Düngungsversuche mit Phosphaten.

Von *H. Klebahn.*

Mit 2 Tafeln.

Unter den als Phosphorsäurequellen gebräuchlichen künstlichen Düngemitteln enthalten einige, die sogenannten Superphosphate, die Phosphorsäure in Gestalt der leicht im Wasser löslichen sauren Salze, andere aber, wie die sogenannten Phosphorite, das Knochenmehl, die Thomasschlacke u. a., in Gestalt unlöslicher dreibasischer Verbindungen. Da die mineralischen Nährstoffe nur in gelöster Form durch die Zellwände und die Protoplasmahäute in das Innere der Wurzeln hineingelangen können, so muß man von vornherein geneigt sein, die leicht löslichen Phosphate für die geeignetsten Düngemittel anzusehen. Die praktische Erfahrung hat aber gelehrt, daß das unlösliche Thomasmehl den leicht löslichen Superphosphaten in vielen Fällen gleichwertig oder sogar überlegen ist, während allerdings andere dreibasische Phosphate für weniger geeignete Düngemittel gelten[1]), auch wenn sie in ähnlich feiner Verteilung gegeben werden wie das Thomasmehl. Eine teilweise Erklärung für die Erscheinung, daß die Superphosphate nicht immer den ihrer Löslichkeit entsprechenden Vorsprung vor den anderen Phosphaten haben, dürfte darin zu suchen sein, daß die meisten Böden so viel basische Bestandteile, wie kohlensauren Kalk, basische Eisensalze usw., enthalten, daß die sauren Phosphate in dreibasische zurückverwandelt werden[2]). Dann bleibt zu ihren Gunsten nur der Umstand bestehen, daß die neu niedergeschlagenen tertiären Verbindungen sich in einer leichter assimilierbaren Form befinden werden, als man sie den dreibasischen Düngemitteln durch mechanische Zerkleinerung geben kann.

Die Verwertbarkeit tertiärer Phosphate durch die Pflanzen führt zu der Frage, ob die Wurzeln die Fähigkeit haben, aus eigener Kraft die Phosphate in Lösung zu bringen. Dies wäre nach den geläufigen chemischen Vorstellungen nur möglich, wenn entweder die Wurzeln geradezu Säure abschieden, oder wenn wenigstens der saure Zellsaft durch die Plasmahaut und die Membran hindurch auf die anstoßenden Boden-

[1]) Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie II, 2. Abt. Düngerlehre, S. 134, 135.

[2]) Mayer, l. c., 107, 136.

teile einwirkte[1]), und zwar müßte es sich dabei um Säuren handeln, die imstande sind, Phosphate in Lösung zu bringen.

In der Tat ist es lange bekannt, daß die Wurzeln mancher Pflanzen eine deutliche Rotfärbung hervorrufen, wenn man sie einige Zeit mit empfindlichem blauem Lackmuspapier in Berührung bringt[2]). Zu Versuchen eignen sich Keimpflanzen von Erbsen, Bohnen, großen Bohnen *(Vicia Faba)* und dergleichen. Man bringt dieselben in feuchtem Sägemehl zur Entwickelung und legt die Wurzel, wenn sie einige Zentimeter lang ist, zwischen zwei Blätter Lackmuspapier, das man durch einige Schichten Fließpapier sanft andrückt. Das Papier darf nur eben feucht, nicht naß sein, und es soll nur die Wurzel, nicht der Same selbst, das Papier berühren. Es ist dafür zu sorgen, daß keine Verletzungen entstehen, da man sonst den sauren Zellsaft oder Zersetzungsprodukte, nicht die durch die Membran abgegebene Säure nachweist. Getreidekörner kann man auf einem ausgespannten Gazenetz im feuchten Raume zum Keimen bringen und den unten vordringenden Wurzeln später ein Stück Lackmuspapier nähern. Erbsen und große Bohnen ergeben eine sehr deutliche Rotfärbung des Lackmuspapiers an den Berührungsstellen; an den Wurzeln von gewöhnlichen Bohnen *(Phaseolus)*, Weizen und Hafer fand ich die Einwirkung nur gering.

Derartige Versuche sind neuerdings in größerer Zahl ausgeführt worden[3]). Man hat gefunden, daß die Wurzeln einzelner Pflanzen eine deutliche Säureausscheidung zeigen, bei andern aber von einem sauren Wurzelsekret wenig oder nichts nachweisbar ist[4]). Zwischen dem Grade der Säureausscheidung und den Ansprüchen, welche die Pflanzen an den Boden stellen, scheint ein gewisser Parallelismus zu bestehen, derart, daß anspruchslose Pflanzen eine stärkere Säureausscheidung aufweisen als solche, die einen nährstoffreicheren Boden verlangen[5]). Dies würde auf eine aktive Anteilnahme der Säureabscheidung bei der Aufschließung der Nährstoffe hinweisen.

Weitere Gründe für eine derartige Funktion der Säureabscheidungen hat man in den Ätzfiguren[6]) finden wollen, die an polierten Platten ver-

---

[1]) Vgl. das zuerst von Zöller, Versuchsstat. V, 1863, 45 auf Veranlassung von Liebig zur Demonstration benutzte Experiment, das auch von Pfeffer, Pflanzenphysiologie I (1897), 155, Detmer, Pflanzenphys. Praktikum (1888), 163, Mayer, Agrikulturchemie I, 5. Aufl., 407 u. a. beschrieben wird.

[2]) Die Rötung von Lackmuspapier zeigte zuerst Becquerel, Ann. d. Pharm. VIII, 1833, 104.

[3]) Czapek, Jahrb. f. wiss. Bot. XXIX, 1896, 349 ff. Kunze, Jahrb. f. wiss. Bot. XLII, 1906, 370.

[4]) Kunze, l. c., gibt eine vergleichende Liste von über hundert Pflanzen.

[5]) Kunze, l. c., 375, 376 etc.

[6]) Liebig, Ann. d. Chem. u. Pharm. CV, 1858, 139. Sachs, Botan. Zeitung 1860, 117; Experimentalphysiologie (1865), 188.

schiedener Gesteine entstehen, wenn sie längere Zeit der Einwirkung von Wurzeln ausgesetzt werden. Der Versuch gelingt leicht, wenn man in einem Blumentopf mit Sand, in dem man Erbsen oder Bohnen keimen läßt, eine polierte Marmorplatte dergestalt angebracht hat, daß die fortwachsenden Wurzeln längere Zeit mit der Platte in Berührung kommen. Auch an Dolomit, Magnesit, Osteolith[1]), Elfenbein[2]), Phosphorit[3]), Wollastonit und einem Jenaer Bleiglas[4]) hat man Ätzfiguren erhalten, während Apatit, verschiedene Feldspate und andere Gesteine, sowie andere Jenaer Gläser nicht angegriffen wurden[4]). Bei eigenen Versuchen erhielt ich die Ätzfiguren auf Phosphorit zwar deutlich, aber sehr viel schwieriger und spärlicher als auf Marmor[5]). Wesentlich stärker sollen im allgemeinen die durch Pilzhyphen hervorgebrachten Korrosionen sein[6]), so daß man geneigt sein könnte, den Pilzen, die ja in manchen Fällen auch mit den Wurzeln höherer Pflanzen als Mycorrhiza in Verbindung treten, eine wesentliche Rolle bei der Nährstofferschließung zuzuschreiben.

Welcher Art die Säuren sind, durch welche die geschilderten Wirkungen hervorgebracht werden, ist noch strittig. Es ist die Ansicht geäußert worden, daß die durch Atmung entstehende Kohlensäure die Korrosionen bewirke[7]), und für den Marmor läßt sich diese Möglichkeit wohl nicht bestreiten. Aber die Haltbarkeit der Lackmusrötung beim Erwärmen weist auf weniger flüchtige Säuren hin[8]). Freie Mineralsäuren sollen in den Wurzelabscheidungen allerdings ausgeschlossen sein[9]); das Vorkommen von Spuren saurer Phosphate hat wahrscheinlich nicht die Bedeutung, die man demselben zugeschrieben hat[10]). Somit bleiben nur die organischen Säuren. Aber deren Erkennung ist bei den geringen Mengen schwierig. Ameisensäure wurde einige Male festgestellt[11]), in bezug auf das Vorkommen von Oxalsäure besteht zwischen den Beobachtern

---

[1]) Sachs, l. c.

[2]) Molisch, Verh. Zool.-bot. Gesellsch. Wien 1887, 65.

[3]) Sengbusch, Baltische Wochenschrift f. Landwirtsch. 1897, 663 nach Biedermanns Centralbl. f. Agrikulturchemie XXVIII, 1899, 350.

[4]) Kunze, l. c., 365.

[5]) Die Versuche mit Phosphorit wurden mit zwei verschiedenen Gesteinstücken gemacht. Das eine verdanke ich der später erwähnten Hamburger Firma, das andere stellte mir Herr Prof. Dr. Gottsche, Direktor des Mineralogischen Instituts, in liebenswürdiger Weise zur Verfügung. Das letztere war bezeichnet: Phosphorit, Bamle, Norwegen. E. Güssefeld 98. Als Versuchspflanzen dienten Erbsen und Buchweizen.

[6]) Kunze, l. c., 383 ff.; Pfeffer, Pflanzenphysiologie I, 156.

[7]). Czapek, l. c., 354 ff.

[8]) Kunze, l. c., 372.

[9]) Czapek, l. c., 356. Kunze, l. c., 361 u. 391.

[10]) Czapek, l. c., 332 u. 365 ff. Kunze, l. c., 361. Jost, Vorles. üb. Pflanzenphys., 117.

[11]) Goebel. Pflanzenbiol. Schilderungen II, 1891, 211. Czapek, l. c., 334 ff. Kunze, l. c., 360.

keine Übereinstimmung[1]). Auch die im Zellsaft der Wurzeln, aus denen die Ausscheidungen stammen müssen, enthaltenen größeren Substanzmengen scheinen zur Bestimmung der Säureart noch zu gering zu sein[2]).

Der Möglichkeit, daß die Pflanzenwurzel durch Ausscheidung organischer Säuren an der Aufschließung der im Boden enthaltenen Nährstoffe aktiven Anteil nimmt, sucht das Verfahren gerecht zu werden, nach welchem der Wert der Phosphate bei der chemischen Analyse außer nach der Wasserlöslichkeit nach der Löslichkeit in Zitronensäure beurteilt wird. Man kann sich vorstellen, daß diejenigen Phosphate, die durch Zitronensäure nicht gelöst werden, auch der lösenden Wirkung der Wurzelsäuren wenig zugänglich sind.

Indessen ist doch die ganze Angelegenheit noch nicht zu genügender Klarheit gediehen. Selbst wenn regelmäßig organische Säuren in den Wurzelabscheidungen vorhanden wären, so müßte erst noch der Beweis geführt werden, daß es nun auch wirklich diese organischen Säuren sind, welche die Phosphate lösen, und daß nicht neben ihnen oder trotz ihrer die Kohlensäure den Hauptanteil daran hat[3]). Eine weitere Frage ist die, ob die Leistung der Wurzelabscheidungen genügt, den gesamten Phosphorsäurebedarf der Pflanze in Lösung zu bringen[4]), namentlich bei den Kulturpflanzen, die an den Nährstoffgehalt des Bodens hohe Ansprüche stellen.

In der praktischen Landwirtschaft kommen nämlich noch zwei weitere Faktoren in Betracht, die wahrscheinlich erheblich wichtiger sind als die Löslichkeit der Düngemittel und die lösende Kraft der Wurzeln. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß die sauren Phosphate in kalkhaltigem Boden in dreibasische Phosphate übergehen müssen. In kalkarmen, sauren Böden wird diese Umsetzung nicht eintreten; es werden im Gegenteil die Säuren des Humus oder die Säuren, welche von den im Humus wachsenden Pilzen abgeschieden werden, die Aufschließung der schwerlöslichen Phosphate erleichtern. Es steht demnach zu erwarten, und Versuche bestätigen es, daß die Düngung mit unlöslichen Phosphaten ganz verschiedene Resultate ergibt, je nachdem sie einerseits auf saurem oder humusreichem Boden oder andererseits auf nichtsaurem und womöglich kalkreichem Boden ausgeführt wird[5]). Man kann sich vorstellen, daß auch die Gegenwart des Stalldüngers, als die einer humusbildenden Substanz, in diesem Sinne nicht ohne Bedeutung ist. Endlich ist es, wenn künstliche Düngung statt-

[1]) Czapek, l. c., 341. Kunze, l. c., 360.

[2]) Dyer, Journ. of the Chemical Society. Transactions. LXV, 1894, 127 ff.

[3]) Prianischnikow I, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. XXII, 1904, 188 u. 190.

[4]) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. I, 156.

[5]) Prianischnikow II, Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen LVI, 1902, 107—140.

findet, nicht gleichgültig, welche anderen Düngemittel gleichzeitig mit den Phosphaten zur Anwendung kommen. Man hat die Nährsalze als „physiologisch sauer" und „physiologisch alkalisch" bezeichnet, je nachdem bei der Entnahme des als Pflanzennährstoff dienenden Bestandteils eine Säure oder eine Basis zurückbleibt. Zu den ersteren gehört das schwefelsaure Ammoniak, zu den letzteren der Chilesalpeter[1]. Vergleichende Versuche haben gezeigt, daß ein teilweiser Ersatz des Chilesalpeters durch schwefelsaures Ammoniak vorteilhaft auf die Verwertung schwerlöslicher Phosphate einwirkt[2], und es liegt nahe, anzunehmen, daß die bei dem Verbrauch des Ammoniaks zurückbleibende Schwefelsäure an dieser Wirkung beteiligt ist.

Es kommen also zum mindesten vier Faktoren in Betracht, wenn es sich darum handelt, über Phosphatdüngemittel ein Urteil abzugeben, nämlich 1. Gehalt und physikalisch-chemische Eigenschaften des Phosphates selbst, 2. die Art der Kulturpflanze und das besondere Lösungsvermögen ihrer Wurzeln, 3. die Eigenschaften des Bodens und 4. die begleitende Düngung[3].

