

Lead Contamination of Plants and Soils Caused by Automobile Exhaust Gases

By G. Sommer, A. Rosopulo and J. Klee

The examination of grassland, wheat, maize and potatoes has shown that the lead content of plants in the vicinity of roads rises with increasing traffic intensity and falls with increasing distance from a motorroad. An increase in the coating of lead is observable up to a distance of 50 m from an autobahn. A roadside sample of grass from the Munich—Stuttgart autobahn was found to contain 470 mg lead/kg dry matter. The lead content of grass growing immediately near (≤ 1 m) roads was found to vary between 40 and 140 mg lead/kg dry matter. The lead content of samples taken from the same place at different times varies considerably, doubtless due to the influence of different exposure times, rate of growth and meteorological conditions. Different plants from comparable positions contain different amounts of lead; even different grass species vary. Roots, growing or otherwise, are protected from the action of dust and contain accordingly a low lead content which is independent of position. Drying fresh plant material in a forced draught oven, even at the low temperature of 35 °C, causes losses of up to 50%. The risk to health of men and animals due to the consumption of plant foods growing near heavily used roads is discussed and preventative measures proposed. [3459]

P-Dynamik weicherdiger Rohphosphate und Probleme der Bodenuntersuchung

Von R. Gutser und A. Amberger*)

Aus dem Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität
München-Weihenstephan
Direktor: Professor Dr. A. Amberger

(Eingegangen: 29. 4. 1971)

Wichtige Voraussetzung für die standortgerechte Düngung ist eine aussagekräftige Bodenuntersuchung, welche die Versorgung bzw. die Verfügbarkeit der Nährstoffe treffend zum Ausdruck bringt. Gewisse Schwierigkeiten bereitet die übliche Bodenuntersuchung nach Düngung mit weicherdigen Rohphosphaten. Wohl gibt es kein ideales Extraktionsmittel, das unabhängig von Reaktion und Carbonatgehalt des Bodens den tatsächlichen pflanzenverfügbaren Phosphor ausweist. Die hohen Extraktionswerte der Doppellaktatmethode stehen aber — insbesondere auf Standorten mit langsamer bzw. verzögerter Umsetzung der weicherdigen Rohphosphate — häufig in keiner Relation zu den tatsächlich erzielten Erträgen und P-Entzügen durch Kulturpflanzen. Das gilt insbesondere für Böden

*) Dr. R. Gutser u. Prof. Dr. A. Amberger, Freising-Weihenstephan.

- a) mit neutraler bis alkalischer Reaktion
- b) unter trockenen Verhältnissen
- c) mit geringer biologischer Aktivität.

Eine gute Übereinstimmung der Werte der Bodenuntersuchung mit dem P-Entzug im Pflanzenversuch ist aber ein unabdingbares Kriterium für die Brauchbarkeit einer Methode.

Das Institut für Pflanzenernährung Weihenstephan führt seit mehr als 20 Jahren auf verschiedenen Standorten Dauerversuche mit weicherdigen Rohphosphaten zu landwirtschaftlichen Kulturen durch, über deren Ergebnisse schon mehrfach berichtet wurde (*Hofmann, Amberger, 1957; Hofmann, Amberger, Wolf, 1962; Teicher, 1964*). Die beiden hier näher zu besprechenden Standorte unterscheiden sich hinsichtlich Bodentyp und Nährstoffdynamik erheblich.

Standort I: Ackerbraunerde, Versuchsfeld I, Schlag D. Lößlehm mit guter Nährstoffversorgung; pH (KCl) 6.2; gute Struktur ohne Verdichtungshorizonte, hohe biologische Aktivität; insgesamt also günstige Voraussetzungen für P-Dynamik und Transformationsvermögen des Bodens.

Standort II: Pseudogley, Pettenbrunn. Lehmgiger Ton mit geringer Basensättigung; pH (KCl) 4.9; Verdichtungshorizont in einer Tiefe von 35 cm, dadurch Staunässe (besonders in feuchten Jahren) und schlechte biologische Aktivität; schlechtes Transformationsvermögen — seit 16 Jahren ohne organische Düngung.

