

(Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur,
Wien, Vorstand: o. Univ.-Prof. Dr. P. Ruckebauer)

Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf pH-Wert, Calcium-, Phosphat- und Kaliumgehalt von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 2)

VON P. LIEBHARD

(Mit 4 Abbildungen)

Zusammenfassung

In einem Langzeitversuch wurden bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung die Verfügbarkeit ausgewählter Makronährstoffe und der pH-Wert untersucht. Während der Laufzeit von 1980 bis 1990 kam es bei der vorgegebenen Bewirtschaftungsintensität und der ausgebrachten standortüblichen Dünger- und Kalkmenge bei allen Bearbeitungsvarianten — mit Ausnahme der Dauerfräspartzellen — zu einer Erhöhung des Kalkgehaltes in der Krume. Der pH-Wert nahm im untersuchten Zeitraum geringfügig, aber statistisch nicht abgesichert, zu. Der Trend der pH-Wertanhebung ist bei den Pflugvarianten höher als bei den Grubbervarianten. In den Dauerfräspartzellen kam es hingegen zu einem geringen, aber bereits meßbaren Abfall des pH-Wertes von 0,05 Einheiten.

Durch die jährlich über dem Entzug liegende Düngung stieg der P_2O_5 -Gehalt im Standortmittel von 16 auf 22 mg je 100 g Feinboden an. Zwischen den Bearbeitungsvarianten und Bearbeitungstiefen ergaben sich keine unterschiedlichen Gehaltswerte.

Im Gegensatz zu den Phosphatwerten kam es beim K_2O -Gehalt neben der generellen Erhöhung im Oberboden auch zu einer signifikanten Differenzierung zwischen den Bearbeitungsvarianten. Der höchste Wert mit 44 mg wurde in den Fräspartzellen, die mittleren Gehaltswerte von 37,5 bis 41 mg auf den Grubbervarianten und die niedrigsten zwischen 27 bis 29 mg je 100 g Feinboden auf den Pflugpartzellen erreicht.

Schlüsselworte: Primärbodenbearbeitung, pH-Wert, Calcium-, Phosphat-, Kaliumgehalt.

Influence of primary tillage on pH-value, calcium-, potassium- and phosphate-content of farming soil in the centre of Upper Austria (part 2)

Summary

In a long term experiment with various long-tillage methods, the availability of selected macronutrients and the pH-value of the topsoil were investigated.

Experiments were carried out from 1980 to 1990 to check the influence of primary tillage in combination with the application of fertilizer and calcium, customary in this region. An increase in the calcium concentration in the topsoil was observed in all tillage treatments except the rotary tiller variants. A small, but not significant rise of the pH-value was observed during the experiment. This tendency was larger under the ploughing treatment as compared with the grubbing one. In plots which were cultivated with the rotary tiller, a measurable decrease of the pH by 0.05 units was detected.

The mean P_2O_5 -concentration ascended from 16 to 22 mg/100 g fine soil because of higher yearly application than the absorption by the crop could remove. No significant differences in phosphate concentration between cultivation variants and cultivation depths were detected.

Beside the general increase of the K_2O -concentration in the topsoil, significant differences between the different cultivation methods were observed. The highest value of 44 mg was measured in rotary tilled plots. In the grubbed plot this concentration varied from 37.5 to 41 mg, the lowest values ranging from 27 to 29 mg were found after continuous ploughing.

Key-words: primary tillage, pH-value, calcium-, phosphate-, potassium content.

1. Einleitung, Literatur und Problemstellung

Die Primärbodenbearbeitung beeinflusst in Verbindung mit der unterschiedlichen Einsatztiefe die Umsetzungsvorgänge der Pflanzenrückstände sowie die Nährstoffbewegung und -speicherung in der Krume (BAEUMER 1984). Von der in den Böden enthaltenen Gesamtmenge an Pflanzennährstoffen ist meist nur ein sehr kleiner Teil kurzfristig verfügbar. Dieser ist im besonderen abhängig von der Konzentration in der Bodenlösung, vom Vorrat im Wurzelraum, von der Nachlieferungsrate in der Bodenlösung, der Transportrate in die Pflanzenwurzel, der Wurzelichte, den Wurzelausscheidungen und der mikrobiellen Aktivität in der Rhizosphäre.

Mit vielen für das Pflanzenwachstum bedeutenden Eigenschaften steht der pH-Wert eines Bodens in mehr oder weniger enger Beziehung. Er ist nach SCHACHTSCHABEL (1992) eine der wichtigsten und auch eine der meist verfügbaren Kenngrößen. Der optimale pH-Wert hängt von einer Reihe von ökologisch wirksamen Bodeneigenschaften ab. Auf Veränderungen durch Düngungsmaßnahmen reagieren die Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen (BLASL 1980, BLASL und BACHLER 1982, MENGEL 1985, 1991, RÖMHELD 1986, MARSCHNER et al. 1986, BERGMANN 1988) sowie von Schwermetallen (MARSCHNER 1985, BERGMANN 1988), der Humusabbau und das Bodengefüge (SCHACHTSCHABEL 1992).

Der Ca-Gehalt der Ackerböden liegt überwiegend zwischen 0,1 und 1,2 % Ca; in $CaCO_3$ -hältigen Böden und Böden aus Gipsstein häufig wesentlich höher, in Sanden und auf Urgesteinsböden meist tiefer. Der $CaCO_3$ -Gehalt der Böden stammt nicht nur aus den Ausgangsgesteinen, sondern auch aus der Düngung. Die Löslichkeit ist vom CO_2 -Partialdruck abhängig und beruht auf der Bildung von $Ca(HCO_3)_2$, das nur in Lösung beständig ist. Obwohl Ca einen essentiellen Pflanzennährstoff darstellt, tritt in der Regel in Ackerböden kein Mangel auf, da der Ca-Gehalt der Bodenlösung meistens über der als notwendig erachteten Konzentration von 20 mg/l liegt (SCHACHTSCHABEL 1992) und der Bedarf relativ gering ist.

