

SONDERDRUCK

aus

LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG

zugleich Zeitschrift des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Herausgegeben von

H. Kick

Bonn

H.-J. Oslage

Braunschweig-Völkenrode

U. Ruge

Hamburg

F. Scheffer

Göttingen

E. Schlichting

Stuttgart-Hohenheim

L. Schmitt

Darmstadt

W. Wöhlbier

Stuttgart-Hohenheim

BAND XXII · HEFT 1

1969



J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG, FRANKFURT AM MAIN

LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG

BAND 22

HEFT 1

INHALTSVERZEICHNIS

AUFSATZE

<i>H. Lorenz</i>	Pool-Aminosäuren während des Wachstums und der Entwicklung einiger Weizensorten. <i>III. Der Einfluß unterschiedlicher Stickstoffdüngung in Kombination mit Cycocel und der Vorfrucht auf den Pool in den Blättern sowie Pool-Aminosäuren in Blättern einiger Landsorten verglichen mit einer Intensivsorte</i>	1
<i>A. Amberger, G. Sommer und A. Süß</i>	Umsetzungen von wasserlöslichem Düngerphosphat in verschiedenen Böden	10
<i>F. Zürn</i>	Grünlanderträge und Bodenuntersuchungen unter dem Einfluß von Standort und Nutzung	26
<i>H. Kick und E. Große-Brauckmann</i>	Zur Technik des Gefäßversuchs mit Wintergetreide	34
<i>H.-J. Lantzs, W. Schneider und K.-H. Menke</i>	Verdaulichkeit von Haferschalen und Haferschälkleien nach Untersuchungen mit Hammeln und Schweinen	39
<i>W. Wöhlbier und H. Gießler</i>	Der Futterwert von Macoya-Fruchtfleisch-Expellern und von getrockneten Malzkaffeetrebern bei Wiederkäuern	51
<i>A. Grahl</i>	Beeinflussung des Auswuchses bei Roggen	55
<i>K. Sommer</i>	Wachstums- und Ertragsbeeinflussung bei Weidelgras durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln	64
<i>F. Holz</i> unter Mitarbeit von <i>H. Kremers</i>	Die automatische Analyse der Lösungen von Pflanzenaschen mit dem Autoanalyser. <i>III. Mitteilung: Die automatische Bestimmung von Kupfer</i>	70
BUCHBESPRECHUNGEN		77

Zur gfl. Beachtung. Diesem Heft liegen Titelblatt, Inhaltsverzeichnis und Register zu Band XXI (1968) und zum 22. Sonderheft der Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ bei.

Impressum und redaktionelle Anweisungen siehe 3. Umschlagseite

Umsetzungen von wasserlöslichem Düngerphosphat in verschiedenen Böden*)

(Aus der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz,
München; Präsident: Dr. R. H. MAYER)

Von A. AMBERGER**), G. SOMMER***) und A. Süß***)

Eingegangen am 24. 9. 1968

Die Phosphate der Handelsdünger werden von den Kulturpflanzen in einem Jahr nur zu etwa 10 bis 25 % ausgenutzt. Ihr vergleichsweise geringer Nutzeffekt rührt daher, daß die löslichen Phosphate im Boden sehr bald in schwerer lösliche Verbindungen übergehen bzw. ihre Verfügbarkeit von vornherein aufgrund einer geringen Löslichkeit begrenzt ist. Die Wirkung der Phosphatdüngung hängt also ganz allgemein davon ab, welche Umsetzungen in den jeweiligen Böden stattfinden und wie rasch diese ablaufen. Der begreifliche Wunsch, in diese Vorgänge steuernd einzugreifen, verlangt indes eine genaue Kenntnis der Phosphatdynamik im Boden. Es hat daher nicht an Versuchen gefehlt, die Reaktionen, insbesondere der wasserlöslichen Phosphate im Boden, aufzuklären (1, 2, 3, 4, 5). In Modellversuchen können die verwickelten Gleichgewichtsverhältnisse im Boden allerdings meist nur unvollkommen berücksichtigt werden; ferner sind im Boden bereits beträchtliche Mengen an Phosphaten in verschiedenen Bindungsformen vorhanden, deren Natur weitgehend unbekannt ist.

Eine von CHANG und JACKSON (6) ausgearbeitete Methode gestattet es, die Bodenphosphate auf Grund ihrer Löslichkeit in $N NH_4Cl$, $0,5 N NH_4F$, $0,1 N NaOH$, $0,5 N H_2SO_4$ und $0,3 N Na-Citrat + Na_2S_2O_4$ hinreichend zu charakterisieren; der Umstand aber, daß Neubildungen bzw. Veränderungen jeweils nur aus der Differenz der gleichen Fraktionen bestimmt werden können, erfordert hohe Phosphatgaben, um überhaupt gesicherte Unterschiede zu erhalten. Markiert man das zugesetzte Phosphat aber mit ^{32}P , so lassen sich die Reaktionsprodukte direkt und selbst bei geringen Düngermengen noch recht genau erfassen. Allerdings muß im Auge behalten werden, daß Austauschvorgänge zwischen markiertem Phosphat und Bodenphosphat (7, 8, 9) unter Umständen die Aussage verfälschen können.

Die Ergebnisse eines Düngungsversuches in Gefäßen ohne Pflanzenbewuchs, bei dem der Boden ungedüngt bzw. 4 Monate nach der Abdüngung nach JACKSON fraktioniert wurde, gaben Anlaß, die Umsetzungen von wasserlöslichem Düngerphosphat in verschiedenen Böden mit Hilfe von ^{32}P -markiertem Phosphat zeitlich zu verfolgen. Das zugesetzte Phosphat wurde in gewissen Zeitabständen in den einzelnen Fraktionen sowohl radiometrisch als auch chemisch in der üblichen Weise bestimmt. Aus den Ergebnissen wurde versucht, Beziehungen zu allgemein kennzeichnenden Daten der verwendeten Böden herzustellen. Auf diese Weise konnte die Aussagekraft der Untersuchungen erhöht und eine vorsichtige Verallgemeinerung gewagt werden.

Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden an Proben aus der Krume von 13 Ackerböden aus verschiedenen Landschaften Bayerns vorgenommen. Die Auswahl umfaßt sowohl unterschiedliche geologische Formationen, als auch die wichtigsten Bodenarten von lehmigem Sand bis Ton, vom Kalkboden bis zum kultivierten Hochmoor; die Bodenreaktion reicht von stark sauer bis alkalisch, der Gehalt an organischer Substanz von 2,4 bis 92 %. Aufschluß über Herkunft der Böden und allgemein kennzeichnende Analysendaten gibt Tabelle 1.

