

Der Phosphorsäure-Haushalt in moorkolonialem Boden.

Von

O. DE VRIES und C. W. G. HETTERSCHIJ
(Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande).

Die Kultivierung und Besiedelung von Mooren nimmt zur Zeit besonders in Deutschland einen breiten Raum innerhalb des öffentlichen Interesses ein. Wir glaubten deshalb auch durch die Veröffentlichung nachstehender Arbeit, die zur Frage des Nährstoffhaushalts auf urbar gemachten Moorböden einen beachtenswerten Beitrag liefert, der Aufmerksamkeit unseres Leserkreises entgegenzukommen. — Der Ausdruck „moorkolonial“ weist auf eine bestimmte Art der Urbarmachung mit dem Ziel der Herstellung einer Humus-Sanddecke hin. D. Schriftl.

Beim Studium des Phosphorsäure-Haushalts bildet die Bodenuntersuchung gewöhnlich den Ausgangspunkt, während das Resultat in Form von Ertragsbestimmungen und Analysen des Gewächses vorliegt. Es ist gut, sich dabei immer vor Augen zu halten, daß unsere Untersuchungsmethoden nur ein vereinfachtes Bild von der komplizierten Wirklichkeit geben können, und daß die Ernährung der Pflanzen nicht durch einige Zahlen beschrieben und festgelegt werden kann.

1. Bedeutung der Bodenuntersuchung im allgemeinen.

Man weiß, daß der Boden eines Ackers nie homogen ist und oft von Stelle zu Stelle beträchtlich wechselt, so daß die Pflanze vielerhand Umstände vorfindet und sich diesen anpassen kann; für die Bodenuntersuchung kommt aber meist nur ein Durchschnittsmuster in Betracht, die Düngung und weitere Behandlung kann nicht von Stelle zu Stelle verschieden sein, sondern geschieht für den ganzen Acker nach *einem* Plan. In der Regel wird nur die obere Bodenschicht (Krume) untersucht, während die Wurzeln bis einen Meter und tiefer eindringen können, und die Nährstoffe teilweise Schichten entzogen werden, die nicht in der Untersuchung mit hinein bezogen sind.

Man weiß auch, daß die Pflanze mehrere Wochen oder Monate nötig hat, um sich mit Nährstoffen zu versehen, während der Bodenanalytiker seine Zahlen in kurzer Zeit vorzuführen hat. Die Pflanze ernährt sich bei verschiedenen Bodentemperaturen (Frühling oder Sommer, Tag oder Nacht), bei verschiedenen Feuchtigkeitsverhältnissen (Regen oder Trockenheit) usw., also bei verschiedener Löslichkeit oder Verfügbarkeit der Nährstoffe. Dazu kommt noch die Wirkung von Mikroorganismen, welche die Nährstoffe umsetzen, festlegen oder für die höheren Pflanzen verfügbar machen können.

Die Projektion, welche Analyse oder Untersuchung uns von der Wirklichkeit geben, kann diese Komplikationen nicht voll zum Aus-

druck bringen und würdigen. Bei der Phosphorsäurefrage treten außerdem noch zwei Punkte von allgemeiner Natur in den Vordergrund.

Erstens läßt man bei der Analyse den Boden einige Zeit — z. B. 24 Stunden — mit einem Extraktionsmittel in Berührung kommen und schüttelt dabei. Es stellt sich ein (vielleicht nicht ganz vollständiges) Gleichgewicht ein zwischen Lösung und festen Teilchen. Im Boden selbst kann das aber ganz anders gewesen sein; da werden hier und da Phosphatkörnchen oder phosphatreiche Stellen von der letzten Düngung gewesen sein, andererseits Phosphat, das in Lösung gegangen war und z. B. wieder als Kalk- oder Eisenphosphat gefällt wurde; irgendwo sonst wieder Kalkteilchen oder Eisenflocken oder phosphathaltige Mineralkörner usw. Etwas übertrieben gesagt, wird man im Boden von Stelle zu Stelle allerhand Zustände und Kombinationen antreffen können, welche verschiedene Löslichkeitsverhältnisse hervorrufen, speziell für das Phosphat-Ion, das dafür so empfindlich ist; die Wurzelspitzen werden günstige Verhältnisse aufsuchen, die Wurzeln werden sich da vermehren und die Pflanze wird sich da ernähren können unter günstigen Umständen, welche bei der Analyse weggeschüttelt und weghomogenisiert werden. So wird es geschehen können, daß der homogenisierte Bodenextrakt, der zur Analyse kommt, in Zusammenhang mit seinem pH, dem Gehalt an Ca-Ionen usw., nur wenig Phosphat-Ion gelöst enthält, während im Boden Stellen vorkommen (z. B. die obere, kürzlich gedüngte Schicht), wo die Bodenlösung viel mehr Phosphat-Ion enthält und die Nahrungsverhältnisse ganz andere sind.

Zweitens hat man immer zu bedenken, daß die Wurzeln nicht nur bei der Atmung Kohlensäure ausscheiden und dadurch die Löslichkeit von verschiedenen Nährstoffen beeinflussen, sondern daß sie auch, selektiv, bestimmte Bestandteile aufnehmen oder auswechseln und dadurch in ihrer direkten Umgebung die Zusammensetzung der Bodenlösung verändern.¹ Wird dabei die Bodenlösung mehr sauer, so werden Phosphatteilchen in Lösung gebracht werden können, bevor noch durch Diffusion die vormalige Zusammensetzung wieder hergestellt ist.

Bekanntlich hat man schon seit Jahren bei der Bodenanalyse dem versäuernden Effekt der Wurzeln Rechnung getragen durch Benutzung von sauren Bodenextrakten. Die 1 %ige oder 2 %ige Zitronensäure löst aber auch Phosphate, welche von den Wurzeln nicht aufgeschlossen werden können, während gewöhnliches oder kohlenstoffhaltiges Wasser weniger Phosphat löst als den Wurzeln zugänglich ist. Wir haben uns daher bei unseren Untersuchungen beider Methoden bedient, um zu versuchen, durch Kombination von beiden Zahlen eine bessere Einsicht in die Verhältnisse zu bekommen. Gelegentlich haben wir dieser Kombination von P-Zahl (wasserlöslich) und P-Zitr. (zitronensäurelöslich) auch die LEMMERMANNsche Kombination angegliedert und die P-Total (Königswasser) bestimmt.

¹ Siehe z. B. F. SEKERA in dieser Zeitschrift 3 (1933), Seite 643, und R. CHAMINADE in Annales Agron. Nouvelle Série 3 (1934), Seite 07, wo auch Fälle erwähnt sind, daß die Bodenlösung um die Wurzelspitzen herum stärker alkalisch war.

Daneben haben wir uns ein Bild von der Festlegung von Phosphorsäure im Boden zu bilden versucht nach einer Methode, die denjenigen, die inzwischen von anderen Autoren² publiziert wurden, ziemlich ähnlich ist. Gelegentlich wurde auch durch wiederholte Extraktion die Nachlieferung bestimmt.

In dieser Mitteilung beschreiben wir nun, nach einigen Ergebnissen allgemeiner Art, zunächst die Verhältnisse bei moorkolonialem Boden — also die obere Schicht eines Hochmoores, nach Abgraben des Torfes mit Sand gemischt — als Beispiel eines Bodens mit praktisch keiner Phosphorsäurefestlegung. Wir benutzen dabei in der Hauptsache die Ergebnisse von einem Versuchsfeld auf neuem moorkolonialem Boden, wo zuvor noch nie Phosphatdüngung gegeben war, ein jungfräulicher Boden, auf dem der Phosphathaushalt von Anfang an verfolgt werden konnte.

Dabei schließen sich Daten von anderen Versuchsfeldern auf moorkolonialem Boden an.

2. Die angewandten Untersuchungsmethoden.

Bei dem Studium der Phosphatbeschaffenheit des Bodens haben wir hauptsächlich drei Bestimmungsmethoden angewandt, nämlich:

1. die P-Zahl, wie diese in unserem Betriebslaboratorium regelmäßig bei der Bodenuntersuchung gebraucht wird: einmaliges Ausziehen 1 : 10 mit gewöhnlichem destilliertem Wasser, also sehr schwach kohlenstoffhaltigem Wasser von pH ungefähr 5,7, während 24 Stunden bei 50 ° C;

2. die P-Zitr. Zahl, nämlich die in 1 % Zitronensäure lösliche Phosphorsäure, durch Schütteln des Bodens 1 : 10 nach LEMMERMANN (zwei Stunden schütteln bei Zimmertemperatur und nach 24 Stunden nochmals eine Stunde schütteln).

3. Eine Festlegungszahl, wofür genommen wird die mittlere prozentuale Festlegung durch 5 g Boden nach 24 Stunden bei 50 ° C aus wässriger Lösung von primärem Kalziumphosphat, enthaltend 10 bzw. 20 Einheiten P-Zahl je Gramm Boden, also 0,887 bzw. 1,775 mg $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{aq}$ in 50 cc der Lösung.

Bei allen drei Bestimmungen wird die Phosphorsäure nach der Molybdänblaumethode bestimmt. Für Einzelheiten verweisen wir auf eine spezielle dies betreffende Mitteilung, die in Bälde erscheinen wird. Wir erwähnen hier nur, daß die P-Zitr. Zahl etwas niedriger ausfällt als die nach der Methode LEMMERMANN gravimetrisch bestimmte Zahl, und zwar 1 bis 10, im Durchschnitt ungefähr zwei Einheiten. Untereinander sind die P-Zitr. Zahlen, die wir in dieser Mitteilung gebrauchen, sehr gut vergleichbar; eine „relative Löslichkeit“ nach

² A. NEMEČ, Z. f. Pfl. Ern. Dgg. u. Bk. A 26, 203 (1932). E. RAUTERBERG, Z. f. Pfl. Ern. D. u. Bk. A 31, 39 (1933). G. A. NEEB, Archief v. d. Suikerindustrie in Ned. Indië 1933, 1058.