Die Nährstoffverlagerung im Boden ist nach dem derzeitigen Erkenntnisstand im besonderen von der Bodenart und von der Sorptionskapazität abhängig, die wiederum überwiegend vom Gehalt an Schluff, Ton und organischer

Substanz beeinflusst wird. Je höher der Sandanteil bzw. niedriger der Kolloidgehalt im Ap-Horizont ist, umso erheblicher wird der Anteil, der mit dem Sickerwasser in die darunterliegenden — meist tonreicheren — Horizonte verlagert wird. Diese sind aber durch die Bodenbearbeitung häufig verdichtet, sodaß die Durchwurzelungstiefe, die Versorgung der Pflanzen mit Wasser und Nährstoffen und damit die Ertragsleistung stark beeinträchtigt sind. Phosphat, Kalium und Ammonium sowie die meisten Schwermetalle sind wenig beweglich und daher in den obersten Bodenschichten angereichert. Außerordentlich mobil sind Nitrat, Chlorid, Sulfat sowie die meisten Kationen, wie Natrium, Calcium oder Magnesium (VENTER und GUTSER 1987).

Der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt (CAL/DL) ist großteils von der spezifischen Sorption und dem Fixierungsvermögen der Böden abhängig. Dieser Anteil wird nur in geringem Maße in gelöster Form verlagert, da das Lösungsgleichgewicht von Phosphat im Bodenwasser sehr niedrig ist (PAGEL et al. 1983). Die P-Konzentration der Bodenlösung im Hauptdurchwurzelungsbereich wird von der Diffusion als bedeutendster Faktor bestimmt. Für die Höhe der P-Konzentration in der Bodenlösung hat die Desorption von an Eisen- und Aluminiumoxiden gebundenen Phosphaten die größte Bedeutung. Die pH-abhängige Löslichkeit der definierten Bodenphosphate zeigt hingegen einen wesentlich geringeren Einfluß (FRITSCH und WERNER 1987, FRITSCH et al. 1989).

Auch das Kalium unterliegt im Boden vielfältigen Transformationsprozessen, wie Auflösung, Sorption, Desorption, Diffusion und Verlagerung, die vor allem von der Bodenform, der Witterung und der Kali-Düngung beeinflusst werden (LAVES 1978, STUMPE et al. 1989, SCHACHTSCHABEL 1992).

Das Ziel dieser Untersuchungen war die Beurteilung der Auswirkungen einer langjährigen, unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf sonst im wesentlichen durch die organische oder mineralische Düngung beeinflussbaren wachstums- und ertragsbildenden Faktoren, wie pH-Wert, Calcium-, Phosphat- und Kaliumgehalt, im Hauptdurchwurzelungsbereich des Bodens.

2. Material und Methoden

Auf einer tiefgründigen, mittelschweren, kalkfreien Lockersedimentbraunerde in semihumider Klimlage (Alpenvorland — Österreich) und bei einer durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von 860 mm, wurden in einem Langzeit-Primärbodenbearbeitungsversuch bei konstant vorgegebenem viergliedrigem Fruchtwechsel Kriterien der Bodenfruchtbarkeit untersucht.

Standort, Boden, Profil und Versuchsanlage wurden bereits im Teil 1 dieser Untersuchung (LIEBHARD 1993) ausführlich beschrieben.

Die mathematisch-statistische Auswertung für die Parameter pH-Wert, Calcium-, Kalium- und Phosphatgehalt erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Statistical Analysis System). Die Kennwerte des Profils wurden nach dem Modell einer Blockanlage verrechnet. Die acht Bearbeitungsvarianten kamen als Split-Plotanlage zur Auswertung. Auch die zeitliche Veränderung von 1980 bis 1990 konnte berücksichtigt werden. Die Gerätevariante ausschließlich Pflug oder Grubber ermöglichte im weiteren eine Beurteilung des Effektes der unterschiedlichen Bearbeitungstiefen von 17, 24 und 30 cm als Kleinteilstücke.

Chemische Bodenanalysen

Die Bodenproben wurden jeweils im Sommer bzw. Herbst 1980 und 1990 nach der Ernte entnommen. Die angeführten Ergebnisse sind Mittelwerte aus Analysenergebnissen der Doppelbestimmung.

Karbonatgehalt: Zerstörung der Carbonate durch Salzsäure und Bestimmung des entstehenden CO₂ gasvolumetrisch nach SCHEIBLER (ÖNORM L 1084).

pH-Wert: Bestimmung mit 0,01 m Calciumchlorid-Lösung.

„Pflanzenverfügbares“ Phosphat und Kalium: nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode (ÖNORM L 1087—89 bzw. SCHÜLLER und REH 1978).

3. Ergebnisse

3.1 CaCO₃-Gehalte und pH-Werte

Der Bodentyp des Standortes ist eine kalkfreie Lockersediment-Braunerde, und daher können weder in der Krume noch in tieferen Bodenschichten größere Mengen Calciumkarbonat nachgewiesen werden (Profil — Tab. 1).