*) Vortrag anläßlich der Jahrestagung des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten in Kassel am 28. 9. 1967

***) Institut f. Pflanzenernährung, 805 Freising-Weihenstephan

***) Bayer. Landesanstalt f. Bodenkultur, Pflanzenbau u. Pflanzenschutz, 8000 München, Menzingerstr. 54

Tab. 1
Herkunft und allgemein kennzeichnende Daten der verwendeten Böden

Bezeichnung	Ort und Kreis	geologische Formation	pH (KCl)	CaCO ₃ %	Ton und Schluff (< 20 µ) %	org. Subst. %	AK mval/100 g Boden	laktatlösl. P ₂ O ₅ mg/100 g Boden	laktatlösl. K ₂ O mg/100 g Boden
388 a	Zenting/Grafenau	Granit	4,2	0	41,1	5,0	17,6	15	22
389 a	Sandzell/Schrobenhausen	obere Süßwassermolasse	5,4	0	26,0	3,4	12,0	4	15
385 a	Neu Gmein/Eggenfelden	Lößlehm	5,4	0	55,4	2,4	12,8	2	11
391 a	Wernsbach/Schwabach	Burgsandstein	5,7	0	20,4	4,1	14,4	12	34
387 a	München-Nymphenburg	Niederterrassenschotter	6,3	0	48,5	3,1	15,9	10	15
390 a	Weißkirchen/Eichstätt	weißer Jura (Malm)	7,1	1,6	61,4	3,3	20,7	31	20
2511 a	Königshofen	Lettenkeuper	7,1	1,8	85,7	4,6	35,1	40	41
386 a	Bürgerschwaige/Neuburg	alluv. Donauabsatz	7,4	26,8	68,0	5,2	27,8	2	35
1926 a	Ampermoos/Dachau	alluv. Amperabsatz	7,4	23,6	32,7	6,1	22,8	6	23
1925 a	Zengermoos/Erding	Anmoor auf Almkalk	7,7	50,0	22,5	29,0	77	9	51
1924 a	Schleißheim/München	Niedermoer	7,3	3,9	—	64,6	83	9	50
1923 a	Karlshuld/Ingolstadt	Niedermoer	6,2	0	—	73,7	107	31	91
1922 a	Bernau/Traunstein	Hochmoer	4,4	0	—	92,0	122	8	33

Untersuchungsmethoden: pH in N KCL — CaCO₃ nach PRESENTUS — Korngrößenfraktionierung nach KÖHN — organische Substanz nach SPRINGER und KLEE, bei Moorböden aus dem Glühverlust — Austauschkapazität (AK) nach MEHLICH — laktatlösliche Nährstoffe nach EGNER-RIEHM.

Die Düngung erfolgte mit einer ^{32}P -markierten Monocalciumphosphatlösung (ca. 0,3 mC ^{32}P) in Höhe von rund 100 mg P/kg, entsprechend 22,9 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g Boden.

Um das Phosphat ohne größeren Wasserzusatz möglichst gleichmäßig mit dem Boden zu vermischen, wurde eine Vorrichtung konstruiert, bestehend aus einer Plexiglastrommel mit Mitnehmerleisten im Inneren, die beim Rotieren — nach der Arbeitsweise eines Betonmischers — einen stetig fallenden Bodenschleier erzeugt. Darauf wurde axial Düngerlösung feinst versprüht. Bei richtiger Abstimmung von Umdrehungszahl, Sprühmenge und Sprühdruck nimmt der Boden die Flüssigkeit auf, ohne zu klumpen oder sich an die Wandung anzulegen. Mehrfach durchgeführte Messungen der Radioaktivität ergaben eine gleichmäßige Verteilung des Phosphats.

Die Böden — je 200 g — wurden dann in Neubauerschalen überführt und blieben abgedeckt bei Raumtemperatur und mit 60 % der vollen Wasserkapazität 14 bis 16 Wochen stehen. In bestimmten Zeitabständen wurden Proben entnommen, fraktioniert und chemisch sowie radiometrisch untersucht.

Das Gesamtphosphat der Böden wurde vergleichshalber mittels Perchlorsäureaufschluß nach BOHNE u. a. (10), das organische Phosphat nach Angaben von МЕНТА u. a. (11) bestimmt. Die Fraktionierung des anorganischen Phosphats erfolgte nach dem Prinzip von CHANG und JACKSON (6) in einer früher von uns beschriebenen modifizierten Arbeitsweise (12). Die Messung der ^{32}P -Aktivität in den Extrakten erfolgte mittels eines Flüssigkeitszählrohres.

Ergebnisse

1. Phosphatbindungsformen der ungedüngten Ausgangsböden

Aufschluß über Menge und Zusammensetzung des Phosphats der ungedüngten Böden gibt Tabelle 2.

Dem üblichen Sprachgebrauch folgend, wird das mit verschiedenen Lösungen extrahierbare Phosphat als Aluminiumphosphat, Eisenphosphat usw. bezeichnet. Im Prinzip handelt es sich dabei aber nicht um definierte Salze, wie z. B. AlPO_4 oder FePO_4 , sondern vermutlich um Reaktionsprodukte von Phosphat mit OH-Gruppen von „aktiven“ Aluminium- und Eisenoxydhydraten bzw. AlOH - und FeOH -Gruppen an der Oberfläche von Tonmineralien.

Von den *Mineralböden* weist der saure Granitverwitterungsboden mit 1070 ppm P den höchsten Gesamt-P-Gehalt auf, wobei mehr als zwei Fünftel des Phosphats (42,5 %) in organischer Bindung vorliegen. Das anorganische Phosphat ist zu 58 % an Eisen und zu rund einem Drittel an Aluminium gebunden; Calciumphosphate sind nur in geringem Umfang (10 %), und offenbar nur in Form kristalliner Einsprengungen im Grus enthalten. In den kalkreichen Aueböden hingegen machen die Calciumphosphate über die Hälfte des anorganischen Phosphats aus, freie Aluminium- und Eisenphosphate treten stark zurück; etwa ein Viertel des anorganischen Phosphats ist praktisch irreversibel in Form okkludierter Eisenphosphate festgelegt.

Von den *organischen Böden* fallen insbesondere die Niedermoore durch relativ hohe Gesamt-P-Gehalte auf. Da sich die Angaben aber auf Trockensubstanz beziehen und die organischen Böden bekanntlich niedrige Volumengewichte haben, ist die tatsächliche Phosphatmenge in der Krume nicht größer als bei den Mineralböden. Entgegen unserer Erwartung zeigen sich auch im Anteil des organischen Phosphats am Gesamtphosphat keine wesentlichen Unterschiede zwischen Mineral- und Moorböden, ausgenommen vielleicht das Hochmoor, dessen organisch gebundenes Phosphat rund zwei Drittel des Gesamtgehaltes ausmacht.

Der Gehalt an ammonchloridlöslichem Phosphat ist in den sauren und schwach-sauren Mineralböden gering, in den neutralen Böden etwas höher, am höchsten in organischen Böden, bei denen aber wiederum das niedrigere Volumengewicht zu berücksichtigen ist.

Tab. 2
Phosphatfraktionen der ungedüngten Ausgangsböden
(ppm P)

geologische Formation	Gesamt-P	organ. P	anorgan. P, extrahiert durch:						Summe
			NH ₄ Cl	NH ₄ F	NaOH	H ₂ SO ₄	Na ₂ S ₂ O ₄	NH ₄ F	
Granit	1070	454	3	152	195	51	121	23	545
obere Süßwassermolasse	533	249	3	55	114	59	76	18	325
Lößlehm	415	188	2	29	82	25	90	21	249
Burgsandstein	851	258	4	131	262	63	66	24	560
Niederterrassenschotter	646	244	4	78	131	73	101	22	409
weißer Jura (Malm)	772	201	10	122	127	117	130	26	532
Lettenkeuper	947	323	13	109	101	201	84	28	536
alluv. Donauabsatz	781	366	4	26	10	266	169	20	495
alluv. Amperabsatz	750	249	12	39	9	305	127	20	512
Anmoor auf Almkalk	842	266	28	38	17	332	83	14	512
Niedermoor	1935	887	13	96	57	563	284	17	1030
Niedermoor	1162	568	35	188	39	179	105	13	559
Hochmoor	751	494	36	79	39	13	35	8	210

2. Umsetzung des Düngerphosphates während der 100 Tage

Durch die Düngung mit Monocalciumphosphat steigt der Gehalt an löslichem Phosphat vorübergehend um rund 100 ppm P an. Die Versuche haben nunmehr gezeigt, daß die entscheidenden Umsetzungen sehr rasch verlaufen. Innerhalb von 2 Tagen waren z. B. in

Lößlehm	99 %	Juralehm	79 %
Granit	98 %	kalkreichem Aueboden	64 bzw. 79 %
Burgsandstein	97 %	Niedermoor	67 %
Lettenkeuper	87 %	Anmoor auf Almkalk	54 %

des Düngerphosphates in weniger lösliche Verbindungen übergegangen.

