Roggenbau“ in Halle/S. seit 1879. Journal für Kulturpflanzen 69, 189–197.
- Köhn, W. (1975): Der Einfluß langjähriger Bodenbearbeitungs-, Düngungs- und Fruchtfolgemaßnahmen auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften und die Ertragsleistung eines lehmigen Sandbodens. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 52, 929–955.
- Körschens, M., Merbach, I. und E. Schulz (2002): 100 Jahre Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.
- Kühn, J. (1901): Das Versuchsfeld des landwirtschaftlichen Institutes der Universität Halle a. d. Saale. Berichte aus dem physiologischen Laboratorium und der Versuchsstation des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle 15, 169–189.
- Lenz, K. (1969): Auswirkungen fortgesetzt gleicher Düngung auf den Boden. Albrecht-Thaer-Archiv 13, 919–932.
- Merbach, I. (2017): Statischer Düngungsversuch – Experimentelle Plattform für interdisziplinäre Umweltforschung. In: Versuchsstation Bad Lauchstädt 2017. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ).
- Merbach, W. und 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. 2<sup>nd</sup> rev. ed., Teubner Research, Wiesbaden.
- Merbach, W., Schmidt, L. und L. Wittenmayer (Hrsg.) (1999): Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale). Beiträge aus der Hallenser Pflanzenernährungsforschung. Ein Überblick aus Anlaß der Jubiläen „120 Jahre Ewiger Roggenbau“ und „50 Jahre Dauerdüngungsversuche“. B. G. Teubner, Stuttgart und Leipzig.
- Merker, J. (1956): Untersuchungen an den Ernten und den Böden des Versuches „Ewiger Roggenbau“ in Halle (Saale). Kühn-Archiv 70, 153–215.
- Powlson, D.S. und P.R. Poulton (1998): Using the long-term experiments at Rothamsted to address current agricultural and environmental issues. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 42, 455–478.
- Riehm, H. (1942): Profilmäßige Nährstoff-Untersuchung der Böden des „Ewigen Roggenbaues“, Halle, mittels der Egner-Methode. Ein Beitrag zur Beweglichkeit der Nährstoffe Phosphorsäure und Kali im Ackerboden. Zeitschrift für Bodenkunde und Pflanzenernährung 28, 234–245.
- Scheffer, F. (1931a): Über das Problem der Bodenfruchtbarkeit. Habil.-Schrift. Wissenschaftliches Archiv für Landwirtschaft. Abt. A.: Archiv für Pflanzenbau 8, 127–186.

- Scheffer, F. (1931b): Chemische und biologische Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Böden des „Ewigen Roggenbaues“ in Halle a. d. S. Wissenschaftliches Archiv für Landwirtschaft. Abt. A.: Archiv für Pflanzenbau 7, 169–238.
- Scheffer, F. (1933): Bestimmung des Nährstoffvorrates im Feldversuch und im Gefäßversuch nach Mitscherlich. Kühn-Archiv 38, 141–163.
- Schliephake, W., Garz, J. und L. Schmidt (1999): Exkursionsführer zu den Dauerversuchen auf dem Julius-Kühn-Versuchsfeld in Halle. Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Schmalfuß, K. (1950): Siebzig Jahre „Ewiger Roggenbau“. Kühn-Archiv 63, 1–14.
- Schmalfuß, K. und G. Kolbe (1961): Der „Ewige Roggenbau“ in Halle nach 80 Jahren. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Halle, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe X, 425–430.
- Rübensam, E. und K. Rauhe (1968): Ackerbau. VEB Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Stumpe, H. und E. Hagedorn (1979): Die Ergebnisse des Versuches „Ewiger Roggenbau“ in den letzten 16 Jahren nach teilweiser Umwandlung der Roggen-Monokultur in Mais-Monokultur und Kartoffel-Roggen-Fruchtwechsel. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wissenschaftliche Beiträge 5, 32–46.
- Stumpe, H., Garz, J. und E. Hagedorn (1990): Die Dauerdüngungsversuche auf dem Versuchsfeld Halle. In: Körschens, M. (Hrsg.): Dauerfeldversuche: Übersicht, Entwicklung und Ergebnisse von Feldversuchen mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer. 2. Aufl., Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, 25–71.
- Völker, U. (2012): unveröffentlicht.
- Weinaug, W. (1921): Über Bodenuntersuchungen der Roggenparzellen im statischen Versuch des landwirtschaftlichen Versuchsfeldes der Universität Halle. Dissertation, Universität Halle.