Tabelle 1

CaCO₃-Gehalt in % im Bodenprofil von 0 bis 100 cm Bodentiefe, standortübliche Variante, 1980 und 1990

CaCO₃ content in % in the soil profile between 0 to 100 cm, standard tillage method at the location, 1980 and 1990

Entnahmetiefe in cm	1980	1990
0— 15	0,00	0,10
15— 50	0,10	0,13
50— 75	0,10	0,13
75—100	0,15	0,20
GD 5 %	0,18	0,09

Der Gehalt lag im Jahr 1980 im Oberboden in einem Bereich von 0,00 bis 0,05 % und im Unterboden zwischen 0,05 und 0,13 %. Aufgrund der zweimaligen Düngung (1981 und 1985) mit Carbokalk in einer Ausbringungsmenge von 4000 kg/ha und der betriebsüblichen Bewirtschaftung und Mineraldüngung stieg der Gehalt im Oberboden auf 0,05 bis 0,23 % und im Unterboden auf 0,05 bis 0,33 % an (Tab. 2).

Tabelle 2

CaCO₃-Gehalt in % von 0 bis 40 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung, 1980 und 1990

CaCO₃ content in % at a soil depth of 0 to 40 cm as a function of different primary cultivation methods, 1980 and 1990

Bearbeitungs- variante		Entnahmetiefe in cm			
		0—20 (Oberboden)		20—40 (Unterboden)	
		1980	1990	1980	1990
Pflug	17 cm	0,00	0,18	0,10	0,33
	24 cm	0,00	0,15	0,10	0,13
	30 cm	0,03	0,23	0,13	0,18
Grubber	17 cm	0,05	0,23	0,05	0,05
	24 cm	0,00	0,13	0,13	0,23
	30 cm	0,05	0,18	0,08	0,18
Fräse	10 cm	0,00	0,05	0,05	0,18
Fräse + Pflug	10 + 24 cm	0,03	0,15	0,05	0,13

Durch die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung wurde der Kalkgehalt sowohl im Ober- (0 bis 20 cm) als auch im Unterboden (20 bis 40 cm) statistisch signifikant beeinflusst. Zwischen Pflug und Grubber, aber auch zwischen den einzelnen Bearbeitungstiefen dieser Geräte ergaben sich im Oberboden nach einer zehnjährigen Laufzeit noch keine nachweisbaren Gehaltsunterschiede. Im Unterboden kam es bereits zu signifikanten Wechselwirkungen zwischen Bearbeitungstiefe und -gerät (Tab. 3).

Tabelle 3

Einfluß der Bearbeitungsvariante, des Bearbeitungsgerätes und der Bearbeitungstiefe auf den CaCO₃-Gehalt in % im Ober- (Entnahmetiefe 0–20 cm) und Unterboden (Entnahmetiefe 20–40 cm)

Influence of farm tillage implements and cultivation depth on CaCO₃ content in % in the top- and subsoil (soil sampling at depths of 0–20 cm and 20–40 cm)

Split-Plot	Streuungsursache	Oberboden			Unterboden		
		FG	DQ	F-Wert	FG	DQ	F-Wert
Bearbeitungsvarianten	Schlag (= Block)	1	0,001	0,25	1	0,000	0,00
	Jahr	1	0,158	39,50	1	0,061	20,33
	J × S (Fehler I)	1	0,004		1	0,003	
	Bearbeitungsvariante	7	0,005	5,00**	7	0,010	3,33*
	J × B	7	0,002	2,00	7	0,005	1,66
	Rest (Fehler II)	14	0,001		14	0,003	
Gerätevariante Pflug-Grubber (1990)	Gerät	1	0,002	0,04	1	0,010	1,96
	Schlag (= Block)	1	0,005	3,57	1	0,001	0,04
	G × S (Fehler I)	1	0,005		1	0,005	
	Bearbeitungstiefe	2	0,005	3,57	2	0,000	0,08
	G × BT	2	0,003	1,86	2	0,038	13,92*
	Rest (Fehler II)	4	0,001		4	0,003	

Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, daß im Profil — bedingt durch die mineralische Zusammensetzung und den Calciumkarbonatgehalt im Boden — der pH-Wert mit zunehmender Tiefe ansteigt.

Tabelle 4

pH-Wert (CaCl₂) im Profil von 0 bis 100 cm Bodentiefe, standortübliche Variante, 1980 und 1990

pH-value (CaCl₂) in profile at different soil depths from 0 to 100 cm, standard tillage method at location, 1980 and 1990

Entnahmetiefe in cm	1980	1990
0— 15	6,35	6,45
15— 50	6,50	6,70
50— 75	6,70	6,75
75—100	6,75	6,80
GD 5 %	0,22	0,22

Gemessen an den Ausgangswerten aus dem Jahr 1980, die im Oberboden zwischen 6,25 und 6,40 und im Unterboden zwischen 6,40 und 6,60 lagen, konnte der pH-Wert nach zehn Jahren in beiden Horizonten geringfügig — jeweils um ca. 0,1 Einheiten — aber statistisch nicht signifikant angehoben werden. Der Einfluß der zum Teil sehr differenzierten Primärbodenbearbeitungsverfahren hat sich weder innerhalb der jeweiligen Bearbeitungstiefen noch zwischen den Horizonten im pH-Wert ausgewirkt (Tab. 5).

Tabelle 5

pH-Wert (CaCl₂) von 0 bis 40 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung, 1980 und 1990
pH-value (CaCl₂) at a soil depth of 0 to 40 cm using different primary cultivation methods, 1980 and 1990

Bearbeitungs- variante		Entnahmetiefe in cm			
		0—20 (Oberboden)		20—40 (Unterboden)	
		1980	1990	1980	1990
Pflug	17 cm	6,35	6,50	6,60	6,75
	24 cm	6,35	6,50	6,50	6,70
	30 cm	6,40	6,40	6,55	6,70
Grubber	17 cm	6,40	6,45	6,50	6,45
	24 cm	6,35	6,60	6,55	6,65
	30 cm	6,30	6,40	6,40	6,55
Fräse	10 cm	6,40	6,35	6,55	6,60
Fräse + Pflug	10 + 24 cm	6,25	6,40	6,55	6,55
GD 5 %*		0,31	0,34	0,33	0,42

* Die varianzanalytische Auswertung ergab analog zu dem verwendeten Modell weder bei den Hauptfaktoren noch bei den Wechselwirkungen signifikante F-Werte.

