

Entwicklung und Verwertung einer neuen Wasserextraktionsmethode für die Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren Phosphorsäure

VON F. VAN DER PAAUW*)

Einleitung

In der Vergangenheit sind mehrere Methoden zur Feststellung der Verfügbarkeit der Bodenphosphorsäure für die Pflanze ausgearbeitet worden. Ebenso wurden bereits viele landwirtschaftlichen Erfahrungen über den Wert solcher Methoden in Feld- und Gefäßversuchen gesammelt. Die Frage liegt nahe, welche Hinweise diese Ergebnisse geben.

Die Zusammenhänge zwischen den im Boden festgestellten „Phosphorsäurezahlen“ und dem Verhalten der Pflanze waren manchmal nur mäßig. Es gibt jedoch seltene, aber sehr beachtenswerte Ausnahmen, bei denen der Zusammenhang deutlich hervortritt. Ein solches Resultat bedeutet, daß es wenigstens unter den Umständen des bezüglichen Versuches, gelungen ist, mittels einer rein chemischen Untersuchung ein genaues Urteil über die Aufnahmemöglichkeit der Pflanze abzugeben.

Bekanntlich wurden die Methoden zur Bestimmung der Phosphorsäure nach verschiedenen Prinzipien ausgearbeitet. Es ist schon eine alte Frage. Was muß man feststellen: „den pflanzenaufnehmbaren Vorrat“, „die Konzentration in der Bodenlösung“, oder „die Kapazität und Geschwindigkeit der Nachlieferung“? Mittels schwach saurer Lösungsmittel wurde oft in der Richtung der ersten, mittels Wasserextraktionen in der der letzten Möglichkeit gegangen. Nach eigenen Erfahrungen gibt die schwache Extraktion, jedenfalls für die Sandböden und bei Ackerbaupflanzen, weitaus die besseren Ergebnisse.

Anfänglich standen die Erfahrungen mit Tonböden im Gegensatz hierzu. Mit der in Holland damals üblichen Wasserextraktionsmethode wurden auf Tonböden niedrige Werte gefunden, die schlecht mit dem Verhalten der Pflanzen korrelierten. Bei genauerer Durchführung der Methode konnten Zahlen erhalten werden, die zwar niedrig waren, die aber trotzdem mit der Aufnahme durch die Pflanze gut korrelierten. Diese Ergebnisse waren deutlich besser als die mit den schwach sauren Extraktionsmitteln, wie der P-AL-Methode nach EGNÉR-RIEHM-DOMINGO.

Als es sich weiter zeigte, daß die gleichen Unterschiede in der Größe der Zahlen von verschiedenen Böden bei anderen Wasserextraktionsmethoden, oder hiermit verwandten Methoden (DIRKS-SCHEFFER, KAWÉ), viel geringer waren, wurde es klar, daß wahrscheinlich die Art der Durchführung der Extraktion hierfür verantwortlich ist.

Es erscheint, daß eine genaue Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren Phosphorsäure durchaus möglich und eine Wasserextraktion hierfür das geeignete Mittel ist, wenn nur die Extraktion in einer richtigen Weise vorgenommen wird. Es war also ratsam, die Möglichkeiten dieser Methode genauer zu untersuchen in der Hoffnung, eine Arbeitsweise zu finden, die empfindlich ist und auf allen Bodenarten gleiche Ergebnisse gibt.

*) Dr. F. VAN DER PAAUW, Institut für Bodenfruchtbarkeit, Haren-Groningen, Oosterweg 92, Niederlande.

*Landwirtsch. Forsch. 23/II. Sonderheft
(1969) 102-109.*

Durchführung der Versuche

Für die Lösung dieser Aufgabe standen die Resultate zahlreicher, bereits durchgeführter Gefäß- und Feldversuche, wovon die Bodenproben in unserer Proben-sammlung aufbewahrt waren, zur Verfügung. Weil die Anzahl dieser Versuche und ihr Umfang zu groß war, um alle möglichen Varianten der Wassereextraktions-methode hierbei anzuwenden, war es nötig, einen zu diesem Zweck besonders ge-eigneten Versuch auszuwählen. Anhand der Ergebnisse eines Gefäßversuches wurde dann die neue Methode entwickelt.

