

1. Einflüsse auf die Bildung der Bodensäure.

Von Dr. J. König, Dr. J. Hasenbäumer und E. Kröger.

(Landw. Versuchsstation in Münster i. W.).

Die Art, Bildung und Bestimmung der Bodensäure hat in den letzten Jahren eine fortgesetzt fleißige Bearbeitung gefunden. Seit unserer letzten Veröffentlichung¹⁾ sind darüber noch verschiedene Arbeiten ausgeführt bzw. bekannt geworden.

O. Lemmermann und L. Fresenius²⁾ prüften das Verfahren von Baumann und Gully, nämlich die Eigenschaft des Bodens, aus einer Lösung von Kaliumjodid (KJ) und Kaliumjodat ($KJ O_3$) Jod freizumachen, nach und fanden, daß es zu einer quantitativen Bestimmung der Bodensäure nach dem Vorschlage von Stutzer und Haupt nicht geeignet ist, weil einerseits gewisse Bodenbestandteile wie Ferrihydroxyd, Kaolin, Kohle, Jod zu absorbieren vermögen, andererseits die Konzentration der Jodlösung wie auch die Dauer des Schüttelns einen Einfluß auf die Ergebnisse ausüben.

Die durch den Versuch erhaltene Jodmenge ist, wie die Verff. sagen, die Resultante zweier Größen, des durch die Säure des Bodens in Freiheit gesetzten Jods, vermindert um die durch die absorbierenden Bodenbestandteile festgelegten Mengen. Sie halten daher den Reaktionsverlauf für zu wenig durchsichtig, um richtig gedeutet werden zu können.

P. Liechti³⁾ empfiehlt zur qualitativen Feststellung des Säuregrades bzw. der Kalkbedürftigkeit des Bodens eine 1%ige Azolithminlösung. Man soll 1 g Boden mit 10 ccm einer 10%igen KCl -Lösung schütteln und das Filtrat mit 1 ccm der 1%igen Azolithminlösung versetzen. Eine Blaufärbung zeigt genügenden Kalkgehalt im Boden an. Die Blaufärbung beruht aber nach G. Wiegner nicht auf einer alkalischen Reaktion schwach kalkhaltiger Böden, sondern wird durch Calciumchlorid bedingt, welches durch den Zusatz von Kaliumchlorid infolge Ionenaustausches gebildet wird. Der Farbstoff reagiert auf Neutralsalze basisch, ist daher ein besonderes Reagens auf austauschfähige, zweiwertige Ionen im Boden; die alkalische Reaktion ist häufig nur die Blaufärbung desselben durch Neutralsalzwirkung, Humus wirkt schützend. In Humusböden müssen daher größere Mengen Calciumionen vorhanden sein, ehe Blaufärbung eintritt.

J. Hudig und W. Sturm⁴⁾ änderten das von Fr. Fischer,

¹⁾ Landw. Jahrbücher 1920, 55, 185.

²⁾ Journ. f. Landwirtschaft 1921, 69, 95.

³⁾ Chem. Ztg. 1921, 45, 200.

W. Kappen und den beiden ersten von uns ausgeübte elektrometrische Verfahren zur Bestimmung der Bodensäure (Wasserstoffionen-Konzentration) dahin ab, daß sie eine Rühr- und eine Bodenelektrode anwendeten. Die Röhrelektrode war in der Weise eingerichtet, daß das übliche Gefäß mit der zu prüfenden Boden-Aufschwemmung mit einem 7fach durchbohrten Pfropfen verschlossen war, durch dessen eine Öffnung eine Rührvorrichtung führte, während durch drei andere mit Glasröhren versehene Öffnungen Wasserstoff eingeleitet wurde, um einerseits durch zwei Röhren die Kohlensäure aus der Bodenaufschwemmung zu entfernen, andererseits durch die dritte Öffnung den Wasserstoff nahe an die Platinelektrode heranzuführen und diese stets mit Wasserstoff gesättigt zu halten.

Die Bodenelektrode war so eingerichtet, daß die Platinelektrode direkt in den angefeuchteten natürlichen Boden tauchte.