LEMMERMANN, berechnet aus der P-Zitr. Zahl und der Gesamtmenge P_2O_5 (nach LEMMERMANN mit Königswasser) würde aber Zahlen geben, die von den gebräuchlichen abweichen.

Bequemlichkeitshalber erinnern wir weiter daran, daß eine Einheit P-Zahl oder P-Zitr. ein tausendstel Prozent vorstellt, also 1 mg je 100 g lufttrockenen Boden oder 10 kg P_2O_5 je Hektar bei einer Tiefe von 10 cm und bei einem Volumgewicht 1,0. Bei anderer Tiefe der Ackerkrume oder der bemusterten Schicht (z. B. 15 oder 20 cm) und bei einem anderen Volumgewicht muß man natürlich mit den betreffenden Verhältniszahlen multiplizieren.

Die P-Zahl gibt bekanntlich nicht den wasserlöslichen Vorrat P_2O_5 im Boden an; sie gibt nur Auskunft über die Löslichkeit oder Verfügbarkeit des Phosphates im Boden. Bei wiederholtem Ausziehen derselben Bodenprobe findet man in jedem Auszug immer wieder Quantitäten Phosphat, die der Menge, die bei der ersten Extraktion erhalten wurde (die P-Zahl), nahe kommen und diese im ganzen weit übertreffen können. Beispiele dafür findet man in obengenannter besonderer Mitteilung; als Typus führen wir an dieser Stelle nur einige Fälle an (Pr 8 und 42 auf moorkolonialem, Pr 10 und OO 51 auf Sandboden).

Übersicht I

No.	Versuchsfeld	Objekt	P-Zahl in Auszug						
			1	2	3	4	5	10	15
Pr 8	A.G. MulderW.	2, NPK	15	10 $\frac{1}{2}$	6	4	4-	2-	2-
	" "	6, ungedüngt	3 $\frac{1}{2}$	2+	2-	1	1	+	+
Pr 10	Spitsbergen	14, alkalisch gedüngt seit 1917	9 $\frac{1}{2}$	5	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2	2-	1
Pr 42	Curvepriv. Bor- ger Cie.	7, stärkste Kalkgabe	4-	4-	3	2 $\frac{1}{2}$	2	2+	2
OO51	Markelo	keine P_2O_5	2	2-	2-	1	1	1	1

Abgesehen davon, daß bei wiederholtem Ausziehen immer wieder Phosphat in Lösung geht — in Abhängigkeit von den anderen Stoffen, die sich im Wasserauszug lösen und die Löslichkeit der Phosphate mitbestimmen — hat man Rücksicht zu nehmen auf den in § 1 beschriebenen homogenisierenden Einfluß der Wasserbehandlung von einer Probe (welche meistens eine Mischprobe ist von verschiedenen Bohrungen); nur soviel Phosphat löst sich, als in (annäherndem) Gleichgewicht ist mit den Bestandteilen, die in der gemischten Probe vorkommen.

Der limitierende Einfluß der anderen Bestandteile aus der Bodenprobe ist geringer bei dem Zitronensäure-Auszug, weil durch die Zitronensäure verschiedene Verbindungen in Lösung gehen. Wenn auch die Zitronensäure-Zahl eine bessere Andeutung für den im Boden anwesenden Vorrat gibt als der wässrige Auszug, so gibt diese Zahl keinesfalls den in Säuren löslichen Vorrat wieder; auch hier gehen bei wiederholtem Ausziehen mit 1% Zitronensäure immer wieder neue Mengen Phosphat in Lösung, wie sich aus den in Übersicht 2 erwähnten Beispielen deutlich ergibt.

Übersicht 2

Nr.	Versuchsfeld	Objekt	P-Zitr. in Auszug					
			1	2	3	4	5	6
Pr 13	Vers. Bz. Borger Cie Spitsbergen	14, ch, bemergelt	70	28	9½	2+	2-	½
Pr 10		14, alkalisch gedüngt seit 1917	60	12	3	0	0	—
Pr 42	Curveversuchsfeld Markelo	7, stärkste Kalkgabe	76	17	5	1	0	—
OO51		keine P ₂ O ₅	35	17	9	5	3	2½

Bei wiederholtem Ausziehen sinkt die P-Zitr., wie man sieht, viel schneller als die P-Zahl; wir fanden dies ebenso bei verschiedenen anderen Versuchsfeldern. Beim Versuchsfeld Markelo ist der Rückgang verhältnismäßig gering; dies würde darauf hindeuten, daß bei diesem Versuchsfeld, das niedrige P-Zahlen gibt (siehe Tabelle 1), die P₂O₅ in schwierig oder langsam löslicher Form anwesend ist.

Was die Festlegungszahlen betrifft, erwähnen wir, unter Verweisung auf die betreffende ausführlichere Mitteilung, hier bloß, daß die bis jetzt ausgearbeitete Methode nur einen ungefähren Eindruck gibt von dem, was der Boden aus einer Phosphatlösung aufnimmt bzw. wieviel Phosphat nach Schüttelein mit dem Boden in Lösung bleibt. Hieraus ableiten, mit wieviel Phosphat man den Boden würde düngen müssen, um die P-Zahl auf dem Felde bis zu einer bestimmten Höhe steigen zu lassen, kann man nicht; wenn man die aus der Festlegungsbestimmung berechnete Phosphatdüngung gibt, erhält man bei späterer Bodenuntersuchung eine bedeutend niedrigere P-Zahl als berechnet war, wie Beispiele in einer späteren Mitteilung zeigen werden.

3. Zusammenhang mit pH.

Ein wichtiger Faktor bei der Beurteilung der P-Zahl — und in geringerem Maße auch bei der P-Zitr. — ist, daß diese Zahlen bei gleicher Phosphatdüngung sich ändern mit dem pH des Bodens. Schlagende Beispiele davon erhält man bei den Kalkversuchsfeldern; wir führen die folgenden an:

Übersicht 3

OO 353	Kalkversuchsfeld Losser; 5½% Humus, gut gedüngter alter Sandboden	pH am 19. Okt. 1930	5,3	5,7	6,1	6,3
		P-Zahl „ „ „	8,4	7,2	6,6	5,4
OO 351	Kalkversuchsfeld, Broeze in Notter 10% Humus, früher wenig gedüngt Sandbod.	pH am 18. Okt. 1931	4,5	4,7	5,4	5,6
		P-Zahl „ „ „	9,2	9,6	7,0	6,4
OO 356	Kalkversuchsfeld de Krim; 16½% Humus, ca. 30 Jhr. alter Moorkolonialboden	pH am 28. Jan. 1930	4,9	5,2	5,3	5,7
		P-Zahl „ „ „	16	14	12	9
		pH am 10. Okt. 1932	4,9	5,2	5,2	5,9
OOF 17	Kalkversuchsfeld v. d. Burg in Langezwaag 11% Humus (Grasland, Schicht 0—5 cm)	P-Zahl „ „ „	14	12	10	7
		pH am 10. Juni 1932	5,6	6,2	6,5	6,7
		P-Zahl „ „ „	33	26	19	13

Wie man sieht, sinkt in allen diesen Fällen die P-Zahl mit steigendem pH. Dies bestätigt sich in den in Übersicht 4 gegebenen, etwas ausführlicheren Beispielen.

Übersicht 4

<i>Pr. 42, Kurveversuchsfeld</i>							
pH, Aug. 1932	4,6	4,8	5,2	5,8	6,2	6,7	6,8
P-Zahl, Aug. 1932	16	13	12 ¹ / ₂	11	8	4	3 ¹ / ₂
P-Zitr., „ „	49	46	53	58	60	59	60
Robusta-Winterweizen,							
Ertrag:							
Korn 100 = 37 q/ha	95	107	96	95	91	96	100
Stroh 100 = 84,8 q/ha	93	97	96	104	100	100	100
P ₂ O ₅ in Korn %	1,03	0,99	0,95	0,98	0,95	0,99	0,96
P ₂ O ₅ in Stroh + Spreu %	0,24	0,23	0,19	0,19	0,17	0,20	0,19
Gartenbauversuchsfeld I.							
pH, am 14. Febr. 1932	4,3	4,5	4,7	5,4	5,8	6,2	6,7
P-Zahl, „ „ „	20	18	18	14	12	7	4
P-Zitr., „ „ „	36	30	33	38	38	42	42
v. Hoek's Sommerweizen 1932, Ertrag:							
Korn 100 = 29,8 q/ha	84	106	117	136	129	112	100
Stroh 100 = 74,4 q/ha	67	75	78	94	98	94	100
P ₂ O ₅ in Korn %	1,07	1,06	1,04	1,08	1,06	1,08	1,08
P ₂ O ₅ in Stroh %	0,42	0,37	—	0,35	0,39	0,44	0,46
Eigenheimer Kartoffel 1933							
P ₂ O ₅ in Knollen %	0,79	0,76	0,77	0,79	0,79	0,78	0,77
Maispflanzen (ohne Kolben), P₂O₅ %							
	0,76	0,72	0,59	0,60	0,52	0,38	0,36
v. Hoek's Sommerweizen 1933, Stroh + Spreu, P₂O₅ %							
	0,38	0,32	0,30	0,32	0,38	0,20	0,20
Goldgerste, Stroh + Spreu, P₂O₅ %							
	0,46	0,31	0,33	0,28	0,24	0,24	0,22
Gartenbauversuchsfeld II.							
pH am 25. Jan. 1932	4,5	5,0	5,4	5,8	6,2	6,4	6,6
P-Zahl „ „ „	5	5	4	4	3	2	2
P-Zitr., „ „ „	24	23	24	25	24	28	30
Spörgel 1932, Ertrag, 100 = 41,3 q/ha							
	133	109	79	91	88	61	100
P ₂ O ₅ in Trockensubst. %	1,18	1,14	1,17	1,11	1,16	1,12	1,09
Luzerne 1933, erster Schnitt, P₂O₅ %							
	(0,98)	0,80	0,72	0,68	0,73	0,68	0,73
id. zweiter Schnitt, P ₂ O ₅ %	0,62	0,54	0,56	0,56	0,57	0,58	0,56

Die Gartenbauversuchsfelder, welche nur orientierenden Charakter haben, geben keine vergleichbaren Ertragszahlen, da je Gewächs nur schmale Reihen gepflanzt wurden. Der Spörgel hatte bei allen Bodenreaktionen einen gleich guten und vollen Stand, der VAN HOEK'S Sommerweizen war bei pH 4,3 und 4,5 weniger gut, bei pH 5,4 und höher sehr gut.