Es ist gelungen, die Extraktion mit Wasser mittels systematischer Variation der Komponente so zu gestalten, daß die Bedeutung der erhaltenen Zahlen bei allen Bodenarten in diesem Versuch fast die gleiche war.

•Darauf wurde die Methode an den Bodenproben der anderen, früher durchgeführ-ten Versuchsserien geprüft. Es ist interessant, daß für diese Beurteilung der Methode keine neuen Versuche angelegt zu werden brauchten.

Der Gefäßversuch, welcher ausgewählt wurde, ist im Jahre 1960 mit 88 nieder-ländischen Böden verschiedener Art und Herkunft durchgeführt worden. Die Boden-proben waren so gewählt, daß die mittels Wassereextraktion und nach der damals üblichen P-AL-Methode bestimmten Zahlen etwas weniger mit einander korrelier-ten als es normal der Fall ist, wofür eine Voruntersuchung für die Auswahl der Bö-den nötig gewesen ist. Dies ermöglicht eine schärfere Unterscheidung beider Me-thoden.

Die Gefäße waren nicht mit Phosphorsäure gedüngt und mit je 9 Kartoffelsprossen bepflanzt. Diese wurden grün geerntet. Auch wurde der P_2O_5 -Gehalt des Krautes bestimmt. Letzterer ist erfahrungsgemäß ein recht empfindliches Maß für die Auf-nehmbarkeit der Phosphorsäure.

Bei der Nachprüfung mit Hilfe der anderen Versuchsserien erwies es sich, daß die landwirtschaftliche Bedeutung der neuen Phosphorsäurezahl unabhängig ist vom in diesen Versuchen stark variierten Humus-, Ton- und Kalkgehalt der Böden. Auch wird sie meistens nicht beeinflusst von dem Phosphat-fixierenden Vermögen des Bodens. Unterschiede im pH haben ebenfalls keinen oder nur einen geringfügigen Einfluß auf die Bedeutung der Zahlen. Das ist bemerkenswert, weil die Verfüg-barkeit der Bodenphosphorsäure bekanntlich stark abhängig ist von dem pH. Diese Änderungen der Verfügbarkeit werden aber von der Methode in gleicher Weise registriert als von der Pflanze. Ebenso werden durch Zusatz von Humussubstanzen oder Rohphosphaten verursachte Änderungen des Phosphorsäurezustandes des Bo-dens von der Pflanze und von der Methode in gleicher Weise angezeigt. Nur in einem Fall wurde eine Abweichung gefunden, nämlich bei stark eisenhaltigen Böden.

Für Einzelheiten der Methode wird auf SISSINGH (1) verwiesen. Die wesentlichen Merkmale der Arbeitsweise sind wohl: ein weites Verhältnis zwischen Boden und Wasser, kräftiges Schütteln während einer Stunde, wobei kein Gleichgewicht er-reicht wird, und eine Vorbefeuchtung mit Wasser während 22 Stunden vor Anfang der Extraktion.

Beispiele

Die Abbildungen 1 bis 8 zeigen einige Beispiele der Korrelationen zwischen P-Wasser-Zahl (Pw-Zahl) und P_2O_5 -Gehalt und Ertrag der Pflanzen.

Der Zusammenhang zwischen Pw-Zahl und P_2O_5 -Gehalt von Kartoffelsprossen war bei allen Bodenarten (Meeres- und Flußton, Löß und Holländischem Moorkulturboden) in dem genannten Standard-Gefäßversuch ebenso gut wie bei dem gezeigten Sandboden (Abbildung 1). Alle Böden waren verschiedener Art und Herkunft; die Sandböden z. B. variierten bedeutend in Humusgehalt und pH-Wert.

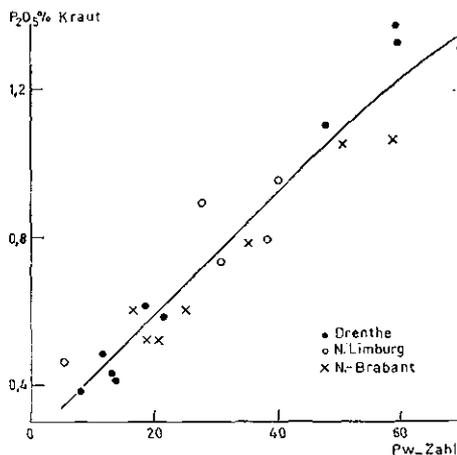


Abb. 1
Beziehung zwischen Pw-Zahl und P_2O_5 -Gehalt des Kartoffelkrautes in dem Standard-Gefäßversuch mit Sandböden verschiedener Herkunft

Die erhaltenen Kurven zeigen verhältnismäßig geringe Unterschiede (Abbildung 2). Dies trifft insbesondere zu für die mittleren Teile der Linien, die mit größerer Genauigkeit festgestellt worden sind als die Enden.

