

631.416.2: 631.811.2

Die optimale Versorgung von Boden und Pflanze mit Phosphor

(Aus dem Institut für Bodenfruchtbarkeit, Groningen, Niederlande)

Von F. VAN DER PAAUW

Die Frage einer ökonomischen Anwendung von Phosphatdüngern dreht sich um die Bewertung der mit der Düngung verabreichten und der in dem Boden vorhandenen Phosphate. In der deutschen Literatur gipfelt dies in der alten Streitfrage: Soll „der Boden“ oder „die Pflanze“ mit Phosphor gedüngt werden?

In den letzten Jahrzehnten hat man versucht, diese Frage durch Anwendung markierter Phosphatdünger zu lösen. Die holländischen Untersuchungen stützen sich nun völlig auf Feldversuche, mit denen schon vor 1940 begonnen wurde. Diese Arbeitsweise ist aufwendiger, sie ist aber auch umfassender, weil die Ergebnisse direkt auf die Bedingungen der Praxis anwendbar sind.

Für die Behandlung dieser Frage stehen folgende Versuche unseres Instituts zur Verfügung:

1. *Mehrfährige* Versuche, auf denen jährlich mit *steigenden Phosphatmengen* gedüngt wird. Mit Hilfe dieser Versuche kann das erwünschte Düngungssystem bestimmt werden. Sie er-

lauben aber keine Trennung der Wirkungen des Düngerphosphats von denjenigen der Bodenphosphate.

2. *Einjährige* Versuche, die in bestimmten Gebieten *in Serien* durchgeführt werden. Die Versuche werden über Flächen mit einem stark *wechselnden Phosphatzustand* des Bodens verteilt. Derartige Versuche, die mit Hinsicht auf eine eingehende Auswertung der chemischen Bodenuntersuchungen durchgeführt wurden, ermöglichen es auch, die Wirkung frisch verabreichter Dünger mit der durch die Bodenuntersuchung bestimmten, für die Pflanze aufnehmbaren Phosphatmenge des Bodens zu vergleichen.

3. *Sogen. Phosphat-Zustands-Mengen-Versuche*. Mittels verschiedener Vorratsdüngung wird ein *unterschiedlicher Phosphatzustand* des Bodens erreicht. Nach einigen Jahren, in denen

Tabelle 1

Mittlere Ergebnisse der durchgeführten mehrjährigen Mengen-Versuche

Bodenart	Pflanzenart	Anzahl der Versuchsjahre	Anzahl der Versuchsfelder	mittlere Erträge				
				0	30	70	120	200 kg/ha P ₂ O ₅
Sandboden	Alle Pflanzenarten	102	15	91,4	95,4	98,1	99,7	100
	Kartoffeln	31	15	89,5	93,2	96,1	98,5	100
	Getreide	54	14	94,8	98,1	99,9	100,6	100
	Roggen	25	11	95,6	97,9	99,3	100,0	100
	Hafer ¹⁾	20	13	93,9	99,0	101,4	101,9	100
	Gerste	8	7	(92,0)	(97,1)	(99,5)	(100)	(98,1)
Marschboden	Alle Pflanzenarten	146	21	94,5	96,8	98,5	99,7	100
	Kartoffeln	27	17	89,3	93,1	96,2	98,4	100
	Zuckerrüben	23	14	95,1	97,5	99,0	99,9	100
	Getreide	54	20	96,7	98,0	98,9	99,9	100
	Weizen	27	17	96,0	97,5	98,6	99,7	100
	Hafer ¹⁾	8	7	98,4	99,1	99,7	101,4	100
	Gerste	17	13	(97,0)	(97,6)	(98,3)	(100)	(98,5)
	Erbsen ¹⁾	13	10	96,7	98,3	98,9	99,5	100
				95,5	98,7	99,6	100,5	100
				(95,0)	(97,2)	(99,1)	(100)	(99,5)

¹⁾ Höchstertrag mit 120 P₂O₅ = 100 in Klammern

sich ein Gleichgewichtszustand zwischen den angewandten Phosphaten und den Bodenphosphaten eingestellt hat, werden bei sämtlichen Phosphatzuständen normale Phosphatmengen-Versuche durchgeführt. Die gesamten Versuche ermöglichen dann einen Vergleich zwischen der Wirkung der Bodenvorräte und der frisch angewandten Phosphatdünger innerhalb der gleichen Versuchsfläche.

ad 1: Die genannten *mehrfährigen* Versuche wurden auf den Sand- und Marschböden der Niederlande regelmäßig verteilt durchgeführt. Die mittleren Ergebnisse dieser Versuche sind in Tab. 1 dargestellt.

