

527

Sonderdruck
aus der Zeitschrift: **Bodenkunde und Pflanzenernährung**,
2. (47.) Band, Heft 3/4, Seite 178—186, 1936/37.
Verlag Chemie, Berlin W 35, Corneliusstraße 3.

BIBLIOTHEK
INSTITUUT VOOR
BODEMVRUCHTBAARHEID
GRONINGEN

SEPARAT
No. 14557

631.416.2
631.445.1 : 631.445.2
631.814

Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden.

Von **O. de Vries** und **C. W. G. Hetterschij**.

Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande.

Eingegangen: 27. Oktober 1936.

Im allgemeinen wird, und mit Recht, angenommen, daß die Phosphorsäure im Boden nicht oder wenig wandert, und daß als Düngung zugesetztes Phosphat so ziemlich am Orte bleibt, wo es beim Streuen oder bei der Bodenbearbeitung hinkam, indem es mit Kalzium- oder anderen Bodenbestandteilen in schwer lösliche Verbindungen übergeht, von Mikroorganismen gebunden, oder in anderer Weise festgelegt wird. Wir haben (1) diese Seite des Problems an einer Reihe von Beispielen näher erörtert, indem wir die horizontale wie auch die vertikale Verteilung der Phosphorsäure sowohl in Ackerland als in Grasland von Stelle zu Stelle bestimmten und zeigen konnten, daß z. B. in Grasland die obere 10-cm-Schicht von Zentimeter zu Zentimeter folgende Zahlen zeigen kann:

P-Zahl (Wasser) *oben* 60—57—56—32—28—32—16—11—11—
8 *unten*.

P-Zitronensäure *oben* 144—124—120—120—108—104—104—
88—88—72 *unten*.

An anderer Stelle (2) haben wir jedoch darauf hingewiesen, daß in moorkolonialem Boden die Phosphorsäure in der Bodenlösung ziemlich löslich ist und daß da mit der Möglichkeit von beträchtlichen Drainageverlusten, bis zu 30 kg/ha P_2O_5 pro Jahr, zu rechnen ist; eine Untersuchung über den Phosphorsäure-Haushalt in Heidesandboden (3) führte weiter zu der Annahme, daß in diesem Falle ebenso eine beträchtliche, abwärts gerichtete Wanderung der Phosphorsäure stattfinden kann. Wir haben diese Verhältnisse inzwischen etwas näher studiert und möchten hier über die erhaltenen Resultate berichten.

Daß die als Dünger gegebene Phosphorsäure sich zum weitaus größten Teil in der oberen Krumeschicht anhäuft, wurde von mehreren Autoren gefunden (4); daraus hat man sich ein gutes Bild von den Verhältnissen in verschiedenen Bodentypen formen können. Wenn aber C. Krügel, C. Dreyspring und W. Heinz (5)

bei ihren Schlußfolgerungen, denen wir übrigens durchaus bestimmen können, zu der Aussprache kommen: „Die Ansicht, daß die Phosphorsäure ausgewaschen oder in tiefere Schichten verspült und dadurch dem Zugriff der Pflanzenwurzeln entzogen werden könnte, ist ein für allemal ins Reich der Fabel zu verweisen,“ drücken sie sich zu positiv aus. Dieses Reich der Fabel wäre unter anderen schon nicht so sehr weit von Hamburg, nämlich in den Niederländischen Moorkolonien, zur Wirklichkeit geworden.

Dränverluste in moorkolonialem Boden.

Bei einem Dränversuch, der auf der Versuchswirtschaft Emmercompascuum im Jahre 1920 auf damals gerade urbar gemachtem, noch jungfräulichem moorkolonialem Boden angelegt wurde, fanden sich in den Jahren 1925—1928 folgende Mengen Phosphorsäure im Dränwasser:

Tabelle 1.
mg P_2O_5 pro Liter Dränwasser.