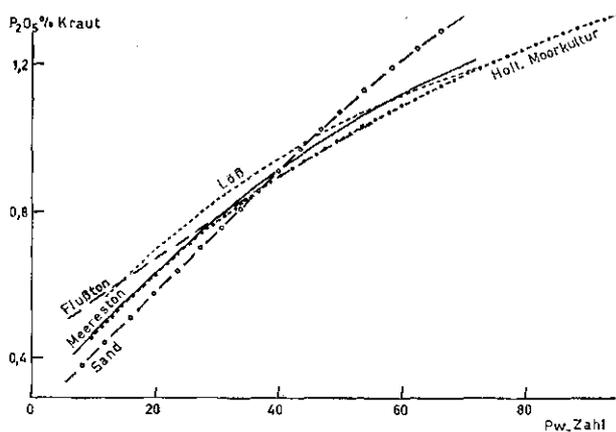


Abb. 2
Zusammenstellung aller in dem Standard-Gefäßversuch (Abb. 1) festgestellten Kurven bei fünf verschiedenen Bodenarten

Zum Vergleich wird der Zusammenhang mit der P-AL-Zahl gezeigt (Abbildung 3). Die Streuung ist insbesondere bei den Meereston- und den Sandböden groß. Nur bei Lößböden ist die Beziehung mit der P-AL- ebenso gut wie mit der Pw-Zahl.

In dem gleichen Jahr (1960) wurden 49 Feldversuche durchgeführt. Bodenproben dieser Felder waren u. a. in dem genannten Gefäßversuch vertreten. Die Düngewirkung auf den Ertrag korrelierte nur mäßig mit den Pw-Zahlen. Wahrscheinlich muß dies dem unregelmäßigen Witterungsverlauf dieses Jahres (zuerst sehr trocken, später übermäßig naß) zugeschrieben werden.

Bonitierungsunterschiede zwischen schwer und nicht mit Phosphat gedüngten Parzellen in der zweiten Hälfte von Juni zeigten einen deutlichen Zusammenhang mit den Pw-Zahlen (Abbildung 4). Die ziemlich große Streuung ist teils auf Unterschiede in Entwicklungsphase der Pflanzen auf den verschiedenen Versuchsfeldern zurückzuführen. Der Fehler der Bonitierungsunterschiede (in der Abbildung 4 in vertikaler Richtung) ist dadurch verhältnismäßig groß. Ebenso wie im Gefäßversuch wurden keine Unterschiede zwischen den Bodenarten gefunden. Mit der P-AL-Zahl wurde kein deutlicher Zusammenhang gefunden.

Abb. 3
Beziehung zwischen P-AL-Zahl und P_2O_5 -Gehalt des Kartoffelkrautes in dem Standard-Gefäßversuch bei allen Bodenarten

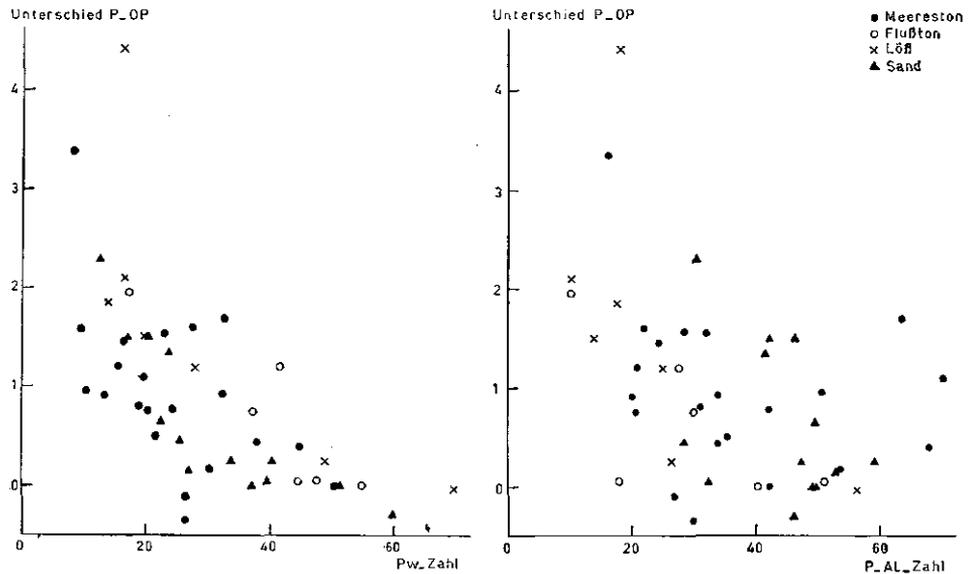
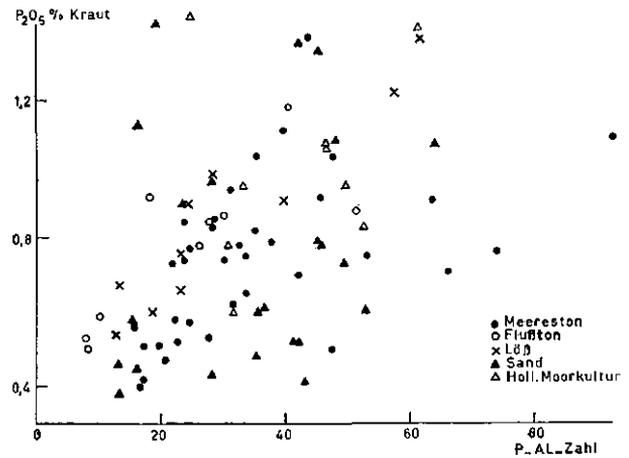


Abb. 4
Beziehung zwischen Pw-Zahl (links) und P-AL-Zahl (rechts) und den Unterschieden zwischen den bei schwerer ($300 \text{ kg/ha } P_2O_5$) und ohne Phosphorsäuredüngung auf den verschiedenen Versuchsfeldern ungefähr gleichzeitig zuerkannten Bonitierungszahlen der Kartoffeln (Skala 0—10; 10 = sehr gut)

Die Beziehung zwischen Pw-Zahl und P_2O_5 -Gehalt des in Gefäßen gewachsenen Kartoffelkrautes war auf Ton- und Lößboden bedeutend enger als mit der in 1957 noch gangbaren P-Zitronensäure-Zahl (Abbildung 5). Letztere ist der P-AL-Zahl sehr ähnlich ($\pm 15\%$ niedriger, die gegenseitige Korrelationskoeffizient beträgt $\pm 0,96$). Die Böden waren nicht nur verschiedener Herkunft, sondern auch stark verschieden in $CaCO_3$ -Gehalt und abschlämmbaren Teilen. Die Streuung war im Fall der P-Zitronensäure-Zahl vom $CaCO_3$ -Gehalt mitbestimmt, so daß die Korrelation mittels einer Korrektur für die Unterschiede in $CaCO_3$ -Gehalt merkbar verbessert werden konnte. Im Fall der Pw-Zahl war die Korrelation noch stärker. Ein Einfluß der $CaCO_3$ -Gehalten konnte nicht nachgewiesen werden. Offenbar werden die Einflüsse des Kalkgehaltes auf die Aufnehmbarkeit der Phosphorsäure durch die Pw-Zahl-Methode unmittelbar richtig erfaßt.

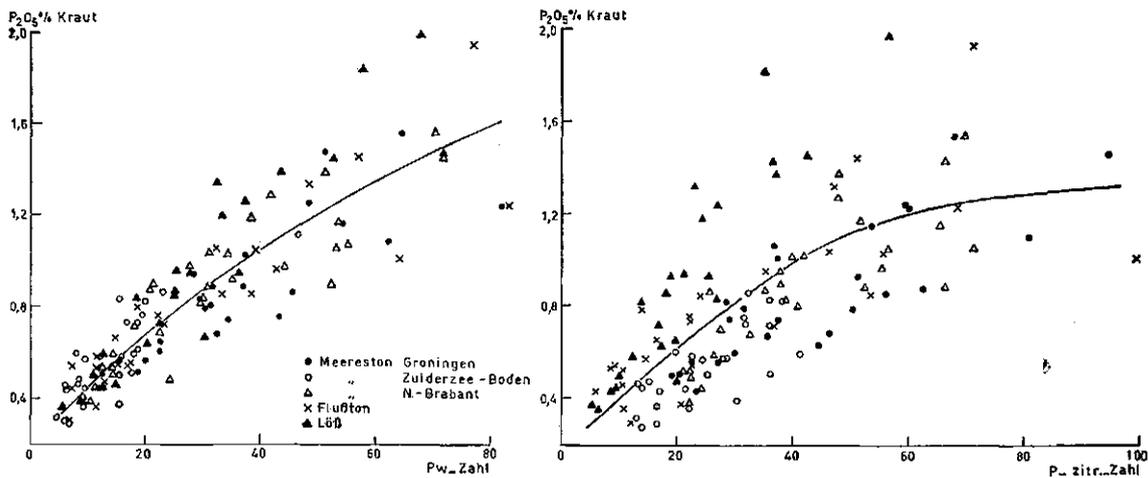


Abb. 5
Beziehung zwischen Pw-Zahl (links) und P-Zitronensäurezahl (rechts) und dem ohne Phosphorsäuredüngung erhaltenen P_2O_5 -Gehalt im Kartoffelkraut bei verschiedenen Bodenarten

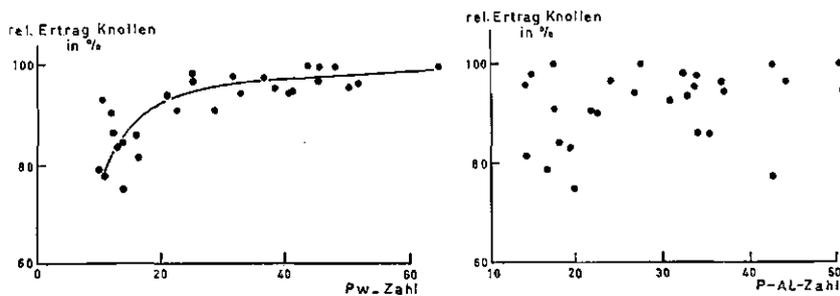


Abb. 6
Beziehung zwischen Pw-Zahl (links) und P-AL-Zahl (rechts) und den ohne Phosphorsäuredüngung erhaltenen relativen Kartoffelerträgen (in % von Volldüngung) auf Sandboden

Die ohne Phosphorsäuredüngung erhaltenen Erträge, in Prozenten der mit einer hohen Gabe (200 kg P_2O_5 /ha) erhaltenen, hingen in einer Serie von Versuchsfeldern auf Sandboden deutlich mit der Pw-Zahl zusammen, im Gegensatz zu der P-AL-Zahl (Abbildung 6).

Auf einem Versuchsfeld auf Sandboden waren 1940 ansteigende Mengen Phosphorsäure und $CaCO_3$ in verschiedenen Kombinationen als Vorratsdüngung dem Boden zugefügt worden. In den folgenden Jahren ist nicht mit diesen Stoffen gedüngt worden. 1946 waren die P-Wasser-Zahlen und pH-Werte (bestimmt in wässriger Suspension) der verschiedenen Parzellen stark unterschieden. Es zeigt sich, daß die Korrelation zwischen den P_2O_5 -Gehalt der Pflanzen und der Pw-Zahl stark und

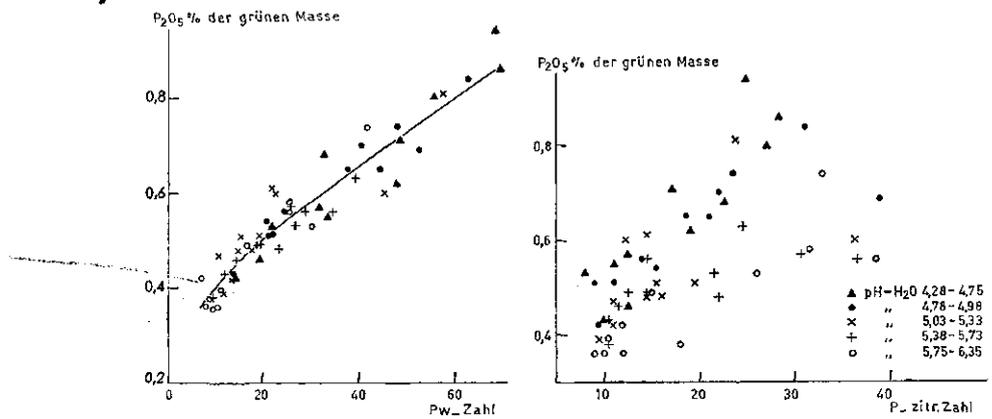


Abb. 7
Beziehung zwischen Pw-Zahl (links) und P-Zitr.-Zahl (rechts) und P_2O_5 -Gehalt des grünen Hafers auf einem Kalk-Phosphorsäure Versuchsfeld auf Sandboden

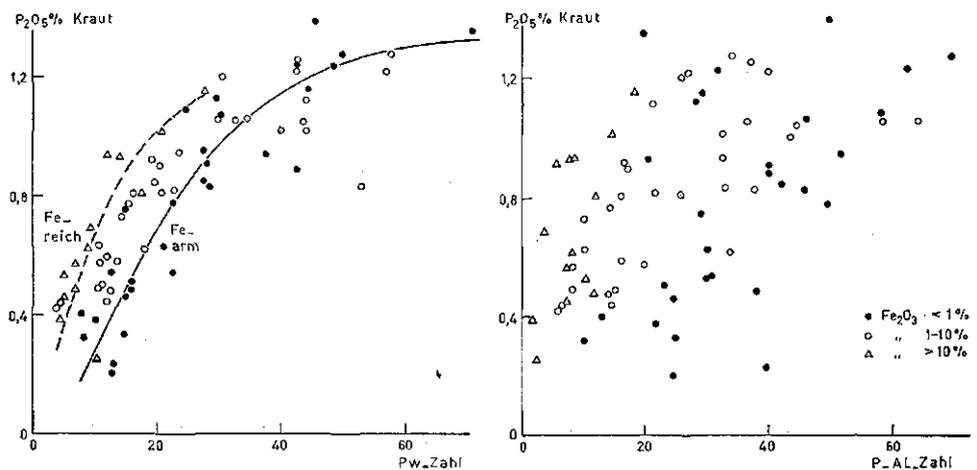


Abb. 8
Beziehung zwischen Pw-Zahl (links) und P-AL-Zahl (rechts) und P_2O_5 -Gehalt von Kartoffelsprossen in einem Geläbversuch mit eisenreichen und normalen Sandböden

außerdem unabhängig vom pH ist. Mit der P-AL-Zahl besteht nur eine deutliche Korrelation innerhalb enger pH-Klassen. Die Pw-Zahl gibt offenbar die Änderungen der Löslichkeit der Bodenphosphate in derselben Weise an, so wie diese von der Pflanze empfunden werden. In anderen Versuchen wurden hierbei nur einzelne geringe Abweichungen gefunden.

Bisher ist es nur in einem Fall nicht gelungen, eine gleiche Bedeutung der Pw-Zahlen in einem Gefäßversuch mit Kartoffelsprossen (und im nächsten Jahr mit Hafer) aufzufinden. Bei stark eisenhaltigen Erden (Abbildung 8) ist die Beziehung zwischen Pw-Zahl und P_2O_5 -Gehalt des Krautes von dem bei normalem Sandboden gefundenen abweichend (Abbildung 7). Die mittleren Unterschiede und die Streuung sind jedoch bei der P-AL-Zahl bedeutend größer.

Diskussion

Die Übereinstimmung der Bedeutung, welche den Pw-Zahlen unter fast allen Umständen zukommt, ist sehr wertvoll. Es wird möglich, die Phosphorsäureversorgung aller Bodenarten exakt untereinander zu vergleichen; Übergangsfälle zwischen Böden werden hinfällig; bei der Deutung brauchen keine andere Faktoren mit in Betracht gezogen zu werden.

Wechselwirkungen zwischen dem Gehalt an Phosphorsäure und den Klima- und Bodenverhältnissen und ihre Auswirkung auf die Pflanze bleiben selbstverständlich bestehen. Die Unzulänglichkeit der alten Methoden hat oft einem tieferen Verständnis derselben im Weg gestanden. Mit der Zunahme der Genauigkeit der Feststellung entsteht eine neue Möglichkeit, den Wert im Felde unter wechselnden Bedingungen eingehend zu studieren.

Der gefundenen auffallend hohen Korrelation zwischen Bodengehalt und Aufnahme kommt zweifellos auch theoretisches Interesse zu für das Verständnis der bei der Aufnahme den Phosphorsäure beteiligten Vorgänge (SISSINGH, 1).

Die Beratung wird sicher in individuellen Fällen genauer werden. An Hand der Zahlen allein wird aber eine Feststellung der benötigten Düngergaben zur Zeit noch nicht in allen Fällen möglich sein. Es ist nämlich nicht ausgeschlossen, daß diese Mengen, obwohl die Zahlen gleich sind, doch auf verschiedenen Böden, z. B. Sand oder Ton, schwach oder stark Phosphat-fixierenden, ungleich sind. Die vorhandenen Versuchsergebnisse genügen hierfür noch nicht. Rezente Versuche deuten an, daß ein kleiner Unterschied zwischen Ton und Sand besteht. Bei der gleichen Zahl brauchen die stärker fixierenden Sandböden wahrscheinlich eine etwas größere Düngergabe.

Die große Empfindlichkeit der Pw-Zahl-Methode hat den Vorteil, daß Änderungen des Phosphatzustandes unter Einfluß der Witterung oder der Kulturmaßnahmen, sowie der Kalkung oder der organischen Düngung, jetzt erfaßt werden können, was mit der P-AL-Methode kaum möglich war. Diese größere Empfindlichkeit kann aber andererseits ein Nachteil werden, nämlich wenn es darum geht, die zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführten Bestimmungen untereinander zu vergleichen. Bei der P-AL-Methode wurde der mittlere Fehler von im Laufe einiger Jahre an der gleichen Stelle durchgeführten Bestimmungen auf 12 % berechnet. Mit der neuen Methode wurde 16 % gefunden. Für diesen beschränkten Zweck ist also die weniger empfindliche Methode besser geeignet. Der Vergleich verliert aber teilweise seinen Sinn, wenn die landwirtschaftliche Deutung der Zahlen, so wie bei der P-AL-Methode, fragwürdig ist.

Der höhere biologische Wert der Methode hat in den Niederlanden so schwer gewogen, daß sie für Massenuntersuchung betriebsfähig gemacht worden ist und seit dem 1. August 1968 für den Ackerbau an Stelle der P-AL-Methode getreten ist.

Die erhaltene Verbesserung der Phosphorsäurebestimmung ist selbstverständlich am geringsten bei Böden mit der höchsten Korrelation zwischen den Werten der alten und der neuen Methode. Das sind in Holland die Flußton- und die Lößböden. Bei den Meereston-, mehr noch bei den humösen Sandböden, sind die Vorteile der Ersetzung am größten.

Zusammenfassung

Anhand der Ergebnisse eines Gefäßversuches mit verschiedenen Bodenarten wurde die Art der Durchführung einer Phosphatbestimmung mittels Wassereextraktion des Bodens so gestaltet, daß eine hohe Korrelation zwischen P-Wasser-Zahlen und der Aufnahme von Phosphorsäure durch die Pflanze gefunden wurde.

Sodann wurde die Methode evaluiert anhand der Ergebnisse verschiedener Serien von Gefäß- und Feldversuchen.

Es zeigte sich, daß hohe Korrelationen mit der Aufnahme durch die Pflanze gefunden wurden.

Die Bedeutung der Zahlen ist auf verschiedenen Bodenarten fast die gleiche und wird von wichtigen Bodenfaktoren, wie Humus-, Ton-, Kalkgehalt und pH, nicht oder kaum beeinflußt. Mäßige Abweichungen wurden allein gefunden bei sehr stark eisenhaltigen Sandböden.

Die Methode ist der P-AL-Methode nach EGNÉR-RIEHM-DOMINGO in den meisten Fällen weit überlegen.

Die Schwankungen der P-Wasser-Zahlen im Laufe der Zeit sind größer als die der P-AL-Zahlen, was aber nur für bestimmte Zwecke als Nachteil gedeutet werden muß.

Schrifttum

1. SISSINGH, H. A.: Die Lösung der Bodenphosphorsäure bei wäßriger Extraktion in Verbindung mit der Entwicklung einer neuen P-Wasser-Methode. Landwirtsch. Forsch., z. Z. in Vorbereitung.