Fraktionierungen von KAILA (3, 5) unmittelbar bzw. 2 Stunden nach Phosphatzugabe sowie nach 3 bzw. 6 Monaten lassen erkennen, daß die Fixierung in Boden-Wasser-Gemischen zur Hauptsache schon innerhalb weniger Stunden eintritt. Nach Studien von Hsu (13) an Bodensuspensionen findet innerhalb der ersten 6 Stunden eine schnelle P-Fixierung statt, die der LANGMUIR'schen Adsorptionsisotherme folgt, daran schließt sich eine weitere langsame P-Festlegung an, die sich über ein Jahr erstreckt.

An eine gewissermaßen stürmische Anfangsreaktion schließen sich verhältnismäßig langsam verlaufende Umsetzungen an, die ein Gleichgewicht zwischen den verschiedenen P-Bindungsformen mit den Ionen der Bodenlösung anstreben. Diese Umsetzungsvorgänge veranschaulicht an einigen typischen Beispielen die Abbildung 1.

In den sauren Mineralböden werden mehr als 90 % des zugesetzten Phosphats innerhalb der ersten zwei Tage an Aluminium und Eisen gebunden, Calciumphosphate werden nur in Spuren gebildet, lösliches Phosphat tritt kaum auf.

Im weiteren Verlauf findet eine mehr oder weniger ausgeprägte Umwandlung von Aluminiumphosphaten in Eisenphosphate statt (5). Entsprechend dem Beispiel des Granitverwitterungsbodens verhalten sich auch die sauren bis schwach sauren Böden: Lößlehm, Burgsandstein, obere Süßwassermolasse (Miocänsand) und entkalkter Decklehm auf Niederterrassenschotter.

Die lehmige Albüberdeckung auf Almkalk sowie der Lettenkeuper verkörpern neutrale schwere Böden mit CaCO_3 -Gehalten von 1 bis 2 %. Bei ihnen bleiben rund 15 bis 20 % des zugesetzten Phosphats in löslicher Form erhalten. Die Festlegung erfolgt aber auch in diesem Fall überwiegend in Form von Aluminium- und Eisenphosphaten. Daneben werden etwa 7 % Calciumphosphate gebildet. Die schon vorher erwähnte allmähliche Umwandlung von Aluminiumphosphaten in Eisenphosphate tritt am Beispiel des Lettenkeupers deutlich zutage.

In den kalkreichen Aueböden und im Sinterkalk-Anmoor wird das zugesetzte Phosphat überwiegend als Calciumphosphat gebunden. 15 bis 33 % bleiben über die gesamte Versuchsdauer löslich bzw. sind mit NH_4Cl leicht austauschbar. Typisch ist die geringe Bildung von NaOH -löslichem Eisenphosphat. Zum Teil scheinen aber im späteren Verlauf okkludierte Eisenphosphate zu entstehen. Beim kalkreichen alluvialen Donauabsatz steigt dadurch z. B. der Anteil an eisengebundenem Phosphat auf insgesamt 17 % an. Ähnlich verlaufen die Umsetzungen im carbonathaltigen Niedermoor (3,9 % CaCO_3). Es entstehen jedoch von Anbeginn mehr freie und (später) okkludierte Eisenphosphate, ferner ist der löslich bleibende Dünger-P-Anteil geringer (6 %).

In den CaCO_3 -freien Nieder- und Hochmooren verbleibt ein beträchtlicher Anteil des zugesetzten Phosphats löslich (20—40 %); es entstehen überwiegend Aluminiumphosphate und nur verhältnismäßig wenig Eisenphosphate. Im sauren Hochmoor (pH 4,4) bilden sich rund 3 %, im schwach sauren Niedermoor (pH 6,2) rund 18 % Calciumphosphate.

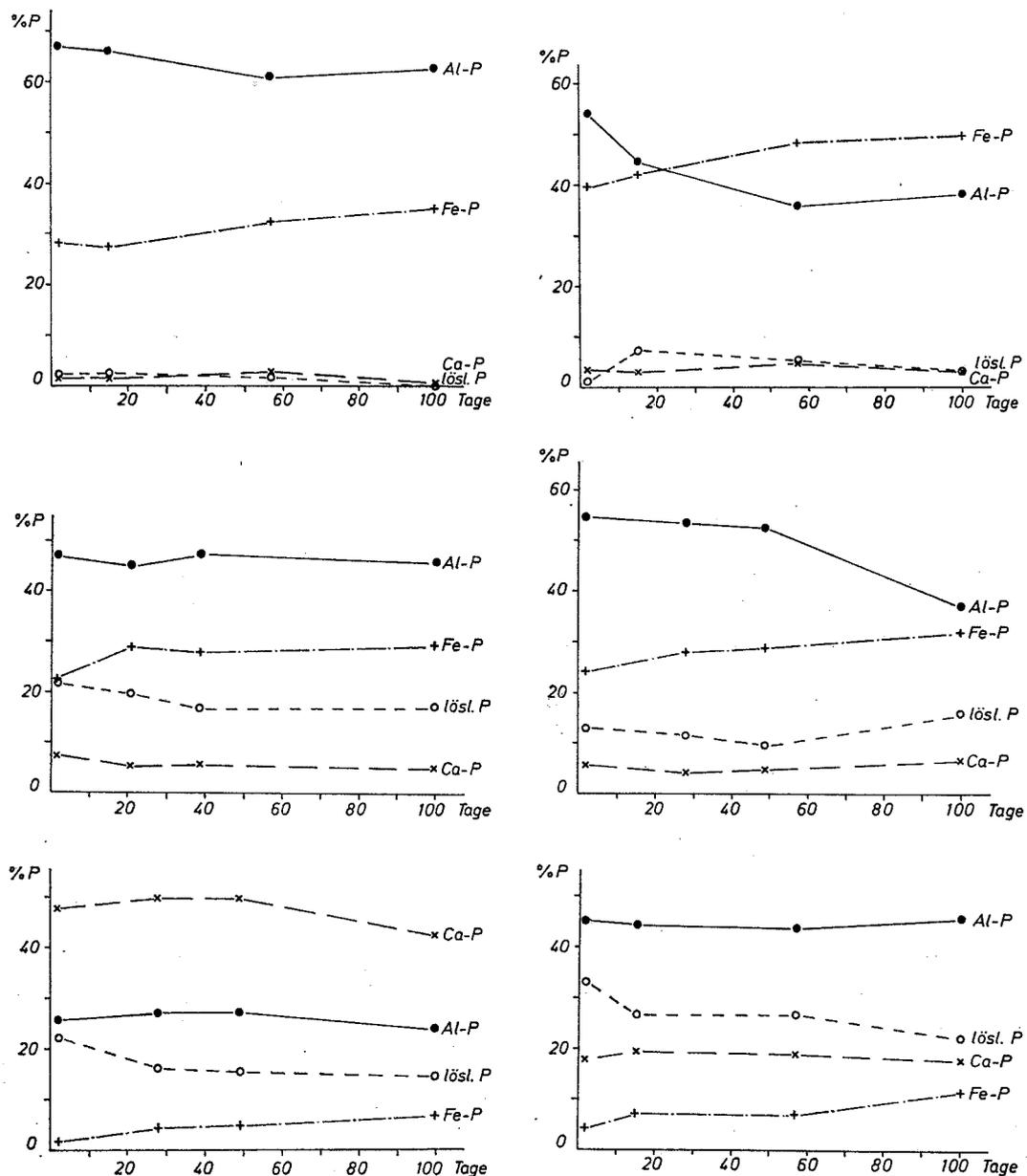


Abb. 1

Bildung von Aluminium-, Eisen- und Calciumphosphaten aus Düngerphosphat im Verlauf von 100 Tagen

a) — oben links: Grobsandiger Lehm, Granit pH 4,2; b) — oben rechts: Lehm, entkalkter Löß pH 5,4; c) — Mitte links: Toniger Lehm, weißer Jura pH 7,1; d) — Mitte rechts: Leichter Ton, Lettenkeuper pH 7,2; e) — unten links: Lehm, alluv. Donauabsatz pH 7,4; f) — unten rechts: Niedermoor, Donaumoos pH 6,2