	1925	1926	1927	1928
Winterhalbjahr	9	12	8	6
Sommerhalbjahr	7	20	5	5
Regenfall pro Jahr mm	563	746	768	561
Entzug durch Ernte, kg P_2O_5 pro ha	51,8	45,3	30,5	56,6
Kulturpflanze	Hafer	Kartoffeln	Winterroggen	Kartoffeln

Die Phosphatdüngung nach 100 kg/ha P_2O_5 wurde 1921 bis 1923 als Rohphosphat (aus Algerien), 1924 und 1928 als Superphosphat, 1925—1927 als Thomasschlackenmehl gegeben. Die Krume zeigte p_H in Wasser 5,5, bei einem Humusgehalt (als Glühverlust bestimmt) von 7%. Die abdränerte Menge Wasser ist auf diesem losen, gut durchlassenden Boden für die vier Jahre auf durchschnittlich 300 mm pro Jahr zu stellen, und bei einem P_2O_5 -Gehalt dieses Dränwassers von 5—10 mg pro Liter kommt man also zu einem jährlichen Dränverlust von 15 bis 30 kg P_2O_5 pro Hektar pro Jahr, also ein Sechstel bis ein Drittel der als Dünger zugesetzten Menge. Also ein sicher nicht zu vernachlässigender Verlust, der übrigens auch keinen Sonderfall darstellen dürfte, da z. B. E. Rousseau und Ch. Brioux (6) in einem Lysimeterversuch mit Sandboden eine Ausspülung von 16—18 mg P_2O_5 pro Liter Dränwasser fanden, (das wäre also bei einer Dränwassermenge von 200 mm schon 32—35 kg/ha pro Jahr), im Gegensatz zu den meisten anderen Lysimeterversuchen, wo keine oder nur eine geringe P_2O_5 -Auswaschung festgestellt werden konnte (7).

Auch aus den Versuchen von W. Wöhlbier (8) ergab sich, daß, abhängig von der Art des Bodens und von der Menge der Niederschläge, eine mehr oder weniger starke Auswaschung von Phosphorsäure möglich ist.

Löslichkeit und Wanderung der Phosphorsäure in moorkolonialem Boden.

Nun hat man allerdings zu bedenken, daß in diesem moorkolonialen Boden die Phosphorsäure viel leichter löslich ist, als z. B. in gewöhnlichem Sand- oder Tonboden. Wie schon früher beschrieben (9), ersetzen wir bei unserer Untersuchungsmethode, welche sowohl bei dem Studium des Phosphathaushaltes verschiedener Bodentypen und bei Phosphatversuchsfeldern, als auch bei der jährlichen acht- bis zehntausend Proben umfassenden Massenuntersuchung angewandt wird, die Lemmermannsche „relative Löslichkeit“ (P-Zitr.: P-Total) durch das Verhältnis P-Zahl (in Wasser) zu P-Zitronensäure, wodurch man, unserer Erfahrung nach, wenigstens bei unseren Sand- und moorkolonialen Böden ein viel befriedigenderes Bild von den Phosphatverhältnissen bekommt. Meistens sind diese beiden Zahlen genügend; wenn gewünscht, wird als dritte Aufnahme eine Festlegungszahl bestimmt, und wenn der Phosphathaushalt möglichst vollständig untersucht werden soll, auch noch die wiederholte Extraktion mit Wasser oder 1%iger Zitronensäurelösung und das „total P₂O₅“ nach Lemmermann.

Während gewöhnlicher Sandboden eine Festlegungszahl von über 50, oft 75–85% zeigt, und bei einigen Typen, z. B. dem nachstehend zu besprechenden Heidesandboden, sogar 95–98%, ist die Phosphatfestlegung im moorkolonialen Boden nur gering, fast immer unter 50% und manchmal nur 15–20%. Im Zusammenhang damit ist die P-Zahl, gegenüber P-Zitronensäure, hoch; bei P-Zitronensäure von etwa 25 (also ziemlich niedrig), kann man eine P-Zahl von 8–10 (also reichlich hoch), finden. Beide Zahlen zeigen einen weitgehend ähnlichen Verlauf und das verfügbare Phosphat läßt sich mit genügender Wahrscheinlichkeit aus irgend einer der zwei Zahlen ablesen (10).