Der Aufbau der Versuche geht aus den nachfolgenden Tabellen hervor, die Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit *Dr. Sommer* (Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München) unter folgenden Gesichtspunkten:

1. Wirkung verschiedener P-Formen im Pflanzenversuch, gemessen am Trockensubstanz-Ertrag und P-Entzug
2. Vergleich der P_2O_5 -Werte im Boden nach verschiedenen Extraktionsverfahren mit dem tatsächlich erzielten P-Entzug der vorausgegangenen Frucht. Es wurden folgende Bodenuntersuchungsmethoden angewandt:
 - Doppelaktat-Methode (DL) nach *Egner-Riehm* (4);
 - Ammoniumlactatessigsäure-Methode (AL) nach *Egner-Riehm-Domingo* (5, 10);
 - Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL) nach *Schüller* (12);
 - Natriumbicarbonat-Methode ($NaHCO_3$) nach *Olsen* (8);
 - Wasser-Methode (H_2O) nach *van der Paauw* (9), modifiziert nach *Schachtschabel* (11);
 - Ammoniumfluorid-Methode (NH_4F) nach *Bray* (1), modifiziert nach *Behrens* (2).
 Es wird unterstellt, daß die Extraktionswerte des Bodens nach der Ernte der vorausgegangenen Frucht aussagekräftig sind für das Nährstoffangebot während der Wachstumszeit.
3. Wirkung einer langjährigen Phosphatdüngung auf die P-Fractionen im Boden (nach *Chang-Jackson, 1957*)

Ergebnisse

Standort I

Im Zeitraum von 14 Jahren wurde auf dem Versuchsfeld I, Schlag D, die Frage geprüft, ob auf einem gut mit P_2O_5 versorgtem Boden (DL: 15 mg P_2O_5) durch Düngung mit Hyperphos auf lange Sicht gleiche Erträge und P-Entzüge erzielt

Tabelle 1

P-Formenversuch auf schwach saurem Lehm Boden — Ertrag und P-Entzug
Versuchsfeld I, D — 1955—1968

Trials with P forms on a light acid loam, yield and P uptake, trial field 1, 1955—1968

Düngung	Gesamt-Tr.S.- Produktion (dz/ha)	Gesamt-P ₂ O ₅ - Aufnahme (kg/ha)	P ₂ O ₅ -Ausnutzung (‰) bezogen auf Gesamt-P ₂ O ₅
ohne P ₂ O ₅	934	453	—
Superphosphat	1156	641	17,5
Rhenaniaphosphat	1115	613	14,3
Thomasphosphat	1163	642	15,9
Hyperphos	1128	611	15,2

werden können wie durch andere P-Formen. Bis zum Beginn des Versuches waren die Hyperphosteilstücke regelmäßig mit Thomasphosphat abgedüngt worden.

Mineralische Düngung: NK optimal zur jeweiligen Versuchsfrucht

Ø P-Gabe/ha und Jahr: 74 kg P₂O₅

In den gesamten Erträgen und Entzügen (Tab. 1) ergibt sich eine signifikante Wirkung der P-Düngung gegenüber der Kontrolle ohne P₂O₅.

Im Versuchszeitraum von 1955 bis 1968 sind gesicherte Unterschiede in der Gesamt-Trockensubstanzproduktion, der gesamten P-Aufnahme und der P-Ausnutzung zwischen den einzelnen Düngerformen nicht gegeben, wenngleich zahlenmäßig geringfügige Vorteile von Superphosphat und Thomasphosphat gegenüber Rhenaniaphosphat und Hyperphos vorliegen.

Entsprechend der eingangs gestellten Versuchsfrage konnte Hyperphos auf diesem gut mit Phosphor versorgten Standort demnach gleiche Erträge und P-Entzüge wie die anderen P-Formen erzielen. Eine „Fernwirkung“ des vorausgegangenen, vor 15 Jahren zum letzten Mal verabreichten Thomasphosphates kann wohl kaum angenommen werden, zumal alle unsere heutigen Versuchsböden vor Versuchsanlage mit anderen als den derzeitigen Düngern versehen wurden. Trotz dieser weitgehend gleichen Wirkung im Pflanzenversuch unterscheiden sich die Bodenuntersuchungswerte nach den verschiedenen Extraktionsmethoden deutlich (Tab. 2).