Die Verteilung des Düngerphosphats bei Versuchsende gibt die Tabelle 3 wieder. Eine Gegenüberstellung der chemisch und radiometrisch ermittelten Düngermengen in den einzelnen Phosphatfraktionen weist zwar nicht immer Übereinstimmung auf (Tabelle 4), doch ist in Übereinstimmung mit der Literatur (3, 5, 14) ein gleicher Trend unverkennbar. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Werte aus verschiedenen Fraktionierungen stammen (1 für die radiometrische, 2 für die chemische Bestim-

Tab. 3
Verteilung des ³²P-Düngerphosphates nach 100 Tagen

geologische Formation	pH KCl	NH ₄ Cl	NH ₄ F	Dünger-P (in %), extrahiert durch: NaOH	H ₂ SO ₄	Na ₂ S ₂ O ₄	NH ₄ F
Granit	4,2	0	62,9	35,2	0,9	0	0
obere Süßwassermolasse	5,4	9,0	45,4	35,2	2,8	3,7	0
Lößlehm	5,4	3,0	38,1	49,5	3,1	0	0
Burgsandstein	5,7	0	52,8	47,2	0	0	0
Niederterrassenschotter	6,3	6,8	38,3	35,6	0	19,2	0
weißer Jura (Malm)	7,1	17,3	45,9	29,5	5,1	0	0
Lettenkeuper	7,2	16,0	37,3	32,0	6,7	8,0	0
alluv. Donauabsatz	7,4	14,5	23,7	6,6	42,1	10,5	0
alluv. Amperabsatz	7,4	24,7	17,8	4,0	51,5	0	0
Anmoor auf Almkalk	7,7	32,9	1,1	4,1	40,2	4,1	0
Niedermoer	7,3	6,0	22,4	10,3	45,7	10,3	0
Niedermoer	6,2	22,3	45,7	11,7	18,1	0	0
Hochmoer	4,4	39,6	27,3	17,9	2,8	7,5	0

Tab. 4
Vergleich chemisch und radiometrisch gefundener Mengen an Düngersphosphat in den Fraktionen

Geolog. Formation	pH (KCl)	P-Gabe	aus Anfangs- und Schluffraktionierung berechnet (ppm P)					aus der Impulsverteilung berechnet (ppm P)					
			NH ₄ Cl	NH ₄ F	NaOH	H ₂ SO ₄	Na ₂ S ₂ O ₄	Summe NH ₄ Cl	NH ₄ F	NaOH	H ₂ SO ₄	Na ₂ S ₂ O ₄	Summe
Granit	4,2	98	3	46	37	-2	12	0	62	35	1	0	98
obere Stüßwasser- molasse	5,4	90	7	43	34	-2	9	8	41	32	3	3	87
Lößlehm	5,4	91	5	32	41	2	6	3	35	45	3	0	86
Burgsandstein	5,7	94	4	41	32	0	-7	0	50	44	0	0	94
Niederterrassen- schotter	6,3	107	6	39	27	-10	19	7	41	38	0	21	107
weißer Jura (Malm)	7,1	102	13	30	25	-1	13	17	47	30	5	0	99
Lettenkeuper	7,1	115	5	59	25	18	14	18	43	37	8	9	115
alluv. Donauabsatz	7,4	106	8	27	6	27	26	15	25	7	45	11	103
alluv. Amperabsatz	7,4	102	15	20	13	35	2	25	18	4	53	0	100

mung im ungedüngten bzw. gedüngten Boden) und dadurch Streuungsfehler in den zu vergleichenden Werten 3mal enthalten sind.

Zwischen den chemisch und radiometrisch gefundenen Werten bestehen folgende Beziehungen:

Fraktion	Korrelationskoeffizient r	Regressionsgleichung $x = \text{chem. Werte}$ $y = \text{radiometr. Werte}$
NH_4Cl	0,82	$y = 1,77x - 2,62$
NH_4F	0,66	$y = 0,75x + 12,1$
NaOH	0,88	$y = 1,16x - 0,77$
H_2SO_4	0,92	$y = 1,23x + 3,87$
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	0,21	$y = 0,52x - 0,52$

Ob letztlich die chemisch oder die radiometrisch gefundenen Werte zutreffender sind, läßt sich angesichts der jeweiligen methodischen Fehlermöglichkeiten zunächst schwer abschätzen. Der nachstehend angestellte Vergleich mit den Phosphatformen der ungedüngten Ausgangsböden läßt jedoch den Schluß zu, daß die auf Aktivitätsmessungen beruhenden Ergebnisse insgesamt genauer sein dürften.

3. Ursprünglicher Gehalt und Zunahme an Phosphat in den verschiedenen Fraktionen

Es ist zu erwarten, daß die durch die Düngergabe neugebildeten Phosphatformen in irgendeiner Beziehung zu den bereits vorhandenen Bodenphosphaten stehen werden, sofern der ungedüngte Boden annähernd im Gleichgewichtszustand vorliegt (5, 14).

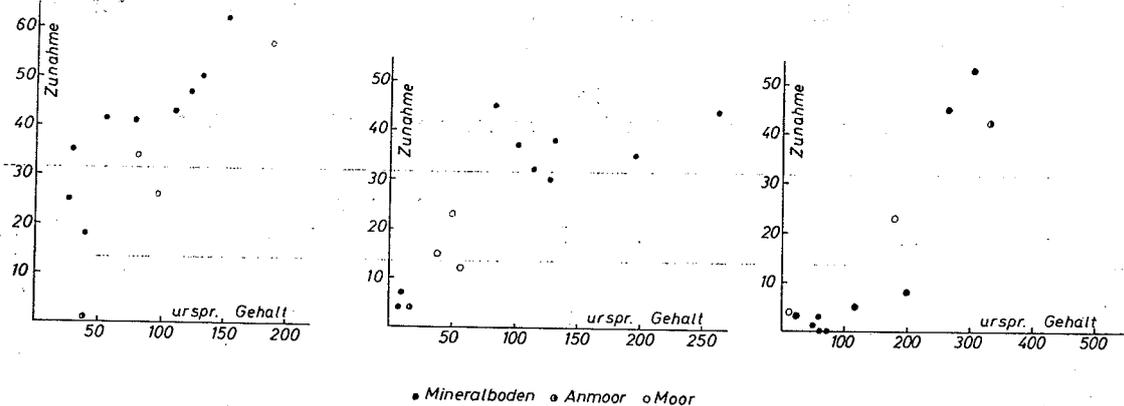


Abb. 2
Ursprünglicher Gehalt und Zunahme (ppm P)
a) — links: Al-phosphate; b) — Mitte: Fe-phosphate
c) — rechts: Ca-phosphate

In der Abbildung 2 sind für die wichtigsten Fraktionen die quantitativen Zusammenhänge veranschaulicht. Noch enger liegen die Beziehungen, wenn man die jeweilige prozentuale Verteilung des anorganischen Boden-P dem Dünger-P gegen-

überstellt. Demnach werden um so mehr Aluminium-, Eisen- bzw. Calcium-Phosphate gebildet, je höher der ursprüngliche Gehalt der Böden an diesen P-Formen ist (14). Diese Relationen sind für die in den Abbildungen verwendeten radiometrischen Werte enger als für die chemischen, wie der Vergleich an den Mineralböden zeigt:

Fraktion	Korrelationskoeffizient	
	radiometrisch	chemisch
NH ₄ Cl	0,83	0,60
NH ₄ F	0,88	0,57
NaOH	0,75	0,66
H ₂ SO ₄	0,91	0,94

Bezeichnenderweise stehen die Neubildungen zueinander aber nicht im gleichen Verhältnis wie die bereits vorhandenen Phosphate. Der ungedüngte Juraboden (390a) enthält beispielsweise ziemlich genau gleich viel Aluminium-, Eisen- und Calciumphosphate. Das Düngerphosphat teilt sich auf die entsprechenden Bindungsformen jedoch im Verhältnis von etwa 9 : 6 : 1 auf, das heißt, die Menge an neu gebildeten Aluminiumphosphaten ist rund neunmal so groß wie jene an Calciumphosphaten.