Die Verhältnisse, welche die Leichtbeweglichkeit der Phosphorsäure in diesem moorkolonialen Boden bedingen, lassen sich erläutern durch die in Tabelle 2 angeführten Zahlen für drei Objekte des Phosphatversuchsfeldes Pr 87 auf derselben Versuchswirtschaft Emmercompascuum. Dieses Versuchsfeld (11), im Herbst 1929 auf einer neu urbar gemachten Parzelle angelegt, empfing im Jahre 1930 die Phosphatdüngung in Form von Superphosphat, 1931–1933 Schlackenmehl und weiter als Dikalziumphosphat (phosphorsauren Futterkalk). Am 27. Mai 1935, fast zwei Monate nach der letzten Düngung, wurden von drei der sieben Objekte in drei Schichten Bodenproben genommen.

Im ganzen waren auf den gedüngten Objekten sechs jährliche Portionen, also 600 bzw. 1200 kg/ha P₂O₅, gegeben; die fünf Ernten zusammen hatten 98, 276 bzw. 323 kg/ha P₂O₅ entzogen.

Tabelle 2 zeigt den charakteristischen Aufbau dieses Bodens mit einer 10 cm dicken Humussandkrume und darunter die

Tabelle 2.

	Schicht cm	Humus %	Volum- gewicht	pH	P-Zahl	P-Zitr.
Kein P_2O_5	0—10	5,5	1,32	5,4	2	6
	10—20	57	0,47	4,45	7	8
	20—30	50	0,54	4,3	14	19
100 kg/ha P_2O_5	0—10	5,4	1,32	5,4	12	27
	10—20	81	0,31	4,15	14	15
	20—30	81	0,31	4,3	15	14
200 kg/ha P_2O_5	0—10	5,7	1,31	5,7	21	47
	10—20	64	0,41	4,3	25	27
	20—30	76	0,34	4,45	33	28

frühere Bunkerde, beim Abtorfen in großen Klumpen zur Seite gelegt, unregelmäßig von Zusammensetzung, wie sich aus dem Humusgehalt 50—81% der Schichten 10—20 und 20—30 cm zeigt. Die P-Zahl der Krume (Tabelle 3), die bei Anfang des Versuches $2\frac{1}{2}$ war, hat sich auf den Parzellen ohne Phosphat nicht geändert, ist aber durch die 6 Düngungen nach 100 bzw. 200 kg/ha auf 12 bzw. 21 gestiegen. Dementsprechend ist P-Zitr. von ursprünglich etwa 9 auf 6 bzw. 27 und 47 gekommen, während P-Total nach Lemmermann, ursprünglich etwa 16, sich auf 18 bzw. 39 und 57 stellte. Bei der leichten Löslichkeit der Phosphorsäure in diesem Bodentyp gibt eine Verhältniszahl P-Zahl : P-Zitr. ein brauchbares Bild, man erhält:

Tabelle 3.

	P-Wasser	P-Zitr.	Ver- hältnis	P-Zitr.	P-Total	Ver- hältnis
Ursprünglich	$2\frac{1}{2}$	9	28	9	16	56
Kein Phosphat	2	6	33	6	18	33
Sechsmal 100 kg/ha	12	27	44	27	39	70
Sechsmal 200 kg/ha	21	47	45	47	57	82

Betrachtet man jetzt die unter der etwa 10 cm tiefen Krume liegenden Bunkerdeschichten, so findet man (Tabelle 2), daß die P-Zahl (in Wasser) der P-Zitr. praktisch gleich ist! In dieser stark humosen Schicht mit pH von etwa 4,4 ist das Phosphat so löslich, daß der wässrige Auszug ebensoviel davon enthält wie der Auszug mit 1%iger Zitronensäurelösung, und zwar auf der gedüngten wie auch auf der nicht mit Phosphat gedüngten Parzelle. Dies sind Verhältnisse, die man sonst nicht oft antreffen wird; die Möglichkeit einer bedeutenden Phosphatauswaschung wird dadurch auch völlig klar. Die Erklärung wird wohl zu suchen sein in der aus anderen Untersuchungen (12) wohlbekannten phosphatlösenden Kraft humoser Bestandteile, der im deutlich braun gefärbten Bodenwasser oder wässrigen Extrakt dieses Moorbodens anzunehmen ist, vielleicht geholfen von dem niedrigen pH 4,4.