Sehr auffallend ist das *Ansteigen* der mittleren Erträge bis zur höchsten Gabe. Dieses Ergebnis rührt aber größtenteils von der großen Bedürftigkeit der *Kartoffel* her, bei der eine regelmäßige jährliche Düngung mit 200 kg/ha P_2O_5 in Form von *Superphosphat* noch deutlich höhere Erträge ergeben hat als die bereits sehr starke Düngung mit 120 kg. Dies wurde sowohl auf Sand- wie auf Marschböden festgestellt, wobei zufälligerweise die auf beiden Bodenarten erhaltenen Zahlen sehr ähnlich sind. Das trifft *nicht* zu für die *Getreidearten*, die im Vergleich zur Bedürftigkeit der *Kartoffel* auf Marschböden *weniger anspruchsvoll* sind als auf Sandböden. Auch *Rüben* und *Erbsen* haben einen *geringen Phosphorbedarf*. Es ist also klar, daß ein für die anderen Pflanzenarten genügend mit Phosphor versorgter Boden für *Kartoffeln* noch ungenügend versorgt sein kann. Bei dem Bestreben, einen ausreichend mit Phosphor versorgten Boden zu bekommen, muß also der Zusammensetzung der üblichen *Fruchtfolge* Rechnung getragen werden. Die *Bodenuntersuchung*, über deren Auswertung im vorigen Jahre in *Münster* das Nötige gesagt wurde (3), soll die Normen feststellen, nach denen die Düngermengen zu bemessen sind.

ad 2: Die zahlreichen *einjährig*en Versuche, die in den *Niederlanden* insbesondere auf *Grünland* durchgeführt wurden, dienten, wie gesagt, in erster Linie der Auswertung der Bodenuntersuchung. Es wurde u. a. gezeigt, daß die *P-Citronensäure-Methode* und die hiermit sehr verwandte heutige *P-Ammoniumlactat-Essigsäure-Methode* (P-Al-Methode nach EGNER-RIEHM-DOMINGO) bei *Grünland* im allgemeinen und bei *Ackerland* auf *Marschböden* befriedigende Re-

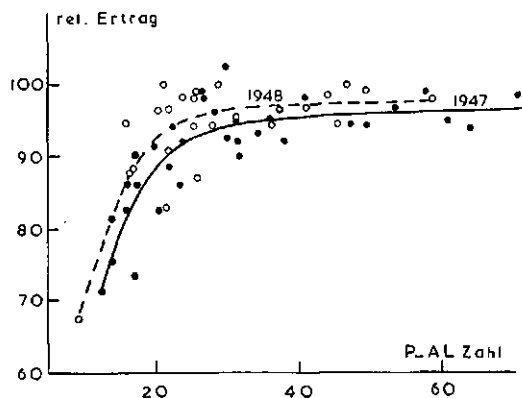


Abb. 1
Beziehung zwischen P-Al Zahl und den relativen Erträgen von Grünland auf Tonboden in 2 Versuchsjahren (Ertrag ohne P in % des Höchstertrages des Versuchsfeldes)

sultate ergeben (2). Abb. 1 zeigt hierfür ein Beispiel. Bei Ackerland auf humosen Sandböden scheinen aber, wie unsere neuesten Ergebnisse zeigen, die Methoden mit *schwächeren Lösungsmitteln*, wie z. B. unsere Methode mit warmem Wasser, bedeutend *bessere Ergebnisse* zu bringen.