Auf diesen Versuchsfeldern hatten alle Parzellen dieselbe Phosphatdüngung empfangen; die Düngergaben findet man in Übersicht 5. Man sieht, trotz des gleichen Phosphatvorrats, in Übersicht 4 den sehr deutlichen Unterschied in P-Zahl, die bei niedrigem pH-Wert 16 bis 20 betragen kann und nur 3 bis 4 für die am meisten gekalkten Parzellen. Verschiedene Gewächse reagieren nicht auf diese Unterschiede in P-Zahl;

Übersicht 5

Versuch	Humus %	N	P	K
Kurveversuchsf.	11 $\frac{1}{2}$	70 kg/ha als Amm. nitr.	100 kg/ha als Dikalziumphosph.	200 kg/ha als Kalialz 30%
Gartenbauvers. I	12 $\frac{1}{2}$	60 kg/ha als Amm. nitr.	200 kg/ha als Dikalziumphosph.	250 kg/ha als Patentkali
Gartenbauvers. II	6 $\frac{1}{2}$	60 kg/ha als Amm. nitr.	200 kg/ha als Dikalziumphosph.	250 kg/ha als Patentkali

die Phosphatgehalte sind bei Spörgel, Eigenheimer, Robusta und van Hoeks Sommerweizen in 1932 für alle pH-Stufen normal und praktisch gleich: Das Phosphat ist bei allen pH-Stufen für die Pflanzen anscheinend ohne Schwierigkeiten verwertbar gewesen. Die Unterschiede, welche in der P-Zahl gefunden werden, und welche zwischen ungenügend und sehr reich schwanken, haben offenbar keine Bedeutung für die P-Aufnahme. Die Maispflanzen und in 1933 die beiden Getreidearten zeigen aber wohl eine Abnahme im Phosphatgehalt bei höherem pH. Man bedenke, daß bei dem niedrigsten pH das Gewächs nahezu immer mißlang und die Gehaltzahl also als anormal betrachtet werden muß.

Wir erwähnen hier nur kurz, daß das Kurvenversuchsfeld auf altem moorkolonialen Boden liegt, während Gartenbauversuchsfeld I Sandboden eines alten Ackerbodens in Grootegast (Prov. Groningen) enthält, Gartenbauversuchsfeld II aus einem hoch gelegenen Sandboden aus Kolhorn (R. ZWANEVELD) besteht, beide gute bis ziemlich humose graue Sandböden.

Die Festlegungszahl bei den letzten zwei Versuchsfeldern war:

Übersicht 6

	pH	Festlegung
Gartenbauversuchsfeld I	4,3	39 %
	6,6	59 %
Gartenbauversuchsfeld II	4,5	52 %
	6,5	65 %

Also bei beiden Bodenarten eine mäßige Festlegung. Interessant ist, daß die P-Zitr. bei allen drei Versuchsfeldern in Übersicht 4 bei steigendem pH etwas zunimmt, im Gegensatz zu der P-Zahl, welche stark abnimmt.

Diese Beispiele zeigen klar, wie vorsichtig man bei dem Interpretieren der Bedeutung der P-Zahl und der P-Zitr. sein soll; es gibt keinen einzigen Grund, um vorauszusetzen, daß auf obengenannten Versuchsfeldern das Gewächs bei niedrigen P-Zahlen (hohe pH-Werte) Phosphatmangel gehabt haben würde; weder Stand oder Ertrag noch Phosphatmangel des Gewächses geben eine Andeutung in dieser Richtung.

Man darf aber die obengenannten Ergebnisse nicht verallgemeinern und sagen, daß zu einem hohen pH eine niedrige P-Zahl gehört und umgekehrt. Bei pH 6 oder höher kann man allerhand P-Zahlen finden bis über 20, wie die Beispiele in Übersicht 7 zeigen.

Übersicht 7

Versuchsfeld	Jahr	Objekt	pH	P-Zahl
EC 9 Ersatzversuchsfeld E. C.	1931	Prakt. Phosphatgabe	6,1	14
OF3, Piekeboer, Wijnjeterp	1932	4	6,0	21
NH49, Schilder, 't Zand	1930	Thomasmehl	6,5	23
— Marees, 't Zand	1930	"	5,9	23
OF 7, Vonk, Steggerda	1932	IV	6,3	21
Pr 10, Spitsbergen	1932	9	6,2	14

Umgekehrt findet man bei niedrigem pH sehr oft niedrige Werte für die P-Zahl, neben guten oder hohen Ziffern für P-Zitr., also in Fällen ohne Phosphatarmut im Boden. Hierzu gehören alle Versuchsfelder mit starker Phosphatfestlegung. Übersicht 8 gibt eine Anzahl Beispiele davon.

Übersicht 8

Versuchsfeld	Humus	pH	Festlegung	P-Zitr.	P-Zahl
NGe 17, Teuge	4 ¹ / ₂	4,1	88	52	1
NGe 17, Heukers, Boertange	16	4,4	85	17	0
OO 156, Welhuis, de Lutje	5 ¹ / ₂	4,7	—	32	2
Pr 34, Freije za	48	4,6	77	56	4
Pr 34, Freije ch	48	4,9	77	63	2
Pr 113, Hooghalen I	3	4,7	97	58	0-3
Pr 122, Hooghalen II	2 ¹ / ₂	4,9	98	51-60	1
OB 9, Gemonde	2 ¹ / ₂	5,3	58	34-42	2
OB 10, Jansen, Oss	3 ¹ / ₂	5,5	—	28-49	3-5
OO 51, Markelo	7	5,6	75	32-54	1 ¹ / ₂ -3
OF 12, Oosterwolde-W	4 ¹ / ₂	5,8	57	24-38	1-2

Wo mehrere Zahlen für P-Zitr. oder P-Zahl angegeben sind, beziehen diese sich auf verschiedene Düngungen, meistens auf steigende Mengen Phosphat.

Als ein Beispiel, wobei die P-Zahl mittelmäßig und praktisch unempfindlich für die Bodenreaktion ist, kann das Versuchsfeld Spitsbergen (Sandboden mit 6% Humus und einer Festlegungs-Zahl 43) gelten. Dort findet man die in Übersicht 9 erwähnten Zahlen.

Übersicht 9

pH in Aug. 1932	4,0	4,7	5,0	5,3	5,5	5,9	5,7	5,9	6,1	6,2	6,7
P-Zahl 1932	17	17	14	14	16	15	16	14	12	14	9
P-Zitr. 1932	48	50	55	60	48	57	55	64	61	58	62

Von einer allgemeinen Regel in betreff einer Beziehung zwischen pH und P-Zahl ist also nicht die Rede. Welche Faktoren die Löslichkeit des Phosphates bei der Bestimmung der P-Zahl in derartigen Fällen beherrschen, ist noch nicht bekannt; ihr Studium wird ausgedehnte Untersuchungen erfordern. Wir erwähnen diese Beispiele hier nur, um einen Eindruck zu geben, wie verwickelt die Phosphatfrage sogar bei ziemlich verwandten Böden ist.

4. Versuchsfeld Pr. 87 in Emmercompascuum.

Sehr geeignet, um das Schicksal der Phosphorsäure bei moorkolonialem Boden zu verfolgen, ist das Versuchsfeld Pr 87 mit steigenden Phosphorsäuregaben auf Parzelle 12 der Versuchswirtschaft in Emmercompascuum, das wir hier ausführlicher besprechen wollen.

Dieses Versuchsfeld wurde im Herbst 1929 aus Hochmoor urbar gemacht, im Dezember 1929 gemergelt, im Frühjahr 1930 saattfertig gemacht und im April 1930 in Parzellen eingeteilt. In 1930 wurde es zum erstenmal bebaut, und zwar mit Kartoffeln (Eigenheimer Kleisetzlingen), welche gedüngt waren mit 180 kg/ha N in Form von Kalkammonsalpeter und mit 340 kg/ha K₂O als Patentkali.

Das Phosphat wurde im April 1930 verabreicht als Superphosphat, im März 1931, im März 1932 und im März 1933 als Thomasschlackemehl, im Oktober 1933 als phosphorsaurer Futterkalk (rohes Dikalziumphosphat).

Die Bodenuntersuchung.

Die Ackerkrume hat eine Tiefe von 12 cm und enthält 4—8½, im Durchschnitt 5,6 % Humus. Das pH ist 5,2—6, im Durchschnitt 5,6. Als Phosphorsäure-Festlegungszahl wurde 18 % gefunden, also sehr niedrig.

Anfangsproben von den verschiedenen Parzellen wurden vor der Ernte 1930 und vor der ersten Phosphatverabreichung nicht genommen, so daß P-Zahl und P-Zitr. des ursprünglichen Bodens nicht bekannt sind; man darf aber auf Grund der Zahlen für Herbst 1930 und derjenigen für angrenzende Parzellen annehmen, daß diese ungefähr 2½ bzw. 9 waren, indem die Zahl für P-Total etwa 16 gewesen sein wird. Die Zahlen, welche bei der Bodenuntersuchung gefunden wurden, findet man in Übersicht 10.