Die Zahlen in Tabelle 2 machen nicht nur die bedeutende Phosphatauswaschung erklärlich, sie zeigen auch direkt die Phosphatbeweglichkeit in diesem Boden. Bei der Betrachtung der Zahlen bedenke man, daß die Krume 0—10 cm eine bei der Urbarmachung künstlich mit dem Pflug dargestellte Mischung von als Decke aufgebrachtem Sand mit der oberen, mit dem Pflug abgeschälten Moorschicht darstellt. Der Sand zeigt eine gewisse Phosphatfestlegung, welche aber von den eingemischten allmählich feiner zerfallenden Humusklümpchen und dem von ihnen bedingten humosen Bodenwasser gemindert wird, indem die Festlegungszahl für die Krume 0—10 etwa 18, für die Schichten 10—20 und 20—30 etwa 8 und 5 ist.

Die etwas größere Festlegung in der Humussandmischung zeigt sich in der niedrigen P-Zahl 2 der nicht mit Phosphat gedüngten Parzelle, während die Bunkschichten eine P-Zahl 7 und 14 ergeben. Hiermit rechnend betrachte man nun das Bild:

Tabelle 4.

	P-Zahl			P-Zitr.		
	Krume	10—20	20—30	Krume	10—20	20—30
Kein Phosphat	2	7	14	6	8	19
100 kg/ha P_2O_5	12	14	15	27	15	14
200 kg/ha P_2O_5	21	25	33	47	27	28

Die Zunahme mit zunehmender Düngung ist in allen Fällen deutlich. Die Schicht 10—20 zeigt eine Zunahme sowohl durch 100 als auch verstärkt durch 200 kg/ha P_2O_5 ; bei der Schicht 20—30 hat die sechsmalige Düngung nach 100 kg/ha anscheinend noch keine deutliche Anreicherung gegeben, sechsmal 200 kg ha aber wohl, welche Anreicherung in der P-Zahl ebenso deutlich Ausdruck findet als in der P-Zitr.-Zahl.

Wanderung von Phosphat in Heidesandboden.

Während die oben beschriebenen Verhältnisse bei moorkolonialen Böden wohl ohne näheren Beweis durch die große Löslichkeit des Phosphats in der humosen Bodenlösung erklärt werden dürfen, ist die Sachlage nicht so klar bei dem mäßig groben Heidesand eines Versuchsfeldes, wo wir bei einem eingehenderen Studium des Phosphathaushaltes die Erklärung von gewissen Verhältnissen auch in einer Wanderung des Phosphates fanden (13).

Um unsere i. c. erörterten Resultate und Schlüsse sicherer zu begründen, haben wir den Verlauf der Zahlen schichtenweise näher studiert. Auf dem betreffenden im Jahre 1926 aus Heide urbar gemachten Versuchsfeld, für dessen ausführliche Beschreibung wir auf die eben zitierte Verhandlung verweisen dürfen, liegen mehrere Versuche, wovon Pr 113 im Herbst 1931 angelegt wurde. Weil die Parzellen sehr klein waren, wurde nicht gepflügt (bei der Urbarmachung war der Boden in üblicher Weise bis 25—30 cm

umgepflügt). Die Dünger wurden zuerst durch Einrechen mit der oberen Sandschicht gemischt; als Bodenbearbeitung genügte auf diesem leichten Boden ein Umarbeiten mit der Gabel, wobei 10 cm tief eingestochen wurde und die obere 8—10 cm dicke Schicht, allerdings sehr unvollständig, gemischt wurde. Nachdem drei jährliche Düngungen gegeben waren (1933 auf der einen Hälfte, in 1934 auf der anderen Hälfte keine Düngung) und dreimal Kartoffeln geerntet waren, wurden am 6. Juni 1935 zum ersten Male und weiter an den in Tabelle 5 angegebenen Daten schichtweise Proben genommen*). Die letzte Phosphatdüngung hatte am 12. April 1935 stattgefunden, und zwar mit 600 bzw. 900 kg/ha P_2O_5 als primäres Kalziumphosphat; die letzte Umarbeitung mit der Gabel gleich hinterher. Die Zahlen am 6. Juni 1935 geben den Zustand, wie er sich in einigen Wochen nach Bearbeitung und Düngung eingestellt hatte, und zwar gibt die Tabelle 5. die P-Total-Zahlen, Tabelle 6 die P-Zitr.-Zahlen (die P-Zahl ist auf diesem stark festlegenden Boden immer sehr niedrig, praktisch null, und erhob sich erst für die 900-kg/ha-Parzelle nach drei jährlichen Düngungen auf 15).