3.2 Phosphatgehalte

Die Veränderungen der P₂O₅-Gehaltswerte von 1980 bis 1990 im Profil sind in Tabelle 6 festgehalten. Der Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung im Ober- und Unterboden ist aus den Abbildungen 1 und 2 ersichtlich. Aufgrund der zehnjährigen mineralischen Phosphatdüngung von 50 kg P₂O₅/ha/Jahr und der Einarbeitung sämtlicher Ernterückstände erhöhte sich der Gehalt in der Bearbeitungskrume im Standortmittel von 16,0 auf 21,8 mg, im Unterboden von 7,1 auf 15,2 mg. In größeren Bodentiefen von 50 bis 100 cm (im Horizont B_{g1} und B_{g2}) war keine wesentliche Veränderung des Phosphatgehaltes feststellbar (Tab. 6).

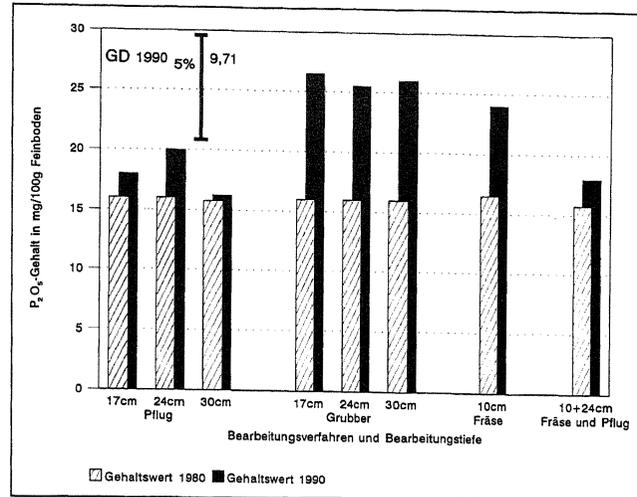
Die unterschiedliche Bodenbearbeitung veränderte die gemittelten Werte nur im Trend. Sogar bei Gegenüberstellung der nur wendenden Varianten (Pflug) zu den überwiegend lockernden und geringfügig mischenden (Grubber) ergaben sich weder im Ober- noch im Unterboden signifikante Differenzen. Ebenso waren die Wechselwirkungen zwischen Bearbeitungsgerät und Tiefe der Bearbeitung auf beiden Schlägen nicht gesichert.

Tabelle 6

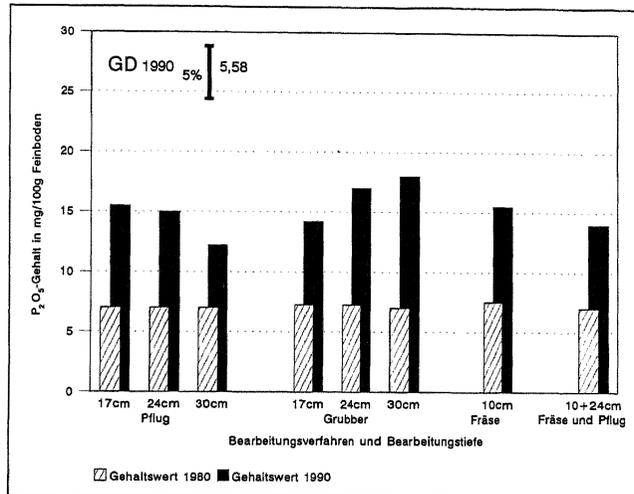
P₂O₅-Gehalt (CAL) in mg/100 g Feinboden im Profil von 0 bis 100 cm Bodentiefe, standortübliche Variante, 1980 und 1990
P₂O₅ content (CAL) in mg/100 g fine earth in profile at different soil depths from 0 to 100 cm, standard tillage method at location, 1980 and 1990

Entnahmetiefe in cm	1980	1990
0— 15	16,5	18,5
15— 50	6,5	12,8
50— 75	1,0	1,0
75—100	0,5	1,0
GD 5 %	1,42	2,32

*Abb. 1: P_2O_5 -Gehalt in mg/100 g Feinboden im Oberboden von 0 bis 20 cm Bodentiefe
 P_2O_5 content (in mg/100 g fine earth) in the topsoil at a depth of 0 to 20 cm (as a function of different cultivation methods and cultivation depths)*



*Abb. 2: P_2O_5 -Gehalt in mg/100 g Feinboden im Unterboden von 20 bis 40 cm Bodentiefe
 P_2O_5 content (in mg/100 g fine earth) in the subsoil at a depth of 20 to 40 cm (as a function of different cultivation methods and cultivation depths)*



3.3 Kaliumgehalte

Bereits zu Beginn der Versuchsanstellung (1980) wiesen auf dem Versuchsfeld die ermittelten Kaliumgehalte hohe Versorgungswerte (Versorgungsstufe hoch) auf (Tab. 7). Die jährlich einheitliche Düngung von 110 kg K_2O /ha führte nur im Oberboden zu einer Erhöhung der Gehaltswerte, nicht aber im Unterboden. Ab 50 cm Bodentiefe blieb der K_2O -Gehalt mit 8,0 bzw. 8,5 mg/100 g Feinboden konstant (Tab. 8).