Die in Abb. 1 gezeigte Kurve gibt die Beziehung zwischen dem Gehalt an *verfügbarem Phosphor* im Boden und den relativen, *ohne Phosphatdüngung* erhaltenen Erträgen wieder. Gleichartige Kurven können auch für die mit verschiedenen Düngergaben erhaltenen Erträge bestimmt werden. Die Zusammenstellung aller Ergebnisse gibt dann einen klaren Eindruck von der Wirkung des angewandten *Superphosphats* und dem durch die Bodenuntersuchung gekenn-

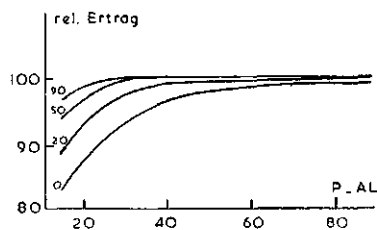


Abb. 2
Düngerwirkung in Abhängigkeit vom P-Zustand des Bodens auf Grünland

zeichneten Phosphor des Bodens (Abb. 2). Weil aus diesen Versuchen auch abgeleitet werden konnte, wieviel Phosphor benötigt wird, um die

P-Al-Zahl um eine Einheit zu steigern, kann das Verhältnis zwischen der Wirkung einer bestimmten Menge Dünger-Phosphor und der gleichen im Boden gebundenen Menge berechnet werden. Dieses Verhältnis ist u. a. abhängig von den *Bodeneigenschaften*. Im Durchschnitt wurde ein Faktor von ungefähr 3 gefunden. Eine Menge frisch angewandten Phosphors in Form von *Superphosphat* kann also auf *Grünland* um 3 mal höher bewertet werden als eine gleiche noch von früheren Düngungen herstammende Phosphormenge im *Boden*. Hieraus folgt, daß einer *regelmäßigen jährlichen* Düngung ein relativ hoher Wert zukommt.

Man kann aber fragen, ob diese Versuche auf *Grünland* nicht dem Düngerphosphat einen zu hohen Wert beilegen. Es ist doch bekannt, daß die Qualität der *Grasnarbe* sich unter dem Einfluß einer *regelmäßigen Düngung* allmählich verbessert, was auch die Produktionsfähigkeit beeinflusst. Möglicherweise werden also die mittels reichlicher Phosphatdüngung erhaltenen Höchstserträge der ärmeren Teilstücke nicht denjenigen der reicheren Teilstücke gleich sein, so daß dann die relativen Erträge, welche die Erträge der ungedüngten Parzellen in Prozenten der Höchstserträge der betreffenden Versuchsfelder wiedergeben, als Maß ungeeignet sind, weil sie zu hoch ausfallen. Dies würde eine zu niedrige Bewertung des Bodenphosphors bedeuten. Obwohl dieser Einwand für die mitgeteilten Versuche nicht oder jedenfalls nur wenig zutrifft, weil in allen Fällen von *Grünland* in relativ gutem Kulturzustand ausgegangen ist und gezeigt wurde, daß die Höchstserträge hier bei reichlicher P-Düngung auf ähnlicher Höhe lagen, so ist er doch bei in schlechtem Zustand befindlichen *Grünland* sicher berechtigt. Hier muß also eine Verbesserung des Phosphatzustandes des Bodens neben anderen Kulturmaßnahmen angestrebt werden.

ad 3: Die genannten *P-Zustands-Mengen-Versuche* des dritten Typs sind direkt auf die Lösung unserer Frage gerichtet. Ein Beispiel mag erläutern, welcher Art die Ergebnisse sind, die mittels dieser Versuche erhalten werden.

Die Versuche zeigen im allgemeinen eine relativ bessere Wirkung des *frisch verabreichten* Phosphors. Nur in 2 von insgesamt 44 Versuchen, bei denen eine deutliche Wirkung des Phosphors festgestellt wurde, kam der Dünger-

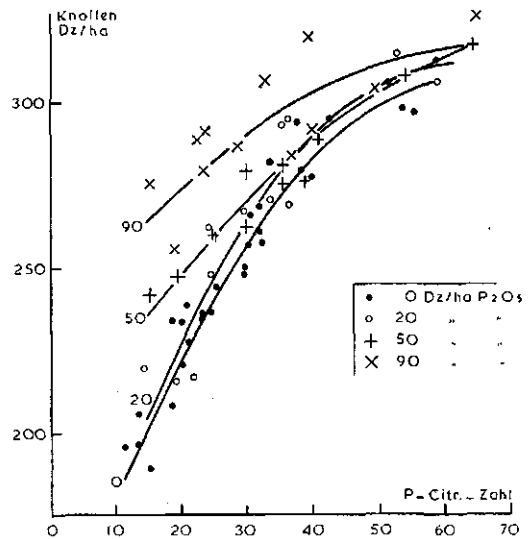


Abb. 3

Wirkung einer frisch gegebenen P-Düngung bei verschiedenem P-Zustand des Bodens

phosphor nicht zur Geltung, obwohl eine Nachwirkung des früher verabreichten Phosphors unverkennbar war. Diese beiden Versuche waren im extrem trockenen Jahre 1947 durchgeführt, was das Ausbleiben einer Düngerwirkung erklären könnte. Diese und noch einige zweifelhafte Fälle zeigen, daß man sich nicht unter allen Umständen auf die Düngung verlassen kann. Davon abgesehen war die Wirkung des *Düngerphosphors* derjenigen einer gleichen Menge *Bodenphosphor* weitgehend überlegen. Gefunden wurde eine durchschnittliche Verhältniszahl von 3,5, also wenig verschieden von dem auf *Grünland* gefundenen Verhältnis. Wesentliche Unterschiede zwischen *Sand-* und *Marschboden* waren nicht nachweisbar, ebensowenig wie zwischen den *Pflanzenarten*. Als Mittelwert von 15 Versuchen mit *Getreide* wurde z. B. eine Zahl von 3,0 gefunden, bei *Kartoffeln* in 17 Versuchen von 3,5; bei *Rüben* war die Zahl vielleicht etwas höher. Es dürfte jedenfalls klar sein, daß eine Erhöhung des Bodenvorrats sicherlich nicht die einzige Lösung der Phosphorfrage darstellt, und daß die Düngung der *Pflanze* nicht zu vernachlässigen ist.

Derartige Ergebnisse sind aber weitgehend abhängig von der *Anwendungsweise*. Bei den genannten Versuchen wurde der Dünger meist

im Frühjahr breitwürfig gestreut. In den Reihen-
düngungsversuchen unseres Instituts (3, 4), in
denen der Phosphor als *Streifendüngung* neben
den Pflanzenreihen verabreicht wurde, ergab
diese Anwendungsweise bei *Getreide* durch-
schnittlich eine 2,4 mal, bei *Kartoffeln* eine 1,9
mal größere Wirkung als die breitwürfige An-
wendung. Sehr große Wirkungen wurden er-
halten bei *Mais* (3 mal) und bei in großem
Reihenabstand gezogenen *Hülsenfrüchten* (mehr
als 4 mal). Die Wirkung eines frisch verabreichten
P-Düngers kann also noch beträchtlich ge-
steigert werden; sie beträgt unter diesen Um-
ständen das 5- bis 10fache der Wirkung des
Bodenphosphors.

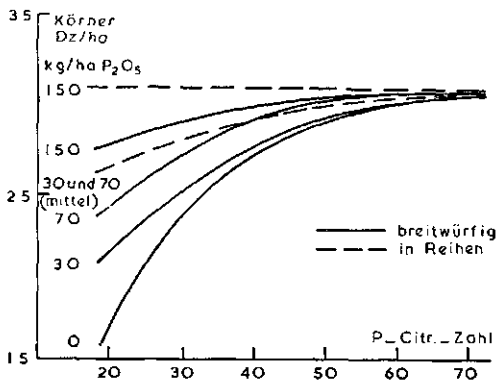


Abb. 4

Wirkung von breitwürfig gestreutem Dünger
und Reihendüngung mit Superphosphat im
Vergleich zur Wirkung des Bodenvorrats

Ein schönes Beispiel des Gesagten gibt Abb. 4.
In dem Versuch wurden *Streifendüngung* und
breitwürfige Düngung bei verschiedenem P-Zu-
stand des Bodens verglichen.