Tabelle 5. P-Total.

kg/ha P_2O_5	Probeentnahme	keine				600				900			
		6/6	28/6	16/9	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3
Schicht	0—3	23	22	23	25	131	130	125	116	191	205	184	164
	3—6	19	20	19	20	116	140	135	125	149	176	183	165
	6—9	18	17	19	17	74	86	105	111	103	128	135	151
	9—12	16	15	17	16	34	51	53	72	56	75	89	97
	12—15	17	14	15	15	18	30	25	31	33	32	44	45

Tabelle 6. P-Zitr.

kg/ha P_2O_5	Probeentnahme	keine				600				900			
		6/6	28/6	16/9	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3
Schicht	0—3	11	10	12	11	106	99	90	91	166	170	143	130
	3—6	9	9	8	8	93	111	101	97	123	143	148	134
	6—9	7	8	8	7	55	67	80	88	83	103	109	120
	9—12	7	7	7	6	18	35	36	56	40	54	66	67
	12—15	7	6	5	5	8	17	13	20	17	19	28	28

Auf der Parzelle ohne Phosphat bleiben während der 9 $\frac{1}{2}$ Monate die Zahlen schichtweise praktisch unverändert, in welcher Zeit keine Bodenbearbeitung oder Düngung stattfand; nur die Kartoffeln wurden am 16. September (nach der Probeentnahme) gerodet. Die mit 600 bzw. 900 kg/ha gedüngten Parzellen, welche im ganzen 1800 bzw. 2700 kg/ha primäres Kalziumphosphat erhalten hatten, zeigen aber in den Schichten unterhalb

*) Die Probeentnahme geschah mit einem zylindrischen Bohrer von 5 cm Durchmesser, der in zwei Hälften aufklappbar war, wonach mit einem passenden Messer die 3-cm-Schichten glatt abgestochen werden konnten. Je Teilstück und Probe jemals zwölf Bohrungen.

↓ Volgens Hetterberg had hij de bewerking met de vork gedaan
 hierin v.o.t. grondbewerking plaats; de grond diep grondbewerking
 over de vork hierin zoudat de bewerking met de vork
 ook grondbewerking kunnen zijn.

3 cm eine Steigerung, während die obere Schicht 0—3, worin die letzte Düngung auch bei dem Umarbeiten mit der Gabel hauptsächlich lokalisiert blieb, merklich in Phosphatgehalt abnimmt. Die allmähliche Zunahme in der Schicht 9—12 ist sehr deutlich, in der Schicht 12—15 noch sehr merklich.

Um diese Phosphatwanderung noch etwas schärfer zu verfolgen, haben wir ähnliche Bestimmungen gemacht in einem neben Pr 113 gelegenen Versuch Pr 259, der am 7. Mai 1935 zum ersten Male eine Phosphatdüngung in Form von phosphorsaurem Futterkalk, einer ziemlich reinen Form von Dikalziumphosphat, empfing und seit der Urbarmachung im Jahre 1926 unberührt, nur mit einer spärlichen Unkrautflora, gelegen hatte. Am 6. Mai war zu allen Parzellen 630 kg/ha Kreide gegeben und eingereicht; am 7. Mai wurde zugleich mit der Phosphatdüngung 300 kg/ha K_2O als Kaliumsulfat, 128 kg/ha MgO als Magnesiumsulfat und 150 kg/ha Stickstoff als Ammoniumnitrat gegeben und wie oben mit der Gabel umgearbeitet. Die Kartoffeln wurden am 8. Mai gepflanzt. Die Probeentnahmen fanden, wie Tabelle 7 und 8 zeigen, an denselben Tagen statt wie bei Versuch Pr 113; nur wurde die Parzelle ohne Phosphat nicht mehr als einmal bemustert; Proben wurden in jeder 2-cm-Schicht entnommen. Die Resultate findet man in Tabelle 7 (P-Total) und Tabelle 8 (P-Zitr.).

