

Die Verteilung von Phosphorsäure und Kali im Boden.

Von S. GERIKE.

Landwirtschaftliche Versuchsanstalt Oldenburg.

Eingeg. am 14. September 1927.

Phosphorsäure und Kali sind die wichtigsten Bestandteile unserer Kulturböden, ohne ihre Anwesenheit ist ein Wachsen und Gedeihen der Kulturpflanzen unmöglich. Doch genügt die alleinige Gegenwart dieser Nährstoffe im Boden nicht, um dem Wachstum der Pflanzen zu dienen, sie müssen vielmehr in einer Form vorhanden sein, die den Pflanzenwurzeln die Aufnahme ermöglicht. In den meisten Fällen ist das Kali des Bodens den Pflanzenwurzeln fast vollständig zugänglich, wenigstens leichter als die Phosphorsäure, die hauptsächlich in Form von Tricalciumphosphat den Pflanzen weit größeren Widerstand gegen die Aufnahme entgegengesetzt. Liegen beide Nährstoffe in leicht zugänglicher Form vor, so können doch Verhältnisse vorhanden sein, die ihre Aufnahme sehr erschweren. Die Gründe hierfür liegen wohl immer im Boden, sei es, daß schädliche Säuren die gesunde Wurzelentwicklung der Pflanzen hemmen, oder daß die physikalischen Verhältnisse des Bodens eine vollständige Durchdringung des Nährstoffträgers erschweren oder gar unmöglich machen. Das erstere gilt zumeist für leichte und humusreiche Böden, das zweite für schwere, d. h. sehr tonhaltige Böden.

Da sich der Boden aus allen nur möglichen Zerteilungsgraden der Materie zusammensetzt, deren Entstehung durch die Verwitterung (mechanisch oder chemisch) bedingt ist, so ist es für die Kenntnis des Bodens von Interesse, die Mengen der einzelnen Zerteilungen, die am Aufbau des Bodens teilnehmen, zahlenmäßig festzustellen. Zu diesem Zwecke dienen die mechanischen Untersuchungsmethoden, die einen mehr oder weniger genauen Einblick in das Gefüge des Bodens gestatten. Es gibt eine Reihe von Methoden, die auf Grund der verschiedenen Fallgeschwindigkeiten der einzelnen Bodenanteile im Wasser eine Trennung der Korngrößen herbeiführen. Leider gibt es noch keine Methode, die diese Trennung einwandfrei gestattet, und leider sind z. Z. noch derartig viel verschiedene Methoden im Gebrauch, daß je nach Benutzung der einen oder der anderen Methode die verschiedensten Ergebnisse resultieren. Es ist das Verdienst A. Atterbergs, ein Verfahren ausgearbeitet zu haben, nach dem sich die Aufteilung des Bodens in seine einzelnen Komponenten mit ziemlicher Genauigkeit vollziehen läßt, und das jetzt in allen wissenschaftlichen Laboratorien fast ausschließlich angewandt wird. Die Methode gründet sich wie eine Reihe von ähnlichen Methoden auch auf die verschiedenen Fallgeschwindigkeiten der Bodenteilchen im Wasser. Der Boden wird in einem geeigneten Glaszylinder mit Wasser aufgeschlämmt und muß eine Wassersäule von bestimmter Höhe in einer bestimmten Zeit durchfallen. Hierdurch tritt eine Tren-

bleiben; die Trennung dieser Teile geschieht durch Ablassen des von den schwebenden Teilchen getrübbten Wassers mittels einer geeigneten Vorrichtung. Auf diese Weise kann man z. B. unter folgenden Bedingungen vorstehende Größenanordnungen erhalten.

Durch zweckmäßige Abänderung dieses gekürzten Verfahrens kann man die einzelnen Fraktionen noch für sich in besondere Gruppen unterteilen, doch wird im allgemeinen die angegebene Art der Ausführung ausreichend sein.

Ein wesentliches Moment für den Ausfall des Resultates der mechanischen oder Schlämmanalyse des Bodens ist die Vorbereitung der Bodenprobe zur Analyse, und zwar gilt dies in ganz besonderem Maße für die Schlämmanalyse nach Atterberg. Leider gibt es hier derartig viele Methoden der Vorbereitung, die in jedem Laboratorium eine andere ist, daß Vergleiche von Bodenuntersuchungen nur dann möglich sind, wenn die Art der Vorbereitung bekannt oder die gleiche ist, und diese wird leider nur zu oft nicht mit angegeben. Die Vorbereitung des Bodens zur Schlämmanalyse hat den Zweck, die aneinandergelagerten Bodenteilchen voneinander zu lösen, und zwar kann man zu diesem Zweck entweder den Boden mit Wasser schütteln, mit Wasser kochen, mit dem Finger anreiben, mit einem Pistill zerkleinern oder mit schwachen Säuren (nach Hissink) bearbeiten. Diese sämtlichen Methoden sind in Vorschlag gebracht und jedes Laboratorium benutzt eine andere, und nach jeder einzelnen wird ein anderes Endresultat erzielt. Einige vergleichende Untersuchungen hierüber mögen den ausschlaggebenden Einfluß der Vorbereitungsart kennzeichnen.