Der Vergleich kann auch für die einzelne Fraktion durch den Quotienten Dünger-P (‰) : Boden-P (‰) erfolgen. Bei gleicher prozentualer Verteilung des Düngerphosphats und des anorganischen Bodenphosphats müßte sich jeweils der Quotient 1 ergeben. Tatsächlich liegen aber die Quotienten bei der Mehrzahl der Böden für die NH₄F-Fraktion um 2, für die NaOH-Fraktion um 1 und für die H₂SO₄-Fraktion um 0,2, d. h. die Neubildungen stehen zueinander im Verhältnis von etwa 10 : 5 : 1. Lediglich kalkreiche und organische Böden ergeben abweichende Relationen (Tabelle 5). Da radiometrische und chemisch ermittelte Werte annähernd dieselben Quotienten ergaben, kann Isotopenaustausch als Deutung ausgeschlossen werden.

Tab. 5
Quotient Dünger-P (‰) : Boden-P (‰) in den verschiedenen Fraktionen

Geologische Formation	radiometrisch		
	NH ₄ F	NaOH	H ₂ SO ₄
Granit	2,2	1,0	0,1
obere Süßwassermolasse	2,7	1,0	0,2
Lößlehm	3,2	1,5	0,3
Burgsandstein	2,3	1,0	0
Niederterrassenschotter	2,0	1,1	0
weißer Jura (Malm)	2,0	1,2	0,2
Lettenkeuper	1,9	1,7	0,2
alluv. Donauabsatz	4,7	3,3	0,8
alluv. Amperabsatz	2,2	2,0	0,9
Anmoor auf Almkalk	0,2	1,4	0,6
Niedermoor	2,5	1,7	0,8
Niedermoor	1,4	1,7	0,6
Hochmoor	0,7	0,9	0,5

4. Einfluß von Bodenreaktion und Humusgehalt auf die P-Festlegung

Der Vergleich der Reaktionsabläufe in den Sand-, Lehm-, Ton- und Moorböden deutet darauf hin, daß Bodenreaktion und Humusgehalt auf die Umsetzungsvorgänge offenbar größeren Einfluß haben als beispielsweise die Tonfraktion. Im folgenden sollen die Zusammenhänge zwischen Bodenreaktion und der Bindung des Düngerphosphats an Aluminium, Eisen und Calcium näher beleuchtet werden.

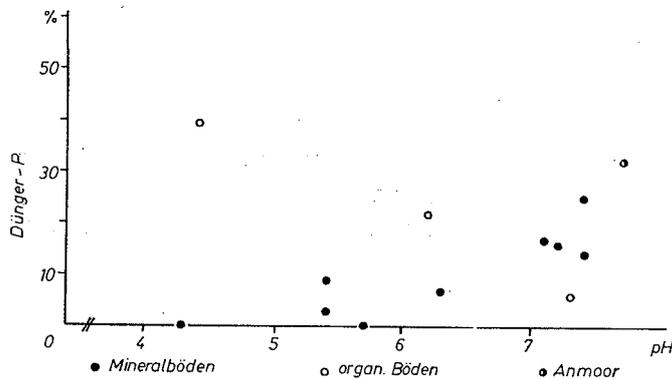


Abb. 3
Löslicher Düngerphosphat-Anteil nach 100 Tagen in Abhängigkeit vom Boden-pH

Das gelöste bzw. NH_4Cl -lösliche Phosphat (Abbildung 3) ist in den Mineralböden in der Regel umso höher, je höher der pH-Wert des Bodens ist. Die Beziehung ist für die anorganischen Böden ziemlich eng ($r = 0,86$); für die organischen gilt dieser Zusammenhang augenscheinlich nicht. Man ist eher geneigt, eine umgekehrte Tendenz herauszulesen, vor allem, wenn man das Almkalk-Anmoor bzw. — da ja der CaCO_3 -Gehalt überwiegt — den anmoorigen Almkalk als Schlußglied zu den Mineralböden stellt. Da pH-Anstieg und Rückgang der organischen Substanz aber zusammenfallen, ist ein Zusammenhang zwischen letzterem und dem löslichen P wahrscheinlicher. Bei den mineralischen Böden sind die — absolut betrachtet — geringen Unterschiede im Humusgehalt ohne erkennbare Bedeutung, hier dominiert offenbar der mit der Bodenreaktion eng zusammenhängende Kalkgehalt.

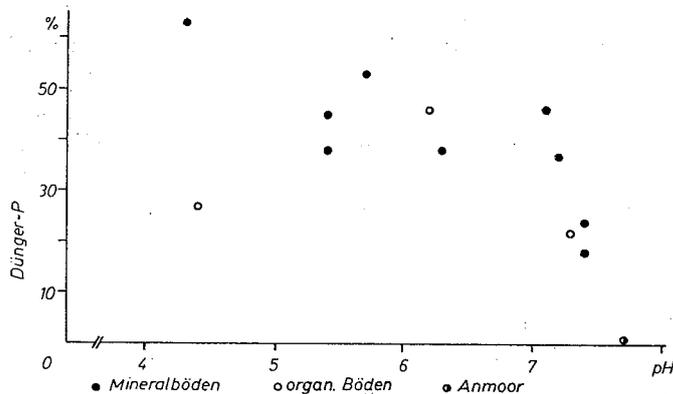
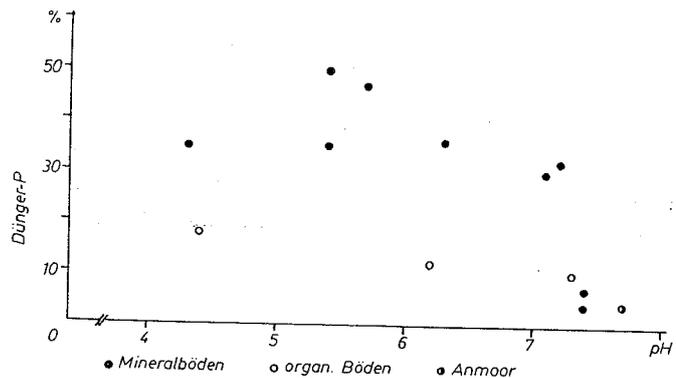


Abb. 4
Bildung von Aluminiumphosphat aus Düngerphosphat in Abhängigkeit vom Boden-pH

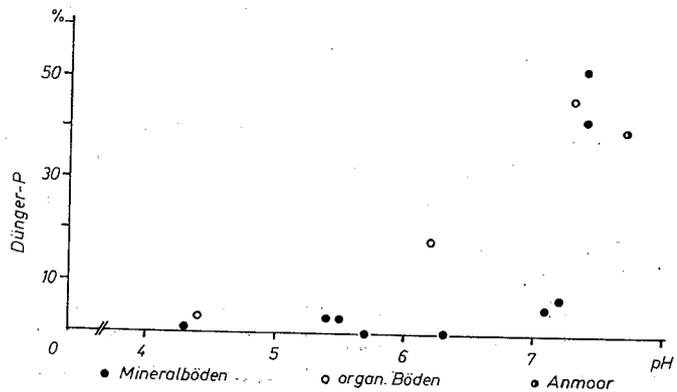
Die Bindung des Düngerphosphats an Aluminium (Abbildung 4) nimmt bei den Mineralböden mit steigendem pH deutlich ab ($r = -0,79$). Für die organischen Böden sind offenbar auch hier andere Umstände gegeben; zumindest gilt dies für das mineralarme Hochmoor.

Abb. 5
 Bildung von Eisenphosphaten
 aus Düngerphosphat
 in Abhängigkeit vom
 Boden-pH



Ob die Bindung des Düngerphosphats an Eisen (Abbildung 5) in einem linearen Zusammenhang zum Boden-pH steht, ist anhand der vorliegenden Werte fraglich. Für die Mineralböden ($r = -0,67$) ist eine Funktion höherer Ordnung wahrscheinlicher.

Abb. 6
 Bildung von Calciumphosphaten
 aus Düngerphosphat
 in Abhängigkeit vom Boden-pH



Die Bildung von Calciumphosphaten (Abbildung 6) hängt offenbar weniger mit der Bodenreaktion zusammen ($r = 0,63$) als mit dem Vorhandensein von freiem Kalk. Unterschiede von einigen Prozenten an kohlensaurem Kalk sind jedoch ohne merklichen Einfluß. Leider fehlen in unseren Untersuchungen die Übergänge zu den kalkreichen Böden, so daß diese Zusammenhänge nicht näher beleuchtet werden können. Aus den Calciumphosphatfraktionen ungedüngter Böden läßt sich jedoch schließen, daß kein linearer Zusammenhang gegeben ist. Entscheidend dürfte wohl die Abnahme reaktionsfähiger Aluminium- und Eisenionen sein, die den Weg zur Bildung von Calciumphosphaten freimachen. Von welchem Kalkgehalt an diese entscheidende Verringerung einsetzt und wie sehr dieser Schwellenwert von Boden zu Boden variiert, ist noch nicht zu übersehen.

5. Verfügbarkeit des fixierten Düngerphosphates

Für die landwirtschaftliche Praxis interessiert in erster Linie die Frage: Wieweit sind die an Eisen, Aluminium oder Calcium gebundenen Düngerphosphatanteile für die Pflanze noch verfügbar?

Hierüber soll ein Versuch mit Roggenkeimpflanzen Auskunft geben. Der mit ^{32}P -markiertem Dünger versehene Boden wurde in parallelen Ansätzen mit und ohne Pflanzenwuchs gleich behandelt. Nach 18 Tagen wurden sowohl die bewachsenen als auch die unbewachsenen Böden fraktioniert. Die Aktivitätsdifferenzen gleicher

Fraktionen wurden als Entzug betrachtet. Der Versuch, die ^{32}P -Aufnahme an den Pflanzen direkt festzustellen, führte zu keinem befriedigenden Ergebnis, da anhaftende Bodenteilchen die Meßwerte stark verfälschten.

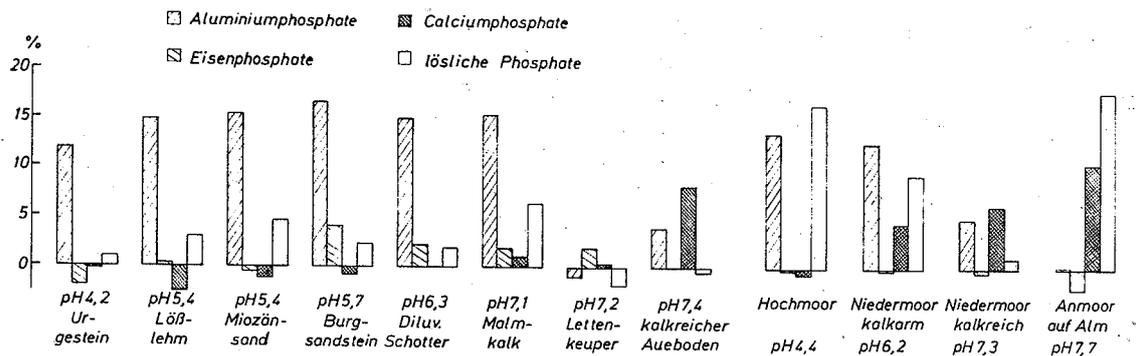


Abb. 7
Entzug von Düngephosphat durch Pflanzenwuchs

Die nach unten gerichteten Säulen sind teils als Abweichungen im Umsetzungsverlauf der beiden Ansätze, teils als Eingriff der Pflanzenwurzeln in das Phosphat-Gleichgewicht zwischen fester und flüssiger Phase und teils als Meßfehler zu werten.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt. Demnach nimmt im Verlauf der Vegetationszeit in der Mehrzahl der Böden vor allem das an Aluminium gebundene Phosphat ab. Im Falle des Granitbodens wurden z. B. ohne Pflanzen 69% des Düngephosphats in der NH_4F -Fraktion gefunden, mit Pflanzen nur 57%; mithin sind 12% des zugegebenen Phosphats aus der NH_4F -Fraktion von den Pflanzen aufgenommen worden. Nur in den kalkreichen Böden und zum Teil in den organischen Böden tritt das an Calcium gebundene Phosphat in größerem Umfang als Nährstofflieferant in Erscheinung. Bemerkenswert ist, daß auch das an Eisen sorbierte Phosphat noch in gewissem Umfang pflanzenverfügbar sein kann.

Zusammenfassung

An 13 Ackerböden, die sich nach Herkunft, Textur, pH und Humusgehalt stark unterscheiden, wurden die Umsetzungen von ^{32}P -markiertem Düngephosphat über 100 Tage chemisch und radiometrisch verfolgt.

Die sauren bis neutralen Ausgangsböden enthalten das anorganische Phosphat vorwiegend in Form von Aluminium- und Eisenphosphaten. In den kalkreichen Böden liegen überwiegend Calciumphosphate und entsprechend weniger Aluminium- und Eisenphosphate vor.

In allen Böden wurde das zugesetzte Monocalciumphosphat sehr rasch und zum größten Teil umgesetzt. An die Initialphase schlossen sich verhältnismäßig langsam ablaufende Umsetzungen an, wobei das leicht lösliche Phosphat in der Regel noch weiter zurückging. Ebenso nahm das an Aluminium gebundene Phosphat in den meisten Böden langsam ab und wandelte sich in Eisenverbindungen um.

In den sauren, schwachsauren und neutralen Böden entstanden hauptsächlich Aluminium- und Eisenphosphate und nur unbedeutende Mengen an Calciumphosphaten. Nur in carbonatreichen Böden wurden mit der Methode von CHANG und JACKSON 40 bis 50% des zugesetzten Phosphats in Form von Calciumphosphaten wiedergefunden. Organische und carbonatreiche Böden bildeten nur wenig Eisenphosphate.

Zwischen den im ungedüngten Boden vorhandenen anorganischen Phosphaten und den Neubildungen bestehen enge Zusammenhänge: r ist für $P_{\text{lösli.}} = 0.83$, $P_{\text{Al}} = 0.88$, $P_{\text{Fe}} = 0.75$, $P_{\text{Ca}} = 0.91$. Die Neubildungen stehen jedoch nicht im selben Verhältnis zueinander wie die Bodenphosphate, d. h. bei annähernd gleichen Gehalten an $P_{\text{Al}} \sim P_{\text{Fe}} \sim P_{\text{Ca}}$ ist die Zunahme an $P_{\text{Al}} > P_{\text{Fe}} > P_{\text{Ca}}$.

Während für die organischen Böden niedrige Gehalte an Eisenphosphaten — unabhängig vom pH — charakteristisch sind, bestehen in den Mineralböden zwischen den P-Bindungsformen und der Bodenreaktion deutliche Zusammenhänge. Dies gilt sowohl für das anorganische Bodenphosphat als auch für die Neubildungen. Während lösliches Phosphat und Calciumphosphate mit dem pH positiv korrelieren ($r = 0.86$ bzw. 0.63) geht die Neubildung von Aluminium- und Eisenphosphaten in etwa gleichem Maße zurück ($r = -0.79$ bzw. -0.67). Die Textur hat keinen ersichtlichen Einfluß auf die Neubildungen. Neubauerversuche zeigten, daß im Verlauf der Vegetationszeit in den sauren, schwach sauren und neutralen Böden vor allem das an Aluminium gebundene Phosphat abnimmt, d. h. von den Pflanzen aufgenommen wird. Calciumphosphate sind nur in kalkreichen Mineralböden und in Niedermooren als Phosphatlieferanten von Bedeutung. Auch neu gebildete Eisenphosphate sind in gewissem Umfang noch pflanzenverfügbar.

Fräulein Hildegard Weichenrieder und Herrn Manfred Königer sei an dieser Stelle für ihre Mitarbeit besonders gedankt.

Summary

AMBERGER, A., G. SOMMER und A. SÜSS: *Umsetzungen von wasserlöslichem Düngersphosphat in verschiedenen Böden (The reactions of water soluble fertilizer phosphate in different soils).*

Landwirtsch. Forsch. 22, 1969

In 13 cropland soils very different with respect to their origine, texture, pH and organic matter contents the reaction of fertilizer phosphate, marked with ^{32}P was investigated during 100 days. Chemical analysis and measuring the radio activity were employed.

In the acid to neutral soils under trial the inorganic phosphate fraction predominantly consists of aluminum and iron phosphate. In soils which are rich in lime predominantly calciumphosphates are present and accordingly less aluminum and iron phosphate.

In all the soils monocalciumphosphate that was added, quickly and the better part of it was transformed into other compounds. The initial phase of this process was followed by relatively slowly advancing reactions during which the content of soluble phosphate was still further reduced. Also in most of the soils the content of aluminum phosphate gradually decreased and iron phosphate was formed.

Mainly aluminum- and iron phosphates but only insignificant amounts of calcium phosphates were formed in acid, moderately acid and neutral soils. When the method of CHANG and JACKSON was used only in soils rich in lime 40—50 % of the phosphate added was recovered as calcium phosphate. Organic soils and those rich in lime formed only little iron phosphates.

Close correlations exist between the inorganic phosphate compounds present in the untreated soils and the respective newly formed compounds.

For P_{soluble}	applies	$r = 0.83$
" P_{Al}	"	$r = 0.88$
" P_{Fe}	"	$r = 0.75$
" P_{Ca}	"	$r = 0.91$

However the ratios between the newly formed phosphates are different from those present in the untreated soils. If in the latter ones the contents are $P_{Al} \sim P_{Fe} \sim P_{Ca}$ then the formation of new compounds will occur in this order: $P_{Al} > P_{Fe} > P_{Ca}$.

Not influenced by the pH organic soils contain low amounts of iron phosphate. However in mineral soils the kind of phosphate compounds is clearly related to the soil reaction. This holds true for the inorganic fraction of soil phosphates and also for newly formed compounds. There is a positive correlation between the soluble phosphate and calcium phosphate on the one hand and the pH on the other ($r = 0.86$ and 0.63 resp.). However the formation of aluminum- and iron-phosphates decreases accordingly ($r = -0.79$ and -0.67 resp.). There is no distinct influence of the soil texture on the amounts of newly formed phosphates. By employing growth experiments (NEUBAUER-method) it could be shown, that during the season especially the contents of aluminum phosphate decrease in the acid, moderately acid and neutral soils. The plants take it up. Only in mineral soils rich in calcium and in bog soils calcium phosphates play a significant role as suppliers of phosphate. To some extent also newly formed iron phosphates are still available to plants.

Résumé

AMBERGER, A., G. SOMMER und A. SÜSS: *Umsetzungen von wasserlöslichem Düngersphosphat in verschiedenen Böden (Evolution du phosphate soluble/eau dans différents sols)*.

Landwirtsch. Forsch. 22, 1969

On a étudié chimiquement et radiométriquement, pendant 100 jours, les transformations d'un engrais phosphaté marqué au ^{32}P , dans 13 sols cultivés se différenciant nettement par leur origine, leur texture, leur pH et leur teneur en matière organique.

Au départ, les sols acides à neutres contenaient le phosphore minéral principalement sous forme de phosphates d'aluminium et de fer. Dans les sols calcaires, il existait principalement des phosphates de calcium et moins de phosphates d'aluminium et de fer.

Dans tous les sols, le phosphate monocalcique apporté a été très rapidement et presque totalement transformé. Au cours de la phase initiale, des réactions relativement lentes se sont produites, tandis que le phosphate facilement soluble a diminué. De même, le phosphate lié à l'aluminium a diminué lentement dans la plupart des sols et a évolué vers des combinaisons ferriques.

Dans les sols acides, faiblement acides et les sols neutres se sont formés essentiellement des phosphates d'aluminium et de fer, et des quantités insignifiantes de phosphates de calcium. Ce n'est que dans les sols calcaires que 40—50% du phosphate ajouté sont retrouvés sous forme de phosphate de calcium, d'après la méthode CHANG et JACKSON. Dans les sols organiques et calcaires, il ne se forme que peu de phosphates ferriques.

Entre les phosphates minéraux présents dans les sols avant fumure et ceux nouvellement élaborés, des relations étroites existent: pour $P_{soluble\ eau}$ $r = 0,83$, $P_{Al} = 0,88$, $P_{Fe} = 0,75$, $P_{Ca} = 0,91$. Entre les nouvelles combinaisons il n'existe cependant pas le même rapport qu'entre les phosphates du sol, c.-à-d. qu'avec des teneurs presque identiques en $P_{Al} \sim P_{Fe} \sim P_{Ca}$, on a: augmentation en $P_{Al} > P_{Fe} > P_{Ca}$.

Alors que des teneurs faibles en phosphates de fer sont une caractéristique des sols organiques, indépendamment du pH, dans les sols minéraux, il existe des

rélations nettes entre les formes de liaisons de P et la réaction du sol. Ceci vaut aussi bien pour le phosphate préexistant que pour les néo-formations. Alors que le phosphate soluble et le phosphate de calcium sont en corrélation positive avec le pH ($r = 0,86$, resp. $0,63$), la néo-formation de phosphate d'aluminium et de fer diminue dans la même proportion ($r = -0,79$ resp. $-0,67$). La texture n'a pas d'influence apparente sur les néo-formations. Des essais de NEUBAUER ont montré qu'au cours de la période de végétation, dans les sols acides, faiblement acides et neutres, c'est avant tout le phosphate lié à l'aluminium qui diminue, donc qui est d'abord absorbé par les plantes. Les phosphates de calcium ne sont des sources importantes de phosphate que dans les sols calcaires et dans les sols organiques des tourbières basses. Les phosphates nouvellement formés sont encore assimilables dans une certaine mesure.

Schrifttum

1. CHANG, S. C. and W. K. CHU: The fate of soluble phosphate applied to soils. *J. Soil Sci.* **12**, 286—293, 1961
2. HUFFMAN, E. O.: Reactions of phosphate in soils: Recent research by TVA. *Fertilizer Soc. Proc.* **71**, 1962
3. KAILA, A.: Fertilizer phosphorus in various fractions of soil phosphorus. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* **35**, 36—46, 1963
4. KAILA, A.: Forms of newly retained phosphorus in mineral soils. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* **36**, 65—76, 1964
5. KAILA, A.: The fate of water-soluble phosphate applied to some mineral soils. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* **37**, 104—114, 1965
6. CHANG, S. C. and M. L. JACKSON: Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* **84**, 133—144, 1957
7. FOKIN, A. D. and K. M. TERTERJAN: Untersuchungen des Isotopenaustausches der Bodenphosphate in Abhängigkeit von der Zeit der Wechselwirkung der Markierung mit dem Boden und der Acidität des Extraktes. *Agrochimija, Moskau* 1966, Nr. 9, 110—115, zit. *Landwirtsch. Zbl. Abt. II*, 1403, 1967
8. KHANNA, P. K. u. B. ULRICH: Phosphatfraktionierung im Boden und isotopisch austauschbares Phosphat verschiedener Phosphatfraktionen. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde.* **117**, 53—65, 1967
9. MICHAEL, G. u. O. MACHOLD: Untersuchungen über die Verwendung von ^{32}P zur Ermittlung der Ausnutzung von Phosphorsäuredüngemitteln. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* **77**, 1—18, 1957
10. BOHNE, H., P. GRÖPLER u. M. DITTMER: Beitrag zur Bestimmung der Gesamt-Phosphorsäure des Bodens mit Überchlorsäure. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* **82**, 42—46, 1958
11. MEHTA, N. C., J. O. LEGG a. C. A. BLACK: Determination of organic phosphorus in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **18**, 443—449, 1954
12. SOMMER, G.: Untersuchungen zur Fraktionierung des anorganischen Phosphats im Boden. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* **113**, 215—225, 1966
13. PA HO HSU: Fixation of phosphate by aluminium and iron in acid soils. *Soil Sci.* **99**, 398—402, 1965
14. SCHILLING, G. u. B. WITTER: Die Phosphatbilanz und die Phosphatbindungsformen im Boden bei statischen Felddüngungsversuchen. *Albrecht-Thaer-Arch.* **9**, 153—164, 1965
15. FLIEG, O.: Über den Einfluß von Humaten auf die Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* **38**, 222—238, 1935
16. KAINDL, K. u. H. H. MAYR: Die Hemmwirkung humushaltiger Substanzen hinsichtlich der Phosphorfestlegung im Boden. *Atompraxis* **4**, 407—11, 1958
17. LARSEN, J. E., G. F. WARREN a. R. LANGSTON: Effect of iron, aluminium and humic acid on phosphorus fixation by organic soils. *Proc. Soil Sci. Soc. America* **23**, 438—40, 1959 — zit. *Landwirtsch. Zbl.* 1960, 2332

Die Zeitschrift „*Landwirtschaftliche Forschung*“ veröffentlicht Originalarbeiten aus dem Gebiet der landwirtschaftlichen Forschung, insbesondere aus den Arbeitsgebieten der einzelnen Fachgruppen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.

Hauptschriftleiter: Professor Dr. L. Schmitt, Darmstadt, Bismarckstraße 41 A.

Die *Beiträge* und zu *besprechende Bücher* sind zu senden an die Schriftleitung, Darmstadt, Bismarckstraße 41A. Die *Rechtschreibung* und *Schreibweise von Nomenklaturen und Fachausdrücken* sollen nach den Angaben in „Einheitliche Schreibweise in naturwissenschaftlichen Werken“ von Herrmann erfolgen. Dasselbe gilt für *Abkürzungen von Zeitschriftentiteln*. Soweit die Manuskripte dem nicht Rechnung tragen, werden sie von der Schriftleitung entsprechend bearbeitet. Im übrigen wird bei Ein-sendung von *Manuskripten* zugleich die schriftliche Bestätigung erbeten, daß es sich um eine Originalarbeit handelt, die bisher auch auszugsweise nicht an anderer Stelle veröffentlicht worden ist.

Sonderdrucke: Die Verfasser erhalten auf Wunsch zum Selbstkostenpreis 30 Sonderdrucke. Bei größerem Bedarf sind besondere Vereinbarungen mit dem Verlag zu treffen.

Erscheinungsweise: Die Zeitschrift „*Landwirtschaftliche Forschung*“ erscheint jeweils in einem Band mit vier Heften, die in vierteljährlichen Abständen herausgegeben werden. Außerdem erscheinen nach Bedarf Sonderhefte, die besonders in Rechnung gestellt werden.

Bezugsmöglichkeiten: Die Zeitschrift „*Landwirtschaftliche Forschung*“ kann durch den in- und ausländischen Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Das Abonnement gilt bei Aufgabe der Bestellung für einen Band; es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlußheftes eines Bandes eine Abbestellung erfolgt.

Bezugspreis: Preis eines Bandes (vier Hefte) DM 58,— (empf. Richtpreis) zuzüglich Versandkosten, Preis eines Sonderheftes je nach Umfang verschieden.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., Finkenhofstraße 21. Bankkonten: Commerzbank A. G., Frankfurt a. M., Stadtparkasse, Frankfurt a. M. (Girokonto 9695). Postscheckkonto: Frankfurt a. M. Nr. 896.

© J. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1969

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks,
der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten.

Satz und Druck: H. G. Gachet & Co., Langen

Printed in Germany

SONDERHEFTE ZUR „LANDWIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNG“

3. Sonderheft:
Justus v. Liebig im Lichte der Forschung des 20. Jahrhunderts
1953. 30 Seiten mit einer Kunstdrucktafel. Kartoniert DM 3,60
5. Sonderheft:
Forschungen im Dienste der Tierernährung
1954. 75 Seiten mit zahlreichen Tab. u. graph. Darstellungen. Kart. DM 8,—
6. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung II
1955. 156 Seiten mit 57 Abb. und 53 Tab.. Kartoniert DM 18,80
7. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung III
1956. 161 Seiten mit 62 Abb. und 70 Tab. Kartoniert DM 19,80
8. Sonderheft:
Pflanzenqualität - Nahrungsgrundlage
1956. 143 Seiten mit 68 Abb. und 36 Tab. Kartoniert DM 22,20
9. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung IV
1957. 157 Seiten mit 34 Abb. und 96 Tab. Kartoniert DM 22,20
10. Sonderheft:
Bodenfruchtbarkeit II
1957. IV u. 123 Seiten mit 56 Abb. u. 28 Tab. Kart. DM 19,80
11. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung V
1958. VIII u. 127 Seiten mit 56 Abb. u. 38 Tab. Kart. DM 22,20
12. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung VI
1959. VIII u. 152 Seiten mit 60 Abb. u. 28 Tab. Kart. DM 27,—
13. Sonderheft:
Magnesium - Boden - Pflanze
1959. VIII u. 100 Seiten mit 43 Abb. u. 66 Tab. Kart. DM 24,80
14. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VII
1960. VIII u. 141 Seiten mit 51 Tab. und 55 Abb. Kart. DM 26,40
15. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VIII
1961. VIII u. 159 Seiten mit 62 Abb. u. 38 Tab. Kart. DM 27,50
16. Sonderheft:
Die Spurenelementversorgung von Pflanze, Tier und Mensch
1962. VIII u. 147 Seiten mit 37 Abb. u. 56 Tab. Kart. 26,20
17. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung X
1963. VIII u. 211 Seiten mit 91 Abb. und 72 Tab. Kart. DM 30,75
18. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XI
1964. VIII u. 208 Seiten mit 52 Abb. und 43 Tab. Kart. DM 30,25
19. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XII
1965. VIII u. 252 Seiten mit 87 Abb. und 75 Tab. Kart. 41,80
20. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIII
1966. VIII u. 152 Seiten mit 20 Abb. und 33 Tab. Kart. DM 28,80
21. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIV
1967. VIII u. 137 Seiten mit 81 Abb. und 35 Tab. Kart. DM 31,80
22. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XV
1968. VIII und 198 Seiten mit 91 Abb. und 44 Tab. Kart. DM 43,20

J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG · FRANKFURT AM MAIN I