Tabelle 7. P-Total.

kg/ha P_2O_5	600				900				0
	6/6	28/6	16/9	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3	30/3
Schicht 0—2	140	122	125	102	198	156	170	120	17
2—4	55	52	77	125	90	60	146	148	15
4—6	18	26	38	86	36	30	64	96	13
6—8	23	23	24	45	19	18	31	58	13
8—10	14	17	16	21	18	15	19	29	14
10—12	14	15	15	17	18	15	17	21	15
12—14	17	17	15	17	18	15	15	18	16
14—16	—	—	16	17	—	—	14	17	15

Tabelle 8. P. Zitr.

kg/ha P_2O_5	600				900				0
	6/6	28/6	16/9	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3	30/3
Schicht 0—2	109	90	87	71	151	122	123	86	6
2—4	39	33	53	97	65	38	135	111	5
4—6	9	12	21	62	21	15	41	66	5
6—8	11	9	10	29	6	6	16	36	5
8—10	5	6	5	10	6	5	6	15	5
10—12	6	5	4	7	6	5	5	9	6
12—14	5	5	4	7	6	6	4	7	6
14—16	—	—	4	7	—	—	4	7	6

Auch aus diesen Zahlen tritt, abgesehen von einigen Unregelmäßigkeiten, welche wohl lokalen Ungleichheiten des Bodens zuzuschreiben sind — der erst einmal umgearbeitete Boden war

*hier sind die Werte für
Kopfschicht 0-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16*

noch etwas ungleichmäßiger als der Boden von Pr 113 —, die Wanderung des Phosphats im Verlauf der $9\frac{1}{2}$ monatigen Periode deutlich hervor. Die obere 2-cm-Schicht nimmt in Phosphatgehalt ab, tiefere Schichten nehmen zu, die unteren Schichten (etwa von 12 cm ab) werden vom Phosphat noch nicht erreicht und zeigen unveränderten Phosphatgehalt.

Bei einem stark phosphatfestlegenden Boden wie diesem Heidesand (Festlegungszahl 98%) wäre man geneigt, eine Wanderung des Phosphats in löslicher Form, besonders ein halbes Jahr oder mehr nach der Anwendung, zu verwerfen und in erster Linie an einen mechanischen Transport von Phosphatteilchen durch einsickerndes Regenwasser zu denken. Jedoch kann man unseres Erachtens dies nicht ohnehin als sicher annehmen; denn man soll nicht vergessen, daß die niedrige P-Zahl und die hohe Festlegung gefunden wurden, nachdem der Boden aus einer Mischprobe nach kräftigem Umschütteln mit der Hand 24 Stunden bei 50° C mit Wasser in Berührung war.

Strikt genommen kann man nicht mehr aussagen, als daß nach 24stündiger Behandlung sich ein Gleichgewicht (besser ein Zustand) bildet, bei dem sich die Phosphatlöslichkeit als auf so und soviel Milligramm pro Liter eingeschränkt herausstellt. Ob erst während des Schüttelns die die Löslichkeit einschränkenden Ionen oder Bodenkörper in Tätigkeit treten, oder ob schon in der Bodenlösung nur so wenig Phosphat gelöst vorkam, ist ohne weiteres nicht zu entscheiden. Die Möglichkeit bleibt offen, daß an gewisse Stellen im Boden ziemlich viel Düngerphosphat kam und sich stellenweise eine phosphatreiche Bodenlösung bildete (welche aber während der Analyse beim Schütteln mit Lehmkörnern von einer anderen Bodenstelle das Phosphat wieder abtreten mußte), und daß diese, gewissen Rissen oder Wurmgängen entlang, hinuntersickerte, um erst in tieferen Schichten aufgefangen und festgelegt zu werden. Um hierüber etwas Näheres zu erfahren, haben wir mit dem Boden von demselben Versuchsfeld spezielle Versuche angesetzt, über welche wir später berichten werden.

Zusammenfassung.