Wichtig ist auch die *chemische* Form des ver-
abfolgten Düngemittels. Das bisher Gesagte ist
auf die *langsamer* zur Wirkung kommenden
Phosphatdünger, wie z. B. *Thomasmehl* oder den
gekörnten, den Phosphor in Form von *Dicalcium-*
phosphat enthaltenden *Phosphatammonsalpeter*
nicht völlig anwendbar. Bei *Thomasmehl* ergibt
eine frühere Anwendungszeit oft bessere, dem
Superphosphat gleichwertige Resultate (Abb. 5).

Die direkte Wirkung des *Phosphatammonsal-*
peters beträgt nicht viel mehr als etwa 60% der-
jenigen des *Superphosphats*; die *Nachwirkung*
im zweiten Jahre ist aber *besser*, weil es weniger

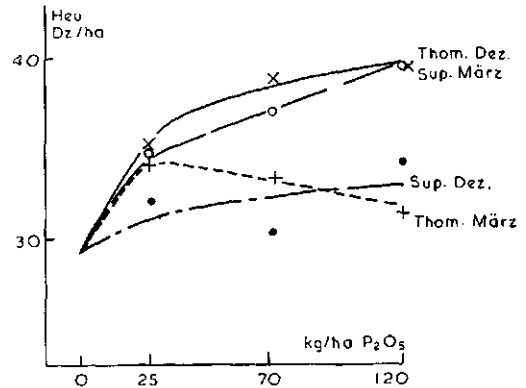


Abb. 5

Wirkung von Superphosphat und Thomasmehl
bei verschiedener Anwendungszeit auf den
Ertrag von Grünland auf Moorboden

leicht festgelegt wird. Es bleibt dann noch frag-
lich, wie sich dies bei regelmäßiger jährlicher
Düngung auswirkt. Noch stärker ausgeprägt sind
die Schwierigkeiten, denen man bei der Dün-
gung mit *schwerer löslichen Rohphosphaten* be-
gegnet. Es ist also keine leichte Aufgabe, die
Phosphatdüngemittel, die außerdem noch Neben-
wirkungen zeigen, exakt zu bewerten.

Außer der Frage, wie der Düngerphosphor
und der Bodenphosphor vergleichend zu bewer-
ten sind, soll auch erörtert werden, welche *Phos-*
phatmengen benötigt werden, um den Boden-
vorrat auf einen erwünschten Stand zu erhöhen.
Diese Menge hängt ab vom *Gewicht der Krume*,
vom *Grad der Festlegung* und von etwaigen
durch *Luxuskonsum* und *Auswaschung* auftre-
tenden *Verlusten*.

Bei *flacher* Krume ist selbstverständlich der
Gehalt mit einer gleichen Menge Phosphor viel
leichter zu erhöhen als bei einer *tiefen* Krume.
Wie PRUMMEL (5) in Versuchen mit verschiede-
nen Krumentiefen nachweisen konnte, ist die
Wirkung einer Erhöhung des Gehalts fast *un-*
abhängig von der *Krumentiefe*. Es ist also die
Konzentration, die ins Gewicht fällt, nicht aber
die gesamte vorhandene Menge. Dieses Ergeb-
nis ist im Hinblick auf die Bewertung der *chemi-*
schen Bodenuntersuchungen wichtig; es bestä-
tigt die Erkenntnisse, die beim Studium der
Reihendüngung erhalten wurden. Es kann ferner
erklären, warum der Gehalt der *flachen* Gras-
narbe, in der sich der Phosphor angereichert hat,

maßgebend für die Aufnahme ist und ihm fast ein gleicher Wert zukommt wie demjenigen der *Ackerkrume*. Die Verbesserung des P-Zustandes des Grünlands ist also mit relativ geringem Aufwand zu erreichen.

Luxuskonsum der Pflanze bei sehr reichlicher Ernährung kommt vor, spielt aber in der Phosphorbilanz keine wichtige Rolle. Von größerer Bedeutung sind die *Festlegung* und - in bestimmten Fällen - die *Auswaschung*. Einblick in deren Bedeutung ergeben die jährlich auf den mehrjährigen Versuchsfeldern durchgeführten Bodenuntersuchungen.

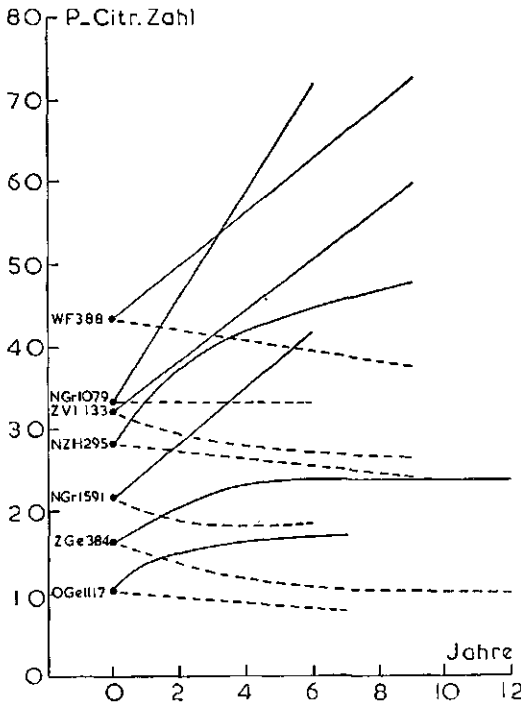


Abb. 6

Änderung der P-Citronensäurezahl bei jährlicher P-Düngung mit 200 kg/ha P_2O_5 (ausgezogene Linie) und ohne P-Düngung (gestrichelte Linie) in einigen charakteristischen Fällen auf Marschböden. Die Versuchsfelder OGe 1117 und ZGe 384 liegen auf phosphatfixierenden Flußtonböden (horizontale Abbiegung der Kurve), die anderen auf Meerestonen. NZH 295 bildet eine Übergangsform

Ein gradliniges Ansteigen der P-Citronensäure-Zahlen wurde bei reichlicher jährlicher Düngung überwiegend auf den Marschböden gefunden (Abb. 6). Die Neigung der Linien ist

aber verschieden, abhängig von *Krumentiefe* und *Grad der Festlegung*. Bei Unterlassen der Düngung fallen die Zahlen mehr oder weniger gradlinig ab.

In *Ausnahmefällen* wird man jedoch ein anderes Bild bekommen. Bei 2 Versuchsfeldern auf *Flußtonboden* ist die P-Citr.-Zahl nur in den ersten Jahren gestiegen. Der fast horizontale Verlauf in den späteren Jahren ist auf eine totale Festlegung des vor einigen Jahren angewandten Phosphors zurückzuführen. Eine solche Festlegung verläuft indessen langsam. Bei solchen Böden ist es also zwecklos zu versuchen, den Vorrat zu erhöhen. Der Phosphorbedarf wird größtenteils durch die vorübergehend gut aufnehmbaren P-Dünger gedeckt. Die Art der Anwendung ist hier wichtig.

Auf Sandböden ist die Kurve meist mehr oder

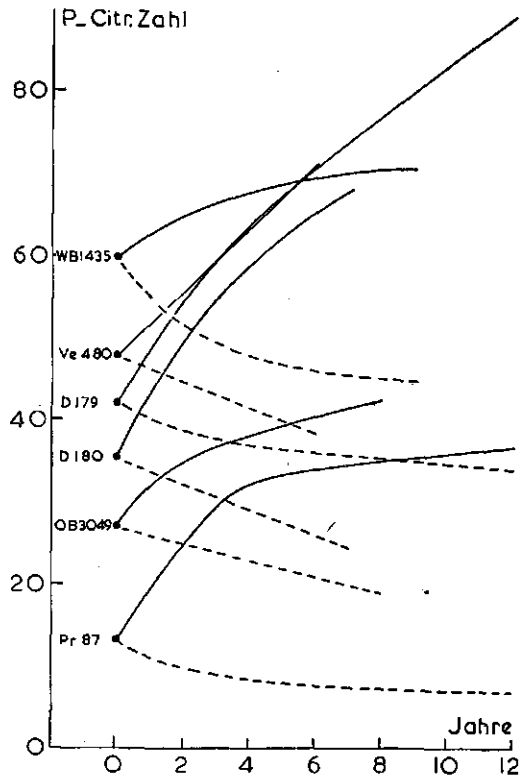


Abb. 7

Dasselbe wie Abb. 6, jedoch für einige Sandböden. Starke Verluste durch Auswaschung (horizontale Abbiegung der Kurve) sind bei den Versuchsfeldern Pr 87, OB 3049 und WBl 1435 aufgetreten

weniger konvex gebogen (Abb. 7). Diese Abbiegung ist aber in vielen Fällen nicht durch *Festlegung*, sondern durch *Auswaschung* bedingt, wie Untersuchungen des Untergrunds bestätigen. Bei *reichlich* versorgten Böden, wie wir sie oft auf den *holländischen Sandböden* antreffen, können beträchtliche *Verluste* entstehen. Es kann z. B. auf dem *Torf-Sandgemisch* der urbar gemachten *Hochmoore*, wo der Phosphor sehr beweglich ist, vorkommen, daß fast die gesamte nicht aufgenommene Menge durch *Auswaschung* *verlorengeht*. Auch hier ist die Bildung eines Vorrats nicht möglich; die Löslichkeit des Phosphors ist aber so hoch, daß dies auch nicht nötig ist.

Die große Bedeutung, die dem *wasserlöslichen* Anteil des Bodenphosphors nach den neuesten Versuchsergebnissen zukommt, ermöglicht es, den Phosphatzustand von Böden, in denen sich günstige Verhältnisse zwischen leicht und schwerer löslichem Phosphor vorfinden, mit geringem Aufwand zu verbessern. Die *Löslichkeitsverhältnisse* sind anscheinend nach neueren Versuchen maßgebend für die Anwendbarkeit von *schwer löslichen Phosphaten*. Diese Phosphate zeigen eine sehr gute Wirkung auf Böden mit relativ hohem Anteil an wasserlöslichem Phosphor, wogegen sie bei Böden mit einem niedrigen Anteil versagen. Bei letzteren wird unser Bemühen sich auf eine Verbesserung jener Faktoren richten müssen, die für die Löslichkeit des Bodenphosphats verantwortlich sind. Mittels *organischer* Düngung konnte in einigen Untersuchungen eine beträchtliche *Abnahme der P-Bedürftigkeit* beobachtet werden. Bei weiteren Studien zur Lösung dieser Frage wird die Hilfe des Bodenchemikers nicht entbehrt werden können.

Die Feldversuche, die über eine Zeitspanne von etwa 20 Jahren gelaufen sind, haben eine Analyse der für die Frage der *optimalen P-Düngung* in Betracht kommenden *Faktoren* ergeben. Die künftigen Untersuchungen werden sich mit der Synthese der erhaltenen Daten mit Rücksicht auf die ökonomische Seite der Frage befassen.

Geplant ist eine *ökonomische Durchforschung* der erhaltenen Resultate. In dieser Weise hoffen wir, so exakt wie nur etwa möglich, ökonomisch angeben zu können, welche Bedeutung der direkten Düngung der Pflanze und welche der Anreicherung des Bodens zuzuerkennen ist, und wie weit folglich die letztere unter verschiedenen Umständen gehen muß. Erst dann wird die alte Streitfrage für unsere Verhältnisse ihrer endgültigen Lösung nahekommen. Vorläufig müssen wir uns noch mit den Empfehlungen begnügen, die wir, hauptsächlich auf Grund von Rückschlüssen aus den vorliegenden naturwissenschaftlichen Untersuchungen, geben können. Das letzte Wort gehört aber der Ökonomie.

Schrifttum

1. VAN DER PAAUW, F.: Phosphorus level of the soil in relation to phosphatic dressing, need of crops, leaching and fixation. 6. Congr. Intern. Sci. Sol; Paris IV, 24, 159—165, 1956.
2. VAN DER PAAUW, F.: Die Auswertung der Bodenuntersuchung auf Phosphorsäure und Kali in den Niederlanden. Landwirtsch. Forsch. 12. Sonderheft, 86, 1959.
3. PRUMMEL, J.: Fertilizer placement experiments. Plant a. Soil 8, 231, 1957.
4. PRUMMEL, J.: Placement of fertilizers. 6. Congr. Intern. Sci. Sol; Paris IV, 25, 167—171, 1956.
5. PRUMMEL, J.: Betekenis van de bouwvoordikte voor de interpretatie van de analyseresultaten van het chemische grondonderzoek. Landbouwk. T. 60, 703, 1957.