Die Veranlassung zu den vorstehenden Betrachtungen gaben wiederholte seitens einer Hamburger Firma an die Botanischen Staatsinstitute gerichtete Anfragen in bezug auf das Vermögen der Pflanzenwurzeln, Phosphate aufzunehmen, die in Wasser und Zitronensäure unlöslich sind. Das Interesse an der wissenschaftlichen Frage entstand aus dem Umstand, daß die Firma ein derartiges unlösliches Phosphat als Düngemittel einzuführen bemüht ist. Das Produkt wird durch mechanische Bearbeitung eines in Frankreich gegrabenen Rohmaterials gewonnen und führt den Namen „Agrikulturphosphat". Über die Brauchbarkeit von Phosphatdüngern können, wie das Voraufgehende zeigt, nur vergleichende Düngeversuche entscheiden. Nachdem unser Institut infolge einer Eingabe der Firma an die Oberschulbehörde den Auftrag erhalten hatte, in dieser Angelegenheit ein Gutachten abzugeben, konnten wir uns der Aufgabe nicht entziehen, wenigstens in dem Umfange, wie es die vorhandenen Hilfsmittel gestatten, solche Versuche auszuführen[4].

---

[1]) Prianischnikow II. 133.

[2]) Prianischnikow II. 135 ff. Söderbaum. Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen LXIII. 1905. 247. Böttcher, daselbst LXV. 1907. 407.

[3]) Prianischnikow III. Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen LXV, 1907, 23.

[4]) Nach Abschluß des Vorliegenden wurde mir bekannt, daß bereits die Station in Jönköping und die Moorversuchsstation in Bremen Versuche mit Agrikulturphosphat und anderen Rohphosphaten angestellt haben. Die daselbst gewonnenen Ergebnisse stimmen mit den hier mitgeteilten, soweit sie sich vergleichen lassen, überein. Vgl. v. Feilitzen, Mitteil. d. Vereins zur Förd. d. Moorkultur im Deutsch. Reich 1902, 287 und Tacke, daselbst 312.

Topfversuche.

Infolgedessen wurde im Frühjahr 1908 zunächst eine größere Anzahl von Topfversuchen eingeleitet. Man begegnet nicht selten der Ansicht, daß Topfversuche wertlos seien, weil ihre Resultate sich nicht ohne weiteres in die Praxis übertragen lassen. Dagegen muß bemerkt werden, daß für die Beantwortung wissenschaftlicher Fragen Topfversuche unersetzbar sind, weil sich auf keine andere Weise die Verhältnisse so einfach gestalten und die Versuchsbedingungen so leicht übersehen und beherrschen lassen. Wenn es sich, wie in dem vorliegenden Falle, darum handelt, zu entscheiden, ob die lösende Kraft der Wurzeln ausreicht, aus einem unlöslichen Phosphat genügende Phosphorsäuremengen zu entnehmen, so muß ein Nährboden hergestellt werden, der außer den übrigen erforderlichen Nährstoffen nur dieses eine Phosphat und daneben keine anderen oder wenigstens keine in Betracht kommenden Mengen anderer Phosphate enthält, der aber zugleich frei ist von solchen Stoffen, welche die Lösung des Phosphats zu beeinflussen imstande sind. Bedingungen dieser Art lassen sich nur im Topfversuch verwirklichen. Wenn man dann Parallelversuche mit verschiedenen Phosphaten macht, muß man zu einem Urteil über ihren relativen Wert kommen. Dasselbe hat selbstverständlich nur Gültigkeit für die gegebenen Bedingungen. Ändert man den Boden, die begleitende Düngung oder einen anderen Faktor, so muß sich zeigen, wie weit diese das Resultat beeinflussen.

Im vorliegenden Falle wurde, um einen möglichst nährstoffarmen Boden zu haben und um zugleich solche Faktoren, welche die Lösung der Phosphate erleichtern könnten, auszuschließen, für die eine Hälfte der Versuche Elbsand als Boden gewählt. Für die andere Hälfte nahm ich ein Gemenge aus einem Raumteil dieses Sandes mit zwei Teilen Torf (leichtester lockerer Sphagnum-Torf). Dieser Boden war an Nährstoffen ebenso arm, enthielt aber als beeinflussendes Moment eine erhebliche Menge Humusbestandteile. Jede Bodenart wurde vor dem Einfüllen in die Töpfe sorgfältig gemischt, um möglichste Gleichmäßigkeit für alle Töpfe zu erzielen. Der Inhalt der Töpfe betrug je sechs Liter.

Die Düngung fand nach dem folgenden Plane statt:

Gruppe 1: 15 g Thomasmehl, entsprechend 2,3 g Phosphorsäure (Gehalt 14,8 % citratlösliche, 15,36 % Gesamtphosphorsäure); 15 g Kainit, entsprechend 1,76 g Kali (Gehalt 11,73 %), und 5 g Chilesalpeter, entsprechend 0,79 g Stickstoff (Gehalt 15,73 %).

Gruppe 2: 16,5 g Superphosphat, entsprechend 2,26 g Phosphorsäure (Gehalt 13,72 % wasserlösliche); 15 g Kainit; 5 g Chilesalpeter. Dazu die der Phosphorsäure äquivalente Menge von gebranntem Kalk (3,5 g).

Gruppe 3: 4,5 g freie Phosphorsäure; 15 g Kainit; 5 g Chilesalpeter. Dazu die zu 2 g Phosphorsäure äquivalente Menge Gips (7,5 g).

Gruppe 4: 16,5 g Superphosphat; 15 g Kainit; 5 g Chilesalpeter. Kein Kalkzusatz.

Gruppe 5: 10,5 g Agrikulturphosphat, entsprechend 2,31—2,41 g Gesamtphosphorsäure (Gehalt 22—23 %); 15 g Kainit; 5 g Chilesalpeter.

Gruppe 6: 15 g Kainit; 5 g Chilesalpeter. Kein Phosphatzusatz.

Gruppe 7: Ganz ohne Düngung; Boden mit Salzsäure behandelt.

Die zur Verwendung kommenden Phosphate sowie die Zugaben an Kalk und Gips wurden für jeden Topf einzeln abgewogen und dem Boden sorgfältig zugemischt. Kainit und Chilesalpeter wurden in Lösung gebracht und nach und nach gegeben, das erste Drittel am 14. April, das zweite am 22. Mai, das dritte am 1. Juli. Die freie Phosphorsäure wurde gleichfalls als Lösung gegeben, am 14. April. Organischer Dünger kam nicht in Anwendung.

Die Versuche der zweiten und dritten Gruppe wurden infolge der Frage aufgenommen, ob freie Säure, wie sie mit den Superphosphaten in den Boden gelangt, eventuell schädlich wirken kann. Deshalb wurde in Gruppe 2 so viel Kalk gegeben, daß alle Phosphorsäure in tertiäres Phosphat verwandelt werden konnte, und in Gruppe 3 ein unbedingter Überschuß an freier Säure. Der Gipszusatz sollte den als Nährstoff erforderlichen Kalk liefern.

Jeder Topf erhielt am 15. April 17 Getreidekörner, Hafer oder Gerste, die in möglichst gleichen Abständen gepflanzt wurden, oder vier große Bohnen (*Vicia Faba*). Die Kulturen standen im Versuchshaus des Botanischen Gartens. Die Glasfenster wurden tagsüber völlig abgedeckt und nur nachts und bei stärkerem Regen aufgelegt; Giebel- und Seitenlüftungen waren ständig geöffnet. Die Erde wurde gleichmäßig feucht gehalten.

Die Versuchsgruppe mit Salzsäurebehandlung wurde eingerichtet, weil die Untersuchung des Bodens Spuren von Phosphorsäure ergab. Die Erde blieb mehrere Tage mit verdünnter Salzsäure in Berührung und wurde dann mit Wasser so lange gewaschen, bis keine saure Reaktion mehr nachweisbar war. Es war beabsichtigt, die löslichen Mineralstoffe auf diese Weise möglichst zu entfernen.

Der Zusatz von freier Phosphorsäure erwies sich auf dem Moorboden anfangs als sehr schädlich. Es mußten wiederholt Körner nachgepflanzt werden, da die Keimlinge eingingen. Später wuchsen die Pflanzen besser und teilweise sogar gut. Auf dem Sandboden dagegen war von einer schädlichen Wirkung der freien Säure nichts zu merken.

Eine sehr unangenehme Störung trat dadurch ein, daß viele der Bohnen bei der Keimung verfaulten. Die Ursache lag im Saatmaterial; die Erscheinung zeigte sich auch bei anderen Aussaaten mit denselben Bohnen. Da auch der Fruchtansatz ungleichmäßig war, wurde der Ver-

such vorzeitig unterbrochen und nur das Gewicht der frisch abgeschnittenen Pflanzen festgestellt.

Die beigegebenen Photographien zeigen das Aussehen der Getreideversuche am 6. Juli[1]). Die im August ermittelten Ernteergebnisse sind in der folgenden Tabelle, für jeden der 90 Töpfe einzeln, zusammengestellt. Die Zahlen bedeuten Gramm. Die mit Sternchen (*) versehenen Nummern entsprechen den Photographien.

Gruppe	Phosphatdüngung	Sand				Moor				Bohnen	
		Gerste		Hafer		Gerste		Hafer			
		Körner	Stroh	Körner	Stroh	Körner	Stroh	Körner	Stroh	Moor	Sand
1.	Thomasmehl	*15	27	12	25	*25	25	17	30	127	137
		15	42	*24	34	21	26	*28	37	149	59
2.	Superphosphat und Kalk	*13	29	22	36	*19	33	21	40	117	119
		19	33	*19	35	19	30	*25	37	127	114
3.	Freie Phosphorsäure und Gips	*20	26	13	24	*9	19	15	31	90	120
		21	37	*20	35	14	19	*18	35	90	159
4.	Superphosphat	*11	24	21	31	*8	25	*24	37	119	109
		11	26	*20	33	6	20	25	40	135	87
		11	23	13	22	4	14	25	37	120	109
5.	Agrikulturphosphat	*1	10	*4	9	*23	28	*21	37	117	117
		0,5	8	5	12	23	37	24	38	157	84
		0,5	9	4	9	15	27	20	33	160	73
6.	Ohne Phosphorsäure	4	15	*2	5	*0	4	3	5	81	82
		*1	5	5	9	0	7	*3	5	54	67
7.	Salzsäurebehandlung	1	10	7	14	11	18	12	20	107	49

Die Versuche bilden zunächst eine schöne Demonstration zu den bekannten Tatsachen, daß die Phosphate zu den unentbehrlichen Pflanzennährstoffen gehören, und daß es möglich ist, auf nährstoffarmem oder nährstofffreiem Boden mit künstlicher Düngung allein zu guten Ernten zu kommen.

Sie zeigen zweitens hinsichtlich der Wirkung der schwerlöslichen Phosphate einen auffälligen Unterschied zwischen dem Sand- und dem Moorboden und bestätigen damit den oben als Nr. 3 formulierten Satz, daß der Wert eines Düngemittels nicht für sich allein, sondern mit Be-

[1]) Für freundliche Hilfeleistung bei der Herstellung der Photographien bin ich Herrn Portig vom Physikalischen Staatslaboratorium zu Dank verpflichtet.

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

Wirkung verschiedener Phosphate auf Gerste und Hafer in Elbsand.

1. Thomasmehl. 2. Superphosphat mit Kalk. 3. Freie Phosphorsäure mit Gips. 4. Superphosphat. 5. Agrikulturphosphat. 6. Ohne Phosphat. Alle Töpfe: Kainit und Chilesalpeter. 6. Juli 1908.

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

Wirkung verschiedener Phosphate auf Gerste und Hafer in Moorboden (Torf mit Sand).

1. Thomasmehl. 2. Superphosphat mit Kalk. 3. Freie Phosphorsäure mit Gips. 4. Superphosphat. 5. Agrikulturphosphat. 6. Ohne Phosphat. Alle Töpfe: Kainit und Chilesalpeter. 6. Juli 1908.

ziehung auf den Boden, in dem es Verwendung finden soll, beurteilt werden muß.

Auf dem Moorboden haben Thomasmehl und Agrikulturphosphat die besten Resultate gebracht, und zwar waren beide ziemlich gleichwertig. Auf dem Sandboden dagegen war die Wirkung des Thomasmehls geringer und das Agrikulturphosphat wertlos. Man muß daraus schließen, daß die Säureausscheidung durch die Wurzeln nicht genügt, um die zur Ernährung der Pflanzen notwendigen Phosphatmengen aus diesen Substanzen zu lösen, und daß die sauren Eigenschaften des Moorbodens bei der Aufschließung der schwerlöslichen Phosphate eine wesentliche Rolle spielen[1]).

Die freie Phosphorsäure zeigte beinahe die entgegengesetzte Wirkung. Auf dem Moorboden erwies sie sich, wie schon erwähnt, anfangs sehr störend. Das Ergebnis war aber schließlich noch mittelmäßig, und es scheint also, daß sie im Boden nach und nach in eine harmlosere Form überging. Auf Sandboden dagegen war von einer schädlichen Wirkung der freien Phosphorsäure nichts zu spüren; sie führte sogar teilweise die besten Ernten herbei. Es ist zu vermuten, daß sie hier rasch in eine gebundene, aber leicht lösliche Form gebracht wurde.

Das Superphosphat wirkte auffallend besser auf Hafer als auf Gerste. Auch bei dem durch Kalkzusatz neutralisierten Superphosphat macht sich dieser Unterschied noch etwas, wenngleich in geringem Grade bemerkbar. Hafer soll stärker saure Wurzelausscheidungen haben als Gerste[2]); es ist aber keine genügend bestimmte Beziehung zwischen diesem Verhalten und dem Versuchsergebnis vorhanden. Ebenso läßt sich ein klarer Unterschied zwischen Moor und Sand in bezug auf die Wirkung des Superphosphats nicht erkennen.

Auffällig ist das Ergebnis auf dem mit Salzsäure ausgelaugten Boden. Hier war der Stand der Pflanzen und die Ernte erheblich besser als auf den mit Kali und Stickstoff aber nicht mit Phosphorsäure gedüngten Töpfen, während ich eine ebenso schlechte oder schlechtere Ernte erwartet hatte. Eine Erklärung dafür könnte man in zwei verschiedenen Verhältnissen suchen: entweder hatte die Salzsäure nur aufschließend, nicht auslaugend gewirkt, und es waren die wenigen vorhandenen Nährstoffe den Pflanzen besser zugänglich gemacht worden; oder es handelte sich in den mit Kainit und Chilesalpeter gedüngten Töpfen um eine Giftwirkung dieser Substanzen, die nicht durch die gleichzeitig vorhandene Phosphorsäure ausgeglichen wurde.

Die mit den großen Bohnen erzielten Resultate stimmen mit denen am Getreide im großen und ganzen überein; sichere Schlüsse sind aber wegen der schon erwähnten Störungen nicht zu ziehen.

---

[1]) Zu demselben Resultat kommt Tacke, l. c., 313 u. 314.

[2]) Kunze, l. c., 372 u. 373.

Die günstige Wirkung des Agrikulturphosphats auf dem Moorboden würde es rechtfertigen, Feldversuche anzustellen. Die Versuche auf Sand ermuntern nicht dazu. Zwar kann sich die Wirkung der unlöslichen Phosphate in der Praxis günstiger gestalten, weil man auf einem derartigen Boden stets gleichzeitig Stallmist anwenden wird und damit Substanzen einführt, welche die Aufschließung beeinflussen können. Andererseits ist nicht zu vergessen, daß ein Faktor der Versuche, die gleichmäßige Bodenfeuchtigkeit, in der Praxis fortfällt und durch längere Trockenheit leicht Störungen entstehen können[1]).

Für eine Wiederholung und Fortsetzung der Versuche ist es in Aussicht genommen, auch zu prüfen, inwieweit durch einen teilweisen Ersatz des Chilesalpeters durch schwefelsaures Ammoniak die Wirkung des Agrikulturphosphats auf dem Sandboden verbessert werden kann.

Feldversuche.

Es mußte wünschenswert erscheinen, die Phosphate auch in Feldversuchen zu vergleichen. Die Möglichkeit, wenigstens zwei Versuche, einen mit Hafer und einen mit Wiesenland, durchführen zu können, bot sich dadurch, daß Herr Domänenpächter H. Biel in Billwärder a. d. Bille sich in dankenswerter Weise bereit erklärte, das erforderliche Areal zur Verfügung zu stellen.

Die in Betracht kommenden Ländereien gehören dem Hamburger Marschgebiete an. Die Kulturschicht ist ein sehr schwerer Lehmboden, der zeitweilig der Bearbeitung erheblichen Widerstand entgegensetzt. Aus diesem Grunde mußte der dritte der beabsichtigten Versuche, mit Kohlrüben, aufgegeben werden. Unter der ca. 30 cm mächtigen Kulturschicht liegt Torf. Das Wiesenland ist seit Jahren als Wiese in Betrieb. Es hatte im voraufgehenden Winter eine Düngung von 332 Kilo Kainit und 166 Kilo Thomasmehl pro Hektar erhalten. Das Ackerland ist viel bearbeitet und kräftig gedüngt; es hatte im vorigen Winter pro Hektar 500 Doppelzentner Stallmist bekommen.

Die Versuchsflächen umfaßten je fünf Parzellen von je 5 Ar Größe. Die künstlichen Düngemittel konnten erst Mitte April aufgebracht werden, gleichzeitig mit der Aussaat des Hafers. Dieser späte Termin ist wohl teilweise schuld, daß das Ergebnis kein günstigeres war. Die Analysen ergaben für das verwendete Thomasmehl 15,05 % citratlösliche Phosphor-

---

[1]) Auch Tacke, l. c., 318 u. 320, äußert sich sehr zurückhaltend hinsichtlich der Verwendbarkeit der Rohphosphate auf andern Böden als solchen mit ausgeprägt sauren Eigenschaften.

Man vergleiche zu dem ganzen Problem noch die eingehende Kritik von v. Lorenz über die Feldversuche von Dafert und Reitmair, Zeitschr. f. d. Landw. Versuchswesen in Österreich 1902, 981.

säure, für das Superphosphat 16.76 % wasserlösliche Phosphorsäure. Das Agrikulturphosphat wurde angegeben zu 21 % Gesamtphosphorsäure.

Der Hafer gedieh schlecht, besonders auf dem Versuchsfelde. Dieser war später gesät worden als der auf den angrenzenden Feldern und litt sehr durch die anfangs nasse, dann plötzlich trockene Witterung. Es ging viel Hederich auf, erheblich mehr als auf den benachbarten Feldern. Am 17. Mai sah die Superphosphatparzelle am besten aus, als zweite folgte die Thomasmehlparzelle, als dritte die Agrikulturphosphatparzelle. Das schließliche Ergebnis war so, daß ein Mittelertrag mindestens um die Hälfte hätte größer sein müssen. Die Anfang September vorgenommene Ernte erlitt durch die nasse Witterung mehrfache Störung.

Die Heuernte fand Ende Juni statt; der Ertrag entsprach dem Normaldurchschnitt der letzten Jahre.

Die folgende Übersicht stellt die Düngung und die Erträge zusammmen.

Wiese		Acker (Hafer)		
Düngung (auf 5 Ar)	Heu kg	Düngung (auf 5 Ar)	Körner kg	Stroh kg
— —	154,5	— —	62	114
— —		— —		
— —		— —		
Kainit ..... 25 kg	213,5	Kainit ..... 25 kg	78	122,5
Chilesalpeter ..... 5 „		Chilesalpeter ..... 10 „		
Thomasmehl..... .... 25 „		Thomasmehl..... 25 „		
Kainit ..... 25 „	183,5	Kainit ..... 25 „	78	126
Chilesalpeter ..... 5 „		Chilesalpeter ..... 10 „		
Agrikulturphosphat... 22,5 „		Agrikulturphosphat 22,5 „		
Kainit ..... 25 „	202	Kainit ..... 25 „	73	116
Chilesalpeter ..... 5 „		Chilesalpeter ..... 10 „		
Superphosphat ..... 26,5 „		Superphosphat..... 26,5 „		
Kainit ..... 25 „	181	Kainit ..... 25 „	64,5	107
Chilesalpeter ..... 5 „		Chilesalpeter ..... 10 „		
— —		— —		

Der Erfolg der künstlichen Düngung ist in allen Fällen deutlich. Der Heuertrag ist um 19—38 %, der Körnerertrag um 18—26 %, der Strohertrag um 1.8—10.5 % gesteigert. Auf der Wiese hat das Thomasphosphat am günstigsten gewirkt, nächst diesem das Superphosphat, am wenigsten das Agrikulturphosphat. Auf dem Haferfelde erwiesen sich Thomasmehl und Agrikulturphosphat als ziemlich gleichwertig; das Super-

phosphat wirkte weniger günstig. Auffällig ist in beiden Fällen das Zurückbleiben des Superphosphats, da man doch gerade wegen der späten Düngung einen Vorsprung des löslichen Phosphats hätte erwarten sollen.

Für die Praxis kommt es indessen nicht auf die Steigerung der Ernte allein an, sondern auf das Verhältnis des Wertes der Steigerung zu den aufgewandten Kosten. Der Berechnung wurden die folgenden Preise zugrunde gelegt (en gros-Preise):

Kainit	100 kg	ℳ	2,50	Heu	1000 kg	ℳ	40,—
Chilesalpeter	100 „	„	19,20	Hafer	100 „	„	18,—
Thomasmehl	100 „	„	5,—	Haferstroh	1000 „	„	32,—
Agrikulturphosphat	100 „	„	4,62				
Superphosphat	100 „	„	7,50				

Danach ergeben sich folgende Werte:

Düngung	Wiese			Hafer		
	Kosten	Mehrertrag	Gewinn	Kosten	Mehrertrag	Gewinn
Thomasmehl	2,84	2,36	— 0,48	3,80	3,15	— 0,65
Agrikulturphosphat	2,63	1,16	— 1,47	3,59	3,26	— 0,33
Superphosphat	3,58	1,90	— 1,68	4,54	2,04	— 2,50
Nur Kainit und Chilesalpeter	1,59	1,06	— 0,53	2,55	0,23	— 2,32

Das Gesamtergebnis ist also ungünstig und widerspricht den bekannten guten Erfahrungen mit künstlicher Düngung. Es lassen sich verschiedene Ursachen dafür finden.

Auf dem Wiesenland war eine stark hervortretende Wirkung von vornherein nicht zu erwarten, da der Dünger nur aufgestreut werden konnte und spät gegeben wurde. Außerdem beziehen sich die Zahlen nur auf den ersten Schnitt. Unter Berücksichtigung des zweiten Schnittes, der nicht stattfand, weil die Wiese hernach als Weide benutzt wurde, und der Nachwirkung im nächsten Jahre dürfte sich das Ergebnis günstiger gestaltet haben. Bei den Haferfeldern handelt es sich um einen in gutem Kulturzustande befindlichen Boden, der unter gewöhnlichen Verhältnissen keine weitere Düngung erhalten hätte. Der Mehraufwand an Dünger konnte also nicht so auffällig zur Geltung kommen wie etwa auf magerem Sand- oder Moorboden. Zudem ist die günstigste Art der Düngung schweren Marschbodens überhaupt noch zu wenig bekannt. Ferner war der Zeitpunkt der Düngung nicht der übliche; wenn die Phosphate im Herbst oder Winter aufgebracht worden wären, hätten sie vermutlich besser gewirkt. Der wesentlichste Umstand dürfte aber der sein, daß die Haferernte überhaupt sehr schlecht ausfiel. Eine bessere Gesamternte

würde auch die Zahlen der gedüngten Parzellen in vorteilhaftem Sinne verschoben haben. Immerhin macht sich, wie schon hervorgehoben wurde, die Mehrdüngung deutlich bemerkbar, und die Wirkung des Agrikulturphosphats war in dem Versuch mit Hafer günstiger, als ich erwartet hatte. Weitere Versuche würden zu zeigen haben, ob sich die gewonnenen Resultate verallgemeinern lassen und ob das Agrikulturphosphat wenigstens für gewisse Bodenarten als ein Ersatz des Thomasmehls und der teueren Superphosphate empfohlen werden kann.

Eingegangen am 12. Dezember 1908.

Gedruckt bei Lütcke & Wulff, E. H. Senats Buchdruckern.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch der Hamburgischen Wissenschaftlichen Anstalten

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 25_BH3

Autor(en)/Author(s): Klebahn Heinrich

Artikel/Article: Düngungsversuche mit Phosphaten 279-291