In moorkolonialem Boden zeigt sich die Phosphorsäure sehr beweglich. Dränwasser enthielt 5—10 oder mehr mg P_2O_5 pro Liter, woraus sich ein jährlicher Dränverlust von 15—30 kg pro Hektar berechnen ließe. Das Verhältnis von P-Zahl (in Wasser) zu P-Zitr. (in 1%iger Zitronensäurelösung), das wir bei unserer Untersuchungsmethode anstatt der weniger sagenden Lemmermannschen „relativen Löslichkeit“ bestimmen, ist bei diesem Bodentyp hoch: in den Bunkerdeschichten (z. B. 10—20 und 20—30 cm tief) ist die Wasserlöslichkeit sogar der Zitronensäurelöslichkeit gleich, was neben dem niedrigen pH von 4,4 wohl den humosen Bestandteilen, die eine braune Farbe des wässerigen Auszugs

Ha
 m
 bla
 op
 Cu
 or
 5-

sch

bedingen, zuzuschreiben ist. Eine Wanderung des Düngerphosphats von der Sand-Humus-Krume in tiefere Schichten ist bei diesem Bodentyp deutlich festzustellen.

Auch in einem Heidesandboden wurde durch schichtenweise Probeentnahme in einer 9 $\frac{1}{2}$ monatigen Periode eine deutliche abwärts gerichtete Phosphatwanderung festgestellt. Ob bei diesem das Phosphat stark festlegenden Boden an mechanischen Transport von Düngerteilchen gedacht werden muß oder an örtlich nicht festgelegtes heruntersickerndes Phosphat, soll näher erörtert werden.

Schrifttum:

1. Phosphorsäure, Berlin, 5, 1935, 226. — 2. Phosphorsäure, Berlin, 5, 1935, 52. — 3. Vries, de O., u. C. W. G. Hetterschij: Der Phosphorsäurehaushalt im Heidesandboden, S. 11, 15, 23 u. 25. Sonderh. auf Anfrage erhältlich bei der Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande. — 4. Siehe z. B. Hock, A.: Superphosphat, Berlin, 5, 1929, 104; Midgley, A. R.: J. Amer. Soc. Agron, New York, 23, 1931, 788; Stephenson, R. E., u. A. D. Chapman: J. Amer. Soc. Agron, New York, 23, 1931, 759; Sekera, F.: Ernährung d. Pflanze, Berlin, 28, 1932, 50; Gisiger, L.: Landw. Jb. d. Schweiz, Bern, 47, 1933, 491; Thornton, S. F.: J. Amer. Soc. Agron, New York, 27, 1935, 46; Brown, L. A.: Soil Sci., Baltimore, 39, 1935, 277. — 5. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, Berlin, 36, 1934, 235. — 6. J. Agric. pratique, Paris, 1, 1909, 232. — 7. Siehe z. B. Way, Th.: J. R. Agric. Soc. Engl., 17, 1856, 141; Seelhorst, C. v.: J. Landw., Berlin, 52, 1904, 387; Prjanischnikow, D. N.: Düngerlehre, P. Paray, Berlin, 1923; Gerlach, M.: Landw. Jb., Berlin, 64, 1926, 701; Schmitt, L.: Superphosphat, Berlin, 9, 1933, 103; Morgan, M. T.: Conn. Agric. Exp. Stat. Bull., New Hawen, 384, 1936, 430. — 8. Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Pflanzenzucht, Leipzig, 8, 1932, 168. — 9. Phosphorsäure, Berlin, 5, 1935, 40. — 10. S. Auseinandersetzung in: Phosphorsäure, Berlin, 5, 1935, 38. — 11. Eine weitere Beschreibung befindet sich in: Phosphorsäure, Berlin, 5, 1935, 46–55. — 12. Siehe z. B. Kappen, H.: Forschungsdienst, Berlin, Sonderh., 2, 1936, 83; Flieg, O.: Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, Berlin, 38, 1935, 222; auch schon bei Bemmelen, v., J. M.: Landw. Versuchsst., Berlin, 35, 1888, 130; Eichhorn, A.: Landw. J., Berlin 4, 1877, 957; Ramann, E.: Bodenkunde, Berlin 1911, 3. Aufl., 255; Mack, E.: Chemiker-Ztg., Köthen, 46, 1922, 73. — 13. Vries, de O., u. C. W. G. Hetterschij: Der Phosphorsäurehaushalt auf Heidesandboden, S. 11, 15, 23, 25 u. 54. Sonderh. auf Anfrage erhältlich bei der Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande.