

Zeitschrift für angewandte Chemie

39. Jahrgang S. 1481—1508

Inhaltsverzeichnis Anzeigenteil S. 13

2. Dezember 1926, Nr. 48

Versuche über die biochemische und kolloidchemische Wirkung des Kaliums

von K. SCHARRER und A. STROBEL.

Aus dem Agrikulturchemischen Institut der Hochschule für Landwirtschaft und Brauerei, Weihenstephan b. München.

(Eingeg. 18. Juli 1926.)

Während Bakterien ganz gut ohne Kalium gedeihen können, falls ihnen dafür Rubidium- oder Caesiumsalze geboten werden¹⁾, und auch bei manchen Pilzen das Rubidium oder Caesium wenigstens noch zur Ausbildung der Vegetationsorgane genügt, treten Fortpflanzungsorgane bei diesen Pilzen unter solchen Ernährungsbedingungen nicht mehr auf²⁾. Bei höheren Pflanzen endlich ist ein Wachstum ohne Kalium nicht mehr zu erzielen, und alle Versuche, dieses Element durch Rubidium, Caesium, Natrium oder Lithium³⁾ zu ersetzen, blieben erfolglos. Nur bei Natrium war zu beobachten, daß es dann, wenn Kalium nur in geringer Menge vorhanden ist, dieses bis zu einem gewissen Grad ersetzen konnte. Doch ist diese Vertretbarkeit nur eine teilweise, nie eine vollständige; in den Hauptfunktionen selbst wurde bisher eine restlose Ersatzmöglichkeit durch ein anderes Element bei höheren Pflanzen nicht beobachtet⁴⁾.

In der praktischen Düngerlehre weiß man schon seit langem, daß Pflanzen mit hoher Kohlehydratproduktion, wie Zuckerrüben und Kartoffeln, zu ihrer optimalen Entwicklung großer Mengen Kalium benötigen⁵⁾ und schon Liebig⁶⁾ war bekannt, daß Kalium vor allem in den kohlehydrataufspeichernden Samen und kohlehydratbildenden Blättern vorkommt. Organoleptische Versuche zeigten, daß Früchte, die bei Kalimangel aufwachsen, sich im Geschmack als nüchtern und wenig süß erwiesen⁷⁾; so ist beispielsweise das Kalium für die Citrusarten, wie Citronen und Apfelsinen, sowie die Ananas besonders wichtig, nicht nur für deren Geschmack und Zuckergehalt, sondern auch für deren Haltbarkeit beim Transport⁷⁾. Stark kalihaltige Tabakblätter sind leichter verbrennlich als solche mit geringerem Kaligehalt. Je mehr Kalium sie aufweisen, um so weniger schadet eine kleinere Menge Chlor der Güte des Tabaks⁸⁾. Auf den Reichtum der Knoten des Getreides an Kalium hat Pierre hingewiesen⁹⁾.

Hellriegel¹⁰⁾ und Wilfarth¹¹⁾ wiesen nach daß die Ansammlung von Kohlehydraten in den Nährstoffspeichern von der vorhandenen Menge Kalium abhängt. Lucas¹²⁾, Wolff¹³⁾ und Nobbe¹⁴⁾ fanden, daß bei Ausschluß von Kalium keine irgendwie bedeutsame Produktion von organischer Substanz stattfindet. O. Loew¹⁵⁾ machte auf die Beziehungen zwischen Kalium und Proteinstoffen aufmerksam, z. B. darauf, daß die eiweißreichen Leguminosensamen reicher an Kalium sind als die eiweißärmeren Gramineensamen. Baudisch¹⁶⁾, der der Nitrosylgruppe für die Stickstoffverarbeitung in den Pflanzen dieselbe Bedeutung wie der Aldehydgruppe für die Kohlenstoffassimilation beilegt, meint, daß das Kaliumnitrat und -nitrit bei der Bildung der stickstoffhaltigen Substanzen eine wichtige Aufgabe hätte. Die Zusammenhänge zwischen Kalium und Eiweißstoffen studierte auch Stoklasa¹⁷⁾. Dieser Forscher und besonders H. Zwara deemaker¹⁸⁾ weisen auf die Bedeutung der Radioaktivität der Kalisalze für die Organismen hin, nachdem schon H. Molisch¹⁹⁾ eine Anregung des Wachstums durch Strahlung und durch Emanation beobachtet hatte. Kostytschew²⁰⁾ meint, daß das Kalium bloß in ionisiertem Zustand, jedoch nicht in organischer Bindung, in der Pflanze enthalten sei. Wevers²¹⁾ vertritt die Auffassung, daß das Kalium nicht im Zellkern und auch nicht in den Chloroplasten vorkommt, und zwar auf Grund seiner mikrochemischen Untersuchungen, die aber wegen der

Schwierigkeit der Frage erst noch weiterer Bestätigung bedürfen.

Neben Maercker²²⁾, Wiemann²³⁾ und A. Rippel²⁴⁾ hat sich, wie schon erwähnt, besonders Stoklasa²⁵⁾ mit der Kalifrage beschäftigt. Er sieht die Rolle des Kaliums bei der Assimilation darin, daß die Kohlensäure, welche durch die Spaltöffnungen der Blätter eintritt, in der chlorophyllhaltigen Zelle absorbiert und das vorhandene Kaliumcarbonat in Kalumbicarbonat übergeführt wird, welches in das Protoplasma der Gewebelemente gelangt und durch die Energie des Lichtes zu Ameisensäure, Kaliumcarbonat und Sauerstoff verarbeitet wird. Die Ameisensäure wird dann weiterhin zu Formaldehyd reduziert, das sich bei Gegenwart von Kalium zu Zuckerarten kondensiert. Der Kreislauf wird dadurch geschlossen, daß sich Kaliumcarbonat durch Wasser und Kohlensäure wieder in Kalumbicarbonat verwandelt. Stoklasa steht mit diesen Anschauungen über die photochemische Synthese im Gegensatz zu Willstätter²⁶⁾, nach dessen Untersuchungen bekanntlich Magnesium ein integrierender Bestandteil im Molekülverband des Chlorophylls ist, welchem Element er eine ähnliche Rolle bei der Kohlensäureassimilation zuschreibt, wie Stoklasa dem Kalium.