Art der Vorbereitung	Fraktion I 0/10	Fraktion II 0/10	Fraktion III 0/10	Fraktion IV 0/10
Bd. I, sandiger Lehm:				
Schütteln mit Wasser	1,42	5,78	61,92	30,43
Kochen mit Wasser	3,65	8,52	68,06	19,08
Anreiben mit Pistill	5,20	22,06	56,26	15,98
Kochen mit verd. HCl (n. Hissink)	16,43	7,61	57,90	8,52
Bd. II, Tonboden:				
Schütteln mit Wasser	9,07	26,38	47,04	16,38
Kochen mit Wasser	22,20	34,25	36,74	5,58
Anreiben mit Pistill	22,20	35,58	38,93	2,93
nach Hissink	64,16	27,85	1,74	0,00
Bd. III, schwerer Marschbd.:				
Schütteln mit Wasser	11,28	33,26	49,18	5,81
Kochen mit Wasser	15,45	38,06	42,15	4,02
Anreiben mit Pistill	18,58	36,19	41,30	3,83
nach Hissink	36,20	16,96	29,85	2,91

Aus diesen Zahlen geht die Bedeutung der Vorbereitungsart für den Ausfall des Resultates und damit für die Deutung des Befundes klar hervor. Am wenigsten Tonanteile (Fr. I) werden durch einfaches Schütteln mit Wasser gewonnen, während durch Kochen und Anreiben mit Pistill die Aufteilung der Bodenteile mehr begünstigt wird. Am meisten wird stets durch Behandlung des Bodens mit Säuren gefunden, die Verkittung der Bodenteile wird hierbei am stärksten angegriffen. damit ergibt sich aber für die Anwendung der Schläm-

Bezeichnung	Wasserhöhe cm	Zeit	Teilchengröße mm
Ton	30	24 Std.	< 0,002
Staubsand	20	15 Min.	0,002—0,02
Mehlsand	30	15 Sec.	0,02—0,2
Sand	Rest	—	> 0,2

nung in diejenigen Anteile ein, die sich während dieser Zeit absetzen, und diejenigen, die in der Schweb-

analyse nach Atterberg, daß eine einzige Methode der Vorbereitung allgemein verabredet werden muß, oder daß stets die Art der Vorbereitung mit angegeben werden muß, um Irrtümer zu vermeiden, die durch Vergleiche von nach verschiedenen Vorbereitungsmethoden erhaltenen Resultaten entstehen können und entstehen müssen.

Man hat also durch die Methode der Schlämmanalyse die Möglichkeit in der Hand, den Boden in seine einzelnen Korngrößen aufzuteilen, und da liegt die Frage nahe: Wie ist die Verteilung der wichtigsten Pflanzennährstoffe in den einzelnen Bodenanteilen? Zur Verfolgung dieser Frage wurde eine Anzahl verschiedenartiger Böden in die einzelnen Anteile zerlegt und die Fraktionen auf ihren Phosphorsäure- und Kaligehalt untersucht.

Die Vorbereitungsart der Böden zur Schlämmanalyse war verschieden, denn es sollte gleichzeitig geprüft werden, welchen Einfluß die Art der Vorbereitung auf den Gehalt der einzelnen Anteile an Nährstoffen ausübte. Die Phosphorsäure- und Kalibestimmungen wurden derart ausgeführt, daß die erhaltenen Produkte mit heißer konzentrierter Salzsäure ausgezogen wurden und nach den üblichen Methoden bestimmt wurden. Bei der Berechnung der prozentischen Verteilung der Nährstoffe auf die einzelnen Fraktionen wurde stets die Summe der in den einzelnen Fraktionen gefundenen Phosphorsäure- und Kalimengen zugrunde gelegt. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die erhaltenen Resultate zunächst für die Phosphorsäure.

Verteilung der Phosphorsäure im Boden.

Boden I. Sandiger Lehm. Ges.-P₂O₅-Gehalt: 0,064%.

Vorbereitungsart: Anreiben mit Pistill.

Fraktion	Schlamm-analyse %	Gehalt d. Frakt. an P ₂ O ₅ %	= g P ₂ O ₅	v. d. Ges.-P ₂ O ₅ sind in d. einzeln. Fraktionen %
I.	5,20	0,090	0,005	8,8
II.	22,06	0,099	0,023	40,8
III.	56,26	0,044	0,025	43,9
IV.	15,98	0,024	0,004	7,0
zusammen			0,057	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ d. Bod.			0,064	

Derselbe Boden. Vorbereitungsart: Kochen mit Wasser.

I.	3,65	0,092	0,003	5,8
II.	8,52	0,094	0,008	15,4
III.	68,06	0,053	0,036	69,2
IV.	19,08	0,027	0,005	8,6
zusammen			0,052	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ d. Bod.			0,064	

Boden II. Tonboden. Ges.-P₂O₅-Gehalt: 0,082%.

Vorbereitungsart: Anreiben mit Pistill.

I.	22,20	0,101	0,022	25,6
II.	25,58	0,073	0,026	30,2
III.	38,93	0,097	0,036	41,9
IV.	2,03	0,085	0,002	2,3
zusammen			0,086	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ d. Bod.			0,082	

Boden III. Schwerer Marschboden. Ges.-P₂O₅-Gehalt: 0,261%.

Vorbereitungsart: Schütteln mit Wasser.

I.	11,28	0,425	0,048	18,6
II.	33,26	0,207	0,069	26,8
III.	49,18	0,278	0,137	53,1
IV.	5,81	0,074	0,004	1,5
zusammen			0,258	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ d. Bod.			0,261	

Derselbe Boden. Vorbereitungsart: Kochen mit Wasser.

I.	15,45	0,375	0,058	22,8
II.	38,06	0,210	0,080	31,4
III.	42,15	0,270	0,114	44,7
IV.	4,02	0,071	0,003	1,1
zusammen			0,255	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ d. Bod.			0,261	

Derselbe Boden. Vorbereitungsart: Anreiben mit Pistill.

I.	15,58	0,339	0,063	24,0
II.	36,19	0,225	0,081	30,9
III.	41,30	0,280	0,116	44,3
IV.	3,83	0,052	0,022	0,7
zusammen			0,262	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ -Geh. d. Bod.			0,261	

Boden IV. Mittlerer Marschboden. Ges.-P₂O₅-Gehalt: 0,120%.

Vorbereitungsart: Kochen mit Wasser.

I.	9,26	0,194	0,018	16,0
II.	15,27	0,170	0,026	23,0
III.	72,46	0,092	0,067	59,3
IV.	2,72	0,068	0,002	1,7
zusammen			0,113	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ -Geh. d. Bod.			0,120	

Boden V. Mittlerer Marschboden. Ges.-P₂O₅-Gehalt: 0,150%.

Vorbereitungsart: Kochen mit Wasser.

I.	16,97	0,101	0,017	10,9
II.	31,84	0,062	0,020	12,9
III.	49,78	0,231	0,115	74,2
IV.	0,96	0,312	0,003	1,9
zusammen			0,155	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ -Geh. d. Bod.			0,150	

Boden VI. Leichter Marschboden. Ges.-P₂O₅-Gehalt: 0,127%.

Vorbereitungsart: Kochen mit Wasser.

I.	1,80	0,183	0,003	2,5
II.	8,61	0,151	0,013	10,8
III.	82,87	0,121	0,101	84,2
IV.	5,50	0,054	0,003	2,5
zusammen			0,120	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ -Geh. d. Bod.			0,127	

Es zeigt sich hier, daß im allgemeinen der Prozentgehalt der I. Fraktion, also des Tons, an Phosphorsäure am größten ist, während der Gehalt der übrigen Fraktionen wechselt. Man hätte vielleicht erwarten können, daß der Gehalt der Bodenteile mit zunehmender Korngröße abnehmen würde, dies ist jedoch nicht der Fall, so zeigt z. B. bei Boden II. die zweite Fraktion einen höheren P₂O₅-Gehalt als der Ton, dagegen weisen die dritte und vierte Fraktion einen abnehmenden Gehalt auf. Von den Böden II, III und V besitzen die dritten Fraktionen einen höheren Gehalt als die vorhergehenden zweiten und die folgenden vierten, dagegen stets einen geringeren als die ersten. Die vierte Fraktion zeigt bei Boden I, II, III, IV und VI den geringsten P₂O₅-Gehalt als alle übrigen Anteile, während bei Boden V eine fast vollständige Umkehrung der Verhältnisse vorliegt, indem nämlich die II. Fraktion am wenigsten, sodann die I. und III. etwas mehr und die IV. Fraktion am meisten P₂O₅ enthält.

Rechnet man den Prozentgehalt auf g P₂O₅ in den Mengenanteilen der Fraktionen des ganzen Bodens um, so ergibt sich bei sämtlichen Böden das übereinstimmende Bild, daß sich die Menge der Phosphorsäure nach der Menge der betr. Fraktion richtet. Da die untersuchten Böden in der Hauptsache aus Mehlsand (Fr. III) bestehen, so findet sich in diesen Anteilen des Bodens die größte Menge der Gesamtphosphorsäure des Bodens. Diese schwankt zwischen 40 und 85% der Gesamtphosphorsäure. Unterschiede hierin, die etwa durch die

Bodenart hervorgerufen sein könnten, sind nicht zu bemerken.

Die Verteilung des Kalis in einigen Böden zeigt die folgende Zusammenstellung. Es konnten hier nur einige Böden untersucht werden, da die Gewinnung größerer Mengen der I. Fraktion besonders bei den leichteren Böden sehr viel Zeit in Anspruch nimmt; es wurden deshalb nur zwei schwere und ein leichter Lehm Boden auf ihren Kaligehalt untersucht. Die Ergebnisse sind folgende:

Boden I. Sandiger Lehm. Ges.-K₂O-Gehalt: 0,214%.
Vorbereitungsart: Pistill.

Fraktion	Schlamm-analyse %	Gehalt d. Frakt. an K ₂ O %	= g K ₂ O	v. d. Ges.-K ₂ O sind in d. einzeln. Fraktionen %
I.	5,20	2,019	0,105	47,51
II.	22,06	0,172	0,038	17,15
III.	56,26	0,109	0,061	27,60
IV.	15,98	0,109	0,017	7,69
zusammen			0,221	} in 100 g Boden
Ges.-K ₂ O-Geh. d. Bod.			0,214	

Boden II. Tonboden. Ges.-K₂O-Gehalt: 0,623%.

I.	22,20	0,824	0,183	29,1
II.	35,58	0,597	0,212	33,7
III.	38,93	0,556	0,216	34,3
IV.	2,93	0,571	0,017	2,7
zusammen			0,628	} in 100 g Boden
Ges.-K ₂ O-Geh. d. Bod.			0,623	

Boden III. Schwerer Marschboden. Ges.-K₂O-Gehalt: 0,636%.

I.	18,58	0,886	0,165	26,3
II.	36,19	0,644	0,233	37,2
III.	41,30	0,513	0,212	33,8
IV.	3,83	0,449	0,017	2,7
zusammen			0,627	} in 100 g Boden
Ges.-K ₂ O-Geh. d. Bod.			0,636	

Für die Verteilung des Kalis in den einzelnen Bodenanteilen ergibt sich aus diesen Zahlen, daß der Prozentgehalt der Fraktionen um so größer ist, je feiner die Teilchen sind, daß aber auch immerhin noch beträchtliche Mengen in den größten Anteilen vorhanden sind. Die Verteilung des Gesamtkalis auf die Mengenanteile des Bodens ist recht verschieden, so finden sich bei Boden I in der ersten Fraktion allein 47% des Gesamtkalis, obgleich die erste Fraktion nur 5% des Gesamtbodens ausmacht. Bei Boden II ist die Verteilung in den ersten drei Fraktionen annähernd gleichmäßig, während bei Boden III sich die Hauptmenge des Kalis in der zweiten Fraktion vorfindet. Vielleicht ist der Grund hierfür in der Bodenart zu suchen, vielleicht auch in der Herkunft des Bodens.

Neben der Bestimmung des Gesamtkalis wurden die einzelnen Fraktionen auch mit Hilfe von Ammoniumchloridlösung auf die Menge des absorptiv gebundenen Kalis untersucht, da dieses für die Pflanzenernährung infolge seiner leichten Aufnehmbarkeit und Austauschfähigkeit gegen andere Basen besonders wichtig sein soll. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die erhaltenen Resultate.

Boden I. Gehalt des Bodens an NH₄Cl-lösl. Ges.-K₂O: 0,163%.

Fraktion	Schlamm-analyse %	Gehalt d. Frakt. an K ₂ O %	= g K ₂ O	v. d. Ges. K ₂ O sind in d. einzeln. Fraktionen %
I.	5,20	1,846	0,096	57,48
II.	22,06	0,163	0,036	21,56
III.	56,26	0,047	0,026	15,57
IV.	15,98	0,057	0,009	5,38
zusammen			0,167	} in 100 g Boden
Ges.-K ₂ O-Geh. d. Bod.			0,163	

Fraktion	Geh. d. Frakt. an g K ₂ O	v. d. Ges.-K ₂ O sind in NH ₄ Cl löslich %	Löslichkeit im Mittel %
	Ges.-K ₂ O	NH ₄ Cl-K ₂ O	
I.	0,105	0,096	91,4
II.	0,038	0,036	94,7
III.	0,061	0,026	42,6
IV.	0,017	0,009	52,9
zus.	0,221	0,176	75,5

Boden II. Gehalt des Bodens an NH₄Cl-lösl. K₂O: 0,240%.

Fraktion	Schlamm-analyse %	Gehalt d. Frakt. an K ₂ O %	v. d. Ges.-K ₂ O sind in d. einzeln. Fraktionen %
I.	22,20	0,734	0,163
II.	35,58	0,122	0,043
III.	38,93	0,096	0,037
IV.	2,93	0,071	0,002
zusammen			0,245
Ges.-K ₂ O d. Bod.			0,240

} in 100 g Boden

Fraktion	Geh. d. Frakt. an g K ₂ O	v. d. Ges.-K ₂ O sind in NH ₄ Cl löslich %	Löslichkeit im Mittel %
	Ges.-K ₂ O	NH ₄ Cl-K ₂ O	
I.	0,183	0,163	89,1
II.	0,212	0,043	20,3
III.	0,216	0,037	17,1
IV.	0,017	0,002	11,8
zus.	0,628	0,245	39,0

Boden III. NH₄Cl-lösl. K₂O: 0,282%.

Fraktion	Schlamm-analyse %	Gehalt d. Frakt. an K ₂ O %	v. d. Ges.-K ₂ O sind in d. einzeln. Fraktionen %
I.	18,58	0,586	0,109
II.	36,19	0,333	0,120
III.	41,30	0,102	0,042
IV.	3,83	0,104	0,005
zusammen			0,276
Ges.-K ₂ O d. Bod.			0,282

} in 100 g Boden

Fraktion	Geh. d. Frakt. an g K ₂ O	v. d. Ges.-K ₂ O sind in NH ₄ Cl löslich %	Löslichkeit im Mittel %
	Ges.-K ₂ O	NH ₄ Cl-K ₂ O	
I.	0,165	0,109	66,0
II.	0,233	0,120	51,5
III.	0,212	0,042	19,8
IV.	0,017	0,005	29,4
zus.	0,627	0,276	44,0

Diese Zahlen zeigen, daß die Menge des absorptiv gebundenen Kalis in den feinsten Anteilen, in Ton und Staubsand am größten ist, daß aber auch noch erhebliche Mengen bei den gröberen Fraktionen löslich sind. Dies ist ein Zeichen dafür, daß durch das Ausziehen des Bodens mit Ammoniumchloridlösung nicht nur das absorptiv gebundene Kali allein infolge von Austausch gegen NH₄ gelöst wird, sondern auch solches, das sich in nicht absorptiv gebundener Form im Boden befindet. Es ist dies verständlich, wenn man bedenkt, daß ja auch KCl und K₂SO₄, wie es im Boden vorkommt, in Ammoniumchlorid löslich sind. Man wird also in diesen Fällen, wo Kaliverbindungen als solche im Boden vorliegen, für das absorptiv gebundene Kali zu hohe Werte finden, so daß diese Methode der Bestimmung des absorptiv gebundenen Kalis mit Vorbehalt anzuwenden ist.

Interessant ist aber, daß immerhin noch merkliche Kalimengen vom Boden festgehalten werden und nicht durch Ammonchlorid in Lösung gebracht werden. Im allgemeinen zeigt sich, daß das Kali um so leichter in Ammonchlorid löslich ist, je feiner die Bodenteile sind, ein Zeichen dafür, daß das absorptiv gebundene Kali den Pflanzen in leicht zugänglicher Form zur Verfügung steht.

Bei Studien über die Verteilung der Gesamtnährstoffe auf die Bodenanteile fand Marchand bei sandigen Böden, daß die Phosphorsäure größtenteils in der Tonfraktion vorhanden war, daß auch das Kali an Menge zunimmt, je kleiner die Teilchen werden. In Böden, die aus Granit entstanden sind, weisen jedoch die groben Körner einen höheren Gehalt an Kali auf als die feinkörnigen Fraktionen. Bei schweren, roten Lehm Böden, die aus eisenschüssigen basischen Eruptivgesteinen entstanden sind, nimmt mit kleiner werdenden Bodenteilchen der Gehalt an Phosphorsäure zu, während sich das Kali unregelmäßig verhält, doch sind die feinen Fraktionen in der Regel reicher an Kali als die grobkörnigen. Da diese Böden einen hohen Tongehalt aufweisen (40—50%) ist die Phosphorsäure und auch das Kali hauptsächlich in der Tonfraktion des Bodens konzentriert. Bei schwarzen Turfböden, die gleichfalls aus basischen Eruptivgesteinen entstanden sind, ist im allgemeinen der Gehalt an Phosphorsäure und Kali in den feineren Körnern höher als in den gröberen, wobei jedoch bisweilen Abweichungen vorkommen.

Koenig und Hasenbäumer untersuchten die Fraktionen eines Lehm Bodens auf ihre Zusammensetzung, aus welchen Resultaten hier nur diejenigen für Phosphorsäure und Kali entnommen sind. Der Boden wurde in sieben Anteile eingeteilt und ergab darin folgende in konzentrierter Salzsäure lösliche Mengen Phosphorsäure und Kali.

Fraktion	mm	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
I.	< 0,002	0,550	1,248
II.	0,002—0,01	0,310	0,959
III.	0,01—0,05	0,166	0,342
IV.	0,05—0,1	0,042	0,146
V.	0,1—0,25	—	0,032
VI.	0,25—0,5	—	0,002
VII.	0,5—1,0	—	—

Es zeigt sich, daß mit zunehmender Korngröße der Gehalt an Nährstoffen abnimmt. Werden diese Werte nach dem früheren Schema auf die Menge in Gramm in den einzelnen Fraktionen umgerechnet und die prozentische Verteilung der Gesamtphosphorsäure und Kali auf die einzelnen Anteile berechnet, so findet man folgende Verhältnisse:

I. Phosphorsäure.

Fraktion	Schlamm-analyse %	Gehalt d. Frakt. an P ₂ O ₅ %	= g P ₂ O ₅	v. d. Ges.-P ₂ O ₅ sind in d. einzeln. Fraktionen %
I.	8,68	0,550	0,048	43,6
II.	9,06	0,310	0,028	25,2
III.	16,84	0,166	0,028	25,2
IV.	17,60	0,042	0,007	6,3
V.	22,26	—	—	—
VI.	18,62	—	—	—
VII.	5,78	—	—	—
zusammen			0,111	} in 100 g Boden
Ges.-P ₂ O ₅ -Geh. d. Bod.			0,117	

II. Kali.

Fraktion	Schlamm-analyse %	Gehalt d. Frakt. an K ₂ O %	= g K ₂ O	v. d. Ges.-K ₂ O sind in d. einzeln. Fraktionen %
I.	8,68	1,248	0,108	37,8
II.	9,06	0,959	0,087	30,4
III.	16,84	0,342	0,058	20,3
IV.	17,60	0,146	0,026	9,1
V.	22,26	0,032	0,007	2,4
VI.	18,62	0,002	0,000	—
VII.	5,78	—	—	—
Zusammen			0,286	} in 100 g Boden
Ges.-K ₂ O-Geh. d. Bod.			0,245	

Bei diesen Böden findet sich also die Hauptmenge der Phosphorsäure und des Kalis in den feinsten Anteilen, dem Ton, und man wird im allgemeinen wohl damit rechnen können, daß die feinsten Anteile den größten prozentischen Gehalt an Nährstoffen aufweisen, während der Gehalt der übrigen Anteile daran wechseln kann.

Schließlich wurde noch ein Versuch über die Aufnehmbarkeit von Phosphorsäure und Kali in den einzelnen Bodenanteilen durch die Pflanzenwurzeln angesetzt. Es konnten von einem Boden (Tonboden) genügende Mengen der einzelnen Anteile gewonnen werden, so daß ein Versuch mit Keimpflanzen (nach Neubauer) ausgeführt wurde. Es wurden hierzu wie üblich 100 g der Fraktion mit 50 g Sand vermengt und 100 Roggenkörner eingesät. Die während der 15tägigen Vegetationszeit aufgenommenen Phosphorsäuremengen zeigt folgende Übersicht.

Fraktion	Schlamm-analyse %	mg P ₂ O ₅ in 100 g	= mg P ₂ O ₅ in den einz. Frakt.	v. d. Ges.-P ₂ O ₅ sind wurzellöslich %
I.	22,20	0,00	0,00	0,00
II.	35,58	0,41	0,15	0,21
III.	38,93	1,28	0,50	0,70
IV.	2,93	2,01	0,06	0,08
zusammen			0,71	} in 100 g Boden
wurzell. P ₂ O ₅ d. ganz. Bodens			0,53	

Die Phosphorsäure ist also in den feinsten Anteilen des Bodens außerordentlich schwer zugänglich, die Pflanzenwurzeln vermögen den Boden nicht genügend zu durchdringen und können die Phosphorsäure nicht aus dem Boden herausziehen. Die Löslichkeit wird bei Gröberwerden der Teilchen besser, denn die Teilchen befinden sich in einer weniger dichten Lagerung und besitzen genügend Hohlräume, in welche die Wurzeln eindringen können. Im ganzen ist die Wurzellöslichkeit der Phosphorsäure in diesem Boden außerordentlich gering, sie beträgt nur 0,3%. Bei der Phosphorsäure ist neben der physikalischen Beschaffenheit des Tones auch die chemische Bindung der Phosphorsäure in diesem ein Grund zur Schwerlöslichkeit für die Pflanzenwurzeln; denn die Phosphorsäure ist in dem Ton an Kalk, Eisen und Aluminium gebunden und in Form dieser Verbindungen nahezu unbrauchbar für die Pflanzen.

Wesentlich anders liegen dagegen die Verhältnisse beim Kali. Die Resultate des Keimpflanzenversuches gibt umstehende Übersicht wieder.

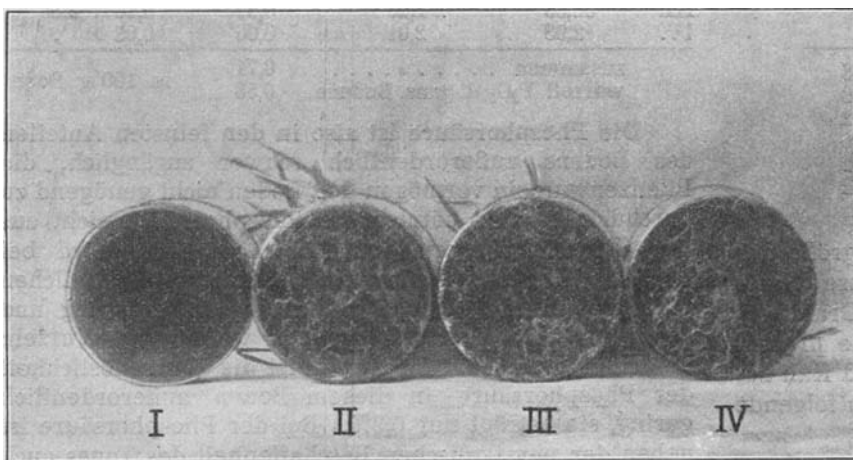
Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß das Kali in den feinsten Anteilen recht schwer zugänglich ist, nur 0,36% des im Ton vorhandenen Gesamtkalis sind aufnehmbar und nur 0,54% des absorptiv gebundenen Kalis sind wurzellöslich. Diese Erscheinung ist wie bei der Phos-

Fraktion	mg K ₂ O in 100 g	= mg K ₂ O	v. d. wurzellöslichen Ges.-K ₂ O sind in d. Frakt. wurzellöslich %
I.	2,69	0,59	2,1
II.	16,49	5,86	21,8
III.	48,65	18,94	70,5
IV.	50,86	1,49	5,5
zusammen wurzellöslich. K ₂ O d. ganzen Bodens		26,88 26,64	} in 100 g Boden

Fraktion	HCl-lösl. K ₂ O mg	wurzellösl. K ₂ O mg	v. d. Ges.-K ₂ O sind wurzellöslich %
I.	165,0	0,59	0,36
II.	233,0	5,86	2,51
III.	212,0	18,94	8,93
IV.	17,0	1,49	8,82
zusammen .		26,88	4,28
Ges.-Boden		26,64	4,18

Fraktion	NH ₄ Cl- löslich-K ₂ O mg	wurzellösl. K ₂ O mg	v. NH ₄ Cl lösl. K ₂ O sind wurzellöslich %
I.	109,0	0,59	0,54
II.	120,0	5,86	4,86
III.	47,0	18,94	45,00
IV.	5,0	1,49	20,80
zusammen .		26,88	9,74
Ges.-Boden		26,64	9,44

phorsäure darauf zurückzuführen, daß die Teilchen dieser Fraktion sehr dicht aneinander gelagert sind, so daß die Pflanzenwurzeln nur mit größter Anstrengung den Boden durchdringen können. Man kann deutlich beobachten, daß die Wurzelentwicklung in diesem Medium sehr mangelhaft ist und daß deshalb nur geringe



Nährstoffmengen aufgenommen werden können. Das beigelegte Bild gibt diese Verhältnisse wieder. Wesentlich besser liegen die Verhältnisse schon bei der zweiten Fraktion, hier ist der Widerstand der Teilchen nicht mehr so groß, es sind deshalb den Wurzeln weit größere Mengen Kali zugänglich. Das gleiche gilt in noch verstärktem Maße für die dritte und vierte Fraktion, wo das vorhandene Kali am besten ausgenutzt wird. Chemisch unlösliche, d. h. den Pflanzen nicht zugängliche Verbindungen wie bei der Phosphorsäure kommen beim Kali kaum in Frage, es sei denn, daß es als fein verteiltes Mineral, beispielsweise als Glimmerkali, vorliegt. Man kann aus der Betrachtung der

Zahlen schließen, daß ein Boden, der in der Hauptsache aus Anteilen der zweiten und dritten Fraktion besteht, d. h. also in der Hauptsache eine Korngröße von 0,002 bis 0,2 mm aufweist, den Pflanzen die besten Möglichkeiten für die Nährstoffaufnahme bietet. Bei der zweiten Tabelle zeigt sich, daß die Ausnutzung des Bodenkalis durch die Keimpflanzen insgesamt recht gering ist, wenn auch bedeutend höher als bei der Phosphorsäure; es sind 5,15% Kali aufnehmbar gegenüber überhaupt keiner Phosphorsäure. Tabelle 3 beweist eine weit bessere Ausnutzung des absorptiv gebundenen Kalis durch die Keimpflanzen, denn es werden im Mittel rund 20% aufgenommen. Für die Düngung ergibt sich aus diesen Betrachtungen, daß schwere, tonreiche Böden mit stärkeren Düngergaben versehen werden müssen als leichte, bei denen die Nährstoffe leichter ausnutzbar sind. Andererseits vermögen aber die schweren Böden infolge ihres Tongehaltes die Nährstoffe besser festzuhalten, und diese unterliegen infolgedessen weniger der Auswaschung, was auch für die Reaktion des Bodens mit von Bedeutung ist.

Es sei schließlich noch auf den Einfluß der Vorbereitungsmethode zur Schlämmanalyse auf die Verteilung der Nährstoffe hingewiesen. In den früheren Tabellen wurden Resultate aufgeführt, die bei verschiedener Vorbereitung der Bodenprobe erhalten wurden. Es zeigt sich, daß bei der Verteilung der Gesamtphosphorsäure im Boden um so mehr Phosphorsäure in der Tonfraktion vorhanden ist, je mehr die Struktur des Bodens durch die Vorbereitungsmethode zerstört worden ist. So findet man bei Boden I nach dem Kochen 5,8% der Gesamtphosphorsäure in der Tonfraktion, während nach dem Anreiben mit Pistill 8,8% darin vorhanden sind. Weiter sieht man aus dem Vergleich der Mengen der ersten und zweiten Fraktion, daß durch das Anreiben mit Pistill in der Hauptsache die Anteile der dritten Fraktion zerstört bzw. zerkleinert worden sind, so daß die Menge der zweiten Fraktion bedeutend ansteigt. Dementsprechend ist auch der Phosphorsäuregehalt der zweiten Fraktion in diesem Falle bedeutend höher als beim Kochen. Die gleichen Verhältnisse ergeben sich bei Boden III: Hier wird beim Schütteln des Bodens am wenigsten Phosphorsäure in der ersten Fraktion gefunden, dagegen wesentlich mehr beim Kochen und noch mehr beim Anreiben mit Pistill. Daraus ergibt sich aber, daß die Verteilung der Nährstoffe im Boden auf die einzelnen Korngrößen nur dann einigermaßen beurteilt werden kann, wenn die Vorbereitungsmethode zur Schlämmanalyse bekannt ist.

Aus den vorliegenden Untersuchungen ergibt sich jedoch für die untersuchten Böden übereinstimmend, daß die Phosphorsäure des Bodens in ihrer Hauptmenge in der dritten Fraktion, d. h. in den Bodenteilen der Größe 0,02—0,2 mm, vorhanden ist, während das Kali sich in der Hauptsache auf die beiden ersten Fraktionen, also in den Teilen < 0,002 bis 0,02 mm konzentriert. Diese Erscheinung wird damit zusammenhängen, daß sich das Kali in diesen Anteilen in absorptiver Bindung befindet. Die Untersuchungen über die Aufnehmbarkeit der Pflanzennährstoffe durch Keimpflanzen zeigen weiterhin die bedeutende Rolle, welche die physikalischen Verhältnisse eines Bodens für die Entwicklung des Wurzelsystems und damit die Ernährung der Pflanzen spielt.