Tabelle 2

Pflanzenverfügbare Phosphorsäure — Versuchsfeld I, D — 1968 (mg P₂O₅/100 g Boden)
Available phosphorus, trial field 1, in mg P₂O₅/100 g soil, 1968

Düngung	DL	AL	CAL	NaHCO ₃	NH ₄ F	H ₂ O
ohne P ₂ O ₅	2,8	5,1	3,0	2,5	4,0	0,8
Superphosphat	17,2	22,6	15,3	10,7	18,5	4,6
Rhenaniaphosphat	22,6	27,0	18,4	9,2	17,3	4,0
Thomasphosphat	20,4	26,4	17,7	11,0	18,7	4,8
Hyperphos	24,6	29,5	9,7	5,6	11,2	2,2

Nach der AL- und DL-Methode wurde überhaupt am meisten Phosphor extrahiert bzw. erfaßt. Ein auffallender Unterschied sämtlicher Untersuchungsmethoden liegt aber in der unterschiedlichen Bewertung der mit dem weicherden Rohphosphat gedüngten Teilstücke. Während nämlich die DL- und AL-Methode auf den Hyperphosteilstücken den Vergleichsphosphaten in etwa entsprechende Werte anzeigt, werden durch die CAL-, NaHCO_3 -, NH_4F - und H_2O -Methode nur ungefähr die Hälfte an pflanzenverfügbarer Phosphorsäure nach Hyperphosdüngung ausgewiesen. Wie wir später noch sehen werden (Tab. 8), korreliert demnach die DL- und AL-Methode auf diesem Standort am besten mit dem tatsächlich erzielten P-Entzug durch die Pflanzen, während die anderen Methoden die Verfügbarkeit apatitischer Phosphate unterbewerten.

Die Fraktionierung des Bodenphosphors nach *Chang* und *Jackson* gibt Aufschluß über Verteilung bzw. Umwandlung der verschiedenen Düngerphosphate in Bodenphosphate (Tab. 3).

Die NH_4Cl -Fraktion weist auf den Hyperphosparzellen die geringste Menge an leicht verfügbarem Phosphat aus. Düngung mit Rohphosphat bewirkt die niedersten Werte an Aluminium- und Eisen-Phosphaten (mit den bekannten terminologischen Einschränkungen), jedoch den mit Abstand höchsten Wert an Calciumphosphaten. Es kommt also zu einer gewissen Anreicherung an apatitischen Phosphaten, aus denen — auf diesem Standort mit gutem Transformationsvermögen — offenbar der P-Anspruch der angebauten Kulturpflanzen mit gedeckt werden konnte. Die gegenüber den anderen Phosphaten gleichen Gesamterträge durch Hyperphosdüngung lassen sich unserer Meinung nach nicht ausschließlich durch den deutlichen Rückgang der Fe- u. Al-Fraktion im Boden, d. h. einer verstärkten P-Aufnahme aus dieser Fraktion interpretieren. Wenn das so wäre, müßten die Erträge der Hyperphosparzellen gegenüber den Vergleichsphosphaten mit zunehmender Laufzeit des Versuches zurückgehen. Wohl aber dürften die nicht apatitischen Phosphate unter diesen Standortbedingungen schneller in Fe- bzw. Al-Phosphate übergehen. Da die P-Aufnahme aber sicherlich nicht ausschließlich aus den genannten Fraktionen erfolgt, geht die Nachlieferung von Phosphat aus den apatitischen

Tabelle 3
P-Fractionen — Versuchsfeld I, D — 1968 (ppm P)
P fractions, trial field 1, in ppm P, 1968

Düngung	NH_4Cl	NH_4F	NaOH	H_2SO_4
ohne P_2O_5	1	21	108	112
Superphosphat	8	82	187	131
Rhenaniaphosphat	10	83	174	161
Thomasphosphat	11	87	180	150
Hyperphos	2	57	149	136

Tabelle 4

P-Formenversuch — Schlag D Ertragsbildung in Abhängigkeit von der Versuchsdauer
 P forms trial, block D, yields in relation to trial length

	Erträge dz/ha ^{*)}				
	1955 So-Gerste	1958 Wi-Weizen	1961 So-Gerste	1964 Zuckerrüben	1967 Wi-Weizen
ohne P ₂ O ₅	23	35	32	263	37
Superphosphat	32	44	37	396	42
Rhenaniaphosphat	31	45	36	366	42
Thomasphosphat	32	46	37	399	41
Hyperphos	33	45	37	373	43

*) Körner: 14 % H₂O Rüben: Frischsubstanz

Phosphaten offenbar immerhin so rasch vor sich, daß es zu keiner Beeinträchtigung des P-Bedarfes der Kulturpflanzen kommt.

Wie aus den Ergebnissen mehrfach angebauter und damit vergleichbarer Früchte hervorgeht, steht Hyperphos mit den anderen Phosphaten völlig auf gleicher Höhe (Tab. 4).

Standort II

In einem 16jährigen P-Steigerungsversuch wurde die Wirkung von Hyperphos im Vergleich mit Thomasphosphat bei unterschiedlicher Kalkversorgung geprüft.

Mineralische Düngung: NK optimal zur jeweiligen Versuchsfrucht

$$\phi \text{ P-Gabe/ha und Jahr: } 1 \times \text{P}_2\text{O}_5 = 44 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

1953—1965 erfolgte eine jährliche Abdüngung mit Phosphat
 (mit Ausnahme der Kontrollgruppen)

1966—1968 wurde die P-Nachwirkung geprüft

In dem Abschnitt 1953—1965 erzielt Thomasphosphat insgesamt gesehen eine etwas bessere P-Wirkung (Erträge und P-Aufnahme) als Hyperphos (Tab. 5); diese Unterschiede kommen in erster Linie durch den Anbau besonders P-intensiver Kulturen wie Mais und Sommergerste zustande, deren Phosphorbedarf im Jugendwachstum auf diesem Standort durch Hyperphos offenbar nicht ganz gedeckt werden konnte. Beachtenswert ist, daß die Kalkung hier allgemein höhere Mehrerträge bringt als die P-Steigerung. Unter diesen stark sauren pH-Verhältnissen ist das anorganische Bodenphosphat vorwiegend an Aluminium und Eisen sorbiert bzw. gebunden und wird durch Kalkung in einen instabileren und damit leichter pflanzenverfügbaren Zustand übergeführt.

Tabelle 5

P-Wirkung von Hyperphos auf pseudovergleytem Lehm, Pettenbrunn — 1953—1968

The P effect of Hyperphos on a pseudogley like loam, Pettenbrunn, 1953—1968

Düngung	Gesamt-Trockensubstanz- Produktion (dz/ha)			Gesamt-P ₂ O ₅ -Aufnahme (kg/ha)		
	1953—1965	1966—1968	Σ'	1953—1965	1966—1968	Σ'
ohne Kalk (pH 4,9)						
ohne P ₂ O ₅	715	103	818	214	48	262
1 × Hyperphos	1044	130	1174	353	68	421
1 × Thomasphosphat	1060	134	1194	385	69	454
2 × Hyperphos	1069	141	1210	418	78	496
2 × Thomasphosphat	1160	143	1303	472	80	552
mit Kalk (pH 6,0—6,2)						
ohne P ₂ O ₅	945	152	1097	322	76	398
1 × Hyperphos	1103	152	1255	426	85	511
1 × Thomasphosphat	1203	152	1355	457	83	540
2 × Hyperphos	1154	153	1307	449	86	535
2 × Thomasphosphat	1212	166	1378	520	98	618

Nur die doppelte Gabe Thomasphosphat führt in der Reihe mit Kalk zu einer besseren Nachwirkung (1966—68) als die entsprechende Hyperphosdüngung. Auf den ungekalkten Parzellen ergeben sich keine Unterschiede in der Nachwirkung zwischen den beiden Phosphaten.

Im Anschluß an eine 3jährige P-Nachwirkungsperiode (= ohne P-Düngung) wurden Bodenproben untersucht. Die Extraktionswerte (Tab. 6) liegen

Tabelle 6

Pflanzenverfügbare Phosphorsäure — Pettenbrunn — 1968 (mg P₂O₅/100 g Boden)Available phosphorus in mg P₂O₅/100 g soil, Pettenbrunn, 1968

Düngung	DI.	AL	CAL	NaHCO ₃	NH ₄ F	H ₂ O
ohne Kalk (pH 4,9)						
ohne P ₂ O ₅	1,3	1,7	2,0	1,4	2,7	0,6
1 × Hyperphos	2,1	3,0	2,8	2,3	4,1	0,8
1 × Thomasphosphat	2,3	3,5	2,9	2,2	4,8	0,9
2 × Hyperphos	5,0	7,1	4,1	3,4	6,3	1,1
2 × Thomasphosphat	3,7	5,9	3,7	3,1	5,8	1,0
mit Kalk (pH 6,0—6,2)						
ohne P ₂ O ₅	1,9	2,6	1,9	1,3	2,5	0,7
1 × Hyperphos	4,8	7,9	3,3	1,7	3,4	0,8
1 × Thomasphosphat	3,2	4,7	2,3	2,0	3,4	0,7
2 × Hyperphos	14,2	15,7	4,9	2,1	3,8	0,8
2 × Thomasphosphat	7,3	10,2	5,5	3,7	6,2	1,3

allgemein niedrig und kennzeichnen diesen Boden damit als außerordentlich P-arm. In der Reihe „ohne Kalk“ ergeben sich zwischen den vergleichbaren Düngungsarten keine definitiven Unterschiede. Die größte Differenz beträgt 1,3 mg P_2O_5 zwischen $2 \times$ Hyperphos und $2 \times$ Thomasphosphat und liegt damit noch eindeutig im Rahmen des Fehlers der Probenahme.

In der Reihe „mit Kalk“ bestehen aber zwischen Hyperphos und Thomasphosphat nach der DL- und AL-Methode, insbesondere bei hoher P-Gabe, z. T. große Differenzen (bis zu 100 %). Gemessen an der P-Wirkung und dem P-Entzug wird die Hyperphos-Phosphorsäure durch diese Methoden also stark überbewertet. Die Extraktionswerte mit CAL, $NaHCO_3$, NH_4F und H_2O geben dagegen die tatsächliche Wirksamkeit der apatitischen Phosphate wesentlich besser wieder. Auf diesem Standort mit sehr träger P-Dynamik ist nämlich in den aufgekalkten Parzellen das weicherdige Rohphosphat weit weniger pflanzenverfügbar, als es durch die DL- bzw. AL-Methode ausgewiesen wird.

Die P-Fraktionierung (Tab. 7) ergibt in der Reihe „ohne Kalk“ nur geringfügige Unterschiede auf den vergleichbaren Teilstücken. Die niederen Werte der NH_4Cl -löslichen Fraktion (nicht angegeben) kennzeichnen besonders deutlich die Armut dieses Standortes an schnell verfügbarer Bodenphosphorsäure. Hyperphosdüngung führt zu keinem Anstieg von Calciumphosphaten.

In der aufgekalkten Reihe fällt aber neben kleineren Unterschieden in der NaOH-Fraktion der beachtlich höhere Anteil der H_2SO_4 -Fraktion bei $2 \times$ Hyperphos gegenüber $2 \times$ Thomasphosphat auf. Die Umsetzung von apatitischem Düngerphosphat zu „Bodenphosphaten“ verläuft im schwachsauren Bereich (pH 6,0—6,2) demnach langsamer als die des Thomasphosphats.

Tabelle 7

P-Fractionen — Pettenbrunn — 1968 (ppm P)

P fractions in ppm P, Pettenbrunn, 1968

Düngung	NH_4F	NaOH	H_2SO_4
ohne Kalk (pH 4,9)			
ohne P_2O_5	12	99	35
1 \times Hyperphos	17	130	42
1 \times Thomasphosphat	22	128	39
2 \times Hyperphos	32	155	48
2 \times Thomasphosphat	27	141	47
mit Kalk (pH 6,0—6,2)			
ohne P_2O_5	14	90	31
1 \times Hyperphos	24	85	47
1 \times Thomasphosphat	18	103	44
2 \times Hyperphos	30	116	89
2 \times Thomasphosphat	30	125	53

Gerade auf solchen Standorten mit wenig wurzellöslicher Phosphorsäure ist aber die Lösungsgeschwindigkeit des Rohphosphates und dessen Überführung in stabile Fe- und Al-Phosphate entscheidend, da hierbei pflanzenverfügbare Zwischenstufen auftreten.

Infolge langsamer und träger Umsetzung werden durch die DL- und AL-Methode noch mehr apatitische Phosphate erfaßt; dies führt zu einer Überbewertung des Nährstoffzustandes und folglich zu einer Fehlinformation hinsichtlich der pflanzenverfügbaren Phosphorsäure auf den Hyperphosteilstücken. Den Methoden nach *Schüler, Olsen, Bray* und *van der Paauw* kommt daher, gemessen am tatsächlichen P-Entzug, unter diesen Bedingungen eine höhere Aussagekraft zu.

In nachfolgender Tabelle 8 wird versucht, für beide Standorte die Korrelation zwischen den Extraktionswerten und den P-Entzügen (der der Bodenprobenahme vorausgegangenen Frucht) darzustellen. Obwohl die Zahl der Werte für diese Berechnung gering ist, geben die Ergebnisse doch gewisse Hinweise auf mögliche Zusammenhänge zwischen P_2O_5 -Werten im Boden und P-Entzügen durch die Pflanzen.

Auf dem Standort I (mit guter P-Dynamik) ergibt die DL- und AL-Methode die beste Korrelation mit dem P-Entzug; durch alle anderen Methoden ist die Pflanzenverfügbarkeit der Ca-Phosphate im Boden unterbewertet. Auf dem biologisch trägen Standort II (Pseudogley) erzielen insbesondere in der aufgekalkten Reihe die DL- u. AL-Methode nur unbefriedigende Korrelationen zum P-Entzug der Pflanzen und führen damit zu einer Überbewertung der apatitischen Phosphate; CAL, $NaHCO_3$, H_2O und NH_4F ergeben unter allen pH-Bedingungen bessere Korrelationen zwischen Extraktionswert und P-Entzug. Betrachtet man die Aussagekraft der geprüften Extraktionsmethoden über ein größeres pH-Intervall hinweg (4,9—6,2), so bringt auf dem Standort II die CAL-Methode die beste Korrelation.

Tabelle 8
Korrelationskoeffizienten (P-Entzug \times P-Extraktionswerte)
Correlation coefficients, P uptake \times P extraction values

Extraktionsmittel	Standort I	Standort II	pH 6,2	pH 4,9—6,2
	Schlag D pH 6,2	Pettenbrunn pH 4,9		
DL	0,89*	0,82	0,57	0,63*
AL	0,91*	0,87	0,69	0,71*
CAL	0,68	0,92*	0,96**	0,80**
NH_4F	0,69	0,94*	0,89*	0,66*
$NaHCO_3$	0,75	0,94*	0,93*	0,60
H_2O	0,67	0,96**	0,92*	0,74*

Früchte 1968: Schlag D: So-Raps; Pettenbrunn: Wi-Weizen

Zusammenfassung

In langjährigen P-Formen-Versuchen auf Ackerbraunerde, pH 6,2 und Pseudogley, pH 4,9 bzw. 6,2 (aufgekalkt) wurden die Erträge und P-Entzüge mit den Extraktionswerten verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden sowie mit den Ergebnissen der Phosphatfraktionierung nach *Chang* u. *Jackson* verglichen.

Die Aussagekraft der Bodenuntersuchung hinsichtlich des pflanzenverfügbaren Phosphates ist — insbesondere bei Anwendung weicherdiger Rohphosphate — sehr von der P-Dynamik des Standortes abhängig. Je nach pH, biologischer Aktivität und Transformationsvermögen des Bodens werden die apatitischen Düngerphosphate mehr oder weniger rasch pflanzenverfügbar. Weicherdige Rohphosphate führen bei höherem pH zu einem Anstieg der Calciumphosphate. Da diese durch die DL- und AL-Methode aber bevorzugt erfaßt werden, kommt es auf Standorten mit träger P-Umsetzung häufig zu höheren P_2O_5 -Werten im Boden und damit zu einer Überbewertung der pflanzenverfügbaren Phosphorsäure.

Die Bodenuntersuchungsmethoden müssen mit den Ergebnissen des Pflanzenversuches überprüft werden. Zur Beurteilung der Nährstoffversorgung ist es empfehlenswert, den Bodentyp und dessen Nährstoffdynamik mit zu berücksichtigen; die Phosphatfraktionierung nach *Chang* u. *Jackson* trägt dazu bei, diese Kenntnisse zu erweitern.

Schrifttum

1. *Bray, R. H.* und *Kurtz, L. T.*: Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* **59**, 39 (1945).
2. *Behrens, W. U.*: Die Anreicherung des Bodens durch Phosphatdüngung und ihr Nachweis mit verschiedenen Bodenuntersuchungsmethoden. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde* **96**, 35 (1962).
3. *Chang, S. C.* and *Jackson, M. L.*: Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* **84**, 133 (1957).
4. *Egnér, H.* und *Riehm, H.*: Die Doppellactatmethode, zit. in *Methodenbuch I* von *Thun, R., Hermann, R.* und *Knickmann, E.*: Neumann-Verlag, Radebeul und Berlin 1955.
5. *Egnér, H., Riehm, H.* und *Domingo, W. R.*: Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. *Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler* **26**, 199 (1960).
6. *Hofmann, Ed.* und *Amberger, A.*: Zur Phosphorsäurewirkung von Rohphosphaten in Feldversuchen. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde* **76**, 102 (1957).
7. *Hofmann, Ed., Amberger, A.* und *Wolf, L.*: Löslichkeit und Wirkung der Phosphorsäure verschiedener Phosphate. *Landwirtsch. Forsch.* **15**, 124 (1962).
8. *Olsen, R.*: Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circ. US Dep. Agric.* No. 939 (1954).
9. *Van der Paauw, F.*: Entwicklung und Verwertung einer neuen Wasserextraktionsmethode für die Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren Phosphorsäure. *Landwirtsch. Forsch.* **22**, 23/II., 102 (1969).

10. *Riehm, H.*: Die Ammoniumlactatessigsäure-Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. *Agrochimica* 3, 49 (1958).
11. *Schachtschabel, P.*: Intern. Verbandsvorschlag, nicht publ. (1966).
12. *Schüller, H.*: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Böden. *Z. Pflanzenernähr., Bodenkunde* 123, 48 (1969).
13. *Teicher, K.*: Über die verschiedenen Formen der Phosphorsäure in den Böden von langjährigen Felddüngungsversuchen. Diss. TH München-Weihenstephan (1964). [3460]

The Phosphorus Dynamics of Soft Raw Phosphate and Soil Investigation Problems

By *R. Gutser* and *A. Amberger*

In long term trials with a brown earth, pH 6.2 and a pseudogley, pH 4.9 and 6.0 when limed, yield and phosphorus uptake were compared with available phosphorus, as estimated by different methods, including *Chang* and *Jackson's* phosphorus fractionation. The evaluation of soil investigations depends very much on the dynamics of the site, especially when soft raw phosphates are being examined. The rate of availability to plants of apatite rock phosphates depends on pH, the biological activity of the soil and on its transformation power. Soft raw phosphates lead to increased levels of calcium phosphates in soils of higher pH. Available phosphorus is often over estimated in soils where P transformation is in fact low due to the ready extractability of calcium phosphates inherent in some methods. This especially applies to the lactate (*Egner-Riehm*) and the lactate-acetate (*Egner-Riehm-Domingo*) methods. Soil testing methods must be verified against plant trials. Soil type and nutrient dynamics must be considered to give accurate evaluation; *Chang* and *Jackson's* phosphorus fractionation is helpful. [3460]

Ertragsabhängigkeit des Spinats und einiger seiner wertbestimmenden Bestandteile von der Düngung

Von *D. Hulewicz**) und *E. Mokrzecka*

Aus dem Institut für Anbau und Ernährung der Gartenpflanzen
der Landwirtschaftlichen Hochschule in Lublin

(Eingegangen: 26. 4. 1971)

Trotz vieler Abhandlungen über den Einfluß mineralischer Düngung auf die Faktoren, die den Gemüseertrag bestimmen, scheinen die Folgen des Antagonismus von Nährelementen noch ungründlich erforscht zu sein. Wir erachteten es deshalb für zweckmäßig, einige von den gegenseitigen Abhängigkeiten der Nährstoffe bei Spinat zu prüfen.

*) Prof. Dr. *D. Hulewicz*, Wyższa Szkoła Rolnicza, w Lublinie, Wydział Ogrodniczy, Instytut Przyrodniczych Podstaw Produkcji Roślinnej, ul. Akademicka 15.