Durch die zehnjährige Primärbodenbearbeitung mit verschiedenen Bearbeitungstiefen kam es im Oberboden zu einem signifikant unterschiedlichen Kaliumgehalt (Tab. 8). Die Pflugarbeit (Wenden und Mischen) führte wegen der relativ hohen Beweglichkeit der Kaliumionen zu einer gesicherten Verminderung des K_2O -Gehaltes im Oberboden. Die geringere Bodendurchmischung und die zum Teil niedrigeren Nährstoffentzüge auf den Fräs- und Grubberparzellen führten zu den höheren Gehaltswerten (Abb. 3). Das durchschnittliche K-Niveau

Tabelle 7

K₂O-Gehalt (CAL) in mg/100 g Feinboden im Profil von 0 bis 100 cm Bodentiefe, standort-übliche Variante, 1980 und 1990
K₂O content (CAL) in mg/100 g fine earth in profile at different soil depths from 0 to 100 cm, standard tillage method at location, 1980 and 1990

Entnahmetiefe in cm	1980	1990
0— 15	24,0	29,0
15— 50	12,0	14,0
50— 75	8,0	8,5
75—100	8,0	8,5
GD 5 %	2,25	1,07

Tabelle 8

Einfluß der Bearbeitungsvariante, des Bearbeitungsgerätes und der Bearbeitungstiefe auf den K₂O-Gehalt (CAL) in mg/100 g Feinboden im Oberboden (Entnahmetiefe 0—20 cm)
Influence of farm tillage implements and cultivation depth on K₂O content (CAL) in mg/100 g fine earth in the topsoil (soil sampling at a depth of 0—20 cm)

Split-Plot	Streuungsursache	FG	DQ	F-Wert
Bearbeitungsvarianten	Schlag (= Block)	1	30,031	0,23
	Jahr	1	1000,281	7,81
	J × S (Fehler I)	1	128,000	
	Bearbeitungsvariante	7	46,964	3,66*
	J × B	7	43,246	3,37*
	Rest (Fehler II)	14	12,837	
Gerätevariante Pflug-Grubber (1990)	Gerät	1	414,188	4,43
	Schlag (= Block)	1	117,188	1,25
	G × S (Fehler I)	1	93,521	
	Bearbeitungstiefe	2	4,021	0,95
	G × BT	2	3,938	0,93
	Rest (Fehler II)	4	4,229	

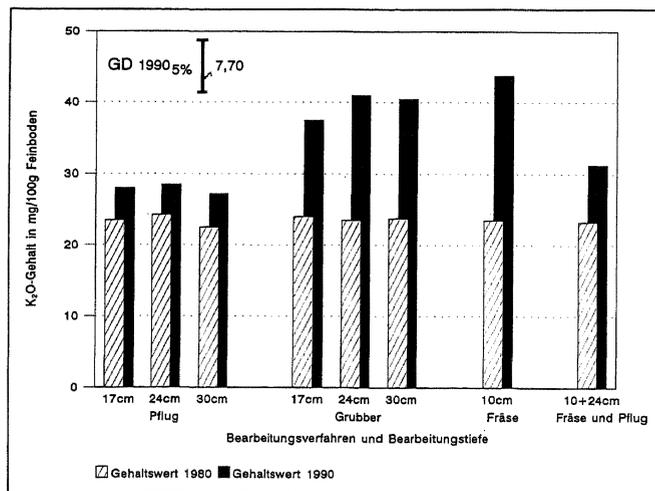
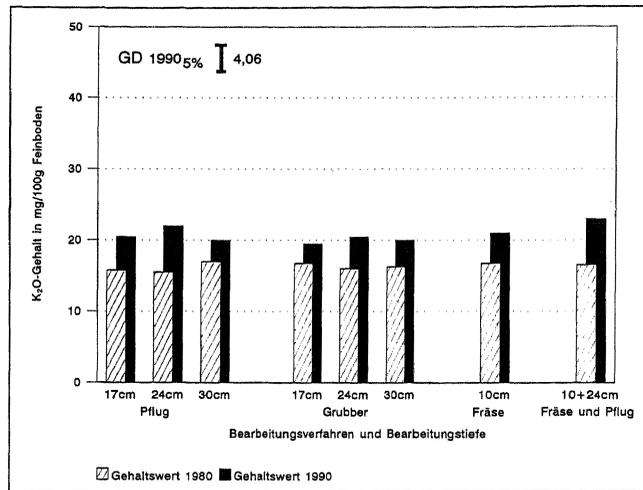


Abb. 3: K₂O-Gehalt in mg/100 g Feinboden im Oberboden von 0 bis 20 cm Bodentiefe
K₂O content (in mg/100 g fine earth) in the topsoil at a depth of 0 to 20 cm (as a function of different cultivation methods and cultivation depths)

Abb. 4: K_2O -Gehalt in $mg/100\text{ g}$ Feinboden im Unterboden von 20 bis 40 cm Bodentiefe
 K_2O content (in $mg/100\text{ g}$ fine earth) in the subsoil at a depth of 20 to 40 cm (as a function of different cultivation methods and cultivation depths)



ist auf den Fräs- mit 43,8 mg und den Grubberparzellen mit 39,7 mg am höchsten, der geringste K-Gehalt ist in den Pflugvarianten mit durchschnittlich 27,9 mg je 100 g Feinboden zu verzeichnen. Im Unterboden wichen die K_2O -Gehaltswerte voneinander nicht signifikant ab (Abb. 4).

4. Diskussion

Erwartungsgemäß bewirkte die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung im Ober- und Unterboden nur bei wenigen Makronährstoffen und im Humusgehalt eine deutliche Differenzierung.

