

6914

Aangeboden door den
Hoofddirecteur van het
Rijkslandbouwproefstation
te Groningen.

SONDERABDRUCK AUS VERHANDLUNGEN DER VIERTEN
KOMMISSION DER INTERNATIONALEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT. STOCKHOLM 1939.

BIBLIOTHEEK

Landbouwproefstation
en Bodemkundig Instituut

SEPARAAT

No. 2124

EIN VERGLEICH ZWISCHEN GEFÄSSVERSUCH, SCHNELLME- THODE UND FELDVERSUCH FÜR DIE BESTIMMUNG DER PHOSPHAT- UND KALI-BEDÜRFTIGKEIT

von

O. DE VRIES und TH. B. VAN ITALLIE.

(Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande).

Für praktische Bestimmung der Phosphat- und Kali-Bedürftigkeit der Böden kommen in erster Linie die sogenannten Laboratorium- oder Schnellmethoden in Betracht. Ihre Auswertung ist nur möglich unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Düngungsversuchen auf dem Felde und Erfahrungen in der Praxis. Der Zusammenhang zwischen den Ertragsergebnissen der Feldversuche und den im Laboratorium bestimmten P- oder K-Zahlen ist aber öfters kompliziert und schwierig zu deuten. Man kann diesen Zusammenhang betrachten (1—3) als einen Teil eines polydimensionalen Problems, wobei die Schnellmethode nur einen Teilaspekt der P- oder K-Bedürftigkeit gibt, während beim Feldversuch alle Faktoren zusammen in Betracht kommen, welche mitwirken bei dem Zustandekommen der für die Praxis so wichtigen Ertragszahlen.

Zur besseren Klärung dieser Zusammenhänge wurde eine möglichst vielseitige Untersuchung bei verschiedenen Bodentypen vorgeschlagen. Neben Feldversuchen, Untersuchung der Böden nach möglichst vielen Methoden und chemischen Analysen des Pflanzenmaterials sollte (1) bei dieser Untersuchung auch bezogen werden der Vegetationsversuch mit Böden ausserhalb ihrer natürlichen Lage. Stufenweise die Versuchs-umstände mehr komplizierend hat man als Methode, welche theoretisch am einfachsten ist, die Wasserkultur mit ständig fliessender Nähr-

lösung zu betrachten; dann folgt die schon etwas kompliziertere Methode der Wasserkultur, wobei die Nährlösung nur von Zeit zu Zeit oder gar nicht erneuert wird. Es kommt dann die schon etwas der Bodenkultur sich näherende Sand-Wasserkultur, ev. mit Zufügung von zeolithischem oder humusartigem Material. Die Wachstumsfaktoren noch mehr komplizierend kommt man dann zu Versuchsanordnungen, bei denen durch Heranziehen von Boden die Verhältnisse viel verwickelter liegen; es sind dies zuerst die Gefässversuche mit Sandverdünnung und mit Wasserversorgung bei maximaler Kapazität nach MITSCHERLICH, oder solche mit kleinerer konstant bleibender Wasserversorgung; weiter Gefässversuche mit reinem Boden, und dann, sich logisch anschliessend, die sogen. Parzellversuche in mit Boden angefüllten Kästen auf Sandunterlage, welche im Freien gehalten werden unter natürlichen klimatischen Verhältnissen.

Es ist klar, dass ein derartiger ausgedehnter Untersuchungsplan infolge methodischer Schwierigkeiten sich nicht mit einer beliebigen Zahl Böden ausführen lässt. Wir beschrieben hier eine solche Untersuchung bei drei Bodentypen. Das hier Mitgeteilte wäre als Beispiel zu betrachten und dürfte als Diskussionsgrundlage dienlich sein können.

Die wichtigsten allgemeinen Eigenschaften der benutzten drei Böden findet man in Tabelle I.

Tabelle I. Bodencharakterisierung

		1	2	3
		Sandboden	Savelboden	Tonboden
in %	Humusgehalt	5,8	1,2	1,4
	Tongehalt < 20	—	27,7	34,7
	Feinsandgehalt 20—100	—	54,1	34,2
	Grobsandgehalt > 100	—	14,1	27,4
	CaCO ₃	0	2,7	2,2
	pH in Wasser	4,9	7,4	7,5
	pH in KCl	4,2	6,5	7,2

Alle drei Böden entstammen Versuchsfeldern; leider waren nicht drei P- und K-arme Versuchsböden zur Verfügung, worauf sowohl ein P- als ein K-Düngungsversuch angelegt war. Der Versuchstyp NPK, NP, NK, PK, usw. ist in den Niederlanden nicht häufig vertreten; meistens werden die Phosphorsäure- und Kalifragen gesondert auf Feldern mit mehreren P- oder K-Staffeln studiert.

Boden I ist ein sehr armer, diluvialer Humussandboden von einem in 1936 angelegten P-Versuchsfelde im Norden der Provinz Drenthe; der Boden ist mässig wasserhaltend und arm nicht nur an Phosphorsäure sondern auch an allen austauschbaren Basen. Boden 2 ist ein ziemlich

junger, gesättigter leichter Savelboden im Nordwesten der Provinz Groningen; auf diesem Boden, der sehr gut wasserhaltend ist und worauf bis daher niemals Kali und nur mässig Phosphorsäure angewandt war, wurde in 1935 ein langjähriges Kaliversuchsfeld angelegt. Boden 3 ist ein alter grobsandiger Flusstonboden im Rheindeltagebiete (Betuwe) in der Provinz Gelderland, weniger gut wasserhaltend und von weniger guten Struktur als Boden 2. In 1930 wurde auf diesem Boden vom Reichslandwirtschaftskonsulent in diesem Gebiete ein allgemeiner Düngungsversuch nach dem Schema NPK, NP, NK, PK und ungedüngt angelegt. Die Bodenproben wurden sämtlich im Frühjahr 1938 der Ackerkrume dieser Versuchsfelder entnommen und in diesem Jahre zu den Vegetationsversuchen benützt. Die hier benutzten Ergebnisse der Feldversuche, welche mit drei Wiederholungen angelegt waren, beziehen sich auf vorhergehende Versuchsjahre 1935 oder 1936 und 1937. Der Parzellenversuch wurden in Betonparzellen, von 6.25 dm² Oberfläche, gefüllt mit 14—16 kg lufttrocknem Boden, genommen, die Topfversuche in Mitscherlichgefässen von 3.08 dm² Oberfläche mit 6 kg Boden, resp. 2 kg Boden + 4.66 kg Hohenbockaer Sand. Alle Vegetationsversuche wurden in dreifacher Wiederholung angestellt.

Ausserdem wurden Bodenproben der Böden 1 und 2 auch nach der Methode Mitscherlich in Königsberg bezw. Bukarest untersucht, wofür wir an dieser Stelle Prof. Dr. E. A. MITSCHERLICH und Prof. Dr. G. IONESCU-SISESTI freundlichst danken möchten. Die Ergebnisse dieser Versuche nach der Methode MITSCHERLICH an drei verschiedenen Stellen stimmen im allgemeinen sehr gut überein; nur eine Ertragszahl von der Phosphorsäure-Untersuchung bei Boden 2 weicht von den beiden Anderen ab.

Wir werden jetzt die gesammte P- und K-Untersuchungen, die an diesen drei Böden vorgenommen wurden, gesondert besprechen, wobei wir mit Phosphorsäure anfangen.

Phosphorsäure.

Sämtliche Ertragsergebnisse der Phosphorsäureversuche sind in Tabelle II eingetragen.

Wie bekannt sind die Erträge von Parzell- und Topfversuchen mit der starken MITSCHERLICH'schen Stickstoffdüngung von 1.08 g N pro Gefäss (über 300 kg N pro ha), speziell bei maximaler Wasserversorgung, viele Male grösser als beim Feldversuch. Trotzdem zeigt sich bei Boden 3 in allen Versuchsserien eine fast gleich grosse relative Phosphorsäurewirkung. Überführung des Bodens vom Felde in Parzellen mit nährstoffarmem Sand als Untergrund, oder in Gefässen mit beschränktem

Tabelle II. Ertragszahlen der Phosphorsäureversuche.

Feldversuch					Vegetationsversuch													
Düngung kg/ha P ₂ O ₅	Knollenertrag		Korn + Stroh- Ertrag		Düngung kg/ha P ₂ O ₅	Parzell- versuch	Gefäßversuch											
							50 % Wasserkap.			100%								
							Boden		1 T. Boden + 2 T. Sand									
Als prim. Ca-phosphat	dz/ha	%	dz/ha	%	Als prim. Ca-phosphat	dz/ha	%	dz/ha	%	dz/ha	%	dz/ha	%					
	1936 Kartoffeln		1937 Roggen			1938 Hafer Korn + Stroh												
0	175	75	35,3	65	1. Sandboden													
30	178	77	43,0	80	0	50,1	42	141	52	94,2	36	97,4	26					
70	193	83	45,2	84	75	73,6	66					255	67					
140	232	100	54,0	100	300	119	100	271	100	259	100	380	100					
					2. Savelboden													
					0	129	87	220	71	98,0	32	110	27					
					75	137	93					364	33					
					300	148	100	310	100	311	100	412	100					
					3. Tonboden													
					0	128	87	316	96	307	92	374	88					
					75	151	103					398	94					
					300	147	100	329	100	334	100	425	100					
					1935 Kartoffeln		1937 Gerste											
ohne P ₂ O ₅	356	94	69,4	84														
110 als Super- phosphat	380	100	83,1	100														

Bodenvolum sowie Verdünnung mit Sand und Steigerung der Wasserversorgung, hat deshalb, wenigstens in diesem Falle, kaum Einfluss auf den relativen Ertragsverlauf.

Bei Boden 2 steht die Sache ganz anders. Phosphorsäure-Düngungsversuche auf benachbarten Schlägen vom selben Typus und gleichen P-Werten bei der Bodenuntersuchung haben uns gelehrt, dass auf diesen Böden eine Ertragssteigerung durch P-Düngung selten über 10 % hinausgeht. Auch im Parzellversuch sieht man eine Übereinstimmung mit Boden 3, aber im Gefäßversuch mit steigenden Erträgen nimmt ohne P der relative Ertrag sprunghaft ab. Eine Viertelgabe der P-Düngung genügt bei der Methode MITSCHERLICH nicht zum Höchstertrag.

Der Humussandboden 1 ist deutlich der ärmste an Phosphorsäure. Von den sieben P-Staffeln beim Feldversuch sind hier nur vier angeführt; jährlich mindestens 100 kg P₂O₅ pro ha ist hier nötig um einen Vollertrag zu erhalten. Parzell- und Topfversuche mit doppeltem bis siebenfachem Ertrag bei Volldüngung zeigen ohne P nur mangelhaftes Wachstum mit schweren P-Mangelerscheinungen und relativ niedrigen Erträgen. Die P-Düngung nach 75 kg P₂O₅ pro ha ist hier noch völlig ungenügend.

Von besonderer Bedeutung ist jetzt bei der weiteren Entfaltung dieses Bildes die Bestimmung der durch die Pflanzen in den verschiedenen Versuchen entzogenen P-Mengen, die in Tabelle III eingetragen sind in mg pro 100 g Boden sowie auch in kg pro ha. Erstere Zahlen sind also bezogen auf Bodenmengen [2 Millionen kg pro Hektare Ackerkrume im Feldversuch (Sandboden), und 14—16,6 bzw. 2 kg in Parzellkästen und Gefässen]; die letzteren sind, wie die Ertragszahlen, berechnet auf Oberfläche (6.25 bzw. 3.08 dm² in den Parzellkästen bzw. Gefässen).

Tabelle III. P₂O₅-Ertrag in mg pro 100 g Boden und in kg pro ha

Versuche	1. Sandboden				2. Savelboden				3. Tonboden			
	ohne P ₂ O ₅		mit 300 kg P ₂ O ₅		ohne P ₂ O ₅		mit 300 kg P ₂ O ₅		ohne P ₂ O ₅		mit 300 kg P ₂ O ₅	
	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha
Feldversuch												
Kartoffeln	0,7	14	0,8*	16*	—	—	—	—	—	—	—	—
Roggen	0,6	12	0,9*	18*	—	—	—	—	—	—	—	—
Parzellversuch	0,6	15	2,1	50	1,5	36	3,5	83	2,2	54	3,6	86
Gefässversuch:												
Boden	3,0	58	3,3	65	2,0	39	6,8	132	4,9	96	7,4	144
Boden-Sand	4,4	28	11,5	74	2,6	17	18,4	119	10,0	65	22,9	148
(50 % Wasserkap)												
Boden-Sand	4,3	28	13,2	89	2,1	14	24,5	159	12,6	81	28,2	183
(100 % Wasserkap)												

* mit 140 kg P₂O₅.

Von den Feldversuchen liegen nur für Boden 1 Analysenzahlen vor; aus anderen Versuchen auf Tonboden können wir aber mit genügender Sicherheit für die Böden 2 und 3 im Feldversuch einen Entzug von 1.5 bis 2 mg P₂O₅ pro 100 g Boden annehmen. Beim Parzellversuch mit Hafer kommen die ohne P-Düngung aufgenommenen P-Mengen nicht über die des Feldversuches hinaus. Beim Gefässversuch mit beschränkter Bodenmenge aber mit hohen Erträgen ist auch bei den Böden 1 und 2 mit relativ niedrigen Ertragswerten ohne P der Entzug pro Bodenmenge deutlich höher. Bei den Boden-Sandgemischen mit nur 2 kg Boden sind natürlich die Düngermengen und Entzugszahlen, bezogen auf 100 g Boden, höher als beim Versuch mit 6 kg unverdünnten Boden. Ohne P-Düngung entziehen in diesem Falle die niedrigeren Erträge des Sandbodens mehr P als diejenige des Savelbodens 2, während Boden 3 auch ohne P-Düngung im Mitscherlich-Versuch viel grössere Mengen liefern kann als die beiden anderen Böden. Weiter sieht man dass bei Volldüngung die Haferpflanzen auf den zwei Tonböden fast gleiche

P-Mengen aufnehmen, während beim Sandboden scheinbar viel mehr der gegebenen Düngermenge festgelegt wird. Auf Oberfläche bezogen liegen die Verhältnisse der P-Aufnahme natürlich anders; ohne P-Düngung werden in diesem Fall beim Gefäßversuch mit nur Boden die höchsten Ertragszahlen gefunden. Mit Hilfe der Phosphorsäure-Gehaltszahlen in den Ernten der Vegetationsversuche können wir jetzt das Bild der verschiedenen Weisen der P-Aufnahme bei den drei Böden sehr schön vervollständigen (siehe Tabelle IV).

Tabelle IV. P_2O_5 -Gehalt der Trockensubstanz beim Vegetationsversuch

	1. Sandboden		2. Savelboden		3. Tonboden	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
<i>Parzellversuch</i>						
0 P_2O_5	0,69 %	0,05 %	0,61 %	0,09 %	0,96 %	0,13 %
75	0,62	0,06	0,83	0,10	0,96	0,14
300	0,91	0,19	1,07	0,31	1,15	0,29
<i>Topfversuch Boden</i>						
0	0,81	0,16	0,45	0,01	0,76	0,01
300	0,60	0,01	0,96	0,08	0,93	0,12
<i>Topfversuch 1 T. Boden + 2 T. Sand (50 % Wasserkap)</i>						
0	0,76	0,07	0,52	0,005	0,56	0,005
300	0,72	0,04	0,94	0,06	0,93	0,17
<i>Topfversuch 1 T. Boden + 2 T. Sand (100 % Wasserkap)</i>						
0	0,74	0,10	0,38	0,03	0,56	0,02
75	0,54	0,02	0,47	0,02	0,67	0,02
300	0,64	0,03	0,77	0,21	0,90	0,21

Zum besseren Verständnis dieser Zahlen muss vorausgehen, dass bei genügender P-Versorgung das Haferkorn mindestens 0.90 % P_2O_5 , das Stroh 0.15 % P_2O_5 , berechnet auf Trockensubstanz, enthält. Man sieht, dass Boden 1 nur bei Volldüngung im Parzellversuch genügend mit P versorgt war. Mit Ausnahme dieses Objekts zeigt sich hier überall der merkwürdige Fall, dass der Gehalt ohne P-Düngung und bei offenbarem P-Mangel höher liegt als derjenige bei 75 bzw. 300 kg P_2O_5 . Savelboden 2 zeigt dagegen bei den Gefäßversuchen ohne P noch bedeutend niedrigere Gehalte als Boden 1; die Volldüngung aber hat ausser bei der letzten Serie genügende P-Versorgung der Pflanzen gegeben. Boden 3 zeigt im Parzellversuch auch ohne P ziemlich hohe Gehaltszahlen; bei den drei Gefäss-serien scheint aber ohne P, bzw. mit 75 kg die P-Versorgung wieder ungenügend. In Gegensatz zu den ärmeren Böden 1 und 2 ist hier auch bei der vierten Serie mit dem höchsten Ertrag die P-Versorgung mit 300 kg P_2O_5 ausreichend.

Die verschiedene Weise der P-Aufnahme lässt sich in folgender Weise deuten. Beim sehr phosphorsäurebedürftigen und P-festlegenden Sandboden 1 tritt ohne P-Düngung beim Anfang des Wachstums schon schwerer P-Mangel auf, wodurch die vegetative Entwicklung stark geschädigt wird; später kann durch grössere Wurzelaktivität noch soviel Phosphorsäure nachgeliefert werden, dass die Kornproduktion im Vergleich mit der mangelhaften Strohentwicklung noch verhältnismässig hoch ist (Korn-Strohverhältnis 60 gegen 69 bei Volldüngung) und die P-Gehalte in Korn und Stroh höher werden als bei den Pflanzen mit P-Düngung, die ja im Anfang keinen P-Mangel haben, aber doch grosse Mühe haben sowohl beim Feld- als Topfversuch die benötigte P-Menge aufzunehmen.

Beim Boden 2 steht die Sache ganz anders. Ohne P-Düngung steht besonders beim Gefässversuch mit verdünntem Boden auch nur eine sehr geringe P-Menge zur Verfügung, die aber vom Anfang an besser den Pflanzen zugänglich ist als beim Sandboden. Die vegetative Entwicklung ist daher auch bei starkem P-Mangel besser, aber bei der Kornbildung stellt sich dann der P-Defizit stärker heraus; das Korn-Strohverhältnis ist hier beim P-Mangel niedriger als beim Boden 1 (51 gegen 76 bei Volldüngung) und die P-Gehalte sind hier extrem niedrig. Eine gegebene P-Düngung wird hier aber infolge der geringeren Festlegung besser ausgenützt.

Der Boden 3 mit grösserem P-Vorrat zeigt zwar auch beim Mitscherlich-Versuch keine grössere P-Wirkung als im Feldversuch, aus den niedrigen Gehalten ohne P-Düngung in diesem Falle sieht man aber, dass der verfügbare P-Vorrat mit 12.6 mg pro 100 g Boden (siehe Tabelle III) auch erschöpft sein wird.

Vergleichen wir jetzt die Ergebnisse der Erträge und der Phosphorsäure-Aufnahme mit denen der Bodenuntersuchungen in Tabelle V.

Tabelle V. Bodenuntersuchung auf Phosphorsäure in mg P_2O_5 pro 100 g Boden

Festlegungszahl	1. Sandboden	2. Savelboden	3. Tonboden
	88 %	48 %	64 %
P-Zahl (CO_2 -halt Wasser)	0 mg	0 mg	1 mg
P-Dirks u. Sch. (Wasser bezw. Bikarb.)	0,2	0,2	0,6
P-Egnér (Milchsäure)	7	14	20
P-Truog (Schwefels. + Amm.sulf.)	8	20	33
P-citr. (1 % Zitrons.)	16,5	30	41
P-HCl (0,1 n HCl; 3 Extrakt.)	14—7—4	31—14—8	23—13—11
P-total (Königswasser)	55	90	158
P-Neubauer	0	2,5	9
P-Aspergillus	20,5	17	34
P-Mitscherlich (b-Wert)	4	2 (4)	27,5

Wir haben hier auch die errechneten *b*-Werte des Mitscherlich-Versuches mit einbezogen. Der Zwischenstaffel 75 kg P_2O_5 gibt dabei die Möglichkeit zuerst die *c*-Konstanten zu errechnen. Für Böden 1 und 3 stimmen diese ziemlich gut mit dem Mitscherlich'schen Wert 0.6 (in dz/ha) überein (0.47 und 0.40), bei Boden 2 ist *c* grösser (1.04). Der in Klammern gesetzte *b*-Wert ist bei diesem Boden mit der *c*-Konstante nach Mitscherlich (0.6) errechnet.

Diejenigen Bestimmungsmethoden, die nur geringe Mengen Phosphorsäure angeben (*P*-Zahl, *P*-Dirks u. Sch., *P*-Mitscherlich), zeigen fast gleiche niedrige Werte für Böden 1 und 2; bei der Neubauer-Methode sieht man schon einen Unterschied, der deutlicher zu Tage kommt bei allen Bestimmungsmethoden welche an sich höhere *P*-Mengen angeben. Nur die *Aspergillus*-Methode zeigt für Boden 2 keinen höheren Wert als für 1. Boden 2 hat also einen grösseren *P*-Vorrat als Boden 1, aber die Verfügbarkeit für die Pflanzen scheint auch in diesem Falle nur klein zu sein. Boden 3 dagegen zeigt besonders nach NEUBAUER und MITSCHERLICH viel höhere Werte als die beiden anderen; der Unterschied zwischen 2 und 3 bei den Methoden mit kräftigerer Extraktion ist auch wohl deutlich, aber relativ viel kleiner. Die erste Extraktion mit HCl gibt sogar den höchsten Wert bei Boden 2. Man bekommt also den Eindruck, dass bei Boden 3 zwar der *P*-Vorrat grösser ist als bei 2, besonders aber eine viel grössere Menge leicht verfügbarer Phosphorsäure vorliegt.

Diese Ergebnisse der Bodenuntersuchung stimmen ganz gut mit denen der Vegetationsversuche überein. Im Feld- und Parzellversuch wird man in erster Linie zwischen Böden 2 und 3 mit ziemlichem *P*-Vorrat nicht viel Unterschied finden, obwohl ohne *P*-Düngung im Parzellversuch die Gehaltzahlen und damit die Entzugszahl bei Boden 2 schon deutlich niedriger sind. Erst bei forciertem Pflanzenanbau in Gefässversuchen kommt der Unterschied im Gehalt an leicht löslicher Phosphorsäure deutlich zum Vorschein. Dabei ist bemerkenswert, dass der maximale *P*-Entzug ohne *P*-Düngung bei den beiden Tonböden im Mitscherlichversuch (2 bzw. 12.5 mg/100 g Boden) sich schön bei den nach NEUBAUER gefundenen Zahlen 2 1/2 bzw. 9 anschliesst.

Zwischen den Böden 1 und 2 wird der Unterschied in *P*-Wirkung im Feld- und Parzellversuch grösser sein als zwischen 2 und 3. Die geringe Verfügbarkeit, die starke Festlegung und der kleine Vorrat verursachen beim Sandboden auch bei mässiger *P*-Düngung eine schlechte *P*-Versorgung, während beim Savelboden auch ohne *P*-Düngung nur geringe Ertragsabfälle auftreten werden. Bei den Gefässversuchen näherten sich die beiden Böden, was ihr *P*-Mangel be-

trifft. Die geringe Verfügbarkeit, die beide Böden gemein haben, macht sich in einem gleich starken Ertragsabfall bemerkbar. Die starke Festlegung beim Sandboden verursacht extremen P-Mangel im Anfang und etwas günstigere Nachlieferung am Ende der Vegetation; beim Boden 2 hemmt der etwas grössere Vorrat das Wachstum im Anfang weniger, reicht aber am Ende gar nicht aus und liefert niedrigere Kornerträge, wobei die Körner ohne P nur ganz wenig Phosphorsäure enthalten.

Kali.

Die Ertragszahlen sämtlicher Kaliversuche sind in Tabelle VI gegeben.

Tabelle VI. Ertragszahlen der Kaliversuchen

Feldversuch					Vegetationsversuch									
Düngung kg/ha K ₂ O	Knollenertrag		Korn + Stroh- Ertrag		Düngung kg/ha K ₂ O	Parzell- versuch	Gefässversuch							
							50 % Wasserkapazität				100 %			
							Boden		1 T. Boden + 2 T. Sand		Boden		1 T. Boden + 2 T. Sand	
	dz/ha	%	dz/ha	%		dz/ha	%	dz/ha	%	dz/ha	%	dz/ha	%	
Als Schwe- fels.-Kali	Kartoffeln 1936 u. '37		Sommer- Weizen 1936 u. '37		1. Sand- boden als K- Sulfat	1938 Hafer; Korn + Stroh-Ertrag								
	0	267	64	89,3	89	0	109	92	221	82	120	46	140	37
	80	338	82	96,4	96	120	125	105					334	88
	180	398	96	99,8	99	480	119	100	271	100	259	100	380	100
480	414	100	100,5	100	2. Savel- boden	0	143	97	269	87	208	67	185	45
ohne K 150 als K-Magne- sia bezw. 40 % K- Düngesalz	Kartoffeln 1935		Gerste 1937		3. Ton- boden	0	128	87	312	95	286	86	355	84
	150 als	380	100	83,0	100	120	141	96					407	96
	480					480	147	100	329	100	534	100	425	100

Obwohl es aus den spärlichen hier angeführten Ertragszahlen der beiden Kali-Feldversuche nicht deutlich hervorgeht, ist die Kaliwirkung im allgemeinen bei Boden 2 grösser als bei 3, obwohl auch dieser Boden ziemlich starke K-Mangelercheinungen zeigt. Legumi-

nosen und Getreidearten mit grösserem Kalibedarf als Weizen, wie zum Beispiel Gerste und Kanariengras, geben aber auf Boden 2 grössere Ertragsabfälle als auf Boden 3. Im Parzellversuch mit Hafer zeigt keine der drei Böden sich kalibedürftig. Wir sind geneigt die im Verhältnis zu den anderen Serien niedrigen Ertragszahlen ohne Kali bei Boden 3, die auch beim P-Versuch auftraten, einem geringen Wassermangel zuzuschreiben, den dieser Boden, infolge seiner Grobkörnigkeit, bei hoher Lage über das Wasserniveau im Parzellversuch empfand.

Im Gefässversuch mit 6 kg Boden ist schon die Reihenfolge der Böden 1, 2 und 3 nach abnehmendem Kalibedarf ersichtlich, welche sich in den zwei Serien mit Sandverdünnung viel deutlicher ausprägt.

Betrachten wir jetzt zunächst wieder den K-Entzug bei den verschiedenen Versuchen. Diese Zahlen sind in Tabelle VII erwähnt, bezogen auf Bodenmenge sowie auf Oberfläche.

Tabelle VII. K_2O -Ertrag in mg pro 100 g Boden und in kg pro ha

Versuche	1. Sandboden				2. Savelboden				3. Tonboden			
	ohne K_2O		mit 480 kg K_2O		ohne K_2O		mit 480 kg K_2O		ohne K_2O		mit 480 kg K_2O	
	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha	mg 100 g	kg/ha
Feldversuch:												
Kartoffeln	—	—	—	—	3,8	96	9,8	245				
Weizen	—	—	—	—	2,6	64	3,8	95				
Parzellversuch:	4,4	106	8,5	203	4,6	111	7,5	181	5,2	124	8,1	194
Gefässversuch:												
Boden	4,3	84	16,6	324	6,8	133	15,4	300	10,4	210	20,2	396
Boden-Sand (50 % Wasserkap.)	6,1	40	43,6	283	10,0	65	56,2	364	18,4	119	62,6	406
Boden-Sand (100 % Wasserkap.)	7,4	48	58,6	330	11,1	72	67,0	435	24,4	158	71,4	464

Die Entzugswerte für Kartoffeln, bzw. Weizen aus dem Feldversuch auf Boden 2 können als Durchschnittszahlen für Versuche auf kaliarmen Böden der Typen 1 und 3 betrachtet werden. Man sieht dann, dass im Parzellversuch der Hafer etwas mehr Kali aufnimmt, als Getreide im Feldversuch. Bei zunehmenden Erträgen steigt, auch ohne Kali, bei den Gefässserien der Kali-Entzug in mg pro 100 g Boden in allen drei Böden, im Gegensatz zu den Phosphorsäureversuchen. Die in der letzten Serie erreichten Entzugswerte von 7.4 bzw. 11.1 bei Böden 1 bzw. 2 werden wahrscheinlich wohl das Maximum des verfügbaren Kalis bei diesen Böden angeben. Sehr gross ist auch bei dieser Serie die Ausnützung des gegebenen Düngerkalis (75 mg pro

100 g Boden); beim Boden 2 ist hier die Ausnützung 75 %. Auf Oberfläche bezogen ist ohne Kalidüngung der Ertrag, wie bei Phosphorsäure für Böden 2 und 3, am höchsten beim Gefässversuch mit reinem Boden, für Boden 1 beim Parzellversuch.

Tabelle VIII. K_2O -Gehalt der Trockensubstanz beim Vegetationsversuch

	1. Sandboden		2. Savelboden		3. Tonboden	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
<i>Parzellversuch</i>						
0 K_2O	0,70 %	1,54 %	0,75 %	1,06 %	0,78 %	1,47 %
120	0,71	1,87	0,70	1,35	0,70	1,72
480	0,68	3,08	0,75	2,06	0,77	2,23
<i>Gefässversuch Boden</i>						
0	0,74	0,18	0,73	0,45	0,78	0,80
480	0,77	1,95	0,75	1,50	0,75	2,04
<i>Gefässversuch 1 T. Boden + 2 T. Sand (50% Wasser- kap.)</i>						
0	0,72	0,20	0,68	0,12	0,79	0,22
480	0,97	1,54	0,84	1,82	0,83	1,95
<i>Gefässversuch 1 T. Boden + 2 T. Sand (100% Was- serkap.)</i>						
0	0,66	0,23	0,74	0,28	0,70	0,38
120	0,74	0,36	0,75	0,54	0,69	0,68
480	0,75	1,47	0,71	1,64	7,00	1,73

Ein deutlicheres Bild der K-Aufnahme bekommen wir mittels der Kaligehaltzahlen (siehe Tabelle VIII). Man sieht, dass die K_2O -Gehalte des Haferkorns verhältnismässig konstant sind; ein Gehalt von 0.70 % kann als normal betrachtet werden. Nur beim Boden-Sandgemisch mit 50 % Wasserkapazität mit Kalidüngung liegt der Korngehalt bei allen drei Böden bedeutend höher; eine Erklärung lässt sich dafür nicht finden. Beim Stroh liegen aber ganz grosse Unterschiede in Kaligehalt vor, die wir jetzt näher betrachten; 1.8—2.0 % K_2O kann hierbei als normal gelten. Im Parzellversuch sind nur die Gehalte beim Boden 2 niedrig, während beim Boden 1 der hohe Gehalt mit vollständiger Kalidüngung auffällt. Aus vielen anderen Versuchen ist uns bekannt, dass die kali-armen Tonböden das Kalium ziemlich schwierig zur Verfügung stellen auch wenn grössere Mengen als Düngung gegeben werden, während bei Sandböden sowohl kleine Kalireserven im Boden als gegebene Düngermengen sehr leicht von den Pflanzen aufgenommen werden. Auch bei der Gefässserie mit nur Boden sieht man mit Kalidüngung in dieser Hinsicht noch einigen Unterschied, bei Sandverdünnung wird aber auch beim Boden 2 das Düngerkalium gut ausgenützt.

Bei der ersten Gefäss-serie sieht man wie im Ertrag in Gehaltszahlen die Folge der Böden 1, 2 und 3 im abnehmenden Kalibedarf; beim Sandboden ist der Gehalt hier schon extrem niedrig. Bei den höheren Erträgen und kleineren Bodenmengen der beiden anderen Gefäss-serien ist die K-Versorgung bei allen drei Böden ungenügend, wie aus den niedrigen Gehalten ersichtlich ist; auch 120 kg Kali genügt bei der letzten Serie nicht. Im Gegensatz zu der P-Volldüngung ist aber die K-Volldüngung auch für den ärmsten Boden ausreichend.

Fassen wir die gesammten Ergebnisse der Vegetationsversuche zusammen, so wäre die folgende Charakterisierung des Kalihaushalts zu geben. Der Sandboden 1 ist ziemlich kaliarm; beim Getreidebau, besonders beim Hafer, wird der Ertragsabfall im Feldversuch nicht gross sein; bei erschöpfendem Entzug wie in den Gefässversuchen zeigt sich dass der den Pflanzen verfügbare Vorrat nur klein ist. Boden 2 hat einen viel grösseren Kalivorrat, wie bei einem Savelboden mit mehr als 25 % Ton begreiflich ist; für verschiedene Kulturpflanzen wie Kartoffel, Leguminosen, Kanariengras ist dieses Kali aber schwer zugänglich. Besonders beim Mitscherlichversuch zeigt sich der aufnehmbare Kalivorrat als völlig ungenügend. Tonboden 3 zeigt sich am kalireichsten obwohl auch hier beim Feldversuch Mangelerscheinungen bei verschiedenen Kulturen auftreten. Wie bei Phosphorsäure sind aber die Reserven so gross, dass auch im Mitscherlich-Versuch der Ertragsabfall noch klein bleibt; die K-Versorgung ohne K-Düngung ist aber auch hier völlig ungenügend.

Stellen wir dieser Charakterisierung jetzt die Bodenuntersuchung auf Kali in Tabelle IX gegenüber.

Tabelle IX. *Bodenuntersuchung auf Kali in mg K₂O pro 100 g Boden.*

	1. Sandboden	2. Savelboden	3. Tonboden
K-Gehalt 0,1 n HCl (1:10) 3 Extraktionen	6—2— $\frac{1}{2}$	10—9—3	13—4—2
K-Zahl 0,1 n HCl (6,25 g Humus auf 300 g Säure) 3 Extraktionen	5—2— $\frac{1}{2}$	—	—
K-5 % HCl	32	180	173
K-Neubauer	$4\frac{1}{2}$	20	$26\frac{1}{2}$
K-Aspergillus	12	22	$20\frac{1}{2}$
K-Mitscherlich (b-Wert)	$5\frac{1}{2}$	7	$21\frac{1}{2}$

Auch hier haben wir den Mitscherlichschen b-Wert errechnet, wobei eine gut übereinstimmende c-Konstante von 0.67 für die drei Böden benutzt wurde. Bei den Sandböden bestimmen wir meistens die K-Zahl durch Salzsäure-Extraktionen bezogen auf eine konstante Hu-

musmenge; zum Vergleich sind hier auch die dreimaligen Extraktionszahlen, auf eine konstante Bodenmenge bezogen, angeführt. Obwohl diese Zahlen für alle Böden ziemlich niedrig sind, sieht man doch deutlich den Unterschied zwischen dem sehr armen Sandboden und den beiden reicheren Tonböden. Extrahiert man mit starker Salzsäure, dann zeigt sich deutlich die geringe Kalimenge im humusarmen Sandboden. Bei der Methode NEUBAUER wie auch (sei es etwas weniger deutlich) bei der Aspergillus-Methode, ist der Unterschied zwischen Sand- und Tonböden sehr gross, während beim Mitscherlichversuch, wie auch aus den Ertragszahlen schon ersichtlich war, die Böden 1 und 2 dicht bei einander liegen. Zwischen den beiden Tonböden ist nur nach Mitscherlich ein grosser Unterschied; erste Salzsäureextraktion und Neubauermethode zeigen Boden 3 als etwas reicher wie Boden 2 an, wie auch aus Feld- und Vegetations-Versuchen hervorgeht.

Auch bei den Kaliuntersuchungen sehen wir also im allgemeinen eine gute Übereinstimmung zwischen Bodenuntersuchung und Vegetationsergebnissen und bekommen wir somit aus dem gesammten Material ein abgerundetes Bild des Kalihaushalts. Nur bekommt man den Eindruck, dass der Mitscherlichversuch hier eigentlich zu grosse Unterschiede zwischen den beiden Tonböden vortäuscht, die im Feld- oder Parzellversuch und in der Bodenuntersuchung nicht gefunden werden. Die maximalen K-Entzugszahlen stimmen bei dem Mitscherlichversuch gut überein mit den b-Werten, die aus diesem Versuch errechnet werden. Dieser b-Wert ist beim Sandboden ungefähr der Neubauerzahl und der einmaligen Salzsäure-Extraktionszahl gleich; beim Savelboden 2 ist aber dieser b-Wert etwas kleiner als der HCl-Gehalt und viel kleiner als die Neubauerzahl. Beim Boden 3 ist der b-Wert wieder viel höher als die einmalige HCl-Extraktion und kommt dem höheren Neubauerwert gleich. Man sieht, dass die Bedeutung des b-Wertes bei den verschiedenen Bodentypen nicht dieselbe ist.

Schlussfolgerungen.

Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse dieser vielseitigen Bodenuntersuchung lassen sich in erster Linie zwei Fragen stellen.

1. In welcher Hinsicht hat diese Untersuchung nach mehreren Seiten hin uns mehr gelehrt über den P- und K-Haushalt dieser Böden als der Feldversuch zusammen mit den Erfahrungen der landwirtschaftlichen Praxis?
2. Welche der angewandten Methoden hat die beste Übereinstimmung mit Feldversuch und Praxis gegeben?

Es ist klar, dass sich diese Fragen auf Grund dieses beschränkten Materiales nicht in allgemeinem Sinne beantworten lassen. Bestimmte Andeutungen lassen sich aber ganz gut herausholen. Wir müssen dabei bedenken, dass nur die Ackerkrume untersucht wurde, sodass wir über den Einfluss des Untergrundes auf den P- und K-Haushalt dieser Böden keine Aussprache tun können. Mit dieser Beschränkung lässt sich sagen, dass diese Untersuchung uns in erster Linie einen besseren Eindruck über Vorrat und Verfügbarkeit der Phosphorsäure und des Kalis in den verschiedenen Böden gegeben hat. So zeigt sich bei dem Sandboden deutlich, dass nicht nur der totale P-Vorrat sehr gering ist, aber dass auch durch starke Festlegung die Düngergaben sehr schlecht ausgenützt werden; weiter sieht man, dass die Verfügbarkeit der Phosphorsäure bei P-Mangel beim Anfang des Wachstums relativ am grössten ist. Dagegen findet man beim Savelboden zwar einen grösseren P-Vorrat, aber eine geringe Verfügbarkeit, die erst im Mitscherlich-Versuch und bei Bestimmung von der leichtlöslichen Phosphorsäure (Methode NEUBAUER, Methode DIRKS u. SCHEFFER) hervortritt. Dass die P-Mangelerscheinungen auf diesem Bodentypus im Feldversuch nicht so stark auftreten, lässt sich ausser durch Nachlieferung aus dem Untergrund vielleicht erklären durch die ökonomische Ausnützung der geringen verfügbaren P-Mengen, wie es sich bei den Vegetationsversuchen mit diesem Boden zeigt. Bei Tonboden 3 bekommt man den Eindruck, dass unter Umständen eine P-Düngung eine gewisse günstige Wirkung zeigen kann; mit allen Methoden zeigt sich aber trotzdem eine ziemlich grosse P-Reserve. Beim Kali sind alle drei Böden düngungsbedürftig. Während beim Boden 1 aus Bodenuntersuchung und Vegetationsversuch ein äusserst geringer Kalivorrat aber eine gute Ausnützung dieser geringen Menge sowie derjenigen einer normalen Düngergabe hervorgeht, haben Böden 2 und 3 mit wenig verschiedenen Tongehalten ungefähr gleich grosse Vorräte, die aber wahrscheinlich auf etwas verschiedener Weise zur Verfügung kommen. Die meisten Untersuchungsmethoden und auch die hierbei bezogenen Feldversuche zeigen in dieser Hinsicht nur einen geringen Unterschied; nur die Methode MITSCHERLICH gibt für Boden 2 einen viel niedrigeren Vorrat an Kali an als für Boden 3.

Wir kommen somit zu der zweiten Frage, welche der angewandten Methoden die beste Übereinstimmung mit Feldversuch und Praxis gibt. Der Gefässversuch nach MITSCHERLICH mit oder ohne Berechnung des b-Wertes hat den grossen Vorteil, dass durch die ziemlich extremen Versuchsbedingungen immer ein deutlich ausgeprägtes Bild der Bodenvorräte gegeben wird. Man bekommt aber im allgemeinen den Ein-

druck, dass die Farben, womit das Bild dabei gemalt ist, öfters etwas zu hell oder zu dunkel gewählt sind, wodurch die Gegensätze zu gross werden.

Der Gefässversuch mit nur Boden, kombiniert mit chemischer Analyse der Ernten, also wie damals von LIEBSCHER und von HELLRIEGEL vorgeschlagen wurde, scheint uns dagegen — wie auch aus anderen eigenen Versuchen hervorgeht — eine sehr zuverlässige Methode zur Feststellung der P- oder K-Bedürftigkeit der Böden.

Eine Aussprache über den Wert der einzelnen Schnellmethoden lässt sich auf Grund dieser Versuche nicht geben. Für Phosphorsäure hat die Methode NEUBAUER sowie die Säure-Extraktionen mit Zitronensäure und Milchsäure hierbei die Unterschiede zwischen diesen Böden, wie diese aus den Ergebnissen der Vegetationsversuche hervorgehen, am besten charakterisiert; für Kali geben die Zahlen nach Neubauer und nach der 0.1 n Salzsäure-Extraktion eine gute Übereinstimmung mit den Vegetationsversuchen. Die Aspergillusmethode zeigt im Vergleich mit den chemischen Extraktionsmethoden ein etwas undeutlicheres Bild.

Die Absicht der hier gegebenen Ausführungen über den Zusammenhang der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsmethoden für die Düngerbedürftigkeit bei drei Bodentypen war zu zeigen, wie man mit einer Reihe von Arbeitsmethoden, sich ausdehnend von Beobachtungen im Felde bis zu chemischen Bodenuntersuchungen im Laboratorium, eine wertvolle Übersicht über den P- und K-Haushalt verschiedener Bodentypen bekommen kann. Neben Vergleichsuntersuchungen an möglichst vielen Bodenmustern, wie dies in schöner Weise schon durch die internationale Arbeitsgemeinschaft in Angriff genommen wurde, scheint uns eine mehrseitige Untersuchung, wie hier beschrieben, für die Lösung der schwierigen Fragen über die Düngerbedürftigkeit der Böden von Bedeutung.

LITERATURVERZEICHNIS.

- (1). O. DE VRIES: Ernähr. d. Pflanze 30, 374 (1934).
- (2). O. DE VRIES: Transact. 3rd Int. Congr. Soil Sc. III, 220, Oxford 1935.
- (3). Erster Bericht über die Arbeiten und über die Tagung der Arbeitsgemeinschaft zur Prüfung der Laboratoriumsmethoden für die Bestimmung des Kali- und Phosphorsäurebedürfnisses der Böden, Königsberg 1936.