Übersicht 10

Jährliche Düngung kg/ha P ₂ O ₅		0	25	50	75	100	150	200
pH	am 11. November 1930	5,05	5,15	4,9	5,1	5,25	5,1	4,9
	" 11. September 1931	5,25	5,4	5,35	5,4	5,45	5,6	5,5
	" 24. August 1932	5,45	5,5	5,55	5,6	5,6	5,75	5,7
	" 11. September 1933	4,9	5,1	5,1	5,25	5,3	5,45	5,55
	" 25. April 1934	4,55	4,7	4,75	4,9	4,95	5,15	5,4
	" 31. August 1934	5,25	5,3	5,25	5,35	5,4	5,6	5,95
P-Zahl	" 11. November 1930	2,5	1,7	2,4	2,6	3,2	4,6	5,3
	" 11. September 1931	2,3	2,5	3,6	4,9	5,9	8,8	11,7
	" 24. August 1932	1,4	3,2	3,5	4,8	7,7	10,0	11,7
	" 11. September 1933	1,5	2,3	3,4	4,8	6,4	9,4	12,0
	" 25. April 1934	1,0	1,7	3,4	4,4	6,6	11,2	18,0
	" 31. August 1934	1,0	1,9	2,8	5,0	7,4	13,6	20,0
P-Zitr. Zahl	" 11. November 1930	12	15	15	16	16	16,5	17
	" 11. September 1931	8	16	12	12	13,5	24	24
	" 24. August 1932	7	14	16	14	20	23	28
	" 11. September 1933	10	16	16	19	22	31	36
	" 25. April 1934	12	17	17	19	24	31	50
	" 31. August 1934	11	15	14	16	20	31	50

Der pH-Wert ist anfänglich für alle Parzellen nahezu gleich und im Mittel 5,06; unter Einfluß der gestaffelten Thomasmehldüngung in 1931—1933 steigt die Zahl für die höheren Phosphatgaben, und zwar um 0,65 für die höchste Gabe. Im Mittel läßt sich aus allen Gaben eine pH-Steigerung von 0,15 pro 100 kg P_2O_5 berechnen, also pro 570 kg Thomasschlackenmehl. Von den in diesen 570 kg vor-

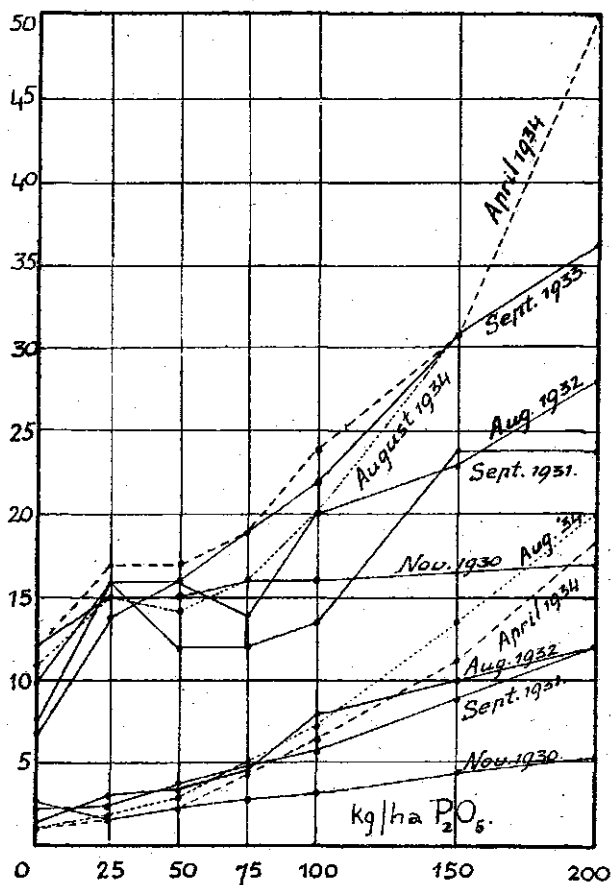


Abb. 1. Unten: P-Zahl, oben: P-Zitr.

handenen 260 kg CaO wären 80 kg als Dikalziumphosphat gebunden, also 180 kg frei. Eine Steigerung von 0,1 in pH wird in diesem Boden erreicht mit 125 kg/ha CaO; eine Steigerung von 0,15 in pH entspricht also 190 kg/ha CaO, so daß das „freie“ CaO aus dem Thomasmehl vollaus entsäuernd gewirkt hat.

Die Änderung im pH war in 1933 noch nicht so groß, daß dies Bedeutung für die P-Zahlen oder für den Ernteertrag gehabt hätte; in den Schorfzahlen machte sie sich aber bemerkbar, wie unten be-

sprochen wird. Von 1934 an wird das Phosphat in Form von phosphorsaurem Futterkalk (Dikalziumphosphat) gegeben, der keinen Einfluß auf das pH hat.

Die *P-Zahlen* findet man in Abb. 1 abgebildet, mit Ausnahme derjenigen von September 1933, welche nahezu mit den Zahlen von 1932 und 1931 zusammenfallen. Man sieht aus dieser Abbildung und aus Übersicht 10, daß die *P-Zahlen* schon nach der ersten Ernte regelmäßig mit der *P-Düngung* zunehmen und auch während der folgenden zwei Jahre ziemlich regelmäßig wachsen, ausgenommen bei den Parzellen ohne Phosphatdüngung, wo die Zahlen langsam sinken. Im Herbst 1933 sind die *P-Zahlen* größtenteils etwas niedriger als in 1932; vielleicht hat man bei diesem heterogenen neuen moorkolonialen Boden, wo die Stückchen Moorboden und der Sand noch nicht zu einem homogenen Kulturboden geworden sind und die Probenahme deshalb Schwierigkeiten bietet, mit Abweichungen bei der Probenahme zu tun. In 1934 sind die *P-Zahlen* bei den stärksten Phosphatgaben noch bedeutend gestiegen. Bei den übrigen Objekten haben sie sich nur wenig geändert oder sind etwas gesunken. Offenbar haben die höheren Phosphatgaben das festlegende Vermögen des Bodens ziemlich abgesättigt.

Es zeigt sich trotz kleiner Unregelmäßigkeiten aus diesen Zahlen wohl deutlich, daß bei diesem neuen noch nicht mit Phosphat gedüngten moorkolonialen Boden der Gang in den *P-Zahlen* den Phosphatvorrat ziemlich gut abspiegelt, aber nur im Verhältnis, denn von einer quan-

Übersicht 11

Jährliche Düngung kg/ha P_2O_5	0	25	50	75	100	150	200
Kartoffeln, Eigenheimer, 1930, Knollen, 100 = 304 q/ha	100	149	160	152	169	177	179
Kartoffeln, Triumph, 1931, Knollen, 100 = 297 q/ha	100	117	125	122	126	129	133
Peikuser Winterroggen, 1932 Korn, 100 = 32,2 q/ha	100	102	111	109	112	110	111
Korn + Stroh, 100 = 94,7 q/ha	100	105	108	107	108	107	108
Kartoffeln, Thorbecke, 1933, Knollen, 100 = 281 q/ha	100	127	130	131	134	135	135
Stand am 7. Juni 1933	4,5	5,8	7,0	7,9	7,8	8,1	8,0
Stand am 25. Juli 1933	3,0	4,7	5,4	5,7	6,2	6,2	6,3
Juliana Winterweizen, 1934, Stand am 18. April 1934	1,9	5,2	5,6	6,2	6,5	7,0	6,3
Stand am 10. Juli 1934	3,0	4,7	5,2	5,5	5,9	6,1	5,7
Korn, 100 = 21,2 q/ha	100	148 ¹⁾	138	141	137	131	140
Korn + Stroh, 100 = 56,3 q/ha	100	161 ¹⁾	152	154	158	161	163

¹⁾ Die hohe Zahl für 25 kg/ha P_2O_5 ist unerwartet und stimmt nicht mit den Standbeurteilungen. Es konnte nicht festgestellt werden ob hier ein Versuchsfehler vorliegt; die Zahl muß als zweifelhaft betrachtet werden.

titativen Beziehung ist und kann nicht die Rede sein. Die P-Zahlen bleiben, wie weiter unten näher besprochen wird und nicht anders zu erwarten war, ziemlich weit hinter dem global berechneten Vorrat zurück.

Die P-Zitr. Zahlen (Übersicht 10 und Abb. 1) liegen natürlich höher als die P-Zahlen; der Verlauf bei steigender Phosphatgabe ist etwas unregelmäßiger als bei der P-Zahl, aber die höheren P-Zitr. Zahlen nähern sich besser dem steigenden P-Vorrat im Boden.

Bei diesem Versuchsfeld gibt die P-Zahl ein mindestens ebenso befriedigendes Bild vom Phosphathaushalt als die P-Zitr. Zahl.

Der Ertrag.

Die Ernte-Resultate für die Jahre 1930—1934 findet man in Übersicht 11.

a) Kartoffeln.

Der Ertrag steigt bei den ersten zwei Kartoffelernten schnell bei Düngungen von 0 bis 50 kg P₂O₅, bleibt dann ziemlich konstant, um bei den höheren P₂O₅-Gaben noch etwas zu steigen, so daß man bei der P-Zahl 9—10 und der P-Zitr.-Zahl 23 und einer jährlichen Düngung von 150 kg/ha P₂O₅ noch nicht von einem deutlich genügenden Phosphatzustand reden kann.

Im vierten Jahr (1933) geben die Parzellen mit P-Zahlen 6,4 und höher und P-Zitr. Zahlen 22 und höher bei Düngungen von 100 kg/ha P₂O₅ und höher gleiche Kartoffel-Erträge.

Übersicht 12

Jährliche Düngung kg/ha P ₂ O ₅	0	25	50	75	100	150	200
1932 Korn q/ha	31,7	32,3	35,0	34,6	35,6	34,8	35,0
id. % P ₂ O ₅	0,57	0,84	0,92	0,92	0,93	0,96	0,97
id. kg/ha P ₂ O ₅	16	23	28	27	29	29	29
Stroh q/ha	61,4	65,4	65,8	65,4	65,6	64,6	65,5
id. % P ₂ O ₅	0,10	0,17	0,20	0,26	0,29	0,32	0,33
id. kg/ha P ₂ O ₅	5	10	11	15	16	18	19
gesamt kg/ha P ₂ O ₅	21	33	39	42	45	47	48
1933 Knollen q/ha	281	358	365	369	377	378	380
id. % P ₂ O ₅	0,29	0,37	0,48	0,58	0,64	0,71	0,73
id. kg/ha P ₂ O ₅	20	35	44	54	61	64	71
1934 Korn p/ha	21,2	31,3	29,2	29,8	29,1	27,7	29,6
id. % P ₂ O ₅	0,62	0,87	1,02	1,05	1,08	1,09	1,06
id. kg/ha P ₂ O ₅	11	23	25	27	27	26	27
Stroh q/ha	35,0	58,9	56,4	56,9	60,0	62,5	62,0
id. % P ₂ O ₅	0,11	0,08	0,16	0,20	0,27	0,37	0,37
id. kg/ha P ₂ O ₅	3	4	8	10	14	20	20
gesamt kg/ha P ₂ O ₅	14	27	33	37	41	46	47
1930 und 1931, Knollen, kg/ha P ₂ O ₅ (Schätzg.)	43	71	90	114	129	140	157

Die P-Entziehung durch die Knollen zeigt Übersicht 12, zweite Hälfte; der P_2O_5 -Gehalt in den Knollen steigt von 0,29 % bis 0,73 % und nimmt bei den höheren P_2O_5 -Gaben regelmäßig noch etwas zu.

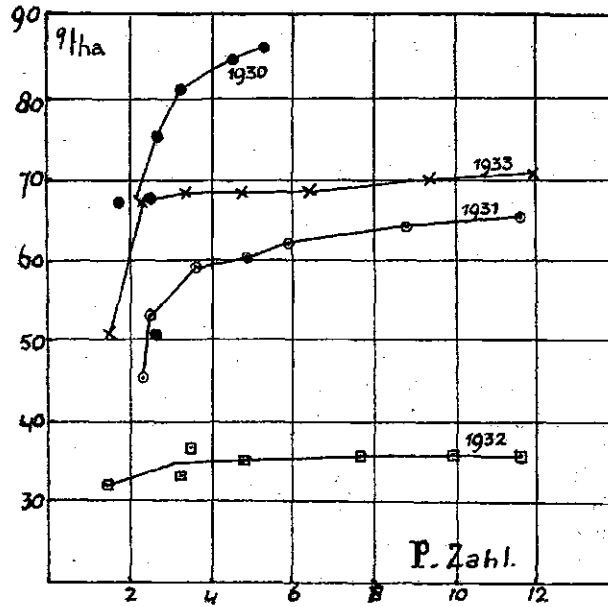


Abb. 2. Ertrag an Stärkemehl oder Korn (in q/ha) gegen P-Zahl

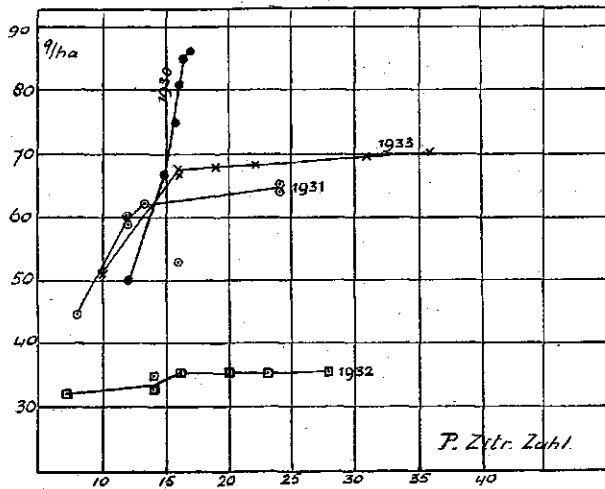


Abb. 3. Ertrag an Stärkemehl oder Korn (in q/ha) gegen P-Zitr. Zahl

Bei Kartoffelbau für Mehlbereitung, wie diese in den Moorkolonien allgemein üblich ist, hat der Ertrag an Stärke natürlich mehr Bedeu-

tung als der Ertrag an Knollen. Übersicht 13 gibt die betreffenden Zahlen (Stärkegehalt in % Stärke-Ertrag in q/ha).

Übersicht 13

Düngung, kg/ha P ₂ O ₅	0	25	50	75	100	150	200
1930, %	16,5	17,7	17,8	18,3	19,1	19,2	19,2
1930, q/ha	50	67	67	75	81	85	86
1931, %	15,0	15,3	15,8	16,3	16,6	16,7	16,6
1931, q/ha	45	53	59	60	62	64	65
1933, %	18,3	18,8	18,7	18,2	18,0	18,4	18,4
1933, q/ha	51	67	68	68	68	69,5	70

In Abb. 2 und 3 sind die Stärke-Erträge gegen P-Zahl bzw. P-Zitr. abgebildet. Das Bild ist ungefähr dasselbe wie bei den Knollen-Erträgen (siehe Übersicht 11); eine geringe, aber ziemlich gleichmäßige Steigerung bei den höheren Phosphatgaben zeichnet sich hier deutlicher ab als beim Knollen-Ertrag. Auch hier würde man aus den Zahlen der beiden ersten Kartoffel-Ernten schließen müssen, daß bei einer P-Zahl 9—10 und einer P-Zitr. Zahl 23 der Höchstertrag noch nicht erreicht wird. Die Stärkemehl-Erträge zeigen auch im vierten Jahr, in Gegensatz zum betreffenden Knollen-Ertrag, bei Düngungen von 100 kg/ha P₂O₅ und höher (bei einer P-Zahl 6,4 und einer P-Zitr. Zahl 22) noch eine gewisse Zunahme.

Zusammenfassend mit den Ergebnissen der beiden vorigen Kartoffel-Ernten würde also bei einer jährlichen Düngung von 150 kg/ha P₂O₅ und einer P-Zahl von etwa 10 der Maximal-Ertrag noch nicht erreicht sein. Die P-Zitr. Zahl ist dabei auf etwa 30 gestiegen.

Bei den Kartoffel-Ernten wurde in 1933 auch die *Schorfzahl* bestimmt; es war ein deutlicher Unterschied bemerkbar, der wohl gänzlich der pH-Differenz zuzuschreiben war. Die Zahlen (0 = kein Schorf, 5 = sehr starker Schorf) waren:

Übersicht 14

Schorfzahl	1,1	2,3	2,0	2,4	2,6	2,9	2,8
pH September 1933	4,9	5,1	5,1	5,25	5,3	5,45	5,55

b) Getreide.

Der Roggen reagiert (siehe Übersicht 11), wie gewöhnlich auf moorkolonialem Boden, weniger stark auf Phosphatmangel; bei diesem Gewächs gibt die jährliche Dosis von 50 kg, bei einer P-Zahl 3½ und einer P-Zitr. Zahl von ungefähr 12, eine volle Ernte; die größeren Phosphatdüngungen geben keinen merkbaren Mehrertrag, aber wohl eine gewisse Zunahme des Phosphatgehaltes und der Phosphat-Ernte.

Die Grenze würde für Roggen also niedriger liegen als bei Kartoffeln.

Für die Winterweizen-Ernte 1934 (Juliana) findet man in Übersicht 11 Standzahlen, welche von verschiedenen Personen gegeben wurden. Diese zeigen, daß bei einer P-Zahl von ungefähr 7, einer

P-Zitr.-Zahl 23 und einer jährlichen Phosphatgabe von 100 kg/ha P_2O_5 noch Phosphatwirkung möglich ist, denn bei höheren jährlichen Phosphatgaben findet man höhere Zahlen. Bei einer P-Zahl von ungefähr 12 und einer P-Zitr.-Zahl 31, welche mit einer jährlichen Gabe von 150 kg/ha P_2O_5 erreicht wurden, scheint ein maximales Wachstum erreicht zu sein; die größere jährliche Phosphatgabe hat keinen besseren Stand gegeben.

Bei den Ernte-Zahlen liegt anscheinend eine Unregelmäßigkeit vor bei 25 kg/ha P_2O_5 ; legt man diese als zweifelhaft beiseite, so zeigt sich ein den Standzahlen ziemlich entsprechendes, allerdings etwas unregelmäßiges Bild, aus dem sich noch keine Grenzzahlen entnehmen lassen, die in der Höhe derjenigen für Kartoffeln liegen dürften.

Phosphorsäure-Zusatz und -Entzug.

In einem Vergleich der gegebenen mit den entzogenen Mengen P_2O_5 rechnet man am besten die P-Zahlen in kg/ha P_2O_5 um. Eine Einheit in P-Zahl entspricht bei einer Ackerkrume von 12 cm mit einem Volumgewicht von 1,25 15 kg/ha P_2O_5 .

Wenn man die Phosphat-Entziehung durch das Kartoffellaub außer Betracht läßt (das verdörrte Laub, das schließlich entfernt wird, enthält etwa $3\frac{1}{2}$ kg P_2O_5 pro ha), dann sind z. B. beim Objekt 100 P_2O_5 mit der Düngung gegeben 500 kg P_2O_5 , durch die Ernten entzogen ungefähr 276 kg, und also ungefähr 224 kg im Boden zurückgeblieben. Bei Objekt 200 P_2O_5 gibt eine derartige Schätzung $1000 - 323 = 677$ kg P_2O_5 . Dazu kommen noch Verluste durch Drainage, welche auf diesem lockeren Boden, der wenig Phosphorsäure festlegt und gut entwässert ist durch einen naheliegenden Kanal, nicht zu vernachlässigen sind. In einem Drainage-Versuch auf derselben Versuchswirtschaft betragen die Verluste 15—30 kg/ha P_2O_5 jährlich. Bringt man dies in Abzug, so würde die P_2O_5 -Anreicherung bei der jährlichen Gabe von 100 kg in vier Jahren etwa 149, bei 200 kg/ha etwa 567 kg betragen haben.

In Übersicht 15 haben wir für alle Objekte die Berechnung ausgeführt. Die obengenannten Drainageverluste von jährlich 15—30 kg/ha P_2O_5 wurden gefunden bei einer jährlichen Düngung von 100 kg/ha P_2O_5 . Da der Boden auf Versuchsfeld Pr 87 nicht so locker sein wird wie auf dem Drainage-Versuchsfeld, wo er bis zu einer Tiefe von 75 cm ausgegraben und neu eingeschüttet war, haben wir für eine jährliche Düngergabe von 100 kg/ha P_2O_5 einen Verlust von 15 kg/ha angenommen und für die anderen Düngergaben nach Verhältnis, für die größeren Gaben etwas reduziert. Selbstverständlich ist das eine ziemlich willkürliche Schätzung.

Die orientierende Berechnung, welche wir hier ausführen wollen, bezieht sich nur auf die Ackerkrume, weil P-Zahl und P-Zitr.-Zahl für die Ackerkrume gelten. Die Pflanzen werden aber auch dem Untergrund Phosphorsäure entzogen haben. Demgegenüber werden die Drainageverluste aus der Krume größer gewesen sein als im Drainageversuch aus Krume plus Untergrund gefunden wurde, weil Phosphor-

säure aus der Krume im Untergrund festgehalten sein wird, so daß beide Einflüsse einander in gewissem Maße ausgleichen werden.

In Übersicht 15 sieht man, daß die in obiger Weise sehr roh geschätzten Änderungen im P_2O_5 -Vorrat des Bodens von den Änderungen, die sich aus den P-Zitr. Zahlen berechnen lassen, nicht so sehr weit entfernt liegen. So ungenau diese Schätzungen sind, so ergibt sich doch, daß das Bild ungefähr stimmen könnte, daß Festlegung also keine vorherrschende Rolle spielt. Bei den P-Zahlen ist dies natürlich anders; der Vorrat, der von diesen Zahlen angegeben wird, ist naturgemäß viel kleiner als der aus Gabe und Entzug berechnete Vorrat.

Übersicht 15

Düngung, kg/ha P_2O_5	0	25	50	75	100	150	200
Mit der Düngung gegeben, kg/ha	0	125	250	375	500	750	1000
Phosphatentziehung durch die Ernten, kg/ha	98	166	206	247	276	297	323
Dränageverluste kg/ha	0	20	35	55	75	90	110
Berechnete Zunahme im P-Vorrat, kg/ha	-98	-61	9	73	149	363	567
Zunahme aus der P-Zitr. Zahl, kg/ha	-10	60	55	85	150	285	570
Zunahme aus der P-Zahl, kg/ha	-23	-11	9	33	70	150	250

Bei diesen Betrachtungen möge erwähnt sein, daß bei diesem neuen moorkolonialen Boden die P-Zitr. Zahl (erste Extraktion) die zitronensäurelösliche Phosphorsäure zum größten Teil angibt; bei wiederholter Extraktion findet man nur wenig mehr (Übersicht 16).

Übersicht 16

Auszug	1	2	3	4	Total
Objekt 0 P_2O_5	9	1	0	0	10
„ 100 „	20	5	3,5	0	28,5
„ 200 „	32	7	4,5	0	43,5

Wiederholtes Ausziehen mit Wasser in der Weise, wie es bei der Bestimmung der P-Zahl geschieht, gibt bei diesem Boden abnehmende Mengen P_2O_5 , und zwar fanden wir in Mischproben der Objekte (Proben vom August 1932, also nach der Ernte) die in Übersicht 17 erwähnten Zahlen.

Übersicht 17

Auszug	1	2	3	4	5	6	7	Total		Berechneter Überschuß P_2O_5 , kg/ha
								P-Zahl	kg/ha P_2O_5	
Objekt 0 P_2O_5	2	2-	+	+	0	0	0	4	60	-64
„ 100 „	7	3,5	2-	1	0,5	+	0	14	210	81
„ 200 „	13,5	5,5	2+	2-	1	0,5	+	24,5	368	325

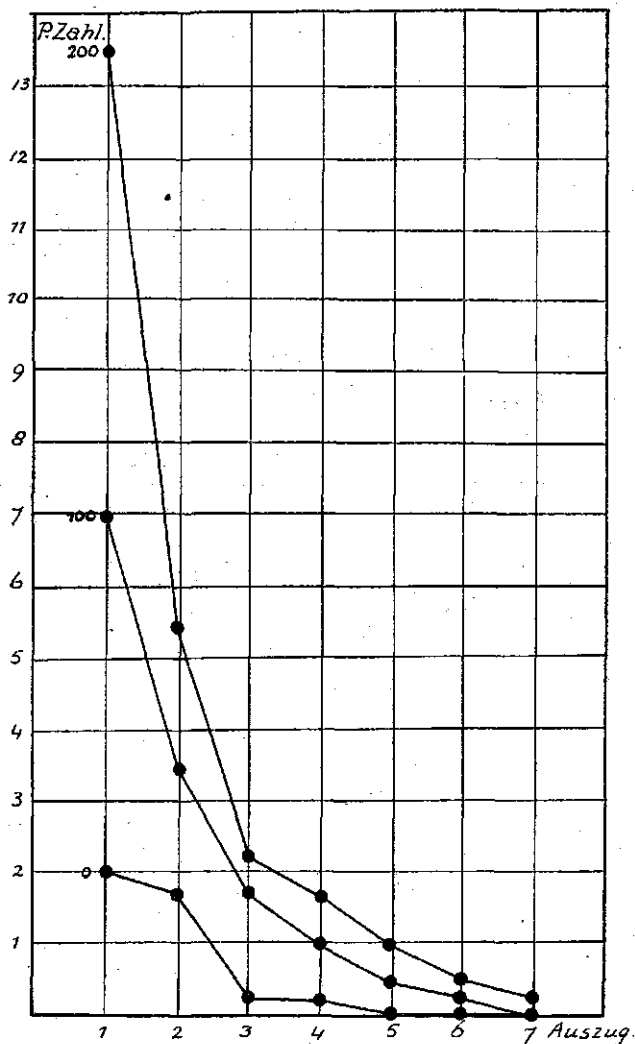


Abb. 4 Wiederholte wässrige Extraktion in Bodenproben von drei verschieden gedüngten Objekten von einem Versuchsfeld auf moorkolonialem Boden (Pr. 87, Aug. 1932). Siehe Übersicht 17

Die P-Zahlen bei wiederholter Extraktion sind in Abb. 4 eingetragen; die Kurven verlaufen, wie man sieht, ganz regelmäßig.

Die vorletzte Spalte von Übersicht 17 enthält die totale, bei wiederholter wässriger Extraktion erhaltene Menge P_2O_5 in Einheiten P-Zahl (mg pro 100 g Boden) und daneben in kg/ha. Die erste Extraktion (welche als P-Zahl benutzt wird) ergibt etwa die Hälfte von der totalen wasserlöslichen Phosphorsäure.

Die letzte Spalte enthält die P_2O_5 -Menge, welche nach Berechnung und Schätzung (Düngung minus Entzug durch die Ernten und Drä-

nageverluste) nach der betreffenden Ernte (1932) im Boden ungefähr zurückgeblieben sein wird, und zwar wie in Übersicht 18 vorgeführt:

Übersicht 18

Objekt	In 3 Jahren gegeben	Entzug durch die Ernten	Dränage-Verlust	Zunahme in P_2O_5 -Vorrat
0 P_2O_5	0 kg/ha	64	0	— 64 kg
100 "	300 "	174	45	81 "
200 "	600 "	205	70	325 "

Die Anreicherung gegenüber ungedüngt beträgt

bei 100 kg P_2O_5 150 kg gegenüber 145 berechnet oder gut 100%
 „ 200 „ „ 308 „ „ 389 „ „ 79%

also etwa 80 % der berechneten Zunahme wird im letzteren Fall bei wiederholtem Ausziehen als in Wasser löslich zurückgefunden, und etwa 20 % würde wasserunlöslich geworden sein.

Bei welcher jährlichen P_2O_5 -Gabe sich ein ungefähres Phosphorsäure-Gleichgewicht einstellen wird, wird sich erst nach mehreren Jahren erweisen. Vorläufig bleibt die P-Zahl bei jährlich 50 kg/ha P_2O_5 ungefähr auf gleicher Höhe, während der Entzug (etwa 45 kg) zusammen mit dem Dränage-Verlust (7—8 kg) im Mittel pro Jahr ungefähr 55 kg gewesen sein wird. Aber auch bei 25 und 75 kg/ha P_2O_5 bleibt die P-Zahl ungefähr dieselbe; die Genauigkeit der Zahlen erlaubt nicht, innerhalb solcher Grenzen zuverlässige Unterschiede festzustellen. Die rohe Schätzung mag aber dazu beitragen, das Bild der freien Beweglichkeit der Phosphorsäure in diesem Bodentyp, also eines Haushalts von vereinfachter Gestaltung, zu verstärken.

5. Resultate von einigen anderen Versuchsfeldern.

Wir wollen die erhaltenen Resultate vergleichen mit denen von zwei anderen, weniger ausführlichen Versuchsfeldern, die in gewissem Maße als Vorläufer von Pr 87 dienen, auf einem etwas früher urbar gemachten Teil derselben Versuchswirtschaft Emmercompascuum.

Versuchsfeld Pr 18 wurde in 1920 angelegt und bezweckte einen Vergleich zwischen einigen Phosphatformen. Der Humusgehalt war 8,2 %, pH 5,3. Bodenproben wurden erst von 1925 an untersucht; in Abb. 5 und 6 sind die Ernten für die Jahre 1925—1927 (als das Versuchsfeld beendet wurde) gegen P-Zahl und P-Zitr. Zahl abgebildet. Es waren in 1920 und 1921 zusammen 450 kg/ha P_2O_5 gegeben, in zwei verschiedenen Formen (Rohphosphat und italienisches Tetraphosphat); dann blieb das Versuchsfeld auf Nachwirkung liegen bis einschließlich 1927. In 1925 erhielten zwei Tetra-Parzellen und eine Rohphosphat-Parzelle noch 100 kg/ha P_2O_5 in Form von Thomaschlackenmehl.

Die P-Zahl kommt nicht höher als 6—8, die P-Zitr. Zahlen bleiben unter 30—40; die Ertragskurven schließen sich gut dem betreffenden Teil der Kurven in Abb. 2 an. Dabei ist zu bedenken, daß die Umstände ziemlich verschieden waren; die Nachwirkung von schwerer löslichen

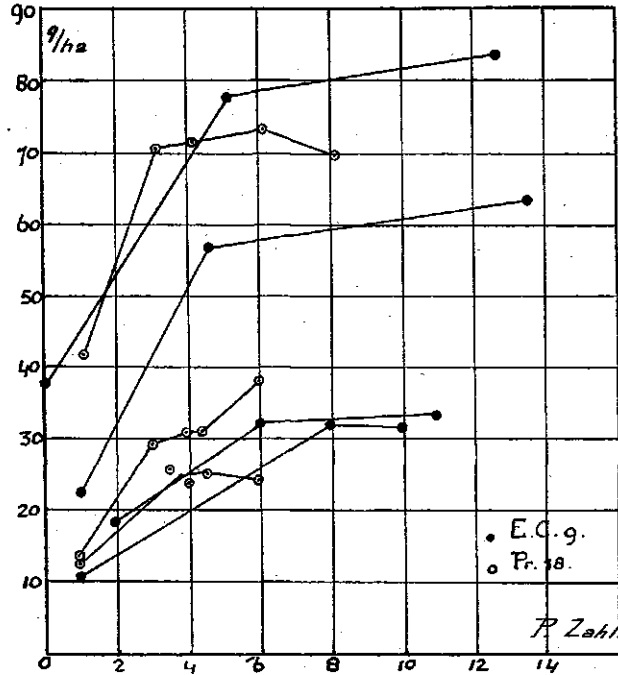


Abb. 5. Ertrag an Stärkemehl bzw. Korn gegen P-Zahl bei zwei anderen Versuchsfeldern

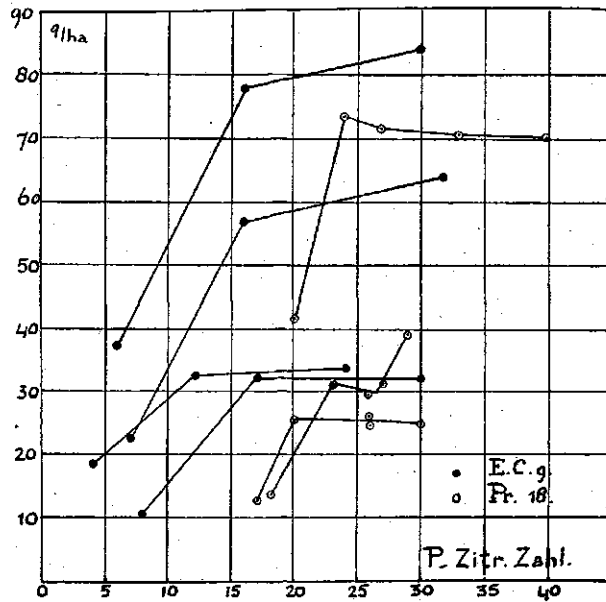


Abb. 6. Ertrag an Stärkemehl bzw. Korn gegen P-Zitr. Zahl bei zwei anderen Versuchsfeldern

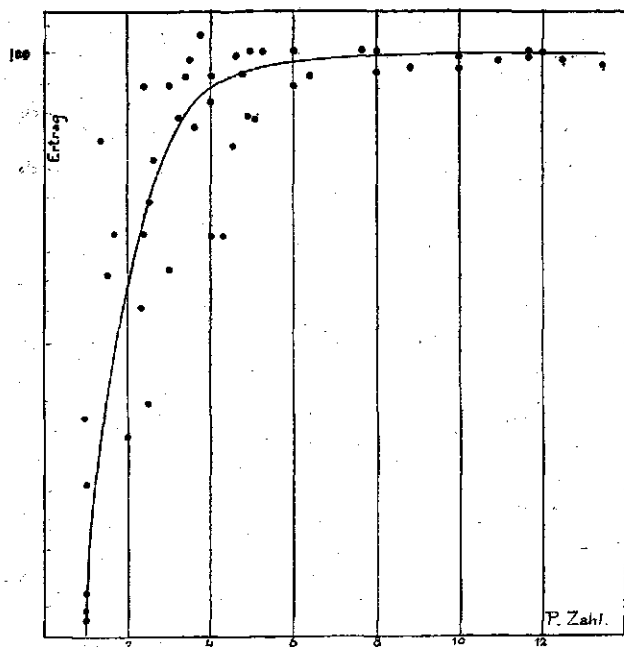


Abb. 7. Zusammenhang von Ernteertrag und P-Zahl für 3 Versuchsfelder aus Abb. 2 u. 5

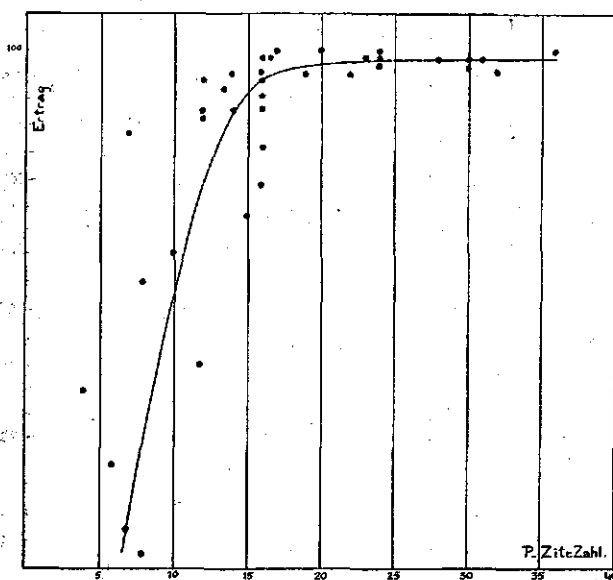


Abb. 8. Zusammenhang von Ernteertrag und P-Zitr. für 2 Versuchsfelder aus Abb. 3 u. 6

(tertiären) Phosphaten bedingt andere Verhältnisse als jährliche Düngung mit etwas besser löslichen (sekundären) Phosphaten.

Versuchsfeld E. C. 9 wurde angelegt in 1922 zum Vergleich von „ohne Phosphat“ mit der gebräuchlichen Düngung von jährlich 100 kg/ha P_2O_5 in Form von Superphosphat oder Thomasschlackemehl und einer etwas ökonomischeren Düngung, nämlich ein Ersatz-Quantum (durch die vorige Ernte entzogenes Phosphat plus 15 %).

Der Humusgehalt war auf diesem Felde etwa 10 %, pH etwa 5,8 (5,5—6,3). Die Ertragskurven findet man in Abb. 5 mit Punkten angegeben; der allgemeine Verlauf weist auf eine genügende Phosphatversorgung bei einer P-Zahl von 8 und höher, während Abb. 6 für P-Zitr. etwa 20 bis 25 als Grenze angeben würde.

Die Ergebnisse von den drei Versuchsfeldern zusammenfassend, kommt man zu den Kurven von Abb. 7 und 8, nach welchen bei einer P-Zahl 10 oder höher und eine P-Zitr. von 30 oder höher der Phosphatzustand des Bodens genügend sein würde. Es ist dabei zu bedenken, daß Versuch EC 9 nur drei Stufen zählte und daß deshalb die Lage der Kurven zwischen den zwei Phosphat-Objekten nicht genau anzugeben ist: man weiß nicht, wo der horizontale Teil der Kurve anfängt.

6. Andere moorkoloniale Böden.

Es fragt sich nun, wie die Verhältnisse liegen bei anderen moorkolonialen Böden, und namentlich bei Böden, die schon länger in Kultur sind. Der größere Teil des moorkolonialen Gebietes ist vor mehreren Jahrzehnten oder gar 2—3 Jahrhunderten urbar gemacht.

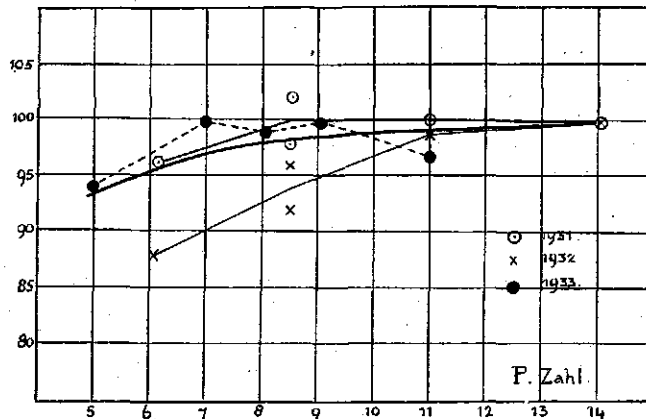


Abb. 9. Ernteertrag und P-Zahl für ein Versuchsfeld auf altem moorkolonialem Boden

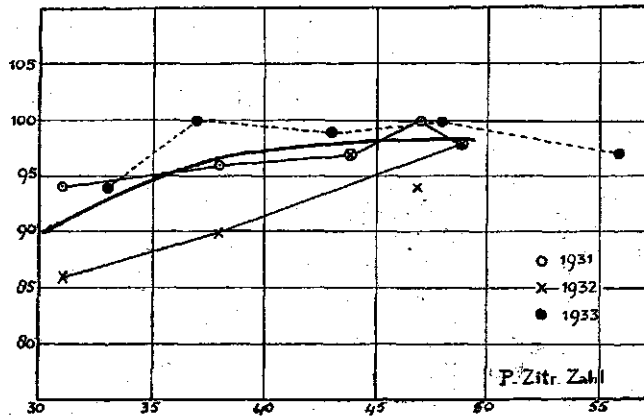


Abb. 10. Ernteertrag und P-Zitr. für ein Versuchsfeld auf altem moorkolonialem Boden

Versuchsfelder mit einer genügenden Zahl Bodenuntersuchungen und Ertragsbestimmungen sind noch nicht zur Verfügung. Abb. 9 und 10 geben einige Zahlen für ein langjähriges statistisches Versuchsfeld (Z. Gr. 3 auf der Versuchswirtschaft Borgercompagnie), welche andeuten, daß auf älterem moorkolonialem Boden die Phosphatversorgung bei der P-Zahl 10 und P-Zitr. 30 noch nicht optimal ist. Dies wird näher zu untersuchen sein; vielleicht geht auf die Dauer ein Teil des Phosphats doch in eine der Pflanze etwas weniger zugängliche Form über.

7. Ungedüngter alter moorkolonialer Boden.

Wir erwähnten schon, daß der neue noch nie gedüngte moorkoloniale Boden des Versuchsfeldes Pr 87 in Emmercompascuum eine P-Zahl $2\frac{1}{2}$, eine P-Zitr. Zahl 7–9 und eine P-Total-Zahl 16 zeigte. Anschließend ist es interessant mitzuteilen, daß ein Schlag auf Parzelle 5 der Versuchswirtschaft in Borgercompagnie (Pr 15, Versuch D) — alter moorkolonialer Boden, welcher, seit er in 1918 als Versuchsfeld in Gebrauch genommen wurde, nie Kunstdünger empfangen hat —

Übersicht 19

	Ertrag q/ha	% der Trockensubstanz				kg/ha P ₂ O ₅
		P ₂ O ₅	CaO	K ₂ O	N	
Robusta Winterweizen 1932						
" " Korn	7,6	0,98	0,11	0,42	1,57	6,0
" " Stroh+Spren	25,2	0,18	0,39	0,53	0,43	3,9
" " Total	32,8					9,9

	pH	Humus	P-Zahl	P-Zitr.	P-total
Pr 87 Neuer moorkolonialer Boden, zuvor nie gedüngt; kein Phosphat, aber bei der Ernte wohl Stickstoff- und Stalldünger	5,6	5½	2½	7	16
Pr 8 Alter moorkolonialer Boden, 50 Jahre kein Kunstdünger	4,45	29	4	16	129
Pr 9 Alter moorkolonialer Boden, 50 Jahre kein Kunstdünger	4,35	28	3	17	96
Pr 15 Alter moorkolonialer Boden, 15 Jahre kein Kunstdünger	4,6	10	5	28-23	75
Z. Gr. 1 Alter moorkolonialer Boden, 15 Jahre kein Kunstdünger	4,5	11	3½	25	86

eine P-Zahl zeigte, welche bei Proben aus verschiedenen Jahren zwischen 4 und 6 wechselte und im Durchschnitt 5 betrug. Das pH dieses Bodens ist 4,65 und der Humusgehalt 10,2 %. Die P-Zitr. Zahl war etwa 28 in 1923—1926 und etwa 24 in 1930—1933, während die P-Total-Zahl 75 war. Dieses Versuchsfeld wurde jährlich bebaut und trägt jetzt ein sehr mageres Gewächs. (Es wird weder mit Stickstoff oder Kali, noch mit Stalldünger oder etwas anderem gedüngt.) Die Ernte-Erträge waren z. B. die in Übersicht 19 angegebenen.

Das sehr magere Gewächs (auf dem benachbarten Versuchsfeld Pr 42 beträgt eine normale Ernte 36 q/ha Korn und 84 q/ha Stroh und Spreu) hatte im Korn einen normalen Phosphatgehalt, aber im Stroh einen niedrigen Gehalt (etwa 0,25—0,30 % ist normal). Es entzog dem Boden noch etwa 10 kg P_2O_5 pro Hektar.

Wenn man die ungedüngten Parzellen von drei anderen Versuchsfeldern (die nebeneinanderliegenden Versuchsfelder Pr 8 und Pr 9 und Versuchsfeld Z. Gr 1) daneben stellt, bekommt man das in Übersicht 20 gegebene globale Bild für moorkolonialen Boden ohne Phosphatdüngung.

Man sieht, daß auf seit Jahren nicht mit Phosphat gedüngten Parzellen bei einer P-Zahl von 3—5 und einer P-Zitr. Zahl 16—23 auf moorkolonialem Boden das Gewächs jährlich 10—20 kg P_2O_5 pro Hektar dem Boden zu entziehen vermag. (Das Kartoffellaub, das nicht analysiert wurde, wird nicht mehr als 2—3 kg P_2O_5 pro Hektar enthalten haben.) Der Phosphatgehalt der Getreidekörner darf ziemlich normal genannt werden (der Stickstoff ist auf diesem Versuchsfeld am ausgeprägtesten im Minimum); der P_2O_5 -Gehalt der Kartoffeln ist ziemlich niedrig.

sicht 20

Kartoffeln			Getreide						
Knollen q/ha	P ₂ O ₅ %	P ₂ O ₅ kg/ha	Ge- wächs- haus	Korn			Stroh — Spreu		Gesamt P ₂ O ₅ kg/ha
				q/ha	P ₂ O ₅ %	P ₂ O ₅ kg/ha	P ₂ O ₅ %	P ₂ O ₅ kg/ha	
290	0,29	20	Roggen	32	0,57	16	0,10	5	21
75	0,52	10	Winter- weizen	11	1,03	9 ¹ / ₂	0,25	5 ¹ / ₂	15
			id.	7 ¹ / ₂	0,93	6	0,18	4	10
92	0,42	9							

Zusammenfassung.

1. Beim Studium des Phosphathaushaltes auf moorkolonialem Boden wurden bei der Bodenuntersuchung vornehmlich P-Zahl (wasserlöslich), P-Zitr. (in 1 % Zitronensäure löslich) und Phosphatfestlegung bestimmt; gelegentlich auch die Nachlieferung bei wiederholter Extraktion. Ertrag und Phosphatgehalt der Gewächse wurden bestimmt.

2. Es werden Beispiele gegeben von wiederholter Extraktion bei einigen Bodentypen (Übersicht 1 und 2) und vom Zusammenhang zwischen pH und P-Zahl bzw. P-Zitr. Bei steigendem pH auf einem bestimmten Boden (z. B. durch Kalkung) kann die P-Zahl beträchtlich sinken, während die P-Zitr. meistens etwas zunimmt (Übersicht 3 und 4). Umgekehrt darf man nicht generalisieren. Bei pH 6 oder etwas höher können gute oder ziemlich hohe P-Zahlen vorkommen (Übersicht 7), während niedrige P-Zahlen bei verschiedenartigen pH (Übersicht 8, pH 4,1—5,8) gefunden werden, und ein Beispiel von einem Versuchsfeld auf Sandboden gegeben wird, wo die P-Zahl nahezu konstant ist über ein pH-Trajekt von 4,0—6,7 (Übersicht 11).

3. Es werden die Ergebnisse beschrieben, erhalten von einem Versuchsfeld auf neuem, zuvor noch nicht gedüngtem moorkolonialem Boden (§ 4). Das pH steigt in den Jahren 1931—1933 etwas (Übersicht 10), weil Thomasschlackenmehl gegeben wurde; pro 100 kg P₂O₅ um 0,15 in pH, dem Gehalt an berechnetem „freiem“ CaO gut entsprechend. P-Zahl und P-Zitr. steigen beide bei größeren Düngergaben und geben in diesem wenig festlegenden Boden ein gleich brauchbares, ungefähres, natürlich nur verhältnismäßiges Bild vom Phosphorvorrat im Boden (Abb. 1).

4. Die Erträge an Kartoffeln und Weizen steigen im vierten bzw. fünften Jahre noch mit steigenden Phosphatgaben und zeigen bei einer P-Zahl von etwa 10 und einer P-Zitr. von etwa 30 noch keinen genügenden Phosphatvorrat. Roggen schien im dritten Jahre bei einer niedrigeren Grenze zufrieden zu sein.

5. Eine rohe Schätzung des gebildeten Phosphorvorrats, verglichen mit der total (bei wiederholter Extraktion) in Wasser löslichen Phosphorsäure, zeigt, daß 80 % oder mehr in Wasser löslich bleibt und die Festlegung in diesem Boden nur gering ist. Von dieser Menge wird etwa die Hälfte im ersten Extrakt (P-Zahl) gefunden. Ein langjähriger Drainageversuch, allerdings auf gelockertem (gegrabenem) Boden, gab bei einer jährlichen Düngung von 100 kg/ha P_2O_5 einen jährlichen Drainageverlust von 15—30 kg/ha P_2O_5 , woraus die geringe Phosphatbindung auch deutlich hervortritt.

6. Der Zusammenhang zwischen Ertrag und P-Zahl bzw. P-Zitr. für zwei andere Versuchsfelder auf demselben Bodentyp findet man in Abb. 5 und 6. Die Grenze würde ungefähr bei einer P-Zahl 8 und einer P-Zitr. 20—25 liegen.

7. Abb. 7 und 8 geben ein zusammenfassendes Bild von den drei Versuchsfeldern auf demselben Boden. Der Phosphatvorrat zeigt sich als genügend bei einer P-Zahl 10 und einer P-Zitr. von etwa 30.

8. Für moorkoloniale Böden, die länger in Kultur sind, scheint die Grenze etwas höher zu liegen (Abb. 9 und 10); dies wird durch weitere Versuche näher zu untersuchen sein.

9. Es werden einige Zahlen gegeben für nie gedüngte oder viele Jahre (15 bis 50 Jahre) nicht mit Phosphat gedüngte moorkoloniale Böden. Die P-Zahl ist $2\frac{1}{2}$ —5, P-Zitr. 7—25; P_2O_5 -Entzug durch die Ernte immer noch 10—20 kg/ha P_2O_5 pro Jahr (Übersicht 20).

10. Moorkolonialer Boden gibt ein gutes Beispiel von einem Bodentyp, wobei Phosphatfestlegung nur eine untergeordnete Rolle spielt und der Phosphathaushalt deshalb verhältnismäßig einfach und übersichtlich ist.