Die feldbodenkundliche und bodenchemische Analytik weist den Bodentyp des Versuchsstandortes als eine kalkfreie Lockersediment-Braunerde aus. Bei der ausgebrachten Dünger- und Kalkmenge (geringfügig über der Erhaltungskalkung) ist der Kalkgehalt sowohl in der Ober- als auch in der Unterkrume nach zehn Jahren zwar nur geringfügig, aber signifikant angestiegen. Der pH-Wert veränderte sich nur im Trend. Großteils ist die geringe Anhebung des pH-Wertes (Tab. 4 und 5) und des $CaCO_3$ -Gehaltes (Tab. 1 und 2) in den Pflugparzellen auf die Rückführung der verlagerten bzw. der ausgewaschenen Ca-Ionen durch das zum Teil tiefe Wenden der Krume zurückzuführen, da in Böden mit einem pH-Wert oberhalb 6 bis 6,5 die Neutralisationsgeschwindigkeit von Carbonatkalk so langsam ist, daß dieser selbst nach Jahren noch nicht aufgelöst sein kann (SCHACHTSCHABEL 1992). Auf den tiefgepflügten Parzellen könnte durch das stärker verzweigte und tiefer reichende Wurzelsystem eine höhere Löslichkeit des im Unterboden vorhandenen Kalkes und ein kurzfristiger Anstieg des pH-Wertes erfolgt sein (KÖHN 1975, KÖHN und CAESAR 1988). Bei den Grubber- und Pflugvarianten kam es im Oberboden zu einem pH-Anstieg um 0,1 bis 0,2. Die Anhebung ist bei den Pflugvarianten geringfügig höher als bei den Grubbervarianten. Die Differenzierung im Unterboden (20 bis 40 cm) war ebenfalls nur gering, was sich mit Ergebnissen von HERZOG (1986) deckt. Hervorzuheben ist der geringe Abfall des pH-Wertes um 0,05 Einheiten in den reinen Fräsparzellen. Nach DIEZ et al. (1988) ist die stärkere saure Reaktion in der Frässhicht auf die intensiveren mikrobiellen Umsetzungsvorgänge zurückzuführen. Wie bereits die Ergebnisse im ersten Teil dieser Arbeit (LIEBHARD 1993) zeigen, weisen diese Par-

zellen einen um bis zu 0,5 % höheren Humusgehalt auf. Die darauf folgende notwendige Umstrukturierung der Mikroorganismenpopulation in der jungen organischen Bodensubstanz führte nach DOMSCH und GAMS (1968 a und 1968 b) zu einer stärkeren Anreicherung saurer Zersetzungsprodukte. In der Krume korreliert meist der Anteil an Alkali- und Erdalkalitionen mit dem pH-Wert (SCHACHTSCHABEL 1992). Durch die mikrobielle Zersetzung der toten Biomasse entstehen im Oberboden die meisten H-Ionen (BERGMANN 1988), daher steigt im Bodenprofil von der Krume in die tiefer liegenden Horizonte der pH-Wert an.

Bei Kalkmangel im Oberboden kommt es bei allen Pflugtiefen nach längerer Versuchsdauer (ca. 15 Jahre) zu einer Angleichung des pH-Wertes (KÖHN 1975). Eine Basenverarmung im Boden kann durch eine tiefe Pflugfurche nur verzögert, aber nicht verhindert werden.

Die Verfügbarkeit und Löslichkeit der Bodenphosphate für die Nutzpflanzen ist neben den in der zitierten Literatur angeführten Faktoren sowohl vom Reaktionszustand des Bodens als auch von der Bearbeitungsintensität, der Bearbeitungstiefe und der durch mineralische und organische Dünger zugeführten Nährstoffmenge abhängig. Aus den angeführten Ergebnissen in den Abbildungen 1 und 2 ist ersichtlich, daß der P_2O_5 -Gehalt von 1980 bis 1990 durch die jährlich über dem Entzug liegende Düngung mit 50 kg/ha auf allen Parzellen erheblich angestiegen ist. Die Zunahme des P_2O_5 -Gehaltes in der Krume (0 bis 20 cm Bodentiefe) war aber in den Fräs- und Grubberparzellen höher (Abb. 1). An anderer Stelle erhielt HERZOG (1986) ebenfalls Ergebnisse dieser Art. Bei den tief bearbeiteten und gewendeten Parzellen zeigen sich tendenziell keine höheren Gehaltswerte. Dies widerspricht zum Teil den Erwartungen und auch den Ergebnissen aus der Literatur (DEBRUCK 1983, DIEZ et al. 1988). Bei den Bodenphosphaten handelt es sich in der Hauptsache um adsorbierte Phosphate, deren Bindung bekanntlich mit der pH-Erhöhung abnimmt (PARFITT 1978). Nach DIEZ et al. (1991) ist ein enger Zusammenhang bei Phosphor zwischen gemessenen Bodenwerten (CAL) und rechnerischer Bilanz nicht zu erwarten. Die optimale P-Verfügbarkeit im Boden wurde für Sandböden zwischen pH 5,6 und 6,2 und für andere Mineralböden zwischen 6,0 und 6,8 ermittelt (KERSCHBERGER 1987).

Das auf den Parzellen der Pflugvarianten ab der zweiten Fruchtfolgerotation stärkere Wachstum der Nutzpflanzen und die meist auch höheren Erträge dürften somit auch mehr Nährstoffe aus dem Unterbodenbereich entzogen haben (LIEBHARD 1992). Die bei der Primärbodenbearbeitung mit der Fräse und dem flachgründigen Grubbereinsatz ungünstigeren mechanischen und physikalischen Komponenten im Boden verursachten ein schwächeres Wurzelsystem, verbunden mit einer geringeren Nährstoffaufnahme. In der Folge kam es zu einem verminderten oberirdischen Aufwuchs und einer geringeren Rücklieferung von Nährstoffen über die Ernterückstände in die Krume. Eine geringfügige Erhöhung des P-Gehaltes (CAL) im Jahr 1990 gegenüber 1980 könnte auf die zweimalige Kalkdüngung zurückzuführen sein. Nach KERSCHBERGER (1987) kommt es durch steigende pH-Werte des Bodens zu signifikant höheren P-Gehalten (Faustzahl: Anstieg des pH um eine Einheit, P-Gehaltszunahme im Boden von etwa 1 mg). Von UNGER et al. (1983) wurde eine bessere Pflanzenverfügbarkeit des nach reduzierter Bearbeitung erhöhten P-Gehaltes festgestellt.