Die mit letzterer erhaltenen Ergebnisse waren durchweg etwas niedriger als die mit der Röhrelektrode erhaltenen Ergebnisse. Auch lieferte die Bestimmung der Wasserstoffionen-Konzentration in der Bodenaufschwemmung — die Verff. wendeten 10 g Boden und 50 ccm. Leitfähigkeitswasser an — zuverlässigere Ergebnisse als ihre Bestimmung in dem wässerigen Auszuge, was auch wir und andere gefunden haben. Hudig und Sturm konnten auf diese Weise die Wirkung einer Kalkdüngung noch nach 2 Jahren im Boden nachweisen. Sie versuchten unter Anwendung der Röhrelektrode auch die „Pufferwirkung“^{*)} von Alkali im Boden festzustellen, sind hierbei aber noch zu keinen bestimmten Ergebnissen (Grenzzahlen) gelangt, weil die Werte sehr von der Art und Menge des Humus des Bodens abhängen.

Der Säure- bzw. Alkalitätsgrad des Bodens scheint auch von besonderer Bedeutung für die Aufnahme der Phosphorsäure des Bodens durch die Pflanzen zu sein, da Margarete Wrangell^{*)} gefunden hat, daß gewisse Pflanzen, in erster Linie Senf, ferner Buchweizen, Wicken, Klee, Kruziferen, Lein die Phosphorsäure aus Rohphosphaten (Obolensandstein) bei alkalischer Beschaffenheit, dagegen Mais, ferner Roggen, Hafer

^{*)} Het Meten van Waterstof-Jonkonzentraties in Bodmeextrakten in Bodemsuspensies; Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations 1919, 23.

^{*)} Unter „Pufferwirkung“ versteht man die Erscheinung, bei welcher der Zerfall einer Säure in ihre Ionen durch ein Agens zurückgedrängt wird, d. h. also, bei welcher die Säurewirkung sich nur schwach äußert.

^{*)} Landw. Versuchsstationen 1920, 96, 209 und M. Wrangell, Phosphorsäureaufnahme und Bodenreaktion Berlin 1920.

nur bei saurer Beschaffenheit des Bodens aufzunehmen vermögen und ein geringeres Aufschließungsvermögen für Rohphosphate besitzen als erstere Pflanzen.

Th. Pfeiffer und A. Rippel⁷⁾ haben indes diese Versuche nachgeprüft und gefunden, daß, wie auch schon frühere Versuche ergeben haben, die Pflanzen sich entgegen der Annahme A. Mitscherlich's bezüglich der Aufnahme eines Nährstoffes nicht gleich verhalten, daß die Gramineen (Gerste, Hafer) ein geringeres Aufschließungsvermögen für schwer lösliche Phosphorsäure besitzen als Erbsen, Bohnen, Buchweizen und Senf. Sie konnten aber bei letzteren keine so hohe Ertragssteigerung durch Rohphosphate feststellen wie M. Wrangell; auch verhielten sich die Rohphosphate verschieden, Obolensandstein z. B. günstiger als Angaurphosphat. Desgleichen war das Verhältnis, in welchem Kalk und Phosphorsäure aufgenommen wurden, verschieden, so daß sich bei Berechnung des Wrangell'schen Kalkphosphorsäurefaktors unüberbrückbare Widersprüche herausstellten, welche die Verwertung dieses Faktors für die landwirtschaftliche Praxis einstweilen noch als sehr fraglich erscheinen lassen.

Zur weiteren Beurteilung der Entstehung und Bedeutung der Bodensäure haben wir folgende Fragen zu beantworten gesucht: 1. Welchen Einfluß üben die verschiedenen Düngemittel allein ohne Pflanzen auf die Bodenazidität aus? 2. Welche Änderung erleidet die Wasserstoffionen-Konzentration im Boden durch das Wachstum einer und derselben Pflanze bei verschiedener Düngung? 3. Welchen Einfluß übt das Wachstum verschiedener Pflanzen hierauf aus?

1. Die zur Beantwortung der ersten Fragen angestellten Versuche wurden wie folgt ausgeführt: Derselbe Boden, (lehmiger Sandboden) wurde mit so viel Düngemitteln gemischt, daß auf je 5 kg Boden entfielen:

| | |
|----------------------|-------------------|
| 0,15 g Stickstoff | = 60 kg für 1 ha |
| 0,90 g Phosphorsäure | = 80 kg für 1 ha |
| 0,36 g Kali | = 150 kg für 1 ha |
| 1,05 g Kalk | = 420 kg für 1 ha |

Von Thomasmehl und Mergel mit 83,85% CaCO_3 , in welchen Formen Phosphorsäure bzw. Kalk verwendet wurden, wurden steigende Mengen gegeben. Die mit den Düngemitteln vermischten Bodenmengen von je 5 kg wurden in Zinkgefäße von 35 cm Höhe und 240 qcm Oberfläche gefüllt; sie sind am Boden

⁷⁾ Journ. f. Landwirtschaft 1921, 69, 165.

mit einer Öffnung versehen, um die Durchlüftung zu unterstützen, erst mit Kies und Sand so hoch angefüllt, daß nach Zugabe der 5 kg gedüngten Böden die Gefäße bis auf 3—5 cm vom oberen Rande gefüllt waren. Die Gefäße (ohne Pflanzen) wurden von Zeit zu Zeit mit Wasser begossen und blieben den Sommer über (April bis November) im Gewächshaus stehen. Die Ergebnisse waren folgende:

| Art der Düngung | | Wasserstoffionen-Konzentration (P _H) | | mg Wasserstoff (H) in 10000 l | Titrationssäuregrad 100 g Boden verbrauchen com 1/10 N.-NaOH |
|----------------------------------|-----------|--|-----------------|-------------------------------|--|
| | | colorimetrisch | elektrometrisch | | |
| Boden, ungedüngt | März 1921 | 5,10 | 5,10 | 79,4 | 1,05 |
| | Nov. 1921 | 4,80 | 4,80 | 155,0 | 2,4 |
| " + Chlorkali (0,732 g) | | 4,7 | 4,71 | 195,0 | 2,70 |
| " + Kainit (2,29 g) | | 4,6 | 4,63 | 234,5 | 3,7 |
| " + Ammonsulfat (0,75 g) | | 4,5 | 4,52 | 302,0 | 4,5 |
| " + Ammonsulfatsalpet. (0,549 g) | | 4,6 | 4,59 | 257,1 | 3,9 |
| " + Natronsalpet. (0,95 g) | | 4,9 | 4,91 | 123,1 | 2,1 |
| " + Kalkstickstoff (0,82 g) | | 4,8 | 4,85 | 141,3 | 2,3 |
| " + Superphosphat (1,59 g) | | 4,6 | 4,68 | 209,0 | 2,4 |
| " + Thomasmehl (0,80 g) | | 4,9 | 4,90 | 126,0 | 2,3 |
| " + Desgl. (1,60 g) | | 5,1 | 5,15 | 70,8 | 2,0 |
| " + Kalkmergel (2,24 g) | | 5,7 | 5,63 | 23,5 | 1,5 |
| " + Desgl. (5,60 g) | | 6,0 | 5,76 | 17,9 | 0,7 |
| " + Desgl. (7,84 g) | | 6,0 | 6,12 | 7,6 | 0,4 |

Bei einem Feldversuch mit Kartoffeln wurden 1919/1920 je 3 Parzellen neben 20 kg Stickstoff (Ammoniumsulfat) nur mit steigenden Mengen Kalk (22 dz und 44 dz für 1 ha) gedüngt; je 3 Parzellen erhielten außerdem noch 4 dz Thomasmehl und 4 dz Kainit bzw. dieses allein neben Kalk. Der Boden war ein humoser Sandboden. Für den Säuregrad wurden nach der Kartoffelernte folgende Werte gefunden:

| Kalkdüngung | Kalk allein | | | | | Kalk + Thomasmehl + Kalisalz | | | | | Kalk + Kalisalz | | | | |
|---------------|---|-----------------|----------------------------|-----------------|---------------------|---|-----------------|----------------------------|-----------------|---------------------|---|-----------------|----------------------------|-----------------|---------------------|
| | Wasserstoffionen-Konzentration P _H | | Wasserstoff (H) in 10000 l | | Titrationssäuregrad | Wasserstoffionen-Konzentration P _H | | Wasserstoff (H) in 10000 l | | Titrationssäuregrad | Wasserstoffionen-Konzentration P _H | | Wasserstoff (H) in 10000 l | | Titrationssäuregrad |
| | colorimetrisch | elektrometrisch | colorimetrisch | elektrometrisch | mg | colorimetrisch | elektrometrisch | colorimetrisch | elektrometrisch | mg | colorimetrisch | elektrometrisch | colorimetrisch | elektrometrisch | mg |
| Keine | 4,0 | 3,95 | 1130 | 14,1 | | 4,0 | 3,96 | 1090 | 13,8 | | 4,0 | 3,97 | 1070 | 14,1 | |
| Halbe (22 dz) | 4,0 | 4,05 | 891 | 9,5 | | 4,3 | 4,32 | 478 | 6,0 | | 4,1 | 4,09 | 813 | 9,0 | |
| Ganze (44 dz) | 4,6 | 4,59 | 257 | 3,6 | | 4,5 | 4,51 | 309 | 3,0 | | 4,5 | 4,48 | 331 | 3,6 | |

Nach der ersten Untersuchungsreihe nimmt auch im natürlichen Boden ohne Zusatz von Düngemitteln beim Aufbewahren in einem Gefäß unter zeitweiser Anfeuchtung mit Wasser der Säuregrad, zweifellos infolge mangelhaften Luftzutritts etwas zu; im übrigen sieht man aus diesen Untersuchungen, daß Superphosphat, Kali- und Ammoniakdüngesalze allein, selbst wenn sie nur in den allgemein üblichen Mengen angewendet werden, nachweisbar die Bodenazidität erhöhen, Natronsalpeter, Kalkstickstoff und Thomasmehl weniger stark bzw. entgegengesetzt wirken. Durch Düngung mit Kalkmergel geht je nach den angewendeten Mengen die saure Beschaffenheit des Bodens alsbald in eine geringere oder fast neutrale Beschaffenheit über.

Diese Beziehungen ließen sich auch bei dem zweiten Feldversuch nach der Kartoffelernte noch deutlich nachweisen.

2. Zur Beantwortung der zweiten Frage, welche Änderung das Wachstum einer und derselben Pflanze bei verschiedener Düngung auf die Wasserstoffionen-Konzentration des Bodens hervorruft, wurden mit 15 kg desselben Bodens wie bei den vorstehenden Versuchen in Zinkgefäßen von 35 cm Höhe und 24 cm Durchmesser bzw. 452 qcm Oberfläche Versuche angestellt. Der Boden der Gefäße war durchlöchert und wurde erst, um eine gute Durchlüftung zu sichern, mit 7 kg Kies bedeckt, sodaß der Inhalt sämtlicher Gefäße gleichmäßig $15 + 7 = 22$ kg betrug.

Es wurden zwei Reihen (α und β) gebildet, eine (α) ohne, die andere (β) mit Zusatz von Kalkmergel (mit 83,85% Ca CO_3) nämlich 26 g für jedes Gefäß. Als Stickstoff-, Phosphorsäure- und Kalidüngemittel wurden wechselweise für das Gefäß verwendet:

$\text{N} = 0,5056$ g Ammonsulfatsalpeter (0,136 g N),

$\text{P}_2 \text{O}_5 = 1,2$ g Thomasmehl (= 0,181 g $\text{P}_2 \text{O}_5$),

$\text{K}_2 \text{O} = 0,459$ g Chlorkali (= 0,226 g $\text{K}_2 \text{O}$).

Das Thomasmehl bzw. das Thomasmehl + Kalkmergel wurden in der Weise zugesetzt, daß man aus jedem Gefäße eine Schicht von 20 cm ausfüllte, diese Bodenmenge mit den Düngemitteln vermischte und dann wieder einfüllte. Stickstoff- und Kalidüngemittel wurden in Lösungen zugesetzt. Am 13. April 1921 wurden in jedes Gefäß 14 Haferkörner von je 0,714 g im Durchschnitt ausgelegt und die Feuchtigkeit in den Gefäßen während der Wachstumszeit gleichmäßig auf 60% der wasserhaltenden Kraft gehalten. Jeder Versuch wurde doppelt, d. h. in je 2 Gefäßen angestellt; nach der Ernte wurde indes der Boden

aus den beiden Gefäßen vereinigt, gemischt und die Mischprobe auf Säuregehalt untersucht. Die Ergebnisse waren folgende:

| Zusatz von Mineraldüngemitteln | | α Ohne Kalk | | | | β Mit Kalk | | | |
|-----------------------------------|-----------|--|----------------------|-------------------------------------|--------------------|--|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | | Wasserstoffionen- Konzentration P_H | | Wasserstoff (H) in 10000 l mg | Titrationsazidität | Wasserstoffionen- Konzentration P_H | | Wasserstoff (H) in 10000 l mg | Titrationsazidität |
| | | colori- metrisch | elektro- metrisch | | | colori- metrisch | elektro- metrisch | | |
| Ohne Zusatz | März 1921 | 5,1 | 5,10 | 70,4 | 1,05 | — ⁷⁾ | — | — | — |
| | Nov. 1921 | 4,8 | 4,81 | 155,0 | 2,40 | 6,0 ⁷⁾ | 6,12 | 7,6 | 0,4 |
| Zusatz von N u. P_2O_5 | | 4,9 | 4,92 | 120,3 | 2,1 | > 5,9 | 6,13 | 7,4 | 0,6 |
| " " N, P_2O_5 u. K_2O | | 4,9 | 4,94 | 114,9 | 1,8 | > 5,9 | 6,11 | 7,8 | 0,6 |
| " " N u. K_2O | | 4,6 | 4,51 | 309,1 | 2,7 | > 5,9 | 6,11 | 7,8 | 0,6 |
| " " N | | 4,8 | 4,79 | 162,2 | 1,9 | > 5,9 | 6,09 | 9,8 | 0,6 |
| " " K_2O | | 4,8 | 4,73 | 186,3 | 2,4 | > 5,9 | 6,13 | 7,4 | 0,6 |
| " " P_2O_5 | | 4,9 | 4,96 | 109,7 | 1,4 | > 5,9 | 6,10 | 7,9 | 0,6 |

Hiernach wird durch das Wachstum des Hafers die Bodenazidität nicht oder nur schwach erhöht; die Wirkung der Düngung äußert sich aber in der Weise, daß die Azidität in den nur oder gleichzeitig mit Thomasmehl gedüngten Böden (α) etwas geringer ist als in den nur mit Ammoniak- und Kalisalz gedüngten Böden. Durch die Düngung des Bodens mit Kalkmangel hat der Boden eine fast neutrale Beschaffenheit angenommen und diese auch nach dem Wachstum des Hafers beibehalten, ein Beweis, daß die Kalkmenge groß genug war, um das Auftreten freier Säuren im Boden zu verhindern. Bei einem Feldversuch mit Hafer wurden ähnliche Werte erhalten. Die Versuchsparzellen, die in üblicher Weise mit Ammoniak-, Kalisalz und Thomasmehl gedüngt waren, zeigten vor dem Versuch 79,4—83,1 mg, nach der Ernte dagegen 141,3—251,0 mg Wasserstoffionen in 10000 l.

3. Für die Beantwortung der Frage, welchen Einfluß das Wachstum verschiedener Pflanzen auf die Bodensäure

⁷⁾ Bei den gleichzeitig mit Kalkmangel versetzten Proben ließen sich die Wasserstoffionen (P_H) nicht mehr genau colorimetrisch bestimmen, sondern nur abschätzen. Die erste Probe hatte nur Kalkmangel als Zusatz erhalten.

ausübt, haben wir Hafer, Mais, Gras, Erbsen, Klee, Lupinen, Buchweizen und Senf in Gefäßen mit demselben Boden, der zu den vorstehenden Versuchen diente, wachsen lassen und zwar in 2 Reihen mit verschieden hoher Bodenschicht, nämlich im ganzen von 35 cm und 18 cm hoher Schicht. Je 2 Gefäße dienten zu einem blinden Versuch, d. h. sie wurden in derselben Weise mit Boden gefüllt, blieben aber ohne Pflanzen und wurden nur wie die Gefäße regelmäßig mit destilliertem Wasser angefeuchtet.

Die Aziditätsmessungen in den gesiebten Böden am Schlusse des Versuchs nach der Ernte der Pflanzen lieferten folgende Ergebnisse:

| Pflanze | Tiefere Bodenschicht | | | | Flachere Bodenschicht | | | |
|-------------------------------------|--|-----------------|----------------------------|--------------------|--|-----------------|----------------------------|--------------------|
| | Wasserstoffkonzentration (P _H) | | Wasserstoff (H) in 10000 l | Titrationsazidität | Wasserstoffkonzentration (P _H) | | Wasserstoff (H) in 10000 l | Titrationsazidität |
| | colorimetrisch | elektrometrisch | | | colorimetrisch | elektrometrisch | | |
| Keine } Boden im März im Nov. | 5,1 4,8 | 5,10 4,81 | 79,4 155,0 | 1,05 2,4 | 5,1 4,8 | 5,10 4,81 | 79,4 155,0 | 1,05 2,4 |
| Hafer | 4,8 | 4,81 | 155,0 | 2,2 | 4,9 | 4,92 | 120,3 | 1,9 |
| Mais | 5,1 | 5,15 | 70,8 | 2,2 | 5,0 | 5,10 | 79,4 | 1,85 |
| Gras | 5,0 | 4,98 | 105,0 | 2,1 | 4,9 | 4,92 | 120,3 | 1,2 |
| Klee | 5,1 | 5,12 | 76,0 | 2,3 | 4,9 | 4,86 | 138,1 | 1,9 |
| Erbsen | 4,7 | 4,70 | 200,0 | 3,0 | 4,7 | 4,77 | 170,0 | 4,5 |
| Lupinen | 4,7 | 4,68 | 200,0 | 3,0 | 4,6 | 4,63 | 234,5 | 3,85 |
| Senf | 4,85 | 4,86 | 138,1 | 2,6 | 4,8 | 4,81 | 155,0 | 2,15 |
| Buchweizen | 4,7 | 4,67 | 214,0 | 3,1 | 4,7 | 4,72 | 190,6 | 2,6 |

Wenngleich die vorstehenden Ergebnisse zum Teil dadurch bedingt sind, daß der Boden einigen der Versuchspflanzen nicht zusagte, so sieht man doch, daß die Pflanzen in verschiedener Weise auf den Säuregrad wirken. Auch stehen die Ergebnisse mit den von Wurzelsäften selbst erhaltenen in guter Übereinstimmung. G. Kunze⁹⁾ hat z. B. gefunden, daß der Mais eine Säure — nach einigen Angaben Äpfelsäure — ausscheidet, daß

⁹⁾ Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1901, 47, 41.

dagegen *Cytisus laburnum* und *Teucrium*-Arten, die als kalkliebende Pflanzen bezeichnet werden, in den Wurzelausscheidungen keine Säure aufweisen. Die gelbe Lupine und der Buchweizen, ebenso die kalkfeindliche Kastanie, ergaben dagegen wieder starke Säureabsonderungen. Auch O. Lemmermann hat gefunden, daß sich die Pflanzen in der Ausscheidung von Säuren durch die Wurzeln verschieden verhalten, daß u. a. die Wurzeln der Leguminosen, die auch schwer lösliche Mineralstoffe sich anzu-eignen vermögen, einen stärkeren sauren Wurzelsaft ausscheiden als die Gramineen.

J. H. Aberson⁹⁾ dagegen kommt unter Anwendung des elektrometrischen Gaskettenverfahrens zu wesentlich anderen Ergebnissen. Er schließt nämlich aus seinen Versuchen, daß 1. die Wurzel-sekrete keine nennenswerte Konzentration der Wasserstoffionen besitzen und deshalb als lösendes Agens nicht in Betracht kommen, 2. die Konzentration der Wasserstoffionen einer gesättigten Kohlensäurelösung, wie sie in der schleimigen Hülle der Wurzelhaare vorkommt, vollständig genügt, die unlöslichen Bodenbestandteile, speziell die Phosphate zu lösen.

H. Kappen¹⁰⁾ hält indes diesen Versuchen entgegen, daß sie nur bei 4—10 Tage alten Keimpflänzchen, deren Mineralstoffbedarf noch sehr gering ist, angestellt und daher für die späteren Pflanzen nicht maßgebend sind und weil Willer behauptet, daß die Azidität der Pflanzen eine Kolloidwirkung ist, d. h. die Rötung von blauem Lackmuspapier nicht als eine Säurewirkung, sondern als eine Adsorptionswirkung aufzufassen ist, so hat H. Kappen die Frage nochmals wieder aufgenommen und die Wasserstoffionen-Konzentration von Wurzelpreßsäften verschiedener Pflanzen nach dem elektrometrischen Verfahren ermittelt. Zu den Versuchen dienten verschiedene Gramineen und Leguminosen; sie wuchsen in einem kalkarmen Sandboden, der zweimal vorher mit einer Mineraldüngung gedüngt war, zu diesem Versuch aber außer Chilesalpeter keine Düngung erhielt. Die Pflanzen wurden im Zustande der vollen Blüte entnommen, die Wurzelpreßsäfte durch Anwendung eines Druckes bis zu 100 Atm. gewonnen. In den Säften wurde sowohl die Titrationsazidität wie auch die Wasserstoffionenkonzentration nach dem Gaskettenverfahren bestimmt.

Von den Gramineen überschritten die Werte P_H für die Wurzel-

⁹⁾ Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik 1910, 47, 40.

¹⁰⁾ Landw. Versuchsstationen 1918, 91, 1.

säfte von Hafer und Gerste nur unwesentlich, von Roggen etwas deutlicher den Neutralpunkt; der Saft der Weizenwurzel lag sogar etwas nach der alkalischen Seite hin, Ergebnisse, die mit denen von Abersson übereinstimmen.

Von den Leguminosen zeigte der Wurzelsaft der Buschbohnen eine der des Roggens gleiche, der Wurzelsaft der Pferdebohne dagegen eine höhere Titrationsazidität; bei der Lupine, deren Saft gegen Lackmus deutlich sauer reagierte, war sowohl die Titrationsazidität als auch die wahre Azidität wesentlich höher.

Der Wurzelsaft des Senfes ergab eine recht hohe Titrationsazidität, dagegen eine niedrige Wasserstoffzahl; beim Wurzelsaft des Buchweizens war sowohl die Reaktion gegen Lackmus, als auch die Titrations- und wahre Azidität am höchsten.

In Übereinstimmung mit vorstehenden Ergebnissen über die Azidität der Wurzelsäfte sehen wir, daß die Gramineen den Säuregrad des Bodens durch ihr Wachstum nur wenig oder gar nicht verändert, die Leguminosen (Erbsen und Lupinen), ferner Buchweizen den Säuregrad dagegen deutlich erhöht haben. Klee und Senf haben sich in diesen Versuchen ähnlich wie die Gramineen verhalten.

Entsprechend diesem Befunde zeigten auch die Preßsäfte der Pflanzen von Buchweizen und Lupinen den höchsten Säuregrad, nämlich P_H bei Buchweizen = 4,09, bei Lupinen = 4,73; bei den Preßsäften der anderen Pflanzen bewegten sich die P_H zwischen 4,93—5,49. Daß der Senf in unseren Versuchen aus der Reihe fällt, hat vielleicht darin seinen Grund, daß er sich in dem angewendeten Boden nur mangelhaft entwickelte.

Die Wurzeltätigkeit der Pflanzen vollzieht sich innerhalb einer bestimmten Wasserstoffionen-Konzentration; eine zu hohe Konzentration (d. h. ein zu hoher Säuregrad) beeinträchtigt das Wachstum der Pflanzen ebenso sehr wie eine zu hohe Konzentration der Hydroxyl-Jonen, d. h. eine zu starke alkalische Beschaffenheit des Bodens. Wenn OH -Jonen im Boden in größeren Mengen sich bilden, so tritt nach W. Mevius¹¹⁾ die Kalkchlorose auf, auf welche auch die sog. Kalkfeindlichkeit, die Dörrfleckenkrankheit u. a. zurückgeführt werden müssen. Nicht der Kalk als solcher ist die Ursache dieser Krankheitserscheinungen — die sog. kalkfeindlichen Pflanzen haben den Kalk zum Wachstum gerade so notwendig wie die kalkholden Pflanzen — sondern

¹¹⁾ Jahrbücher f. wissensch. Botanik, 1921, 60, 147.

das Auftreten von O H-Ionen verursacht die Erscheinungen. Deshalb kann die Kalkchlorose durch Zuführung von FeSO_4 , FeCl_3 , oder gar von freier Schwefelsäure sowie durch Düngung mit physiologisch sauren Salzen (Kalium- und Ammoniumsalzen) behoben werden. Wir können dieser Ansicht nur beitreten¹⁹⁾.

Wahrscheinlich hängt mit der verschiedenen Wasserstoffionen-Konzentration der Wurzelsäfte auch der Umstand zusammen, daß die Pflanzen die Rohphosphate in verschiedenem Grade auszunutzen vermögen. Indes konnten wir die von M. Wrangell aufgestellten Beziehungen bis jetzt nicht bestätigen.

¹⁹⁾ Vgl. J. König und J. Hasenbäumer, Landw. Jahrbücher 1921, 55, 185.

2. Untersuchungen über die Azidität der Böden und ihre Wirkung auf keimende Pflanzen.

Von **Otto Lemmermann** und **L. Fresenius**.

Berichterstatter: L. Fresenius.

Mitteilung des Institutes für Agrikulturchemie und Bakteriologie der Landwirtschaftlichen Hochschule und der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Berlin.

In neuerer Zeit ist über die Azidität von Böden eine Reihe von Untersuchungen ausgeführt worden, von denen besonders die Arbeiten von Veitch, Daikuhara, Kappen¹⁾ sowie die von König und Hasenbäumer²⁾ unsere Kenntnis der einschlägigen Verhältnisse wesentlich gefördert haben. Die Untersuchungen dieser Forscher haben einmal Klarheit geschaffen über die verschiedenen Ursachen, die einen Boden „sauer“ machen und ferner haben sie einen Weg gezeigt, der die Messung des Säuregrades von Böden gestattet.

Schon früher war die große Bedeutung der Azidität für die Beurteilung eines Bodens erkannt worden, und man hatte verschiedene Methoden in Vorschlag gebracht, um zu einem zahlenmäßigen Ausdruck der hier vorliegenden Verhältnisse zu gelangen. Als eine der ersten quantitativen Methoden ist wohl die von Tacke und Süchting anzusehen, die durch Bestimmen der durch die Bodensäure aus kohlensaurem Kalk in Freiheit gesetzten Kohlensäure ein Maß für die Größe der dem Boden inwohnenden Azidität zu gewinnen suchten. Später versuchte man diese Methode, die ursprünglich ausschließlich zur Untersuchung von Moorböden diente, auch zur Bestimmung der Azidität von

¹⁾ Landw. Vers.-St. 1917 B 89 S. 39, B 90 S. 321; 1920 B 94 S. 277.

²⁾ Landw. Jahrbücher 1920, S. 185.