W. Mayer²⁷⁾, P. Krische²⁸⁾ und Th. Sabalschka²⁹⁾ haben in der letzten Zeit ausführlich über die derzeitigen Anschauungen der biochemischen Rolle des Kaliums berichtet, so daß eine Wiederholung hier überflüssig erscheint und der Hinweis darauf genügen möge. Es seien aber noch etwas eingehender die Arbeiten Th. Sabalschka²⁹⁾ erwähnt, welcher bei seinen Studien über den Chemismus der pflanzlichen Kohlehydratsynthese auch den Beziehungen zwischen der Assimilation und dem Kalium nachging. Er behandelte verschiedene Pflanzen sowohl in Gefäß- wie auch in Freilandversuchen mit wechselnden Mengen Kalium, wobei der Ernteertrag und das Zucker- und Stärkeverhältnis der Ernteprodukte genau ermittelt wurden. Während sich die Keimlinge in den kaliumfreien und -armen Beeten am schnellsten entwickelten, gediehen sie in den mit Kalium überdüngten sehr langsam oder gar nicht. Die Stengel und Blätter der an Kaliummangel leidenden Pflanzen entwickelten sich am Anfang rascher als bei genügenden bis überschüssigen Kaliumgaben; später jedoch zeigten die Pflanzen der mittleren Kaliumgaben die beste Entwicklung in bezug auf Blätter und Stengel. Das Wachstum war mit ansteigenden Kaliumgaben bis zu den optimalen Kaliummengen immer üppiger entwickelt; bei weiterer Steigerung des Kaliums trat jedoch ein immer stärkerer Rückgang ein. Sabalschka²⁹⁾ studierte auch das Verhalten des Kaliumgehaltes der Blätter von Bäumen während der Vegetationsperiode, insbesondere beim herbstlichen Laubfall.

Während über die Wirkung einer Kaliumdüngung auf die Pflanzenerträge und die Zusammensetzung der Ernteprodukte eine große Anzahl Arbeiten vorliegen³⁰⁾, wurde die Frage der Einwirkung der Kaliumsalze auf die physikalischen Bodeneigenschaften, auf die Reaktion des Bodens und der Pflanzensäfte und die Mykologie des Bodens viel weniger verfolgt.

Bekanntlich sind die wichtigsten Bodenkolloide, nämlich Ton, Kieselsäure und Humusstoffe, negativ elektrisch geladen³¹⁾. Um die vorteilhafte Krümelstruktur zu erzielen, müssen daher zur Ausflockung dieser Kolloide elektropositive Ionen, insbesondere Wasserstoffionen, vorhanden sein. Negativ elektrisch geladene Teilchen, wie Hydroxylionen, führen eine Peptisierung der geflockten Kolloide herbei, was eine Zerstörung der Krümelstruktur und damit ein Dichtlagern und Verschlämmen, kurzum das Auftreten der schädlichen und gefürchteten Einzelkornstruktur zur Folge hat. Ehrenberg³¹⁾ führt nun die schädliche Wirkung einer übermäßigen Kalidüngung auf das durch Wechselumsetzung mit dem Calciumcarbonat des Bodens gebildete Alkalicarbonat zurück, welches infolge Hydrolyse alkalisch reagiert und dadurch, wie oben geschildert, die Einzelkornstruktur des Bodens erzeugt. Dieses Alkalicarbonat

wirkt deshalb so zerstörend auf die Gele des Bodens ein, da es infolge seiner stark alkalischen Reaktion die Humusstoffe auflöst und dadurch deren „Schutzwirkung“ mobilisiert. E. W. Hilgard hat gezeigt³²⁾, wie sehr Schutzkolloidwirkung des Humus unter Umständen die ausflockende Wirkung von Calciumcarbonat zu verhindern vermag, besonders wenn sie mit alkalischer Reaktion der Bodenlösung Hand in Hand geht. Bei starker Düngung mit Kalirohsalzen werden somit als Folge der geschilderten Verhältnisse schlechte Bearbeitbarkeit, Krustenbildung und ungünstige Wasserverhältnisse auftreten³³⁾. Diese Schäden machen sich besonders nach dem Auswaschen der sonst noch vorhandenen ionisierten Salze bemerkbar, vor allen bei schweren bindigen Böden, die ohnedies schon zum Dichtlagern neigen.

Nach Ehrenberg³⁴⁾ ist noch eine andere Ursache für die schädliche Wirkung übermäßiger Kaligaben verantwortlich zu machen. Da die Zeolithe des Kaliums im Gegensatz zu denen des Calciums schleimige, schwer durchlässige Beschaffenheit zeigen, werden die durch Basenaustausch entstehenden Calciumzeolithe ungünstig auf den Boden einwirken, weil die Bodenkolloide dann mehr zur Solbildung neigen.

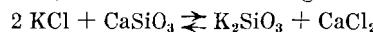
Beesen³⁵⁾ wies nach, daß Kalium- und Natriumsalze die Durchlässigkeit vermindern, und zwar setzt nach ihm ein Zusatz von 0,1% Chilesalpeter die Durchlässigkeit des unbedandelten Bodens um $\frac{1}{20}$, ein Zusatz von 0,1% Chlornatrium um $\frac{1}{10}$ herab. E. Blanck³⁶⁾ vermengte Böden mit Düngesalzen und ließ auf je 1500 g Boden mit 1% Düngesalz in Glaszylinern Wasser einwirken. Nach seinen Versuchen haben alle gedüngten Bodenproben mit Ausnahme des mit Ätzkalk behandelten Bodens die Aufnahmefähigkeit für Wasser gegenüber dem ungedüngten Boden mehr oder weniger eingebüßt. Auch bei der mit Kainit versetzten Bodenprobe war dies zu beobachten. Die mit Kainit und Calciumcarbonat behandelten Böden wiesen die relativ geringste Vergrößerung der Wasserdurchlässigkeit auf, falls die Böden feucht waren. Bei lufttrockenen Böden hatte nur ein Düngemittel, der Ätzkalk, die Durchsickerung des Wassers begünstigt; alle übrigen haben diese vermindert. Die Sickerwässer des mit Kainit und Calciumcarbonates gedüngten Bodens zeigten eine dunkle Färbung, aber klares Aussehen, das Sickerwasser aus dem mit Salpeter gedüngten Boden war jedoch völlig trüb und dunkelbraun gefärbt und enthielt 5–7 g Ton.

Nolte³⁷⁾ weist auf den schädlichen Einfluß übermäßiger Kalidüngung für die Bodenstruktur infolge der Bildung von Natriumcarbonat hin. G. Wiegner³⁸⁾ macht das Auftreten von Kalium- und Natriumzeolithen dafür verantwortlich; auch D. J. Hissink³⁹⁾ zieht ähnliche Ursachen zur Erklärung heran.

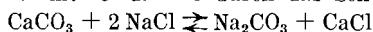
G. Hager⁴⁰⁾ führte Versuche aus, um die schädliche Wirkung der Kalium- und Natriumsalze zu ergründen; zu diesem Zweck nahm er Durchlässigkeits- und Wasserkapazitätsbestimmungen in Böden vor, denen künstliche Natrium- und Kaliumpermutite zugesetzt worden waren. Die Durchlässigkeit des Versuchsbodens wurde dadurch stark vermindert, die Abflußwässer waren stark alkalisch und braun, beim Natriumpermitit sogar schwarzbraun und wiesen große Mengen von Ton auf. Wurde eine 0,5% Natriumchloridlösung als Sickerflüssigkeit angewandt, so war durch Aufhebung der schlechten Wirkung des Natriumpermutites infolge Zurückdrängens der Hydrolyse durch Zufügen eines Salzes mit gleichem Kation die Durchlässigkeit des Bodens eine größere und die Drainagewässer hatten neutrale Reaktion. Natriumsalze wirkten bedeutend schlechter als Kaliumsalze, und zwar nach Ansicht Hagers infolge der stärkeren Humusaflösung, die eine Schutzwirkung veranlaßt und zu einer Aufquellung der mit Humus und Ton verkitteten Bodenteilchen führt. Hager weist auch auf die wichtige Rolle hin, die die Sodabilddung bei der Verschlechterung der Bodenstruktur durch übermäßige Düngung mit Kalirohsalzen spielt, wobei allerdings auch der Basenaustausch durch Ersatz der zweiwertigen Kationen durch einwertige zu berücksichtigen ist, der weiterhin verschlechternd wirkt, da die durch Hydrolyse sich bildenden OH-Ionen durch das einwertige Alkali keine Hemmung erfahren.

In einer späteren Arbeit⁴¹⁾ spricht Hager die Vermutung aus, daß sich trotzdem erheblichere Mengen Natrium-

carbonat bei der Kalirohsalzdüngung nicht bilden könnten. Beim Umsatz der Calciumzeolithe im Boden mit Kalisalzen bildet sich nämlich, wie aus der Gleichung



hervorgeht, Calciumchlorid. Die durch das Schema

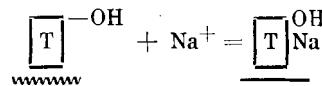


bzw. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{NaCl} \rightleftharpoons 2 \text{NaHCO}_3 + \text{CaCl}_2$

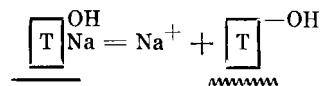
angedeuteten Reaktionen sind mithin schwer realisierbar, da das nach der ersten Gleichung gebildete Calciumchlorid eine Umkehr der Umsetzung im Sinne der Gleichung von rechts nach links bewirkt, so daß das gebildete Na_2CO_3 bzw. NaHCO_3 wieder zu CaCO_3 bzw. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ rückverwandelt wird. Der genannte Forcher neigt zu der Ansicht, daß die Verkrustung des Bodens infolge Ionenabdissoziation in der Weise erfolgt, daß die durch Basenaustausch aufgenommenen Kali- und Natriumionen abdissoziieren, während die ungleich fester adsorbierten Hydroxylionen den Bodenteilchen eine stark negative Aufladung erteilen. Damit erklärt Hager auch die schädlichere Wirkung der Natriumsalze gegenüber den Kaliumsalzen. Die Kaliumionen werden nämlich beträchtlich stärker adsorbiert als die Natriumionen, daher nicht in dem Umfang abdissoziiert als diese, die negative Aufladung und damit bewirkte Peptisation ist deshalb erheblich schwächer. Nach der Schreibweise Zsigmondys (42) sind diese Vorgänge durch folgendes Schema ausdrückbar, wobei \boxed{T} Ton im kolloiden Zustand bezeichnet:



$\begin{array}{ll} \text{ausgef\ddot{a}llt,} & \text{Ton im kolloiden Zustand,} \\ \text{elektrisch} & \text{negative} \\ \text{nahezu} & \text{Ladung.} \\ \text{neutral.} & \end{array}$



Die elektrische Ladung ist ausgeglichen, Übergang vom Sol- in den Gelzustand.



Solzustand, negative Ladung.

Diese Vermutungen bestätigte Hager durch Versuche, welche beweisen sollten, daß tatsächlich der Hauptsache nach der Ionenaustausch die Ursache der Bodenverschlammung bildet. Er verwendete Böden, welche frei von Calciumcarbonat waren, und kohlensäurefreies Wasser und verhinderte die Bildung der Kohlensäure derart, daß der Sickerversuch sofort nach dem sorgfältigen Durchmischen des Salzes mit dem lufttrockenen Boden angesetzt wurde. Alle diese Versuchsmaßregeln wurden angewandt, um die Bildungsmöglichkeit von Natriumcarbonat aus Natriumchlorid und kohlensaurem Kalk zu verhindern. Die Ergebnisse dieses Versuches waren, daß tatsächlich die Zusätze von Chlornatrium die Durchlässigkeit der Böden bedeutend vermindert hatten. Die trübe Beschaffenheit ließ auf eine Peptisation des Tones zurücksließen. Infolge der Unmöglichkeit der etwaigen Bildung von Natriumcarbonat ist der Ionenaustausch allein für diese Erscheinungen verantwortlich zu machen.

Von Interesse sind ferner noch die Arbeiten O. Noltes (43) über Kaliendlaugendüngung.

Eine Darstellung der Veröffentlichung, die sich mit der Beeinflussung der Mikroorganismen des Bodens durch Kalidüngung befassen, bringt F. Löhnis (44), worauf, um Wiederholungen zu vermeiden, verwiesen sei. Hervorgehoben möge nur eine Arbeit von S. A. Wakeman (45) werden, welcher fand, daß auf sandiglehmgemigem Boden die Kalisalze und Phosphate fördernd auf die Entwicklung der Mikroben einwirken, namentlich bei Gegenwart von Kalk.

Was nun die eigenen Kalidüngungsversuche angeht, so war ihre Fragestellung folgendermaßen:

1. Wirkung einer zur Stickstoff-Phosphorsäure-Grunddüngung verabreichten Kalidüngung gegenüber einer Grunddüngung mit Stickstoff und Phosphorsäure.

2. Vergleich der Wirkung der verschiedenen Kaliformen (Kainit, 40 % iges Kalisalz, Chorkali und schwefelsaures Kali) zu den verschiedenen Kulturpflanzen.

3. Feststellung des Beginns der Kaliwirkung im allgemeinen und Beobachtung der sich steigernden Mangelerscheinungen im Laufe des Versuches unter besonderer Berücksichtigung der mehr oder weniger kalibedürftigen Pflanzen.

Diese Versuche wurden im Jahre 1913/14 begonnen. Infolge des vorzüglichen Bodens, eines schweren Decklehm Bodens im Tertiärgebiet des Weißensteiner Hügellandes von der Zusammensetzung (Analyse des 10 % igen Salzsäureauszuges des wasserfreien Feinbodens):

0,177 % N	0,404 % CaO
0,095 % P ₂ O ₅	0,343 % MgO
0,310 % K ₂ O	

war in den Jahren 1913/14 bis 1915/16 die Kaliwirkung nur gering, um so mehr, als der Boden ständig in bestem Kulturstand gehalten wurde. Die dadurch erzielte Durchlüftung des Bodens und damit verbundene Erreichung einer vorzüglichen Ackergare trugen dazu bei, das in reichem Maße vorhandene Bodenkalium zu mobilisieren, den Pflanzen in leicht löslicher Form zuzuführen und dadurch die Wirkung künstlicher Kaligaben auf lange Zeit herabzusetzen.

Der Versuch wurde deshalb weitergeführt, wobei noch seit 1924 die Fragestellung um folgende Punkte vermehrt wurde:

4. Welchen Einfluß übt die seit 12 Jahren fortlaufend in bekannten Mengen gegebene Kaliumdüngung auf die Bodenreaktion aus und wie verhalten sich die einzelnen Kaliumformen in dieser Richtung, insbesondere auch im Vergleich zu „Ungedüngt“ und „Grunddüngung“?

5. Welchen Einfluß hat die Bodenreaktion der verschiedenen Versuchsparzellen auf die Reaktion der Pflanzensaft?

6. Wie wird der Boden der verschieden gedüngten Teilstücke in physikalischer Hinsicht beeinflußt?

7. Wie wird der Boden der verschieden gedüngten Teilstücke in biologischer Hinsicht beeinflußt?

Auf Grund dieser Fragestellung ergab sich folgender Versuchsplan:

1. Ungedüngt,
2. Grunddüngung,
3. „ + K₂O in Form von Kainit,
4. „ + „ „ „ 40 % Kalisalz,
5. „ + „ „ „ Chlorkalium,
6. „ + „ „ „ schwefels. Kalium.

Pro Düngungsart waren 6 Kontrollparzellen vorhanden.

Verwendet wurden folgende Pflanzen und Düngemittel:

Zeit	Frucht	kg N je ha	kg P ₂ O ₅ je ha	kg K ₂ O je ha
1920/21	Schließmohn	60 kg als Ammon-sulfat	106 kg als Thomas-mehl	100 kg in den vier verschiedenen Formen
1921/22	Futterrüben	100 „ „ Ammon-sulfat-salpeter	106 „ „ „	do.
1922/23	Winterweizen	15 „ „ Ammon-sulfat 10 „ „ Natron-salpeter	40 „ „ „	30 kg in den verschiedenen Formen
1923/24	Frühkartoffeln	80 „ „ Ammon-sulfat	50 „ „ Super-phosphat	100 kg in den verschiedenen Formen
1924/25	Sommergerste	40 „ „ Ammon-sulfat	50 „ „ „	50 kg in den vier verschiedenen Formen

Während der 12 Versuchsjahre kam Kaliummangel nur bei Kartoffeln, Futterrüben und Schließmohn deutlich zum Ausdruck, und zwar mit zunehmender Dauer des Versuches immer stärker. Halmfrüchte ergaben auch in den letzten Versuchsjahren äußerlich im Höhenwachstum kaum erkennbare Unterschiede. Zu Kartoffeln, Futterrüben und Schließmohn äußerte sich das Fehlen von Kalium anfänglich in der Behinderung des Breiten- und Höhenwachstums der oberirdischen Organe. Nach einer gewissen Zeit krümmten sich die Blätter nach unten und die Blattränder wurden eingezogen. Die normal grüne Blattfarbe ging allmählich in dunkelgrün, fast schwarzgrün über, zuerst nur fleckenweise auf den Blättern, dann diese ganz umfassend. Im weiteren Verlauf der Vegetation verfärbte sich das Schwarzgrün immer mehr zu Blaugrün, besonders bei Kartoffeln, so daß es den Anschein erweckte, als ob die Pflanzen mit Kupfervitriol bespritzt wären. Die Blätter von Futterrüben verloren mit der Zeit ihre gewöhnliche Form und wurden länglicher und spitzer. Zuletzt ging die erwähnte „Kupfervitriolfarbe“ der Blätter der angeführten Pflanzen in dunkles Braun über, ohne sich langsam gelb zu färben. Die Futterrüben des Jahres 1921/22 wurden sämtlich von Rübenschwanzfäule befallen, auf den Grunddüngungsparzellen zu 25 %, auf den mit Kalium gedüngten Teilstücken jedoch nur zu 5 %. Gegen die Ernte zu waren bei Grunddüngung vielfach nur noch von den verfaulenden Rübchen abgefallene Blattkränze vorhanden.

Die Erntergebnisse, kurz zusammengefaßt^{45a)}, ergeben folgendes Bild: Winterweizen zeigte keine Reaktion auf die Kaliumdüngung, selbst dann nicht, als auf dem Boden schon langjähriger Kaliumraubbau getrieben worden war und andere Vorfrüchte, darunter auch Halmfrüchte, auf die Kaliumdüngung hin beträchtliche Ertragssteigerungen gebracht hatten. Es kann daraus geschlossen werden, daß auf dem angewandten schweren Lehmboden der Weizen seinen Kaliumbedarf aus dem Kaliumvorrat des Bodens zu decken imstande war, und der Winterweizen offenbar ein sehr gutes Aneigungsvermögen für Bodenkalium besitzt. Die Sommergerste des Jahres 1914/15 brachte durch die Kaliumdüngung ebenfalls keine Ertragssteigerungen. Doch ist dabei zu berücksichtigen, daß diese Frucht schon im zweiten Jahr des Versuches angebaut wurde, in welchem den betreffenden Parzellen noch nicht die Menge Kalium entzogen worden war, wie dies im Jahre 1922/23 bei Winterweizen der Fall gewesen ist. Jedoch war auch im Versuchsjahr 1924/25 der Zuwachs durch Kaliumdüngung bei Sommergerste nicht sehr hoch. Wesentlich anders als Weizen und Sommergerste verhielt sich Winterroggen. Dieser zeigte nach erst zweijähriger Dauer des Versuches, wobei „Ungedüngt“ gegenüber „Grunddüngung“ noch fast keinen

Zeit	Frucht	kg N je ha	kg P ₂ O ₅ je ha	kg K ₂ O je ha
1913/14	Spätzkraut	30 kg als Ammon-sulfat 45 „ „ Chilesal-peter	72 kg als Super-phosphat	100 kg in den vier verschiedenen Formen
1914/15	Sommergerste	30 „ „ Ammon-sulfat	72 „ „ „	do.
1915/16	Winterroggen	20 „ „ „	72 „ „ „	do.
1916/17	Spätkartoffeln	40 „ „ „	64 „ „ „	do.
1917/18	Winterweizen	ohne jede Düngung		
1918/19	Schließmohn	60 kg als Ammon-sulfat	100 kg als Super-phosphat	do.
1919/20	Winterweizen	50 „ „ Natron-salpeter	64 „ „ „	do.

Unterschied ergab, schon eine erhebliche Kaliumreaktion. Auffallend ist dabei die Minderung des Strohertrages, welche sich aber in sehr geringen Grenzen hielt. Die Ertragssteigerungen des Winterroggens an Körnern waren nur bei Kainit und 40% igem Kalisalz vorhanden, bei Chlorkalium und schwefelsaurem Kalium nicht. Bedeutende Kaliumreaktionen waren bei Schließmohn, Kartoffeln, Rüben und Weißkraut zu verzeichnen.

Es dürfte daher für sehr gute Böden der Schluß berechtigt sein, daß zu Pflanzen mit starkem Kaliumbedürfnis, wie Kartoffeln, Rüben, Mohn und Kraut, eine jeweilige starke Kaliumgabe von großem Nutzen sein wird, dagegen zu Halmfrüchten auf solchen Böden an Kalium gespart werden kann. Die Wirkung der einzelnen Kaliumformen ergab kein einheitliches Bild.

Eine Beobachtung des Zusammenhangs zwischen Düngung und Unkrautflora zeigte, daß im allgemeinen der geringste Bestand an Unkräutern auf den ungedüngten und Grunddüngungsparzellen zu finden war. So war die geringste Menge an Galeopsis ladanum (Taubnessel) bei „Ungedüngt“ und Grunddüngung zu finden, jedoch mehr auf den Kaliumparzellen, und unter diesen wieder am meisten bei schwefelsaurem Kalium. Stellaria media (Vogelmiere) scheint weniger Kalium zu benötigen; sie stand am schlechtesten bei „Ungedüngt“, zwischen den Grunddüngungs- und Kaliumparzellen zeigten sich nur geringe Unterschiede; jedoch kam sie am häufigsten auf den Kainitteilstücken vor. Dieses Unkraut war auf allen Parzellen häufiger als Galeopsis ladanum.

Die Reaktion der Versuchsparzellen wurde nach zwei Methoden⁴⁶⁾ ermittelt, nämlich elektrometrisch und kolorimetrisch mit Hilfe der Farbstoffe von Clark und Lubas. Die p_{H_2} -Messungen ergaben, daß die im Laufe von 11 Jahren in hohen Gaben verabreichte Kaliumdüngung nur geringe Änderungen der Bodenreaktion zur Folge hatte. Die Parzellen mit Grunddüngung waren zwar etwas saurer als die ungedüngten, aber durch die Kaliumdüngung in den verschiedensten Formen auf den Kaliumparzellen zur Grunddüngung wurde der Reaktionsgrad des Bodens praktisch überhaupt nicht beeinflußt. Erfahrungsgemäß bestehen gewisse Beziehungen zwischen Bodenreaktion und Reaktion des Saftes der Pflanzen⁴⁷⁾. Um die Ernteergebnisse der Kulturpflanzenversuche jedoch nicht zu stören, wurden von sämtlichen Parzellen je 2 Unkräuter, nämlich Galeopsis ladanum und Stellaria media, als am häufigsten vorkommend gewählt. Die Ergebnisse der Saftmessungen entsprachen denen der Bodenreaktionsmessungen, irgendwelche Unterschiede konnten nicht festgestellt werden⁴⁸⁾.

Zur Beantwortung der Frage, wie die Kaliumdüngung auf die physikalischen Bodeneigenschaften einwirkt, wurden folgende Bestimmungen durchgeführt⁴⁹⁾:

- a) Bestimmung des Volumgewichtes (Litergewichtes),
- b) „ „ hygroskopischen Wassers,
- c) „ „ der Wasserkapazität,
- d) „ „ Druckfestigkeit,
- e) „ „ des Kolloidgehaltes,
- f) Feststellung der Strukturverhältnisse der Böden mittels Mikrophotographien.

Ausgangsmaterial für alle diese Bestimmungen war die lufttrockene Feinerde.

Im Vergleich zur Grunddüngung wurde das Litergewicht durch die Kaliumdüngung in Form von Kainit und 40% igem Kalisalz, allerdings nur unwesentlich, erhöht, während die ungedüngte Parzelle sowie die mit Chlorkalium und schwefelsaurem Kalium gedüngten Parzellen gegenüber Grunddüngung ein geringeres Litergewicht aufwiesen. Es kann also gesagt werden,

dass Kaliumdüngung das Litergewicht teilweise erhöht, teilweise verringert, doch diese Veränderung so gering ist, daß praktisch von einer tatsächlichen Beeinflussung des Litergewichtes nicht gesprochen werden kann.

Die Bestimmung des hygroskopischen Wassers zeigte, daß Kaliumdüngung einen Einfluß auf das hygroskopisch gebundene Wasser des Bodens gegenüber Grunddüngung so gut wie nicht auszuüben vermag; dagegen ergaben sich solche Unterschiede gegenüber den ungedüngten Parzellen.

Unter Wasserkapazität versteht man bekanntlich jene Wassermenge, die ein Boden in sich aufzunehmen und eine gewisse Zeit hindurch in sich zurückzuhalten imstande ist. Die Abweichungen waren so gering, daß von einer Beeinflussung der Wasserkapazität der einzelnen untersuchten Teilstücke durch die angewandte Düngung nicht gesprochen werden kann.

Die Bestimmung der Druckfestigkeit des Bodens ergab, daß diese Größe durch Düngung mit schwefelsaurem Kalium und noch mehr durch eine solche mit Kainit erhöht, durch 40% iges Kalisalz und Chlorkalium erniedrigt wird. Jedoch liegen auch hier die Abweichungen innerhalb der Versuchsfehlergrenzen und sind so gering, daß von einer merklichen Beeinflussung der Druckfestigkeit, durch die Kaliumdüngung nicht gesprochen werden kann.

Die Bestimmung des Tongehaltes (Kolloidgehaltes) der Böden wurden nach Schloßing durchgeführt, welche Methode darauf beruht, daß der von adsorbierten Basen befreite Ton ein negativ geladenes Kolloid ist und daher durch Ammoniak, welches bekanntlich negative Hydroxylionen bei der elektrolytischen Dissoziation abspaltet, im Solzustand erhalten (peptisiert) wird, während die positive Wasserstoffionen abspaltende Salzsäure den Ton zur Ausflockung bringt. 5 g Feinerde werden in einer Porzellanschale mit einigen Tropfen Wasser zu einem dicken Brei verrieben (10–15 Minuten); dann spült man alles vorsichtig in ein Becherglas und gibt einige Tropfen verdünnte Salzsäure bis zur schwach sauren Reaktion hinzu. Hierauf wird kurze Zeit erwärmt, nach dem Erkalten filtriert und mit destilliertem Wasser bis zur Entfernung der sauren Reaktion ausgewaschen. Der Filterrückstand wird quantitativ in die bereitgestellten Standzyliner übergespült, Ammoniak zugegeben, bis die Lösung schwach alkalisch ist, durchgeschüttelt und nach 24 Stunden abgehebert. Dann wird mit Wasser aufgerührt und wieder nach 24 Stunden abgehebert. Dies wird solange fortgesetzt, bis die abgeheberte Flüssigkeit klar bleibt (nach etwa drei Wochen). Das Abgeheberte sammelt man in einem großen Becherglas und gibt einige Tropfen Salzsäure zur Ausfällung des Tones hinzu. Wenn das Becherglas voll geworden ist, gießt man die überstehende Lösung ab und fügt gegebenenfalls noch etwas Salzsäure hinzu, bis der gesamte Ton als Gel ausgefällt ist. Von diesem Ton wird die überstehende Flüssigkeit schließlich abgegossen, hierauf der Ton in eine Porzellanschale gespült, im Wasserdampf eingedampft, in einer Quarzschale getrocknet und nach dem Trocknen bis zur Gewichtskonstanz schwach geglüht. Die erhaltenen Werte zeigten, daß der Tongehalt der Böden durch die Kalidüngung in wenig hervortretender Weise beeinflußt worden war.

Die bakteriologische Keimzählung¹⁾ wurde in der Weise vorgenommen, daß je 4 Spatenstiche aus je einer

¹⁾ Herrn Dr. Demeter, Weihenstephan, sind wir für die Durchführung dieser Bestimmungen zu Dank verpflichtet. Siehe auch: K. J. Demeter, Über den Einfluß von Kalidüngemitteln auf die Mikroflora des Bodens. (Fortschritte der Landwirtschaft 1926).

Parzelle kräftig durchmischt und 10 g dieses Bodens mit 100 ccm sterilem Leitungswasser aufgeschwemmt wurden, nachdem eine mechanische Durchmischung mit Wasser in einer Reibschale mittels Gummipistill vorausgegangen war. Von dieser Aufschwemmung wurde nach der Verdünnungsmethode eine Verdünnung von 0,000002 ccm pro Platte hergestellt, die immer beibehalten wurde. Als Nährboden diente nach den Angaben von M a a s s e n und B e h n Fleischpeptongelatine. Es wurden von jeder Parzelle je 5 Parallelplatten gegossen. Die Zählung der Bakterien erfolgte am zehnten Tage nach dem Guß der Platten, die bei Zimmertemperatur aufbewahrt wurden. Die Gelatineverflüssiger wurden immer rechtzeitig mittels Höllensteinstiftes abgetötet.

Außerdem wurden in sieben Kölbchen je 50 ccm Be i j e r i n c k sche Mannitlösung gegeben und die einzelnen verschieden gedüngten Böden in gleichen Mengen (10 mg) zu sechs Kölbchen hinzugefügt, während das siebente Kölbchen die „blinde Probe“ war. Nach entsprechender Entwicklung der Azotobakterkulturen wurde der Kolbeninhalt auf Gesamtstickstoff untersucht und der Stickstoffgehalt der „blindem Probe“ von dem Stickstoffgehalt der einzelnen Proben abgezogen.

Durch die Grunddüngung ist gegenüber dem ungedüngten Boden die Totalkeimzahl bedeutend gestiegen. Kainit und schwefelsaures Kalium erniedrigten die Totalkeimzahl gegenüber Grunddüngung nur um ein ganz Geringes, stärker das 40 % Kalisalz, während Chlorkalium eine bedeutende Verminderung der Totalkeimzahl gegenüber Grunddüngung hervorrief. Unter den einzelnen Bakteriengruppen hatten die Nichtverflüssiger bedeutend die Oberhand. Die echten Pilze scheinen durch die Kalidüngung geschädigt zu werden. Das Stickstoffbindungsvermögen des Bodens wurde durch sämtliche Kalidüngungsmittel im Vergleich zur Parzelle mit Grunddüngung gehemmt, am meisten durch Kainit und Chlorkalium, weniger durch 40 % Kalisalz und am wenigsten durch schwefelsaures Kalium. Gegenüber „Ungedüngt“ zeigten nur die Düngeparzellen mit Kainit und Chlorkalium eine Verringerung des Stickstoffbindungsvermögens.

Zur Feststellung der Strukturverhältnisse der Böden mittels Mikrophotographien⁵⁰⁾ dienten die bei der Bestimmung des Tongehaltes erwähnten Lösungen. Es wurden dabei die nach dem Zufügen von Ammoniak in die einzelner Standzyliner gebrachten und aufgerührten Aufschwemmungen nach je 24 Stunden abgehobert und dieses Abheben etwa 12—15mal vorgenommen, natürlich in jedem Fall gleich oft. Nach dem letzten Auffüllen und Umrühren wurde jeweils drei Minuten gewartet, um den noch vorhandenen größeren Teilen Zeit zum Absetzen zu geben. Hierauf wurde stets aus gleicher Höhe jedem Zylinder je ein Tropfen Lösung mittels eines Glasstabes entnommen und auf ein Deckglas gebracht; sodann wurden mikrophotographische Aufnahmen angefertigt. Hierbei zeigten sich folgende Bilder: Bei Kainit und Chlorkali befinden sich die unter dem Mikroskop sichtbaren kleinen und kleinsten Teilchen in Einzelkornstruktur, was dem Solzzustand entsprach, d. h. die einzelnen Teilchen sind nicht zu größeren Gelen vereinigt und infolge ihrer Eigenbewegung beim Photographieren etwas unscharf geworden. Jedoch enthält Chlorkali schon mehr Gele als Kainit. Sehr reich an Gelen waren „Ungedüngt“ und „Grunddüngung“; die kleinen Teilchen waren dabei vielfach zu Krümeln, also Gelen zusammengetreten. Der artiges Verhalten begünstigt natürlich die Bildung der Krümelstruktur und damit die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften, insbesondere der Durchlüftung und Wasserführung. Mittleres Verhalten, welches zur

Sol- und Gelbildung führt, somit zwischen der Erreichung der Einzelkorn- und Krümelstruktur steht, ließen 40 % Kalisalz und schwefelsaures Kalium erkennen. Es haben also hier mehr gelbildende Kräfte gewirkt als bei Kainit und Chlorkalium. Im allgemeinen kann gefolgert werden, daß erheblichere Beeinflussungen der physikalischen Bodeneigenschaften sowie der Bodenstruktur durch die zwölfjährige Kalidüngung bei allen Formen kaum stattgefunden haben, zumal auch solche durch die physikalischen Untersuchungen nicht nachgewiesen werden konnten.

Faßt man die Ergebnisse vorliegender Arbeit nochmals kurz zusammen, so ist zu sagen, daß sie an Hand langjähriger Versuchsg rundlagen weitgehenden Einblick in die Frage der Beeinflussung des Bodens durch fortgesetzte starke Kaliumdüngung gewähren. Die Wirkung der Kaliumdüngung und die Kaliummangelerscheinungen wurden trotz bester Bodenbearbeitung mit fortschreitender Versuchsdauer immer größer. Die Kaliumdüngung lohnten am meisten Kartoffeln, Schließmohn, Futterrüben, Weißkraut und Winterroggen. Der Einfluß der zwölfjährigen starken Kaliumdüngung auf die Reaktion des Bodens, die Reaktion der Pflanzensaft und die physikalische Beschaffenheit des Bodens war ganz unbedeutend. Die bakteriologische Bodenuntersuchung ergab, daß die zwölfjährige starke Kaliumdüngung im allgemeinen die Bakterienzahl nicht merklich erniedrigt hat, mit Ausnahme der Chlorkaliumdüngung, bei der eine wesentliche Verminderung der Totalkeimzahl und der Keimzahl der Bakterien eintrat. Das Stickstoffbindungsvermögen der Böden wurde durch die Kaliumdüngung erniedrigt. Mikrophotographien zeigten zwar eine gewisse Veränderung der Bodenstruktur durch einzelne Kaliumformen, doch war diese Verschlechterung nur mittels Mikrophotographien nachweisbar und von geringer Tragweite.

Mithin kann aus sämtlichen Untersuchungsresultaten geschlossen werden, daß eine über ein Jahrzehnt durchgeführte starke Kaliumdüngung auf gutem, gesundem Boden bei entsprechender Kultur weder hinsichtlich der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens, noch auch bezüglich der Entwicklung und Zusammensetzung der Mikroflora jene schädigenden Eigenschaften hat, die ihr manchmal zugeschrieben werden. [A. 211.]

L iter atur.

¹⁾ Benecke, Bot. Ztg. 65, I, 1 [1907].

²⁾ Vgl. Benecke — Jost, Pflanzenphysiologie I, 140 (Jena 1924).

³⁾ Frerking, Flora 108, 449 [1915].

⁴⁾ Vgl. Benecke — Jost, loc. cit. S. a. Richter, Wiesner-Festschrift 167 [1908]; Sitzungsber. Wiener Akad. 118, I, 1 [1909].

⁵⁾ Vgl. z. B. Schneidewind, Die Ernährung der landw. Nutzpflanzen. — W. Kleberger, Grundzüge der Pflanzenernährungs- und Düngerlehre II, 70 (Hannover 1915).

⁶⁾ Liebig, Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie.

⁷⁾ Willy Mayer, Neuere Ansichten über die Rolle des Kaliums im Pflanzen- und Tierkörper, Z. ang. Ch. 34, 589 [1921]. — Vgl. auch D. T. English und H. A. Lunt, Effect of the concentration of potassium salts in soil media upon the carbohydrate metabolism of plants. Soil science 20, 459 [1925].

⁸⁾ Schlösing, C. r. 50, 642. — J. Nessler, Der Tabak. 1867, S. 33. — Cit. nach A. Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie I, 289 (Heidelberg 1920). — Vgl. auch Landw. Versuchsst. 38, 138.

- ²⁹⁾ Pierre, Annal. agronom. T. II, S. 59. Nach A. Mayer, loc. cit.
- ³⁰⁾ Hellriegel, Ztsch. Verein Zuckerind. i. D. R. 1893, S. 945. — Ch. Ztg. II, 616 [1894].
- ³¹⁾ Wilfarth, Ztsch. Verein Zuckerind. 993 [1901]. — Ch. Ztg. I, 367 [1902].
- ³²⁾ L u c a n u s , Landw. Versuchsst. 8, 146 [1896].
- ³³⁾ W o l f i , Landw. Versuchsst. 10, 349 [1868].
- ³⁴⁾ N o b b e , Landw. Versuchsst. 13, 399 [1871]; Über die organische Leistung des Kaliums in der Pflanze (Chemnitz 1871). — S. auch L o e w , Landw. Versuchsst. 21, 389 [1878].
- ³⁵⁾ O. L o e w , The physiol. role of mineral nutrients 1899, S. 22. — Vgl. A. M a y e r , loc. cit. I, 287.
- ³⁶⁾ B a u d i s c h , Nitratassimilation; Ztrbl. f. Bakteriologie II, 32 [1912].
- ³⁷⁾ Stoklasa, Biochem. Ztsch. 73, 107 [1926].
- ³⁸⁾ H. Zwaardemaker, Die Bedeutung des Kaliums im Organismus. Pflügers Archiv 173, 28 [1919]; Geneesk. Bladen 1918, IX, X. — Vgl. auch Blackman, Ann. of Botany 34, 299 [1920].
- ³⁹⁾ H. Molisch, Sitzungsber. d. Wiener Akad. 121, I, 121, 833 [1912].
- ⁴⁰⁾ Kostytschew, Ztschr. physiol. Ch. 111, 228 [1920].
- ⁴¹⁾ Weevers, Biochem. Ztsch. 78, 354 [1917]; 89, 281 [1918]; Rec. trav. bot. neerl. 8, 289 [1911].
- ⁴²⁾ Maercker, Arbeiten D. L. G., Heft 56.
- ⁴³⁾ H. Wießmann, Ztschr. Pfl. u. Düngung 2 A, 1 [1923].
- ⁴⁴⁾ A. Rippel, Biochem. Ztsch. 135, 518 [1923].
- ⁴⁵⁾ J. Stoklasa, Ztschr. landw. Versuchswesen Österr. 11, 52, [1908]; 15, 711 [1912]. — J. Stoklasa u. W. Zdobnický, Bioch. Ztschr. 30, 433 [1911]. — J. Stoklasa, J. Sebor u. W. Zdobnický, Bioch. Ztschr. 41, 33 [1912]. — J. Stoklasa u. W. Zdobnický, Monatsh. f. Ch. 32, 53 [1911]. — J. Stoklasa, Bioch. Ztschr. 82, 310 [1917]; 98, 109, 140, 173 [1920].
- ⁴⁶⁾ R. Willstätter u. A. Stoll, Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure, Ber. 48, 1540 [1915]; Über die chem. Einrichtungen des Assimilationsapparates. Sitzungsber. d. preuß. Akad., Berlin 1915, 322.
- ⁴⁷⁾ W. Mayer, Neuere Ansichten über die Rolle des Kaliums im Pflanzen- und Tierkörper. Z. ang. Ch. 34, 589 [1925].
- ⁴⁸⁾ P. Krische, Die Kalisalze im Tier- und Pflanzenkörper, die Grundlagen ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung. Z. ang. Ch. 35, 423 [1922].
- ⁴⁹⁾ Th. Sabalitschka, Die Bedeutung des Kaliums für die pflanzliche Kohlehydraterzeugung. Z. ang. Ch. 37, 690 [1924]. — Th. Sabalitschka u. A. Wiese, Das Verhalten des Kalis vor und bei dem herbstlichen Absterben der Blätter von *Populus nigra* L. u. *Hedera Helix* L. Ztschr. Pfl. u. Düng. 5 A, 166 [1926].
- ⁵⁰⁾ Bezuglich einiger solcher Arbeiten der letzten Jahre vgl. die ausführliche Literaturangabe in H. Niklas, A. Strobel und K. Scharrer, Der Einfluß einer zwölfjährigen Kalidüngung auf die Ernteerträge sowie die Physik, Chemie und Mykologie des Bodens. Landw. Versuchsst. 1926.
- ⁵¹⁾ P. Ehrenberg, Die Bodenkolloide (Dresden und Leipzig 1918).
- ⁵²⁾ E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik 2, 452 [1879].
- ⁵³⁾ P. Ehrenberg, loc. cit. p. 614. S. a. C. Lueddecke, Kulturtechniker 12, 129 [1909]; A. Mausb erg, Landw. Jahrb. 45, 46 [1913].
- ⁵⁴⁾ loc. cit. p. 616.
- ⁵⁵⁾ Beeson, J. Am. Ch. Soc. 19, 620 [1897].
- ⁵⁶⁾ E. Blanck, Ein Beitrag zur Kenntnis der Wirkung künstlicher Dünger auf die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser. Landw. Jahrb. 38, 866 [1909].
- ⁵⁷⁾ O. Nolte, J. f. Landwirtschaft 65, 40 [1917].
- ⁵⁸⁾ G. Wiegner, Boden und Bodenbildung. (Dresden und Leipzig 1924).
- ⁵⁹⁾ D. J. Hissink, Intern. Mittlg. f. Bodenkunde 1916, S. 142.
- ⁶⁰⁾ G. H a g e r , Die schädliche Wirkung der Kali- und Natronsalze auf die Struktur des Bodens und ihre Ursachen. J. f. Landwirtschaft 66, 241 [1918]. — Vgl. hierzu O. Nolte, J. f. Landwirtschaft 67, 267 [1919]. — Ehrenberg, J. f. Landwirtschaft 67, 273 [1919].
- ⁶¹⁾ G. H a g e r , Weiteres über die Ursachen der schädlichen Wirkung der Kali- und Natronsalze auf die Struktur des Bodens. J. f. Landwirtschaft 68, 73 [1920].
- ⁶²⁾ R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1922). — G. H a g e r , loc. cit.
- ⁶³⁾ O. Nolte, Über die Wirkung der Kaliendlaugen auf Boden und Pflanze. Landw. Jahrb. 51, 563 [1918]. — P. Ehrenberg, O. Nolte, J. P. v. Zyl, J. Hahn-Haslinger, E. Ungerer, E. Lunau, Ch. Pofenhauer, Über die Wirkung der Kaliendlaugen auf Boden und Pflanze. Landw. Jahrb. 61, 473 [1925]. — O. Nolte u. A. Gehring, Über die Wirkung von Kaliendlaugen auf Boden und Pflanze auf Grund von Düngungsversuchen auf Wiesen, welche alljährlich durch kaliendlaugehaltiges Flußwasser überschwemmt werden. Landw. Jahrb. 62, 645 [1925]. — S. auch C. v. Seelhorst, Wie wirkt eine Kalidüngung auf den Wasserverbrauch der Pflanze und auf den Wassergehalt der Erde? J. f. Landwirtschaft 63, 345 [1915].
- ⁶⁴⁾ F. Löhnis, Handbuch der landw. Bakteriologie (Berlin 1910), S. 756 ff.
- ⁶⁵⁾ S. A. Walkman, Mikrobiologische Bodenanalyse als Maßstab für die Ertragfähigkeit des Bodens. III. Einfluß der Düngung auf die Zahl der Mikroorganismen im Boden. Zentr. f. Agrikulturch. 54, 337 [1925]. — Vgl. auch Moill, Beiträge zur Biochemie des Bodens. Diss. (Leipzig 1909). — Wohltmann, G. Fischer u. Schneider, J. f. Landwirtschaft 52, 97 [1904]; Einige Einwirkungen der Kalisalze auf den Boden. Ernährung der Pflanze 22, 32 [1926].
- ⁶⁶⁾ Bezuglich der Einzelheiten vgl. H. Niklas, A. Strobel u. K. Scharrer, Der Einfluß einer zwölfjährigen Kalidüngung auf die Ernteerträge, sowie die Physik, Chemie und Mykologie des Bodens. Landw. Versuchsst. 1926.
- ⁶⁷⁾ Bezuglich der Methodik siehe: H. Niklas u. A. Hock, Eine einfache und neue Methode zur Bestimmung der Reaktion des Bodens. III. landw. Ztg. 44, Nr. 45 [1923]; Die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration der Böden auf kolorimetrischem Weg. Z. ang. Ch. 38, 150 [1925]; Vergleichung der Methoden zur Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration von Böden. Landw. Versuchsst. 104, 87 [1925]. — L. Michaelis, Die Wasserstoffionenkonzentration (Springer, Berlin 1922); Praktikum der physikalischen Chemie (Springer, Berlin 1922). — II. Niklas u. A. Hock Die elektrometrische Titration unter Verwendung von Chinhydron. Z. ang. Ch. 38, 407 [1925].
- ⁶⁸⁾ O. Comes, Über die Widerstandsfähigkeit des Getreides gegen Rost, sowie der Pflanzen im allgemeinen gegen Schädlinge. Ref. Intern. Agrar.-techn. Rundschau VI, 1915, S. 1342.
- ⁶⁹⁾ Hinsichtlich der Methodik siehe: A. Arland, Über die Acidität von Pflanzensaften und Methoden zu ihrer Bestimmung. Ztschr. f. Pfl. u. Düngung 3 A, 152 [1924].
- ⁷⁰⁾ Hinsichtlich der Methodik dieser und der nachfolgenden Bestimmungen vgl. auch: König, Analyse landw. u. landgewerblicher Stoffe I, (Berlin, P. Parey 1923). — Wahnschaffe-Schucht, Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung (Berlin, P. Parey 1924).
- ⁷¹⁾ Bezuglich der mikrophotographischen Aufnahmen siehe: H. Niklas, A. Strobel u. K. Scharrer, loc. cit.

Massenvergiftungen von Tieren durch Arsenbestäubung vom Flugzeug

von P. W. DANCKWORTT und E. PFAU.

Chemisches Institut der Tierärztlichen Hochschule zu Hannover.

(Eingeg. 29. Juli 1926.)

Zur Bekämpfung der Forleule, des Eichenwicklers und der Nonne, die in den Forsten alljährlich schwere Verheerungen anrichten, hat man zuerst in Amerika die