Die bisherigen Ergebnisse bei Kalium zeigen, daß der leicht lösliche Anteil am Versuchsstandort sehr hoch ist und daß die Höhe der Mineraldüngergaben von 1980 bis 1990 über dem Entzug lag. Der Ausgangsgehalt des Bodens an pflanzenverfügbarem Kalium im Boden wurde durch die jährliche Düngung von 110 kg K_2O /ha bis zu einer Tiefe von 0,5 m erhöht (Tab. 7). Je nach Bearbeitungsvariante befindet sich ein erheblicher Teil des zugeführten Kaliums in austausch-

barer Form gleichmäßig verteilt über das gesamte Bodenprofil oder im Oberboden (Abb. 3 und 4). Weiters zeigen die Werte trotz der am gesamten Versuchsfeld einheitlichen Düngung verhältnismäßig starke Schwankungen der Gehalte in der Oberkrume. Der tiefgründige, gut wasserführende Boden dürfte eine Beweglichkeit des Kaliums zulassen. Die wesentlich höheren K_2O -Gehaltswerte auf den Fräspartzellen könnten im Oberboden auch auf die verminderte mechanische Durchmischung, auf die höhere Lagerungsdichte und die geringere Infiltration zurückzuführen sein. Der relativ große Effekt der reduzierten Bodenbearbeitung auf die Erhöhung des K_2O -Gehaltswertes in der Krume stimmt mit Ergebnissen von KUNDLER et al. (1985), HERZOG (1986) und DIEZ et al. (1988) überein. Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, wird durch das jährliche Pflügen, zumindest bis zur Bearbeitungstiefe, eine weitgehend homogene Verteilung der mehr oder weniger beweglichen Nährstoffe erzielt. Eine einmalige Ackerung, auch bei fast vollständigem Wenden des Erdbalkens innerhalb einer fünfjährigen Periode, führt dagegen nur zu einem Vergraben (MEISEL et al. 1991).

5. Schlußfolgerung

Bei einer langzeitigen Bodenbearbeitung mit ausschließlich Fräse oder Grubber kommt es in der Oberkrume zu einer Anreicherung von Phosphat und Kalium, der pH-Wert wird im Trend geringfügig abgesenkt. Ob sich dies für das Pflanzenwachstum und den Ertrag ungünstig auswirkt, kann abschließend noch nicht beurteilt werden, da bei den pfluglosen Varianten auf dem angeführten Standort (Lockersediment-Braunerde) sich einige wesentliche bodenphysikalische Kennwerte, wie Porenvolumen, Infiltration, Krümelstabilität u. a. m., zum Nachteil veränderten. Bisher konnte auch durch die höhere Populationsdichte der Regenwürmer noch keine gleichwertige Einmischung von organischer Substanz in tiefere Bodenschichten erreicht werden (LIEBHARD 1992).

Viele Einzelheiten über die physiologische Nährstoffeffizienz von physikalisch gestreßten Wurzeln bzw. von Wurzeln unter mehrfaktoriellen Streßbedingungen, die unter Gefügeschädigungen oft gleichzeitig vorkommen, sind noch nicht geklärt (CAMPBELL und MOREAU 1979, HELAL 1991 a, 1991 b). In den Teilen 3 bis 5 werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porengrößenverteilung, Infiltration und Krümelstabilität gebracht.

Danksagung

Die chemischen Analysen wurden im Rahmen eines Forschungsauftrages des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien, durchgeführt. Für diese Unterstützung und die langjährige, kostenlose Versuchsdurchführung danke ich Herrn Dr. A. SCHREIBERHUBER.

Literatur

- BAEUMER, K., 1984: Auswirkungen langjähriger Mineralbodenbearbeitung. Arb. DLG 179, 38—113.
- BERGMANN, W., 1988: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Fischer, Stuttgart - New York.
- BLASL, S., 1980: Die Kennzeichnung der Phosphatdynamik und des Redoxeinflusses im Boden mit Hilfe der Phosphatuntersuchung nach TRUOG. Die Bodenkultur 31, 335—358.
- BLASL, S. und W. BACHLER, 1982: pH-bedingte Pflanzentoxizität und Kalkwirkung. Die Bodenkultur 33, 16—40.
- CAMPBELL, R. B. and R. A. MOREAU, 1979: Ethylene in compacted field soil and its effect on growth, tuber quality and yield of potatoes. Am. Potato J. 56, 199—210.
- DEBRUCK, J., 1983: Es kann auch ohne Pflug glücken. Feld und Wald 32, 12—14.

- DIEZ, TH., J. KREITMAYR und H. WEIGELT, 1988: unter Mitarbeit von J. BAUCHHENSZ, TH. BECK und H. BORCHERT, 1988: Einfluß langjähriger pflugloser Ackerbewirtschaftung (System HORSCH) auf Pflanzenwachstum, Wirtschaftlichkeit und Boden. Bayer. Landw. Jahrb. 65, 789—812.
- DIEZ, TH., E. BIHLER und M. KRAUSS, 1991: Auswirkungen abgestufter Pflanzenbauintensitäten auf Bodenkennwerte und Nährstoffbilanz. Bayer. Landwirtsch. Jahrb. 68, 354—361.
- DOMSCH, K. H. und W. GAMS, 1968 a: Die Bedeutung vorfruchtabhängiger Verschiebungen in der Bodenmikroflora. I. Einfluß von Bodenpilzen auf die Wurzelentwicklung von Weizen, Erbsen und Raps. Phytopath. Z. 63, 64—74.
- DOMSCH, K. H. und W. GAMS, 1968 b: Die Bedeutung vorfruchtabhängiger Verschiebungen in der Bodenmikroflora. II. Antagonistische Einflüsse auf pathogene Bodenpilze. Phytopath. Z. 63, 165—176.
- FRITSCH, F. und W. WERNER, 1987: Bindungsformen und Löslichkeitskriterien der aus langjähriger Düngung mit verschiedenen P-Formen angereicherten Bodenphosphate. Landwirtschaft. Forschung 40, 153—158.
- FRITSCH, F., W. WERNER und H. B. STRASSER, 1989: Zur Wirkung langjähriger Düngung mit verschiedenen Phosphatformen auf die Ertragsbildung und die Verfügbarkeit der angereicherten Bodenphosphate. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 33, 169—177.
- HELAL, H. M., 1991 a: Bodengefüge, Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 154, 403—407.
- HELAL, H. M., 1991 b: Estimation of living part of plant roots. International Society of Root Research 3rd Symposium Proceedings, Wien.
- HERZOG, R., 1986: Auswirkungen langjähriger differenzierter Grundbodenbearbeitung auf den Humus- und Nährstoffgehalt und den Durchdringungswiderstand eines anlehmi- gen Sandbodens bei Getreideanbau. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 30, 655—660.
- KERSCHBERGER, M., 1987: Einfluß des pH-Wertes auf den doppellaktatlöslichen P-Gehalt im Boden (DL-Methode). Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 31, 331—319.
- KÖHN, W., 1975: Der Einfluß langjähriger Bodenbearbeitungs-, Düngungs- und Fruchtfolge- maßnahmen auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften und die Ertragslei- stung eines lehmigen Sandbodens. Teil 1, Veränderungen der chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften. Bayer. Landwirtschaft. Jahrb. 8, 928—955.
- KÖHN, W. und K. CAESAR, 1988: Langzeituntersuchungen zur Pflugtiefe, Kalkung, Stallmist- düngung sowie Fruchtfolge in Berlin-Dahlem. Ber. Ges. Pflanzenbauwiss. 1, 105—125.
- KUNDLER, P., M. SMUKALSKI, R. HERZOG und M. SEEBOLDT, 1985: Auswirkungen von Stoppel- fruchtgründung und unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Bodenfruchtbar- keitskennziffern, Unkrautbesatz und Erträge eines sandigen Bodens bei Getreide- daueranbau. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 29, 157—164.
- LAVES, D., 1978: Zur Kalitransformation im Boden. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 22, 521—528.
- LIEBHARD, P., 1992: Effekte unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung auf Bodenmerkmale. Wintertagung 1992, Ökosoziales Forum — Österreichische Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien, 80—89.
- LIEBHARD, P., 1993: Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Textur und organische Sub- stanz von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 1). Die Bodenkultur 44, 199—210.
- MARSCNER, H., 1985: Nährstoffdynamik in der Rhizosphäre. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 98, 291—309.
- MARSCNER, H., W. J. HORST and P. MARTIN, 1986: Root-induced changes in the rhizosphere. Importance for the mineral nutrition of plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 149, 441—456.
- MEISEL, S., M. H. GERZABEK and H. K. MÜLLER, 1991: Influence of ploughing on the depth dis- tribution of various radionucleides in the soil. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 154, 211—215.
- MENGEL, K., 1985: Dynamics and availability of major nutrients in soils. Adv. in Soil Sci. 2, 65—131.
- MENGEL, K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer, Jena.
- ÖNORM L 1084, 1989: Chemische Bodenuntersuchungen, Bestimmung von Carbonat. Öster- reichisches Normungsinstitut (ON), Wien.
- ÖNORM L 1087—89, 1989: Chemische Bodenuntersuchungen, CAL-Methode. Österrei- chisches Normungsinstitut (ON), Wien (in Druck).
- PAGEL, H., A. JÄHNIG und K. BENTHIN, 1983: Kalium und Phosphatwerte der Böden eines Ackerschla- ges im VEG (P) Albertshof. Wiss. Z. Univ., math.-naturwiss. R., 4, 441—448.
- PARFITT, R. L., 1978: Anion adsorption by soils and soil materials. Advances Agron. 30, 1—50.

- RÖMHELD, U., 1986: pH-Veränderungen in der Rhizosphäre verschiedener Kulturpflanzenarten in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot. *Kali Briefe* 18, 13—30.
- SCHACHTSCHABEL, P., 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. In: SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 1992: 13. Aufl., Kapitel III, Enke, Stuttgart.
- SCHÜLLER, H. und G. REH, 1978: Neue Wege der Bodenuntersuchung. *Die Bodenkultur* 29, 219—228.
- STUMPE, H., J. GARZ, R. JOHANNEMANN und M. BUCHTE, 1989: Einfluß der K-Düngung auf den Ertrag und einige Bodeneigenschaften in einem Dauerversuch auf einer Sandlößbraunschwarzerde in Halle. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.* 33, 301—310.
- UNGER, H., R. SCHULZE und U. PITTELKOW, 1983: Nutzung von tiefappliziertem Stickstoff durch die Pflanze in Abhängigkeit von der Krumendüngung. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.* 27, 593—598.
- VENTER, R. und R. GUTSER, 1987: Maßnahmen zur Verminderung der Nährstoffverlagerung im Boden. *Bayer. Landwirtsch. Jahrb.* 64, Sonderheft 2, 87—99.

(Manuskript eingelangt am 14. September 1993, angenommen am 17. September 1993)

Anschrift des Verfassers:

Dr. Peter LIEBHARD, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien