

Der Einfluss der Bodenreaktion auf
das Wachstum der Pflanzen.
Von ROLF HILBIG (Königsberg Pr.).

A. ALLGEMEINER TEIL.

I. URSACHEN UND WIRKUNG DER BODENREAKTION.

Das Problem der Bodenreaktion beschäftigte im Laufe der letzten Jahrzehnte eine grosse Zahl von Forschern, ebenso hat die Literatur über diese Fragen einen grossen Umfang angenommen.

Da starke alkalische, wie saure Reaktion des Bodens zu direkten Vergiftungserscheinungen unserer Kulturpflanzen führen, dürfte die Lösung dieser Frage von besonderer Bedeutung für die landwirtschaftliche Produktion sein. Über die Ursachen der Bodenreaktion selbst haben gründliche Forschungen während der letzten Jahre teilweise eine Aufklärung gebracht, obwohl nicht verkannt werden kann, dass gerade auf diesem Gebiet die Meinungen weit auseinander gehen. Besonders die Ansicht und die Arbeiten von KAPPEN sind in den letzten Jahren direkt bestimmend gewesen, und man hoffte allgemein, durch ihn das Problem der "Bodenäsüre" in den Hauptgrundzügen gelöst zu haben.

KAPPEN (21) gibt vier verschiedene Ursachen an, durch die eine Versäuerung des Bodens hervorgerufen sein kann und unterscheidet somit 4 Arten der Bodenazidität. Was die von KAPPEN unterschiedenen Aziditätsformen betrifft, so erhält man eine anschauliche Vorstellung von ihnen dadurch, dass man die Änderungen verfolgt, die ein neutraler Boden unter dem Einfluss basenentziehender Vorgänge erleiden soll. Wirken auf einem Boden, dessen Zeolithe mit Basen abgesättigt sind und der auch noch überschüssiger Kalk enthalten soll, Säuren ein, so werden die Zeolithe allmählig ihres Gehaltes an Basen beraubt. Sie sollen sich chemisch verändern und in den sogenannten "adsorptiv ungesättigten Zustand" treten. Durch den beginnenden Basenverlust erlangen die zeolithischen Bodenbestandteile die Eigenschaft, hydrolytisch gespaltene Salze zu zersetzen, indem sie deren Base binden und die Säure frei machen. KAPPEN bezeichnet diesen Bodenzustand als hydrolytische Azidität.

Was die Schädlichkeit dieser Aziditätsform für unsere Kulturpflanzen anbetrifft, hießt KAPPEN (22) sie bis jetzt für bedeutungslos. Seine neuesten Beobachtungen weisen aber bereits darauf hin, dass die kalkliebenden Pflanzen bei hydrolytischer Azidität erheblich geschädigt sind, besonders soll die Luzerne gegen die genannte Aziditätsform sehr empfindlich sein. Er sagt unter anderem:

"Wir werden also beim Anbau der kalkbedürftigen Luzerne bereits die hydrolytische Azidität zu berücksichtigen haben und ich glaube, dass das auch für andere Pflanzen Geltung hat, die ein ähnlich grosses Kalkbedürfnis haben, also etwa für die Erbse und Bohne, aber auch nach dem Ausfall der Topfversuche für den Senf."

Eine weit grössere Bedeutung misst KAPPEN (16) (17) (18) (19) (20) einer zweiten Aziditätsform zu, die er als "Austauschazidität" bezeichnet. Bei weiter fort schreitender Basenverarmung soll der Boden die Fähigkeit gewinnen, mit Neutralsalzen in Reaktion zu treten. Es sollen dabei einwertige und zweiwertige Ionen der Neutralsalze gegen dreiwertige Aluminium- und Eisenionen des Bodens ausgetauscht werden. Das hierbei in die Bodenlösung übertretende Aluminiumsalz ist hydrolytisch gespalten, reagiert daher sauer.

Während KAPPEN (21) und HAGER (11) die Austauschazidität als einen reinen Aluminiumaustausch ansehen, hält auch RAMANN (36) einen Ionenaustausch für wahrscheinlich, aber nicht von Al-Ionen, sondern von H-Ionen in der Weise, dass durch die Einwirkung von Säuren die austauschfähigen Aluminiumsilikate unter Austritt

der vorhandenen Basen und Eintritt von Wasserstoff in die Permutitsäuren übergeführt werden. Der Wassers off dieser Permutitsäuren soll dann beim Zusammentreffen des Bodens mit Neutralsalz-Lösungen gegen die Basis des Neutralsalzes austauschbar sein und die so entstehende Säure soll dann erst sekundär Tonerde zur Auflösung bringen.

Auch die Frage, ob die Schädigungen, die durch die Austauschazidität hervorgerufen werden, auf das H-Jon oder das Al-Jon zurückzuführen sind, ist vielfach in der Literatur behandelt worden.

STOKLASA (40) und ATKINS (4) haben bei ihren Vegetationsversuchen die Giftigkeit des Al-Jons nachweisen können.

KAPPEN (21) macht für den schlechten Pflanzenwuchs auf sauren Böden ausser H-Jon auch das Al-Jon verantwortlich.

SCHUCKENBERG (39) ist der Meinung, dass die einzelnen Kulturpflanzen gegen das H-Jon und das Al-Jon verschieden empfindlich sind. Er fand bei seinen Versuchen mit Keimlingen, dass die Gerste gegen das Al-Jon empfindlicher ist, als gegen das H-Jon, beim Roggen war es umgekehrt.

Die genannten Forscher haben diese Aziditätsform daher als stark pflanzenschädlich bezeichnet und sie als Hauptursache und Grundlage der "Säurefrage" unserer Kulturböden betrachtet.

Als dritte Aziditätsform wäre die "Neutralsalzzersetzung" zu nennen. Sie soll nur auf Humusböden auftreten, wenn die Verarmung des Bodens an Basen so weit vorgeschritten ist, dass es an auswechselbaren Basen für den Eintritt der Tonerde zu fehlen beginnt und äussert sich dadurch, dass die schwachen Humussäuren die Basis der Neutralsalze binden und somit die starken, für das Pflanzenwachstum schädlichen Mineralsäuren in Freiheit setzen.

Die hohe Wasserstoff-Konzentration der humushaltigen Böden soll nach KAPPEN wesentlich auf diese Aziditätsform zurückzuführen sein.

Die vierte und für die Pflanzen schädlichste Form wird als "aktuelle Azidität" bezeichnet. Sie soll nur auf Hochmoor und unkultivierten Böden zu finden sein. Ihre Entstehung verdankt sie sowohl unorganischen freien Säuren wie auch sauren Salzen, vornehmlich der Schwefelsäure, vielleicht auch organischen Bodenbestandteilen.

Nach MITSCHERLICH (31) ist die Hauptursache der Bodensäure die Fäulnis organischer Substanzen, die bei Luftabschluss eintritt. Derartige Erscheinungen werden hervorgerufen, wenn das Wasser nicht in den Untergrund abziehen kann. Es stagniert, wird sauer. Wir können es im Walde beobachten, wenn die Blattstreu derartig fest verklebt ist, dass ein Eindringen der Luft unmöglich wird. Die sich bildenden Säuren lösen den Kalk in den Bodenschichten und entziehen somit dem Boden ein die Verwesung förderndes Element.

Wohl haben BAUMANN (5) und GULLY (10) in ihren vielbesprochenen Arbeiten den sogenannten Humussäuren jede Säurenatur abgestritten - diese Meinung ist auch von anderen Forschern vertreten worden - SVEN ODÉN (33) dagegen gibt in der Charakterisierung seiner verschiedenen Humussäuren an, dass die Fulvosäure Wasserstoffionen abspalten könne. Ferner haben andere Untersuchungen (15) ergeben, dass es Humussäuren gibt, deren Dissoziationskonstante zwischen denjenigen der Essigsäure und Kohlensäure liegt, die man jedenfalls nicht als bedeutungslos ansprechen kann.

Saure wie alkalische Bodenreaktion kann schliesslich durch die Pflanzen selbst hervorgerufen werden, indem diese die Säure oder die Base einer Salzdüngung aufnehmen und so den anderen Teil in Freiheit setzen. Die Pflanzen nehmen bekanntlich nicht die Salze als solche auf, sondern die einzelnen Jonen.

Dass diese physiologische Bodenreaktion für das Pflanzenwachstum von grösster Bedeutung ist, haben bereits KAPPEN (23), KIRSTE (25), MITSCHERLICH (30) und SCHUCKENBERG (39) und andere Forscher durch Vegetationsversuche mit Nährösungen, wie auch mit Böden feststellen können.

II. DIE METHODEN.

Um die Ursachen und Wirkungen der Bodenreaktion zu klären, sind im Laufe

der letzten Jahrzehnte von nahmhaften Forschern zahlreiche Methoden für ihre Bestimmung ausgearbeitet worden.

Man suchte im allgemeinen 3 Größen zu bestimmen: die Wasserstoffionen-Konzentration oder die freien Wasserstoffionen, d.h. die Höhe der Säure, die sich bei gegebener Konzentration in der Lösung befindet, die Titrationsazidität oder die gesamte Säuremenge der Bodenlösung und die Pufferung. Letztere ist die Fähigkeit gewisser Bodensubstanzen, eine Änderung der bestehenden Wasserstoffionen-Konzentration zu erschweren. Die letzte Eigenschaft ist für alle Böden insofern von grösster Bedeutung, als sie dem Boden eine gewisse Stabilität verleiht und ihn somit vor sprunghaften Änderungen seines Aziditätszustandes schützt.

Die Methoden, mit denen man zuerst bestrebt war, die Wasserstoffionen-Konzentration oder seinen negativen Logarithmus, das pH zu bestimmen, waren anfangs rein qualitativer Natur. Die älteste Probe auf Bodensäure ist der Nachweis durch Lakmus, einen Pflanzenfarbstoff, der durch starke Säure rot gefärbt wird.

Als zweite Methode wäre die von TACKE (42) zu nennen. Er verwendete Karbonate; die durch die Bodensäure frei gewordene Kohlensäure sollte den Aziditätsgrad der Bodenlösung liefern.

STUTZER (41) gab einem wässrigen Bodenauszug Jodkalium, jodsaurer Kalium und Stärke hinzu. Die Bodensäure setzt Jodwasserstoff in Freiheit, der von der ebenfalls in Freiheit gesetzten Jodkohle zu Jod reduziert wird, das dann mit Stärke die Blaufärbung gibt.

COMBER (1) wandte eine Lösung von Rhodankali in Alkohol zur Ausschüttelung saurer Böden an, die häufig Eisen in ionisierter Form enthalten. Eisen wird durch Rhodankali rot gefärbt.

Die genannten Methoden waren alle mehr oder weniger qualitativ und konnten daher nur wenig über den Reaktionszustand eines Bodens berichten. Man ging daher zur quantitativen Bestimmung über und suchte den pH-Gehalt des Bodens kolorimetrisch oder elektrometrisch zu bestimmen.

Die kolorimetrische Methode arbeitet mit Indikatoren, das sind Säuren oder Basen, deren Farbnuance durch die H^+ der Lösung verändert wird. Von den kolorimetrischen Methoden sind die von GILLESPIE und WHERRY bekannt und es soll daher nur auf die entsprechende Literatur (1) hingewiesen werden.

Eine kolorimetrische Methode, die die Austauschazidität messen will, ist die HASENBÄUMERSche (1). HASENBÄUMER verwendet als Extraktionsmittel eine 7,5 prozentige Chlorkalium-Lösung und nimmt Methylrot als Indikator. Die Methode ist leider recht ungenau, da das Methylrot nur eine beschränkte Spannweite hat (pH 4,5 - 5,5).

Die kolorimetrische Bestimmung kann man als eine rein relative bezeichnen, denn sie ist in hohem Maße abhängig von der Temperatur, der Zeit der Bestimmung, sowie von der Menge der dazu verwendeten Lösungen.

Als sicherste und genaueste Methode für die Messung der Wasserstoffionen-Konzentration ist unbedingt die elektrometrische anzusehen. Die Standard Methode für diese ist die Messung der elektrometrischen Kraft einer Wasserstoffkonzentrations-Kette. Nähere Angaben über die genannte Methode siehe MICHAELIS (29).

Da diese Methode aber sehr zeitraubend ist, bedeutete die von BIILMANN eingeführte Chinhydrone-Methode einen bedeutenden Fortschritt. Letztere hat wegen ihrer genauen Arbeitsweise, sowie der kurzen Zeit ihrer Bestimmung allgemeine Anerkennung gefunden. Was eine nähere Beschreibung der Methode betrifft, so sei hier auf die entsprechende Literatur (6) (24) hingewiesen.

Über die Bestimmung der Titrationsazidität hat namentlich KAPPEN (24) gearbeitet. Er wollte die Austauschazidität des Bodens bestimmen, indem er ihn mit einer normalen KCl -Lösung aufschlemmte und nachher mit einer Lösung von $\frac{n}{10} \text{ NaOH}$ titrierte. Aus der verbrauchten Menge NaOH berechnete er nun sowohl die Austauschazidität, sowie die zur Neutralisation eines sauren Bodens erforderliche Kalkmenge nach DAIKUHARA.

Während KAPPEN (24) die Austauschazidität nur mittels der Titration zu erfassen glaubt, stellte TRENEL (43) die genannte Aziditätsform in der Weise fest, dass er das pH auf elektrometrischem Wege durch die Chinhydronelektrode bestimmte. Die

Bestimmung erfolgte in Bodenaufschlammungen in einer 0,1 n KCl-Lösung. TRENEL (43) führte ferner vergleichende Versuche zwischen der letztgenannten Methode und der Titration nach DAIKUHARA durch und machte dabei die Feststellung, dass die titrimetrischen und die elektrometrischen Kurven einen parallelen Verlauf nehmen.

Auch NIKLAS und HOCH (32) gelang es, nach zahlreichen Untersuchungen, den Zusammenhang genannter Methoden dahin zu klären, dass bei bestimmten Aziditätsgraden eine Übereinstimmung zwischen Al-Salz, pH und Gesamtäsure vorhanden ist. Ausser der Austauschazidität bestimmt KAPPEN (24) auch die hydrolytische auf dem Wege der Titration, indem er 100 gr Boden mit einer Lösung von 250 ccm normaler Natriumazetat-Lösung ausschüttelt und die freigewordene Essigsäure durch Titration bestimmt. Eine Bestimmung der Wasserstoffionen-Konzentration der Aziditäts-Ausschüttung soll nichts über den Zustand des Bodens besagen, denn da durch die vorhandene überschüssige Natriumazetat-Lösung die Dissoziation der gebildeten Essigsäure stark zurückgedrängt wird, ist der Säuregrad des Filtrates nur wenig vom Neutralpunkt entfernt.

In neuester Zeit suchte man die Titration elektrometrisch durchzuführen. Der betreffende Boden wurde dabei in bestimmten Zeitabschnitten portionsweise mit Lauge versetzt. Nach dem Einfliessen der Lauge wurde jedesmal das pH der Lösung bestimmt. Der Laugezusatz erfolgte so lange, bis die Messung die Erreichung des Neutralpunktes anzeigen.

Als dritte Grösse suchte man die Pufferung eines Bodens zu erfassen, - eine Frage, mit der sich bereits HAAGEM und GAARDER (47, 48) eingehend beschäftigt haben. Desgleichen seien auf diesem Gebiet die Arbeiten von ARRHENIUS (1) und CHRISTENSEN (7) genannt.

ARRHENIUS (1) (3) hat in einer Reihe von Flaschen Böden eingewogen und sie dann mit steigenden Mengen Säure und Lauge beschickt. Am nächsten Tage wurde das pH der Lösungen gemessen, die verbrauchte Menge Säure resp. Lauge pro gr. Trockensubstanz berechnet und die Titrationskurven aufgezeichnet.

CHRISTENSEN (7) führte die Titration mittels HCl und Ca(OH)₂ durch. Bei seinem Verfahren wurde der Überschuss an Ca(OH)₂ stets in CaCO₃ umgewandelt; ausserdem verglich er immer die Titrationslinie eines Bodens mit einer solchen unter gleichen Bedingungen gewonnenen eines völlig pufferfreien Bodens.

Die bisherigen Methoden waren alle chemisch-physikalischer Natur. Einen bedeutenden Fortschritt bedeutete die biologische Azotobaktermethode von CHRISTENSEN. Er suchte mit Hilfe der Azotobakterbakterien den Kalkbedarf eines Bodens zu bestimmen. Was die Beschreibung und Ausführung der Methode anbetrifft, siehe CHRISTENSEN (8).

III. DIE AZIDITÄTS-EMPFINDLICHKEIT DER VERSCHIEDENEN PFLANZEN.

Wenn wir nun die verschiedenen Ursachen der Bodenreaktion, sowie ihre vielseitigen Bestimmungs-Methoden eingehend besprochen haben, so sei hier bei der Einleitung noch auf eine sehr wichtige Frage hingewiesen. Wenn man in den letzten Jahren in der "Bodenäsüre" eine grosse Gefahr für die Landwirtschaft erblickte und im Kalk das allein selig machende Mittel sah, so ging man meistens von der Voraussetzung aus, dass die Pflanzen ihr Wachstumsoptimum bei neutraler Reaktion haben; dass dem nicht der Fall sei, haben eingehende Arbeiten verschiedener Forscher erwiesen:

TRENEL (44) hat in seinen zahlreichen Feldversuchen feststellen können, dass sich das Wachstum unserer Kulturpflanzen bei neutraler bis schwach saurer Reaktion vollzieht. Seine Versuche ergaben für Hafer und Kartoffeln ein Optimum von 5 - 6 pH, für Weizen, Gerste und Zuckerrüben von 6 - 7 pH. Das Optimum von Gerste erwies sich häufig sogar bei 7 - 8 pH. Lupinen wiesen dagegen ein Optimum von 4 - 5 pH auf. Rotklee und Erbsen zeigten unter 6 pH kein günstiges Wachstum mehr.

Nach HASENBÄUMER (12) gedeiht z.B. der Senf nur auf alkalischem bis neutralem Boden. KAPPEN (22) und KIRSTE (25) konnten auf Grund von Vegetations-Versuchen

feststellen, dass auf austauschsaurem Boden die Gerste, die Futterrübe, die Erbse, die Böhne, die Luzerne und der Senf nicht imstande waren, die Nährstoffe der physiologisch sauren Düngung auszunutzen, dabei zeigten sich charakteristische Symptome einer Aziditätsschädigung, wie Flecken auf den Blättern bei der Erbse, Blattrandveränderungen beim Senf, Gelbspitzigkeit bei der Gerste usw., während Hafer, Roggen, Seradella, Lupine und Kartoffeln imstande sind, die ihnen mit dieser Düngung gebotenen Nährstoffe auch bei unbeseitigter Azidität voll auszunutzen. KAPPEN (22) konnte ferner, wie bereits erwähnt, beobachten, dass die Luzerne, die Erbse und der Senf sogar bei hydrolytischer Azidität geschädigt wurden, somit sehr säureempfindlich sind.

HILTNER (14) fand, dass Gerste, Weizen und Luzerne bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion am besten wachsen, während Roggen, Hafer und Kartoffeln eine saure Reaktion bevorzugen.

Auch ARRHENIUS (1) (2) stellte fest, dass unsere Kulturpflanzen eine verschiedene Bodenreaktion bevorzugen und fand dabei, dass sie zwei Optima haben, eins auf alkalischem und eins auf saurem Gebiet und gibt dafür als Erklärung an, dass die Pflanze sowohl von H-Jonen, wie auch OH-Jonen beeinflusst wird. Die zweigipfligen Kurven werden dagegen von OLSEN (34) bestritten - seine Säureversuche zeigen keine Tendenz zu zwei Optima.

Da ARRHENIUS nur mit künstlich angesäuerten Böden arbeitet, OLSEN dagegen natürliche Böden zu seinen Versuchen verwendet, haben die Resultate des letzteren, da sie den natürlichen Verhältnissen des Pflanzenwachstums mehr entsprechen, ohne Frage mehr Wahrscheinlichkeit.

Wir können somit in bezug auf ihre Aziditätsempfindlichkeit unsere Kulturpflanzen in 2 Gruppen teilen: Der Hafer, der Roggen, die Lupine, die Seradella und die Kartoffel werden wir zu den säureliebenden Pflanzen zu rechnen haben, den Weizen, die Gerste, die Rübe, die meisten Leguminosen und vor allem den Senf zu den säureempfindlichen Pflanzen.

Bei der Anstellung eines jeden Vegetationsversuches zur Erforschung der Bodenreaktion - denn nur die Pflanze selbst kann über den Reaktionszustand eines Bodens Auskunft geben - werden wir der verschiedenen Aziditätsempfindlichkeit unserer Kulturpflanzen in hohem Grade Rechnung tragen müssen.

B. SPEZIELLER TEIL.

I. DER VEGETATIONSVERSUCH.

Die bisherigen Arbeiten, durch Anstellung von Vegetationsversuchen den "Säuregrad" oder vielmehr die Reaktion eines Bodens zu erfassen und somit die ganze Aziditätsfrage zu lösen, konnten leider nicht zum erwünschten Ziele führen. Die meisten Forscher haben diesbezügliche Untersuchungen meist in Wasser und Sandkulturen ausgeführt. Wenn den auf diese Weise gewonnenen Ergebnissen ein gewisser Wert auch nicht abzusprechen ist, so muss doch diese Methode als unzureichend bezeichnet werden, da sie von den natürlichen Verhältnissen zu sehr abweicht. Nur Vegetationsversuche mit Boden können uns zum Ziele führen. Aber auch in dieser Hinsicht können die bisherigen Ergebnisse nicht als völlig befriedigend bezeichnet werden. Man hat sich meist auf einen, höchstens zwei bis drei Böden, beschränkt und meinte, aus den gefundenen Resultaten bereits gewisse Schlüsse ziehen zu können.

Es soll an dieser Stelle nicht abgestritten werden, dass zwischen den Ergebnissen der wenigen Böden und der dabei angewandten Methoden eine Übereinstimmung zu erzielen war, es muss aber zum mindesten als fraglich erscheinen, ob die Methoden auch für eine grössere Anzahl von Böden Giltigkeit haben würden. Es muss unbedingt eine grössere Zahl verschiedenster Bodenarten zur Untersuchung herangezogen werden, sonst können wir leicht zu Fehlschlüssen kommen.

Wir haben daher zu unseren Vegetationsversuchen 51 verschiedene Bodenarten herangezogen, 50 der Böden stammen von verschiedenen Gütern Ostpreussens und wurden als besonders "säureverdächtig und kalkbedürftig" zur Untersuchung zugeschickt

Zu einem Versuch wurde der Gartenboden des hiesigen landwirtschaftlichen Instituts als ausgesprochen alkalischer Boden verwendet.

Die entsprechenden Böden wurden gleich nach ihrem Eintreffen auf ihren Säuregehalt kolorimetrisch nach WHERRY untersucht. Sie erwiesen sich alle nach der genannten Methode als stark alkalisch bis auf den Mooroden vom Gute Bledau, der sauer 6,6 pH reagierte.

Für den Vegetationsversuch setzten wir für jeden Boden 8 Gefässer an - also im Ganzen 408 Gefässer. Wir verwendeten solche aus emailliertem Eisenblech, bei einem Durchmesser von 20 ccm und einer Höhe von 20 ccm. Eine nähere Beschreibung der Gefässer siehe MITSCHERLICH (31). Um eine Stagnation des Wassers in den Gefässen zu vermeiden, was leicht zu Säure-Erscheinungen führen und somit den ganzen Versuch unbrauchbar machen würde, hatten die Gefässer einen durchlöcherten Boden, um überschüssiges Wasser abziehen zu lassen. Da aber andererseits mit dem Wasser gleichzeitig Nährstoffe ausgewaschen werden, wurde das Wasser in darunter befindlichen Untersätzen aufgefangen und beim nächsten Giessen dem Boden zurückgegeben. Um endlich die Löcher vor Eisenrost zu schützen, wurden sämtliche Gefässer paraffiniert. Aus Mangel an Gefässen mussten wir für einen Boden, für den Boden Schwenkendorf, glasierte Tongefässer verwenden.

Alle Gefässer, welche zu einem vergleichenden Versuch herangezogen wurden, also je 8 Gefässer, waren dann durch Einlegen von Quarzsteinen auf das gleiche Gewicht gebracht. Der Boden wurde vor dem Einfüllen durch ein 1 ccm weites Maurersieb durchgesiebt, dann durchgeschaufelt, um einen gleichmässigen physikalischen Zustand zu erreichen. Danach wurden von jedem auf seinen Reaktionszustand zu untersuchenden Boden für je 8 Gefässer gleiche Gewichtsmengen Boden auf einer Dezimalwaage abgewogen und mit der entsprechenden Düngung versehen.

Von den 8 Gefässen wurde die Hälfte, also 4, alkalisch bzw. physiologisch alkalisch und 4 sauer bzw. physiologisch sauer gedüngt. Von den alkalisch gedüngten erhielt jedes Gefäß 3 gr Kaliumsulfat, 6,25 gr Natronsalpeter und 6 gr Thomasmehl; die sauer gedüngten erhielten ebenfalls je Gefäß 3 gr Kaliumsulfat, ferner 5 gr schwefelsaures Ammoniak und 6 gr Superphosphat, letzteres wegen freier H_2SO_4 als sauer angenommen; außerdem erhielt jedes Gefäß noch 1/2 gr Kochsalz, um den Wirkungswert des Kalis zu erhöhen. Die Düngemittelmenge wurde absichtlich so hoch gegeben, um mögliche Schädigungen aus Nährstoffmangel auszuschalten. Einer Düngung mit Kaliumsulfat wurde vor einer KCl-Düngung der Vorzug gegeben, da bekanntlich die frei werdende Schwefelsäure sich mit Kalk zu dem schwer löslichen Gips verbindet und somit festgelegt wird, während das Cl-Ion des KCl sich mit dem Ca-Ion zu $CaCl_2$ umsetzt, welches wasserlöslich ist und zu einer Entkalkung des Bodens führen kann. Von den Düngemitteln wurde Thomasmehl in fester Form, alle übrigen in Lösungen gegeben.

Als Versuchspflanzen wählten wir Hafer - eine ausgesprochen säureliebende Pflanze - und weissen Senf (*Sinapis alba*), der bekanntlich sehr säureempfindlich ist, und zwar wurde vor jedem Versuch die Hälfte der alkalisch sowie der sauer gedüngten Gefässer mit Hafer, die andere Hälfte mit Senf besät. Da die Pflanzen außerdem einen geringen Standraum beanspruchen, wir somit die Möglichkeit haben, eine grosse Anzahl von Individuen auf ein Gefäß zu setzen und somit die durch die Individualität der Pflanze hervorgerufenen Versuchsfehler auszuschalten, andererseits sie wenig unter Pflanzenkrankheiten leiden und in verhältnismässig kurzer Vegetationszeit sichere Erträge geben, so schien uns die Wahl dieser Pflanzen als Indikatoren besonders geeignet. Die Aussaat erfolgte nach dem Eintreffen und Füllen der Böden. Auf ein Gefäß kamen ca. 50 Körner. Ungefähr 10 Tage nach Aufgang der Saat wurden die Gefässer auf 35 Pflanzen verzogen.

Das Schwierigste und gleichzeitig Wichtigste bei Anstellung der Versuche war die Regulierung des Wassergehalts der Böden. Solange die Pflanzen noch aufschossen, genügte ein Besprengen der Saat, sobald aber die Pflanzen grösser wurden, ihre Ansprüche an das Bodenwasser somit stiegen, geschah die Regulierung mittels der Wage. Da wir vor dem Einfüllen unsere Gefässer durch tarieren auf ein uns bekanntes gleiches Gewicht gebracht haben und ferner für jeden Versuch die gleiche Boden-

Menge eingefüllt haben, konnte die Wassermenge leicht berechnet werden. Gleich nach dem Verziehen der Pflänzchen wurde gewichtsmässig gegossen. Erst zu 50% der Wasserkapazität. Von Woche zu Woche wurde die Wasserkapazität gesteigert, sodass zur Zeit, als der Hafer und der Senf zu schossen begannen, die Gefäße bei voller Wasserkapazität gehalten wurden, wobei jedes Gefäß so lange gegossen wurde, bis H₂O durchlief. Um die Nährstoffmenge konstant zu halten, wurde jeden Tag die durchgelaufene Wassermenge aus dem Untersatz zurückgegeben. Bei Regentagen unterblieb das Giessen, bei sehr heissen Tagen musste zweimal gegossen werden. Gegen Ende der Vegetationszeit wurde weniger gegossen, ja, vor der Ernte wurden die Gefäße eine Woche vollkommen trocken gestellt.

Um einen Überblick über die physiologischen Erscheinungen, die wir während der Vegetationszeit an unseren Versuchen beobachten konnten, zu geben, sollen die Ergebnisse an den einzelnen Böden besprochen werden.

1. Schwengels.

Aussaat: 7. V. 1925. Die Pflanzen kamen normal auf. Der Hafer zeigte in den ersten 10 Tagen keine Reaktion. Der Senf zeigte bereits nach 2 - 4 Tagen ein wesentlich besseres Wachstum auf saurer Düngung. Am 19. Mai wurde der Hafer, am 23. Mai der Senf verzogen. Am 7. Juni trat eine Verschlechterung des Hafers auf alkalischer Düngung ein. Am 24. Mai erlitt der Senf eine Wachstumsstörung, sowohl auf alkalischer, wie auf saurer Düngung: die Blätter verfärbten sich, wurden gelb und ihre Ränder trockneten ein. Am 11. Juni leichte Besserung und Blüte. Der Hafer wurde am 11. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

2. Alt-Grünwalde.

Aussaat: 7. V. 1925. Die Pflanzen kamen normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 20. Mai verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktions-Erscheinungen. Der Senf zeigte anfangs einen besseren Stand auf saurer Düngung. Vom 7. Juni an trat ein gleicher Stand auf allen Gefäßen ein. Der Hafer wurde am 11. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

3. Alt-Grünwalde V.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Pflanzen kamen normal auf. Der Hafer wurde am 19. 5., der Senf am 20. Mai verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktion. Der Senf stand anfangs auf saurer Düngung besser, seit dem 7. Juni jedoch war keine Reaktion zu beobachten. Der Hafer wurde am 11. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

4. Gr. Gnie IV.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Pflanzen kamen normal auf. Der Hafer wurde am 19. 5., der Senf am 20. 5. verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktion. Der Senf wies erst ein besseres Wachstum auf saurer Düngung auf. Am 21. Juni gleicher Stand auf allen Gefäßen, leichte Verschlechterung am 10. Juli auf der sauren Düngung. Die Ernte des Hafers erfolgte am 11. 8. 25, des Senfs am 3. 8. 25.

5. Gr. Gnie III.

Aussaat: 7. 5. 25. Der Aufgang der Pflanzen war normal. Der Hafer wurde am 19. 5., der Senf am 20. 5. verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, seit dem 7. Juni eine leichte Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf wuchs erst besser auf saurer Düngung, seit dem 7. Juni zeigte er jedoch keine Reaktionsercheinungen mehr. Der Hafer wurde am 31. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

6. Gr. Gnie I.

Aussaat: 7. 5. 25. Der Aufgang der Pflanzen war normal. Der Hafer wurde am

19. 5., der Senf am 20. Mai verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, mit dem 7. Juni eine Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf zeigte anfangs ein besseres Wachstum auf saurer Düngung, am 30. Juni einen gleichen Stand auf allen Gefäßen, seit dem 24. Juli eine leichte Schädigung auf saurer Düngung. Die Ernte des Hafers erfolgte am 11. 8. 25, des Senfs am 3. 8. 25.

7. Gr. Gnie II.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer wurde am 20. 5. verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, seit dem 13. Juni eine Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf zeigte erst auf saurer Düngung ein günstigeres Wachstum, am 21. Juni trat ein gleicher Stand auf allen Gefäßen ein. Die Ernte des Hafers erfolgte am 11. 8. 25, die des Senfs am 3. 8. 25.

8. Gr. Gnie V.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 20. Mai verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, seit dem 29. Mai eine Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf zeigte nach anfänglich besserem Wachstum auf saurer Düngung seit dem 7. Juni keine Reaktions-Erscheinungen mehr. Der Hafer wurde am 11. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

9. Podollen Schlag VI.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 20. Mai verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, seit dem 10. Juli eine Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf wies von Anfang an auf saurer Düngung ein besseres Wachstum auf. Der Hafer wurde am 11. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

10. Fuchshöfen Koggen.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, am 7. Juni bereits eine starke Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf hatte erst ein besseres Wachstum auf saurer Düngung. Am 31. Mai trat jedoch auf den sauer gedüngten Gefäßen eine starke Schädigung ein. Ende Juni trat eine leichte Besserung und Blüte ein. Die Ernte des Hafers erfolgte am 11. 8. 25, die des Senfs am 3. 8. 25.

11. Kukehnen.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 20. Mai verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, mit dem 7. Juni eine Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf zeigte anfangs ein besseres Wachstum auf saurer Düngung, am 7. Juni einen gleichen Stand auf allen Gefäßen, seit dem 21. 6. eine deutliche Schädigung auf saurer Düngung. Der Hafer wurde am 11. 9. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

12. Gr. Klingbeck 1 - 2.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 23. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion, am 3. Juni bereits eine recht erhebliche Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf hatte von Anfang an auf saurer Düngung ein besseres Wachstum. Der Hafer wurde am 12. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

13. Gr. Klingbeck 3 - 4.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf

am 21. Mai verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktion. Der Senf zeigte von Anfang an auf saurer Düngung ein weit besseres Wachstum. Die Senfgefässe haben teilweise unter Nematoden gelitten. Der Hafer wurde am 12. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

14. Kl. Weissensee.

Aussaat: 7. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer stand anfangs auf allen Gefässen gleich. Am 7. Juni wies er bereits eine erhebliche Schädigung auf alkalischer Düngung auf. Der Senf stand von Anfang an auf saurer Düngung besser. Der Hafer wurde am 12. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

15. Trömpau Acker.

Aussaat 7. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 23. Mai verzogen. Der Hafer zeigte während der ganzen Vegetationszeit keine Reaktion. Der Senf zeigte von Anfang an auf saurer Düngung ein besseres Wachstum, später, am 28. Juni trat jedoch eine Schädigung ein. Der Hafer wurde am 12. 8. 25 der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

16. Trömpau: Wiese.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 21. Mai verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktion. Der Senf wies auf den sauer gedüngten Gefässen anfangs ein besseres Wachstum auf, seit dem 12. Juni einen gleichen Stand auf allen Gefässen. Der Senf lieferte Höchsterträge. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 3. 8. 25 geerntet.

17. Augustupönen IIb: am Bruch.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 26. Mai verzogen. Der Hafer, sowie der Senf wiesen auf alkalischer Düngung eine deutliche Schädigung auf. Der Hafer wurde von der schwarzen Blattlaus (*Aphis Viciae*), die durch Besprengen mit Parasitol beseitigt wurde, sowie von dem Getreideblasenfuss (*Thrips cerealium*) befallen. Die Ernte des Hafers erfolgte am 12. 8. 25, des Senfs am 3. 8. 25.

18. Augustupönen Weide am Vorwerk.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 21. Mai verzogen. Der Hafer, sowie der Senf wiesen eine deutliche Schädigung auf den alkalisch gedüngten Gefässen auf. Die Schädigung trat am 7. Juni ein. Der Hafer wurde am 12. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

19. Augustupönen: Weideschlag am Hof.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 23. Mai verzogen. Der Hafer war anfangs auf alkalischer Düngung geschädigt, gegen Ende der Vegetation trat jedoch ein gleicher Stand auf allen Gefässen ein. Der Senf zeigte eine deutliche Schädigung auf alkalischer Düngung. Die Ernte des Hafers erfolgte am 12. 8. 25., die des Senfs am 4. 8. 25.

20. Wargenau: Schlag 9.

Aussaat: 8. 5. 25. Aufgang der Saat war normal. Der Hafer zeigte keine Reaktion. Der Senf wies anfangs auf saurer Düngung einen besseren Stand auf, am 28. Mai trat jedoch hier eine starke Schädigung ein. Die Blätter wurden gelb, vertrockneten und die Pflanzen drohten einzugehen. Am 1. Juli geringe Besserung und

Blüte. Die Ernte des Hafers erfolgte am 12. 8. 25, die des Senfs am 4. 8. 25.

21. Wargenau Hipp.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 23. Mai verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktionserscheinungen. Der Senf wies erst auf saurer Düngung ein besseres Wachstum auf. Am 28. Mai trat jedoch hier eine starke Gelbfärbung der Blätter und Wachstumsstörung ein. Am 8. Juni war die Schädigung auf saurer Düngung bereits sehr stark. Am 1. Juli trat eine Besserung und Blüte ein. Der Hafer wurde am 12. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

22. Wargenau Kaderdamm.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 21. Mai verzogen. Der Hafer wies keine wesentlichen Reaktions-Erscheinungen auf. Der Senf zeigte auf saurer Düngung erst einen besseren Stand, am 8. Juni trat jedoch eine Gelbfärbung der Blätter ein, am 11. Juli eine leichte Schädigung. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

23. Wargenau Schlag 1.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion, am 27. Mai bereits eine gewisse Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf stand erst auf saurer Düngung besser, am 28. Mai trat jedoch hier eine starke Gelbfärbung der Blätter ein, am 7. Juni bereits eine sehr starke Schädigung, am 20. Juni eine leichte Besserung und Blüte. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

24. Wargenau Michelau IV.

Aussaat: 8. 5. 25. Aufgang der Saat war normal. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 21. Mai verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktion. Der Senf wies erst auf saurer Düngung ein besseres Wachstum auf. Am 31. Mai trat hier jedoch eine Gelbfärbung der Blätter ein. Am 7. Juni war die Schädigung des Senfs auf saurer Düngung sehr stark. Am 20. Juni leichte Besserung und Beginn der Blüte. Der Hafer wurde am 18. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

25. Quanditten Palve I.

Aussaat: 8. 5. 25. Der Aufgang der Saat war normal. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 23. Mai verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, am 24. Juni aber eine starke Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf zeigt erst auf saurer Düngung ein besseres Wachstum, am 6. Juni trat jedoch eine starke Schädigung des Senfs auf saurer Düngung ein. Der Senf hat etwas unter dem Erdfloh gelitten. Die Ernte des Hafers erfolgte am 13. 8. 25, die des Senfs am 4. 8. 25.

26. Quanditten VIII.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19., der Senf am 23. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion, am 29. Mai trat dagegen eine deutliche Schädigung auf alkalischer Düngung auf. Der Senf zeigte anfangs auf saurer Düngung ein besseres Wachstum, am 3. Juni wurden die Blätter jedoch fleckig, am 12. Juni war der Senf auf saurer Düngung bereits erheblich geschädigt. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

27. Quanditten-Taplacken 7.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der

Senf am 23. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion; am 7. Juni traten jedoch erhebliche Schädigungen auf alkalischer Düngung auf. Der Senf zeigte erst auf saurer Düngung ein besseres Wachstum, seit dem 4. Juni jedoch einen gleichen Stand auf allen Gefäßen. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

28. Quanditten -Taplacken 3.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 21. Mai verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, am 7. Juni jedoch eine deutliche Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf wies erst auf saurer Düngung ein besseres Wachstum auf. Am 7. Juni trat hier jedoch eine bedeutende Schädigung ein. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 4. 8. 25 geerntet.

29. Höckendorf.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 21. Mai verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktion, am 29. Mai jedoch eine Wachstumsverzögerung, am 29. Juni eine starke Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf wies erst auf saurer Düngung ein besseres Wachstum auf, später jedoch einen gleichen Stand auf allen Gefäßen. Die Ernte des Hafers erfolgte am 13. 8. 25, die des Senfs am 4. 8. 25.

30. Kl. Falkenau.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf, der Hafer wurde am 19. Mai, der Senf am 21. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion. Am 29. Mai traten bereits starke Schädigungen auf der alkalischen Düngung auf, auch der Senf war von Anfang an auf der alkalischen Düngung erheblich geschädigt. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

31. Bledau - Schulstein.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer wurde am 22. Mai, der Senf ebenfalls am 22. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion, am 7. Juni war er bereits auf alkalischer Düngung etwas geschädigt. Der Senf zeigte auf saurer Düngung von Anfang an ein etwas besseres Wachstum. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

32. Bledau - Wiskiauten Schlag 7.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer sowie der Senf wurden am 22. Mai verzogen. Der Hafer wies anfangs keine Reaktions-Erscheinungen auf, seit dem 24. Juli eine Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf zeigte erst auf saurer Düngung ein besseres Wachstum, am 6. Juni einen gleichen Stand auf allen Gefäßen, mit dem 24. Juli jedoch eine leichte Schädigung. Die Ernte des Hafers erfolgte am 13. 8. 25, die des Senfs am 8. 8. 25.

33. Bledau Küchengarten.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Die Pflanzen wurden am 22. Mai verzogen. Der Boden verhielt sich in seinen Reaktions-Erscheinungen genau wie der vorige Boden.

34. Bledau Wiskiauten Schlag 9.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer sowie der Senf wurden am 22. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion, mit dem 4. Juni eine leichte Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf wies während der ganzen Vegetation

tationszeit auf den sauer gedüngten Gefäßen ein besseres Wachstum auf. Die Ernte des Hafers erfolgte am 13. 8. 25, des Senfs am 6. 8. 25.

35. Bledau-Darienen.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer wies anfangs keine Reaktion auf, mit dem 4. Juni jedoch eine leichte Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf stand anfangs besser auf saurer Düngung, am 6. Juni war das Wachstum auf allen Gefäßen gleich, am 25. Juni trat jedoch auf saurer Düngung eine deutliche Schädigung ein. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

36. Bledau-kl. Kichengarten.

Probe im Frühjahr.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer sowie der Senf wurden am 22. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktionen, wies jedoch seit dem 7. Juni eine leichte Schädigung auf alkalischer Düngung auf. Der Senf stand anfangs besser auf saurer Düngung, seit dem 7. Juni trat ein ziemlich gleicher Stand auf allen Gefäßen ein. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

37.

Probe im Herbst.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer, sowie der Senf wurden am 22. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion, seit dem 7. Juni jedoch eine Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf wies von Anfang an auf den sauer gedüngten Gefäßen ein besseres Wachstum auf. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

38. Bledau-Schlag I.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer sowie der Senf zeigte zuerst keine Reaktion, während des Schossens eine geringe Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf hatte erst auf saurer Düngung einen besseren Stand, seit dem 8. Juni einen gleichen Stand auf allen Gefäßen. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

39. Bledau-Schlag 7.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer sowie der Senf wurden am 22. Mai verzogen. Der Hafer zeigte anfangs keine Reaktion, am 7. Juni trat jedoch eine deutliche Schädigung auf alkalischer Düngung ein. Der Senf wies zu Beginn der Vegetation einen besseren Stand auf saurer Düngung auf, am 4. Juni einen gleichen Stand auf allen Gefäßen, am 27. Juni bereits eine erhebliche Schädigung auf saurer Düngung. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

40. Grüneberg I.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer sowie der Senf wurden am 22. Mai verzogen. Der Hafer zeigte während der ganzen Vegetationszeit keine Reaktions-Erscheinungen. Der Senf stand erst besser auf der sauren Düngung; am 7. Juni jedoch trat hier bereits eine erhebliche Schädigung ein, die während der Vegetationszeit stark zunahm. Ende Juni leichte Besserung und Blüte. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

41. Grüneberg II.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Die Pflanzen wurden am 22. Mai

verzogen. Dieser Boden verhielt sich in seinen Reaktions-Erscheinungen genau so wie der vorige Boden

42. Liebwalde.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Die Pflanzen wurden am 22. Mai verzogen. Dieser Boden verhielt sich in seinen Reaktions-Erscheinungen, wie die vorherigen Böden Grüneber, I und Grüneberg II.

43. Stagutschen.

Aussaat: 8. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer, sowie der Senf wurden am 22. Mai verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktion während der ganzen Vegetationszeit. Der Senf stand erst auf saurer Düngung etwas besser, am 7. Juni hatte er einen gleichen Stand auf allen Gefäßen, seit dem 23. Juni eine leichte Schädigung auf saurer Düngung. Der Hafer wurde am 13. 8. 25, der Senf am 6. 8. 25 geerntet.

44. Heinrichau: Lehmkuppen.

Aussaat: 19. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer sowie der Senf wurden am 2. Juni verzogen. Der Hafer wies keine Reaktions-Erscheinungen auf. Der Senf stand erst besser auf saurer Düngung, mit dem 7. Juni hatte er einen gleichen Stand auf allen Gefäßen. Ende der Vegetationszeit jedoch eine leichte Schädigung auf saurer Düngung. Die Ernte des Hafers erfolgte am 21. 8. 25, die des Senfs am 21. 8. 25.

45. Heinrichau: grauer Boden.

Aussaat: 19. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer und Senf wurden am 3. Juni verzogen. Der Hafer zeigte keine deutliche Reaktion. Der Senf zeigte von Anfang an ein besseres Wachstum auf saurer Düngung. Die Ernte erfolgte am 21. 8. 25.

46. Fuchshöfen - Morgehnien.

Aussaat: 19. 5. 25. Die Saat ging normal auf. Der Hafer sowie der Senf wurden am 3. Juni verzogen. Der Hafer zeigte erst keine Reaktions-Erscheinungen, seit dem 19. Juli jedoch eine leichte Schädigung auf alkalischer Düngung. Der Senf hatte erst ein besseres Wachstum auf saurer Düngung, am 18. Juni trat hier jedoch eine Schädigung ein, die während der Vegetationszeit stark zunahm. Ernte: am 21. 8. 25.

47. Bledau: Schlag VIII.

Aussaat: 26. 5. 25. Die Saat kam gut auf. Die Pflanzen wurden am 11. Juni verzogen. Der Hafer zeigte keine Reaktions-Erscheinungen während der ganzen Wachstumsperiode. Der Senf wies von Anfang an auf den sauer gedüngten Gefäßen ein besseres Wachstum auf, auf den alkalisch gedüngten war er dagegen im Ertrag etwas gedrückt. Die Ernte erfolgte am 21. 8. 25.

48. Bledau: Moor.

Aussaat: 29. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Die Pflanzen wurden am 12. Juni verzogen. Der Hafer zeigte zu Beginn der Vegetationszeit keine Reaktions-Erscheinungen; da er bereits Ende Juni durch die Fritfliege (*Oscinis frit*) befallen wurde, musste auf eine weitere Beobachtung der Reaktions-Erscheinungen leider verzichtet werden. Der Senf schien zu Beginn der Vegetation gegen die saure Düngung etwas empfindlich zu sein. Die Empfindlichkeit schwand jedoch während der Vegetationszeit; zum Schluss derselben waren die Senferträge auf saurer Düngung bereits

etwas höher als die auf den alkalisch gedüngten Gefässen. Die Ernte erfolgte am 21. 8. 25.

49. Kieselkehmen.

Aussaat: 29. 5. 25. Die Saat kam normal auf. Der Hafer und der Senf wurden am 13. Juni verzogen. Der Hafer zeigte zu Beginn der Vegetationszeit keine Reaktions-Erscheinungen. Ende Juni wurden alle Hafergefäße durch die Fritfliege b. fallen. Am 2. Juni trat auf allen Hafergefäßen, auf den alkalisch wie sauer gedüngten die Dörrfleckenkrankheit auf. Am 3. Juli verabfolgten wir je einem Gefäß von der alkalischen wie sauren Reihe je 0,2 gr Mangansulfat in Lösung. Um die Entwicklung der Krankheit besser beobachten zu können und ihre möglichen Ursachen zu studieren, hielten wir es für ratsam, auch die entsprechenden Senfgefäße mit je 0,2 gr Mangansulfat zu versehen, obwohl der Senf keinerlei Krankheits-Erscheinungen zeigte. Die mit Mangansulfat behandelten Gefäße erholten sich bald. Das Mangansulfat wirkte auf den Senf wachstumsfördernd. Die Ernte der Gefäße fand Ende August statt.

50. Gartenböden vom Institut.

Aussaat: 30. 5. 25. Die Pflanzen wurden am 12. Juni verzogen. Der Hafer zeigte zu Beginn der Vegetation keine Reaktion. Am 28. Juni trat bei allen Hafergefäßen auf alkalischer, wie saurer Düngung die Dörrflecken-Krankheit auf; durch sie waren die sauer gedüngten erheblich geschädigt. Am 3. Juli versahen wir die Hälfte der Gefäße mit je 0,2 gr Mangansulfat in Lösung. Wir gingen bei der Behandlung genau wie beim vorigen Boden vor, indem wir auch die Hälfte der Senfgefäße düngten, die keine Krankheits-Erscheinungen zeigten. Die Hafergefäße, die mit Mangansulfat versehen waren, erholten sich bald und entwickelten ein normales Wachstum, die nicht gedüngten Gefäße dagegen blieben schwer geschädigt. Mangansulfat wirkte auf den Senf stark wachstumsfördernd. Die Ernte fand Ende August statt.

51. Schwenkendorf.

Aussaat: 5. 6. 25. Der Hafer zeigte auf alkalische Düngung ein normales Wachstum, auf saurer Düngung traten typische Aziditäts-Erscheinungen auf, zu einer Ahrenbildung kam es nicht mehr. Der Senf war bereits auf alkalischer Düngung geschädigt, auf den sauer gedüngten Gefäßen kam er überhaupt nicht mehr auf.

Die Ernte auf unseren Gefäßen erfolgte Mitte August bis Anfang September. Beim Senf wurde Korn und Stroh zusammen, beim Hafer getrennt geerntet. Die Ernte wurde im Trockenschrank bei 100° getrocknet und nachher gewogen. Die Ernteergebnisse sind in gr. Trockensubstanz in der Tabelle I angegeben.

Eine Betrachtung der physiologischen Erscheinungen auf unseren Gefäßen lässt folgendes als bemerkenswert erscheinen. Der Hafer und der Senf erwiesen sich in den ersten 14 Tagen auf allen Böden mit Ausnahme des Bodens 51, eines stark sauren Sandbodens, als unempfindlich gegen jede Bodenreaktion. Es handelte sich wohl um ein bestimmtes Pufferungsvermögen der Pflanzen selbst, einer Befähigung der Neutralisation der auf sie einwirkenden Säuren und Basen. Schon PRJANISCHNIKOW (35) machte die Beobachtung, dass die Lupinenpflanzen in einer schwachprozentigen H_2SO_4 -Lösung nach zehntägigem Wachstum die Säure durch Ausscheidung von Ammoniak zu neutralisieren vermögen.

KRULL (28) konnte bei seinen Versuchen mit Keimlingen ein gleiches Neutralisations-Vermögen gegen Basen beobachten, wobei er als Ursache die von den Pflanzenwurzeln ausgeschiedene Kohlensäure annahm. Bemerkenswert war ferner, dass während der Hafer sowohl auf saurer, wie alkalischer Düngung keine Unterschiede aufwies, zeigte der Senf auf den sauer gedüngten Gefäßen erst ein üppigeres Wachstum, somit scheint das Neutralisationsvermögen bei jungen Senfpflanzen gegen Alkali geringer zu sein, als gegen Säure.

Auch TRENEL (44) beobachtete bei jungen Pflanzen eine grösere Empfindlichkeit

gegen alkalische Reaktion, als gegen schwach saure. Die grössten Vergiftungsscheinungen traten erst zur Zeit des Schossens auf, also während der grössten Nährstoff-Aufnahme, um später während der Zeit der Reife wieder abzunehmen. Die Erklärung wäre folgende: Mit der grössten Nährstoff-Aufnahme werden durch die physiologische Tätigkeit der Pflanzen auch am meisten Säuren und Basen aus den Dingesalzen befreit, die bei einer bestimmten Konzentration von den Pflanzen nicht mehr neutralisiert werden können und falls sie nicht vom Boden selbst abgepuffert werden, zu Vergiftungs-Erscheinungen führen müssen. Während der Vegetation nimmt die physiologische Tätigkeit der Pflanzen ab, die nunmehr geringe Menge freier Säuren und Basen wird abgepuffert, was einen Rückgang der Schädigung zur Folge hat.

Aus den Beobachtungen war ferner zu ersehen, dass die meisten Böden um den physiologischen Neutralpunkt schwanken. Die Zahl der physiologisch sauren Böden war verhältnismässig gering. Als sehr stark sauer und somit sehr kalkbedürftig hat sich nur einer (Nr. 51) erwiesen.

Die Schädigungen, die unsere Versuche durch tierische Schädlinge erlitten haben, waren verhältnismässig nicht von grosser Bedeutung. Der Hafer war auf einigen Gefässen von der Fritfliege (*Oscinis frit*) und der Blumenfliege (*Hylemyia coarcata*) befallen, ein Gefäss hat auch unter dem Getreideblasenfuss (*Thrips cerealium*) und der schwarzen Blattlaus (*Aphis Viciae*) gelitten. Der Senf war auf einigen Gefässen vom Erdfeind leicht geschädigt.

Wie bereits früher erwähnt, trat beim Hafer auf 2 Böden (Nr. 49 und 50) die Dörrflecken-Krankheit auf, die man im allgemeinen auf eine stark alkalische Reaktion des Bodens zurückzuführen glaubt. Bemerkenswert war, dass die Krankheitsscheinung gleichzeitig bei alkalischer wie saurer Düngung auftrat, und zwar war die Schädigung durch sie auf saurer Düngung erheblich grösser. Eine Behandlung mit Mangansulfat wirkte nicht nur beim Hafer, sondern auch beim Senf, der nicht erkrankt war, ertragsteigernd. Besonders auf den sauer gedingten Gefässen wirkte das Mangansulfat sehr günstig. Nach unseren Beobachtungen dürfte daher die Dörrfleckenkrankheit keine Reaktions-Erscheinung sein, wie HUDIG (8) annimmt. Auch eine Stimulation nach HILTNER (13) erscheint als wenig wahrscheinlich, sondern es dürfte sich vielmehr um eine Nährstoff-Frage handeln.

II. DIE UNTERSUCHUNGSMETHODEN.

Neben dem Vegetationsversuch wurden die Böden auf ihre Reaktion hin kolorimetrisch, wie elektrometrisch bestimmt. Die kolorimetrische Bestimmung erfolgte nach der Methode von WHERRY, die elektrometrische durch die Chinhydronelektrode nach BIILMANN. Es wurde dabei jedesmal das pH oder die Wasserstoffionen-Konzentration festgestellt. Ferner bestimmten wir dieselbe nach der Vegetationszeit in den einzelnen Gefässen, sowie die Pufferwirkung der einzelnen Böden.

Um noch der mit der Bodenreaktion so eng verbundenen Kalkfrage näher treten zu können, hielten wir es für notwendig, die biologische Azotobakter-Methode von CHRISTENSEN (8), sowie die Salzsäureprobe heranzuziehen.

a) Die kolorimetrische Bestimmung.

Wie eben erwähnt, wurden die zum Vegetationsversuch verwendeten Böden vor der Versuchsanstellung kolorimetrisch nach WHERRY bestimmt. Als Vergleichsscala für die Farbumschläge diente die Skala von CLARK. Wir bestimmten die aktive Azidität oder die Wasserstoffionen-Konzentration nur in wässriger Lösung. Von einer Behandlung mit einer KCl-Lösung wurde abgesehen, da bekanntlich der Farnton eines Indikators nicht nur von den Wasserstoffionen allein sondern auch in erheblichem Masse von den Ionen der KCl-Lösung beeinflusst wird. Bei der Auskittlung der Böden mit KCl wird eine molare Konzentration dieses Salzes verwendet, also eine erhebliche Konzentration - die hierbei entstehenden Salzfehler täuschen eine ganz andere pH-Zahl vor, als die Lösung in Wirklichkeit hat: Für eine Bestimmung kamen nur Filtrate in Betracht, da ja das Vorhandensein klarer Lösungen bei Beurteilung

des Farbenumschlags Bedingung ist, während bei Bodenaufschämmungen die schwefeligen Erdpartikelchen auf die Farbstoffe adsorbierend wirken und somit die ganze Methode unmöglich machen. Für die kolorimetrischen Messungen verwendeten wir einen Bodenextrakt, bei dem wir 10 gr Boden + 20 ccm destilliertes Wasser unter mehrmaligem Schütteln aufschämmten. Diese Suspension liessen wir über Nacht stehen und den nächsten Tag filtrierten wir die klare Lösung, wobei wir darauf achteten, dass möglichst viel Boden auf dem Filter blieb, um die Pufferwirkung des Filtrierpapiers aufzuheben. Die gewonnenen klaren Filtrate wurden kolorimetrisch bestimmt. Die Resultate sind in der Tabelle II angegeben.

Aus den gewonnenen Resultaten dürfte man bereits zweierlei Schlüsse ziehen: erstens liegen die Zahlen viel zu hoch im Bereich der Alkalität und zweitens ist zwischen den pH-Zahlen einerseits und den Ergebnissen unseres Vegetationsversuches andererseits überhaupt kein Zusammenhang vorhanden. Da die Untersuchung der Bodenproben durch die kolorimetrische Methode genau durchgeführt wurde, dürfte die Ungenauigkeit der Indikatoren sowie vielleicht die genannte Methode überhaupt die Ursache solcher Ergebnisse sein. Während BJERUM und CJAALDBÆK (7), sowie auch SWANSON (7) für eine Lösung von CaCO_3 ein pH von 8,4 festzustellen vermochten, erhielten wir bei der entsprechenden Lösung ein pH von 9,0. Was die zweite Frage, die Beziehungen zwischen Wasserstoffionen-Konzentration und Pflanzenwachstum anbetrifft, so soll auf ein näheres Eingehen auf diese Frage hier verzichtet werden, um genau bei der Besprechung der elektrometrischen Methode, die uns bekanntlich relativ genaue Werte gibt, eingehend behandelt werden.

Nicht nur die Wasserstoffionen-Konzentration hat bei namhaften Forschern viel Beachtung gefunden, viel wichtiger scheint für das Wachstum der Pflanzen die potentielle Azidität, die Pufferung zu sein. Schon ARRHENIUS (1) und CHRISTENSEN (7) weisen in ihren Arbeiten auf die grosse Bedeutung dieser Frage hin. ARRHENIUS (1) nimmt als Ursache der Pufferung die Anwesenheit schwach dissoziierter Amphylyte an, während CHRISTENSEN (7) sie als eine Funktion des Kalkes betrachtet.

Wir haben der Bestimmung der Pufferwirkung besondere Beachtung geschenkt und hoffen, durch sie die viel umstrittene und sehr komplizierte Frage der Bodenreaktion einer teilweisen Lösung näher gebracht zu haben. Bei Bestimmung der Pufferwirkung verwendeten wir die Methode ARRHENIUS: In eine Reihe von Gefässen wurden 10 gr Boden eingewogen und dann die Gefässer mit 10, 5, 2 und 1 ccm $\frac{n}{10}$ Säure resp. 10, 5, 2 und 1 ccm $\frac{n}{10}$ Lauge versehen; ein Gefäß blieb unbehandelt. Die Flüssigkeitsvolumen wurden dann mit destilliertem Wasser auf 20 ccm aufgefüllt, die Gefässer verschlossen, geschüttelt und über Nacht stehen gelassen. Am nächsten Tage bestimmten wir das pH der verschiedenen Lösungen, wie bei der aktiven Azidität. Wir berechneten die verbrauchte Menge Säure bzw. Base pro Gramm Trockensubstanz bei 110° und zeichneten die entsprechenden Kurven auf. Als Säure verwendeten wir eine $\frac{n}{10}$ H_2SO_4 , als Base $2/3 \frac{n}{10}$ NaOH und $1/3 \frac{n}{10}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Während die sauren Lösungen klare Filtrate ergaben und somit eine genaue Bestimmung der Reaktion ermöglichten, waren die alkalischen Filtrate derart trübe, besonders bei Lehmböden, dass eine genaue Bestimmung der Reaktion bei 2 und 1 ccm Zugesetzter Lauge bereits sehr erschwert war; bei den Filtraten mit 5 und 10 ccm Lauge dagegen meistens unmöglich war. Wir verzichteten daher später auf die letztgenannten Lösungen bei Ausführung unserer Versuche.

Vergleichen wir nun die gewonnenen Resultate unserer chemischen Untersuchung (Tab. IV) mit den physiologischen Beobachtungen während der Vegetationszeit, sowie den Ernteergebnissen in gr. Trockensubstanz (Tab. I), so kann kein Zweifel darüber bestehen, dass zwischen der Pufferwirkung der Böden einerseits, sowie dem Wachstum der Pflanzen andererseits eine gewisse Übereinstimmung besteht. Besonders was die Schädigung durch Säure anbetrifft, lassen die Ergebnisse nichts zu wünschen übrig; Auch hat der Senf (*Sinapis alba*) sich als Indikator gegen Säure ausgezeichnet bewährt.

Auf dem Boden Nr. 51, einem leichten Sandboden, dessen Pufferwirkung gegen Säure gering ist, kam der Senf auf saurer Düngung überhaupt nicht auf, desglei-

chen war auch der Hafer schwer geschädigt. Starke Schädigungen zeigte auch der Senf unter dem Einfluss einer sauren Düngung auf den Böden Nr. 10, 11, 20, 21, 23, 24, 25, 39, 40, 41 und 46 - sämtliche Böden wiesen bei ihrer Untersuchung eine geringe Pufferung gegen Säure auf. Die Böden waren meist leichte bis mittlere Böden, nur Nr. 40 und 41 waren sandige Lehmböden. Eine Schädigung des Hafers trat bei saurer Düngung auf diesen Böden nicht mehr auf. Auf den Böden 22, einem schweren Lehmboden, und 35, einem stark humushaltigen Boden, war die Schädigung des Senfs auf saurer Düngung wesentlich geringer, was auch mit der besseren Pufferung gegen Säure übereinstimmte. Alle übrigen Böden, die sich als gut gepuffert gegen Säure erwiesen, hatten auch keine Schädigung des Senfs auf saurer Düngung aufzuweisen. Es handelte sich hier vorwiegend um schwere Böden, sowie um stark humushaltige Böden, nur Nr. 29 war ein Sandboden, der sich aber als stark kalkhaltig erwies.

Was die Schädigung gegen Alkali anbetrifft, konnten wegen der starken Trübung, sowie der bei Zusatz von Lauge bei den Filtraten eintretenden Eigenfärbung keine genauen Werte, wie bereits erwähnt, bei der Bestimmung der Pufferwirkung gewonnen werden, dennoch wiesen im allgemeinen alle Böden, bei denen der Hafer, den wir ja als Indikator gegen Alkali verwendeten, auf alkalischer Düngung geschädigt war, eine geringe Pufferung gegen Alkali auf. Der Senf zeigte sich nur auf den ausgesprochen physiologisch alkalischen Böden auf alkalischer Düngung geschädigt.

Wenn wir nun festzustellen vermochten, dass ein Zusammenhang zwischen der Pufferwirkung der Böden und dem Wachstum der Pflanzen ist, so soll an dieser Stelle noch auf eine andere Erscheinung hingewiesen werden. Als Böden mit geringer Pufferung und somit physiologisch sauer haben sich vorzugsweise unsere leichten Sandböden erwiesen. Während mit zunehmendem Kolloidgehalt und der damit verbundenen äusseren Bodenoberfläche die Pufferwirkung zunahm, zeigten die Böden immer mehr eine physiologisch neutrale bis alkalische Tendenz. Bereits TRENEL (44)(45) gibt an, dass die Konstanz der Bodenreaktion vom Kolloidgehalt des Bodens abhängig ist. Seine Bodenuntersuchungen ergaben auf kolloidreichen Lehm- und Lössböden in der Mehrzahl der Fälle nur eine geringe Einwirkung der sauren Düngemittel, während die Reaktion auf kolloidarmen Sandböden grossen Schwankungen unterworfen ist.

Auch KIRSTE (25) konnte aus seinen Versuchen den Nachweis bringen, dass auf Sandböden die Austauschazidität grössere Schädigungen verursachte, als auf Lehmböden. Auch die Tatsache, dass die säureliebenden Kulturpflanzen auf leichten, die säureempfindlichen Pflanzen dagegen auf schweren Böden besser fortkommen, dürfte nur eine Bestätigung unserer Ergebnisse sein.

Auffallend ist die hohe Pufferwirkung der Humus- bzw. der stark humushaltigen Böden, wie es die Böden Nr. 16, 36, 37, 48 und 50 ergeben (siehe Tabelle IV). Der Boden Nr. 16, ein Moorboden aus Trömpau, hatte die höchsten Senferträge, während auf dem Moorboden Nr. 48 vom Gute Bledau, dem einzigen Boden, der nach der kolorimetrischen Methode sauer reagierte, der säureempfindliche Senf auf saurer Düngung nicht nur keine Schädigung aufwies, sondern im Ertrage die alkalisch gedüngten Gefässe übertraf. Da die genannten Humusböden keinen sehr hohen Kalkgehalt aufwiesen, so ist anzunehmen, dass die Humussubstanzen dank ihrer grossen Bodenoberfläche die Befähigung haben, die bei den physiologisch sauren Düngemittel frei werdende Säure zu binden und somit einer Schädigung des Wachstums der Pflanzen entgegen zu treten.

Um die Veränderungen der Bodenreaktion zu beobachten, die durch das Pflanzenwachstum unter dem Einfluss der Düngung hervorgerufen werden, bestimmten wir auch die Wasserstoffionen-Konzentration in den abgeernteten Gefässen. Wir entnahmen mittels eines Bohrstocks eine Durchschnittsprobe und führten die Bestimmung wie im Frühjahr aus. Leider waren die Filtrate derart trübe, besonders auf den alkalisch gedüngten Gefässen, dass wir unsere Ergebnisse nur auf 10 Böden beschränken mussten. Bereits KRÜGER (49) konnte bei seinen Versuchen die Beobachtung machen, dass ein mit Natronalsalpeter gedüngter Boden in wasseriger Lösung keine Ausflockungs-Erscheinungen zeigte, sobald Pflanzen auf ihm gewachsen waren. Auch TROFIMOW (46) konnte kolloidale Erscheinungen bei den Filtraten nach der Vegetation feststellen, die eine einwandfreie Untersuchung fast unmöglich machten. Die Veränderung der

Bodenreaktion während der Vegetation ist jedenfalls abhängig von der Pufferwirkung der Böden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle VI angegeben. So zeigten alle gegen Säure schwach gepufferten Böden wie Nr. 10, 20, 24 und 51 eine Zunahme der Wasserstoffionen-Konzentration auf saurer Düngung, was eine Schädigung des Senfes hervorrief. Auf den gegen Säure stark gepufferten Böden wie Nr. 13, 17, 18, 19 und 48 trat keine Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration ein, die Schädigung des Senfes blieb dementsprechend auch aus. Die Böden, die gegen Alkali schlecht gepuffert waren, wie Nr. 17, 18, teilweise 10 und 19, zeigten auf alkalischer Düngung eine Zunahme der Alkalität, die zu Vergiftungs-Erscheinungen beim Hafer, teilweise sogar beim Senf, führten. War die Pufferung gegen Alkali stark, so blieb sowohl die Veränderung der Reaktion, als auch die Schädigung der Pflanzen aus.

Es scheint aber noch eine andere Erscheinung mitzuspielen; die Bodenreaktion veränderte sich nach dem Wachstum der einzelnen Pflanzenart. War der Hafer auf alkalischer Düngung geschädigt, der Senf aber nicht, so trat auf den mit Hafer versehenen Gefäßen eine Veränderung der Reaktion auf, auf den mit Senf besäten Gefäßen blieb die Reaktion unverändert. Auf den sauer gedüngten Gefäßen zeigten sich dieselben Erscheinungen. Eine Erklärung dürfte im verschiedenen Neutralisationsvermögen durch die einzelnen Pflanzen zu suchen sein.

Diese Ergebnisse dürften für die Frage der Bodenazidität von grösster Bedeutung sein und eine Lösung einer Frage bringen, über die bis jetzt die Meinungen der Forscher weit auseinander gingen.

Während ROSE (37) auf Grund von Vegetationsversuchen den Nachweis zu erbringen glaubt, dass die Wasserstoffionen-Konzentration des Bodens durch das Wachstum der Pflanzen unter dem Einfluss einer künstlichen Düngung nicht beeinflusst wird, behaupten KÖNIG (27), KIRSTE (25) und SCHUCKENBERG (39) das Gegenteil. Die verschiedenen Ergebnisse der genannten Forscher dürften wohl darauf beruhen, dass sie Böden verwendet haben, die eine verschiedene Pufferwirkung haben.

Es war uns im Verlaufe unserer Untersuchungen aufgefallen, dass wir bei Bestimmung der Wasserstoffionen-Konzentration der pH der im Keller aufbewahrten Bodenproben von den zu unserem Vegetationsversuch verwendeten Böden nach einem längeren Zeitraum nicht mehr dieselben Zahlen bekamen, auch wenn genau dieselben Untersuchungsbedingungen innegehalten wurden und äussere Einflüsse ausgeschlossen waren.

Um dieser Frage näher zu treten, hielten wir es für zweckmässig, die Proben in verschiedenen Zeiträumen zu untersuchen. Die Untersuchung fand im Mai, Juli und Oktober statt. Die Resultate sind in der Tabelle II und III angegeben. Es zeigte sich bei allen mit Ausnahme des Bodens Nr. 49 eine ausgesprochene Abnahme der Alkalität. Derartige Beobachtungen hat bereits KNICKMANN (26) machen können und als ihre Ursache kolloidale Umsetzungen, vor allem aber eine regere Säuretätigkeit der humosen Substanz der Böden angenommen. Während KNICKMANN beobachten konnte, dass der Aziditätsgrad bei Humusböden am stärksten, bei Sandböden am wenigsten zunahm, fanden wir keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen den einzelnen Böden. Obwohl die Ursache derartiger Erscheinungen noch ziemlich unerforscht ist, dürfte sie auch physikalisch möglicherweise erklärt werden können. Es wäre eine leichte Stagnation des Wassers bei den Bodenproben in den sie aufbewahrenden Gefäßen denkbar, besonders falls im Frühjahr beim Einsenden der Wassergehalt relativ gross war. Inwieweit diese Beobachtungen tatsächlich zutreffend sind oder wie weit die Fehlerhaftigkeit der kolorimetrischen Methode in Betracht kommt, ist eine Frage, deren Lösung späteren Untersuchungen anderer Forscher überlassen bleibt.

b) Die elektrometrische Bestimmung.

Wie bereits erwähnt, zogen wir für unsere Bestimmungen auch die elektrometrische Messung durch die Chinhydronelektrode nach BILTMANN heran. Es liegt außer Zweifel, dass die elektrometrische Methode an Exaktheit nichts zu wünschen übrig lässt und nach den Feststellungen verschiedener Forscher diejenige Methode ist, die uns die relativ genauesten Werte gibt. Ihrer allgemeinen Anwendung stand bis

her, bei der ausschliesslichen Anwendung der Wasserstoff-Elektrode, die lange Zeitdauer bis zur endgültigen Einstellung des Potentials im Wege. Die von BILLMANN eingeführte Chinydron-Elektrode bedeutete einen erheblichen Fortschritt; mittels derselben war es nun möglich, eine pH-Bestimmung in wenigen Minuten durchzuführen. Auch die eingehenden Arbeiten von CHRISTENSEN und JENSEN (6) haben den Beweis erbracht, dass die Chinydron-Elektrode in bezug auf Genauigkeit vollkommen mit der Wasserstoff-Elektrode wetteifern kann. Bei unseren Untersuchungen benutzten wir dickwandige Reagensrohre aus Jenaer Glas von etwa 2,5 cm Breite und 12,5 cm Länge. Als Elektroden verwandten wir blanke Platinstifte von etwa 5 mm Länge mit angeschweisstem Platindraht, als Verbindungsflüssigkeit eine 3,5 n K Cl-Lösung, als leitende Verbindung zwischen dieser und den Messgefässen dienten Heberrohre mit einer gesättigten Lösung von Kaliumchlorid-Agar. Eine Verwendung von Agar-Agar hielten wir für notwendig, um eine mögliche Diffusion von K.Cl. aus der Verbindungsflüssigkeit in die Reagensrohre zu vermeiden, was nach CHRISTENSEN (6) eine Herabdrückung des pH-Wertes hervorgerufen hätte. Die Heberrohre werden in der Zeit des Nichtbenutzens in einer 3,5 n KCl-Lösung aufbewahrt. Als Vergleichselektrode verwendeten wir eine Chinydron-Elektrode in einer von CHRISTENSEN angegebenen Lösung von 0,01 n HCl + 0,09 n KCl. Die Ablesung der Potentialdifferenz erfolgte auf einer Messbrücke von 1000 mm Länge. Wir bestimmten das pH bei den zu unseren Versuchen verwendeten Böden in wässriger Suspension und in normaler K Cl-Lösung, die Pufferwirkung nach ARRHENIUS (1) und das pH in den abgeernteten Gefässen. Wir verwendeten zu unseren Versuchen nur Bodenaufschlammungen, wobei wir das von CHRISTENSEN angegebene Mengenverhältnis von 1 : 4 zwischen Boden und Flüssigkeit anwandten. Bei der Ausführung der Messungen brachten wir in unsere Reagensröhren je 5 gr Boden und 20 ccm Wasser und versahen die Aufschlammungen mit einer Messerspitze von Chinydron. Nach dem Beschicken ließen wir unsere Messgefässer, mit Gummistopfen verschlossen, 10 - 20 Minuten unter häufigem Umschütteln stehen und bestimmten nun die Wasserstoffionen-Konzentration. Die Resultate sind in der Tabelle II wiedergegeben. Wie aus ihr bereits zu ersehen ist, besagt eine Bestimmung des pH in wässriger Suspension im allgemeinen wenig über den physiologischen Aziditätszustand eines Bodens; so weisen z.B. die ausgesprochenen physiologisch alkalischen Böden Nr. 8, 9, 12, 18, 19, 30, 31, 34, 37 und 45 - das waren die Böden, auf denen nicht nur der Hafer, sondern auch der Senf durch alkalische Düngung im Ertrag erheblich geschädigt ist, einen Aziditätsgrad von 5 - 7 pH auf, die physiologisch neutralen Böden Nr. 10, 16, 25, 26, 27, 35, 36, 48 - d.h. die Böden, die entweder gegen jede Düngung indifferent sind, oder auf denen der Hafer auf alkalischer, der Senf auf saurer Düngung im Ertrag gedrückt ist - einen pH von nur 4 - 6. Die Böden, auf denen der Senfertrag auf den sauer gedüngten Gefässen am höchsten ist, haben alle einen Aziditätsgrad, der unter dem Neutralpunkt 7 pH liegt. Während der Senf die höchsten Erträge auf saurer Düngung auf dem Boden Nr. 16 liefert, dessen pH nur 5,41 beträgt, ist er dagegen auf den Böden Nr. 43 und 44 mit einem Aziditätsgrad von 7,88 pH bei der entsprechenden Düngung bereits erheblich geschädigt. Es wäre unhaltbar daher, aus dem jeweiligen pH-Gehalt eines Bodens Schlüsse auf dessen Basenbedürfnis zu ziehen, geschweige denn den Kalkbedarf eines Bodens zu bestimmen. Der pH-Gehalt scheint vielmehr erheblich den ständig wechselnden physikalischen Bedingungen unterworfen zu sein und somit jeder Konstanz zu entbehren.

Wenn wir bereits der Messung der Wasserstoffionen-Konzentration in wässriger Suspension keine grosse Bedeutung in bezug auf das Wachstum unserer Pflanzen beilegen können, so zeigen die Bestimmungen derselben in einer normalen K Cl-Lösung Resultate, die mit der physiologischen Bodenreaktion überhaupt keinen Zusammenhang aufweisen.

Die Resultate sind in der Tabelle II angegeben. Die Reaktionszahlen der Aufschlammungen in einer normalen K Cl Lösung erwiesen sich als wesentlich niedriger, als die in wässriger Suspension, was wohl in der Aktivierung der Austauschazidität seinen Grund hat, eine Erscheinung, auf die bereits KAPPEN und BELING (24) in ihren Arbeiten hingewiesen haben.

TRENEL (43) wendet in seinen Arbeiten die genannte Methode an und hofft, bei Bestimmung der Austauschazidität durch eine Feststellung des pH in chlorkaliumhaltiger Suspension den natürlichen Bodenverhältnissen, unter denen sich das Pflanzenwachstum vollzieht, am nächsten zu kommen.

Dass wir bei der Ausführung dieser Methode in bezug auf den physiologischen Reaktionszustand unserer Böden, sowie über deren jeweiligen Kalkbedarf zu absoluten Fehlschlüssen kommen, darüber sollen die Erntergebnisse einerseits und die pH-Werte andererseits in der Tabelle II eine volle Bestätigung geben. Von den 51 Böden müssen wir zwei, Nr. 49 und 50 bei Beurteilung der Methode von vornehmlich ausschliessen, da der Hafer auf den sauer wie alkalisch gedüngten Gefässen unter der Dörrflecken-Krankheit litt, 2 Böden wiesen einen pH über 7 auf, was auch mit ihrer physiologischen Reaktion übereinstimmte. Die übrigen 47 Böden zeigten einen Aziditätsgrad zwischen 4 - 7 pH, - waren somit sauer. Von ihnen erwiesen sich jedoch 12 Böden: Nr. 8, 9, 12, 17, 18, 19, 30, 31, 34, 37, 45, 47 als ausgesprochen physiologisch alkalische Böden, die zum Teil einen sehr niedrigen pH-Gehalt aufwiesen. Bei den meisten schwankte er zwischen 5 und 6 pH. Nach der chemischen Bestimmung hätte man die genannten Böden als sauer und somit als kalkbedürftig bezeichnen können, physiologisch erwies sich jedoch genau das Gegenteil: eine saure Düngung erhöhte nicht nur den Ertrag des Hafers, sondern auch des alkaliliebenden Senfs, während eine alkalische Düngung die Erträge erheblich herabdrückte - die Böden sind also keineswegs sauer, sondern physiologisch alkalisch, eine Kalkung wäre also direkt schädigend.

25 Böden waren physiologisch neutral, obwohl ihre pH-Werte meistens sehr niedrige waren. Bei den Böden Nr. 5, 6, 10, 11, 15, 16, 23, 25, 26, 27, 35, 36, 37, 38, 39 und 43 schwankten sie zwischen 4 - 6.

Als physiologisch sauer und somit als kalkbedürftig erwiesen sich nur 10 Böden: Nr. 4, 20, 21, 22, 24, 40, 41, 42, 46 und 51.

Sehr auffallend war wieder die Tatsache, dass die stark humushaltigen Böden bei sehr niedrigem pH auf saurer Düngung sehr hohe Senferträge lieferten. So ernteten wir die höchsten Senferträge auf dem Boden Nr. 16 Trömpau, Wiese, dessen pH nur 5,22 betrug; bei einem Moorboden Nr. 48 aus Bledau mit einem Aziditätsgrad von 4,52 pH zeigte der Senf unter dem Einfluss einer stark sauren Düngung sogar eine leichte Steigerung.

Nach KAPPEN und BELING (24) soll auf stark humushaltigen Böden bei niedrigem pH-Wert ausser der oft verhältnismässig gering vertretenen Austauschazidität die echte Neutralsalz-Zersetzung und die hydrolytische Azidität in hohem Grade beteiligt sein, auch sollen die Reaktionszahlen durch eine wechselnde Beteiligung des Eisens am Basenaustausch stark beeinflusst werden. Da aber einerseits die Neutralsalz-Zersetzung durch das Freiwerden von mineralischen Säuren stark pflanzenschädlich sein soll und andererseits kalkliebende Pflanzen, zu denen ja auch der Senf gehört, nach KAPPEN (20)(22) bereits bei starker hydrolytischer Azidität nicht recht gedeihen wollen, eine Beteiligung des Eisens beim Jonen-Austausch nicht in Betracht kommt - die COMBER-Methode war bei den genannten Böden negativ - so dürfte es sich nach unserer Meinung weniger um die Beteiligung dieser oder jener Aziditätsform handeln, sondern um die starke Pufferwirkung der Humussubstanzen selbst, worauf wir bereits früher bei Besprechung der kolorimetrischen Methode hingewiesen haben.

SÜCHTING (38) konnte bei der Kalkung von Moorböden die Beobachtung machen, dass bei geringen Gaben trotz des hohen Säuregrades ein normaler Pflanzenwuchs zu erzielen war, ebenso fanden FEILITZEN und NYSTRÖM (9), dass eine Kalkung, die die Säurekonzentration nur wenig herabsetzte, einen fünffachen Mehrertrag gab. Die Humussubstanzen scheinen somit bei der Neutralisation der Bodensäure teilweise eine Funktion des Kalkes zu übernehmen.

Nachdem wir bei der Bestimmung der Wasserstoffionen-Konzentration in H₂O wie in n-KCl-Lösung den Nachweis zu erbringen meinen, dass genannte Methoden wenig geeignet zu sein scheinen, um relativ genaue Werte über den physiologischen Aziditätsgrad eines Bodens zu geben, bestimmen wir nunmehr wieder die Pufferwirkung der

Böden. Wir gingen dabei genau wie bei der kolorimetrischen Methode vor, nur mit dem Unterschiede, dass wir das pH der Lösungen auf elektrometrischem Wege durch die Chinhydron-Elektrode bestimmten.

Leider gaben die mit Lauge versehenen Lösungen wiede unbefriedigende Resultate. Es traten während der Messung chemische Umsetzungen zwischen dem Chinhydron und der zugesetzten Lauge ein, wenn die Alkalität einen pH von 8,2 überstieg. Die Lösungen, denen wir 5 ccm $\frac{1}{10}$ Lauge zugesetzt hatten, erwiesen sich daher bereits als sehr ungenau, die mit 10 ccm Lauge versehenen Lösungen waren für unsere Bestimmungen leider völlig unbrauchbar und daher haben wir bei der Ausführung unserer Bestimmung auf die letzteren ganz verzichten müssen. Die Resultate einer Reihe in der angegebenen Weise ausgeführten Titrierungen findet man in Tabelle V.

Von diesen Zahlen ausgehend, haben wir die Titrationskurven der einzelnen Böden in ein Koordinaten-System eingetragen, in dem die pH als Ordinate, die zugesetzten Säuren bzw. Basenmengen als Abscissen dienten.

In den Diagrammen entspricht die Vertikale dem 0 Punkt, die Horizontale dem Neutralpunkt. Um nun durch diese Kurven ein genaues Bild der Pufferwirkung der einzelnen Böden zu geben, wurde jede einzelne Kurve mit der desjenigen Bodens verglichen, der die geringste Pufferwirkung hatte und auf dem unsere Versuchspflanzen die grösste Schädigung aufwiesen. Wir gingen also nach dem Beispiel von CHRISTENSEN (7) von einer sogenannten "Grundkurve" aus.

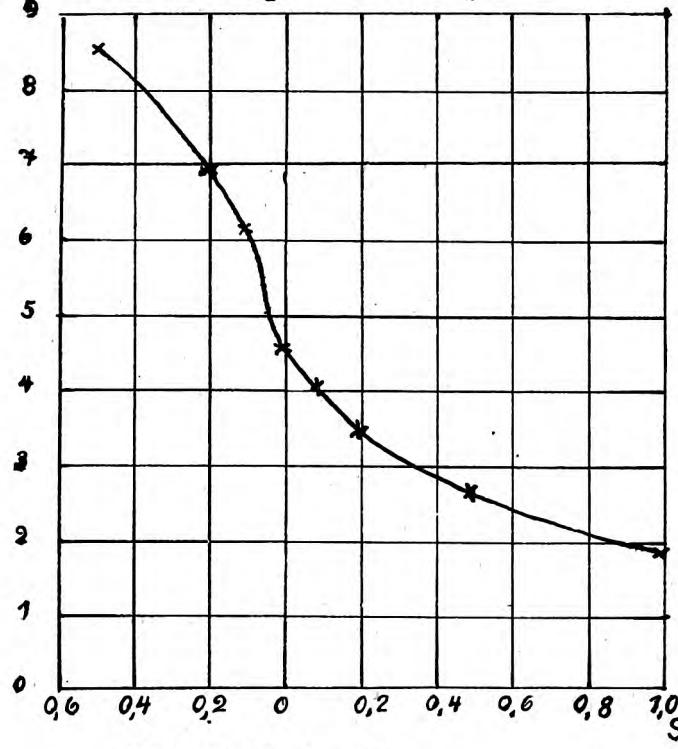
Zeichnet man die einzelnen Kurven der Böden nun in das Koordinatensystem ein und vergleicht sie mit der Grundkurve, so erhält man eine ausgezeichnete Übersicht über deren Pufferwirkung, und zwar wird die Pufferwirkung eines Bodens gegen Säure bzw. gegen Lauge um so grössere sein, je mehr sich die Säure bzw. Laugezweige desselben von der Grundkurve entfernen. Die Gebiete, die zwischen der Grundkurve und der Kurve des betreffenden Bodens liegen, werden wir nach CHRISTENSEN (7) als "Pufferflächen" bezeichnen. Vergleichen wir nun die Pufferungskurven mit den Erträgen im Mittel unserer Versuchspflanzen, so können wir folgende Annahme für die physiologische Bodenazidität aufstellen:

"Die Schädigung des Pflanzenertrages durch Bodensäure nimmt ab mit der Zunahme der Pufferfläche des Bodens und ist unabhängig von dessen jeweiligem pH-Gehalt."

Wie aus den Kurven zu ersehen ist, kommt der Senf auf saurer Düngung beim Boden Nr. 51, den wir als Grundlage unserer Betrachtung gewählt haben, überhaupt nicht auf. Auf dem Boden Nr. 20 mit einer geringen Pufferfläche ist der Senf stark geschädigt, die Pflanzen kümmern, die Blätter sind gelb, an den Rändern vertrocknet. Die Erträge verhalten sich im Verhältnis: 62,2 alkalisch gedüngt : 18,7 sauer gedüngt. Auf dem Boden Nr. 25 tritt bereits mit einer Vergrösserung der Pufferfläche eine Verminderung der Aziditäts-Schädigung ein. Der Senf war in seiner Entwicklung zurückgeblieben, auch waren die Blätter erheblich gefleckt, dagegen kam er bereits zur Blüte, auch ein geringer Körnertrag war zu verzeichnen, der bei den bisherigen Böden nicht vorhanden war. Das Verhältnis der Erträge beträgt 63,8 alkalisch gedüngt : 38,5 sauer gedüngt. Auf dem Boden 23 nimmt die Pufferfläche zu, die Aziditätsschädigung geht weiter zurück und zeigt sich nur noch in einem leichten Gelbwesen der Blätter. Das Verhältnis der Erträge beträgt 58,9 alkalisch gedüngt : 42,3 saure Düngung. Auf dem Boden Nr. 38 hat die Pufferfläche weiter erheblich zugenommen. Die Aziditätsschädigung ist ohne Bedeutung. Die Entwicklung des Senfs war absolut normal. Das Verhältnis der Erträge beträgt: alkalische gedüngt : 59,9 - sauer gedüngt : 57,7. Auf dem Boden Nr. 18 tritt bei weiterer Vergrösserung der Pufferfläche bereits eine Steigerung der Senferträge ein. Das Verhältnis der Erträge beträgt: alkalisch gedüngt : 69,4, sauer gedüngt : 74,8. Auf dem Boden Nr. 37 ist die Pufferfläche bereits sehr gross, der Senf steht sehr üppig. Das Verhältnis der Erträge beträgt: alkalisch gedüngt : 79,5, sauer gedüngt : 83,1. Auf dem Boden Nr. 16 mit grösster Pufferfläche liefert der Senf Höchsterträge. Das Ernteverhältnis beträgt alkalisch : 100,6, sauer : 100,2.

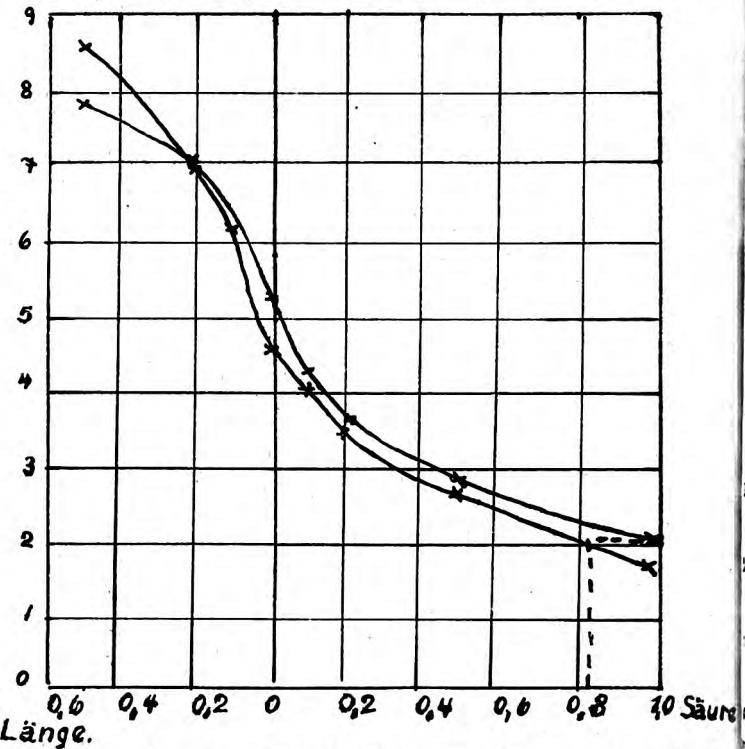
Schwenkendorf - Nr. 51

PH Senferträge: alk : 21,1 sauer —



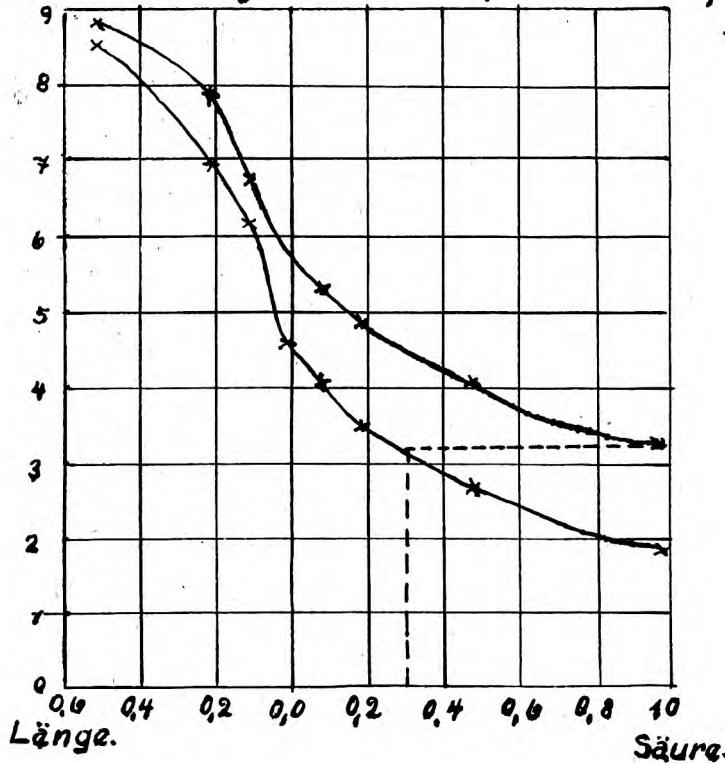
Wargenau - Nr. 9. Nr 20

PH Senferträge: alk : 62,2 sauer 18,7

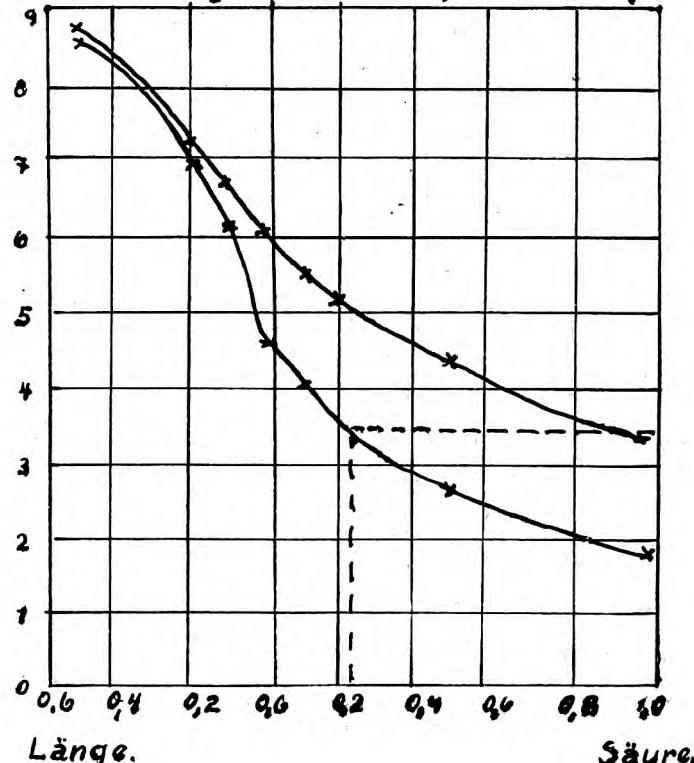


Bledau I Nr. 38.

PH Senferträge : alk : 59,9 sauer: 57,7 PH Senferträge : alk : 69,4 sauer 74,8.

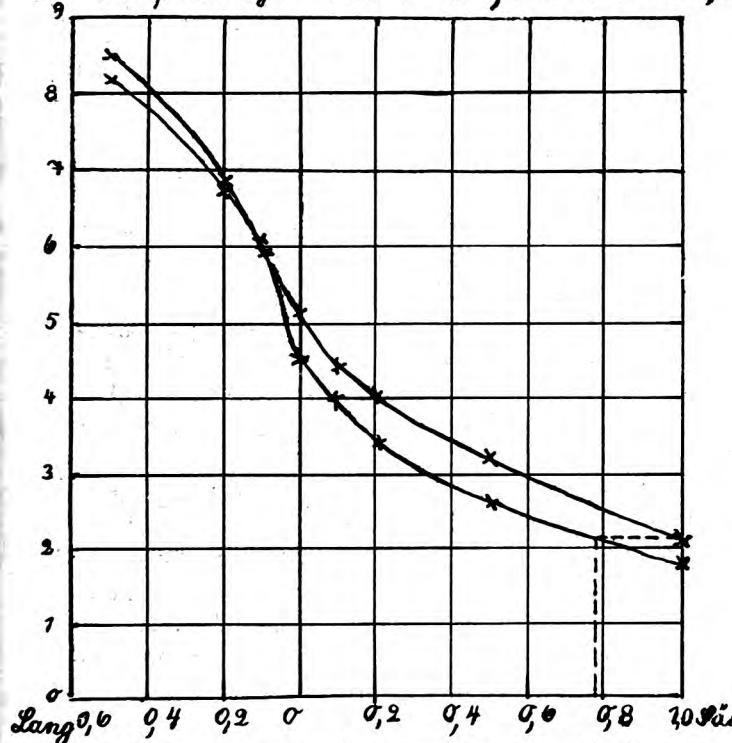


Augstupönen Weide am Vorwerk Nr. 18



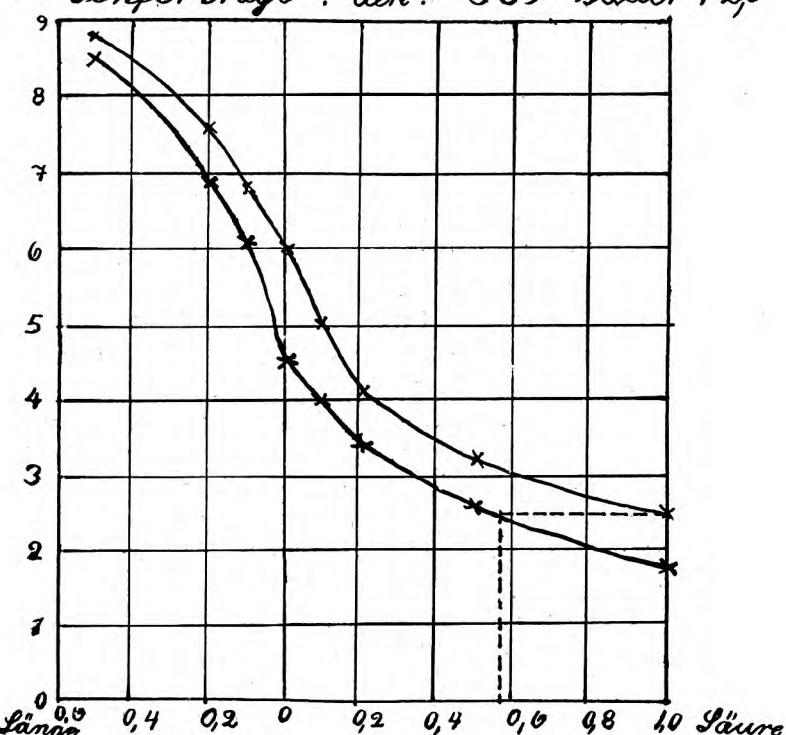
Quanditten Parve I № 25.

pH Senferträge : alk: 63,8 sauer. 38,5



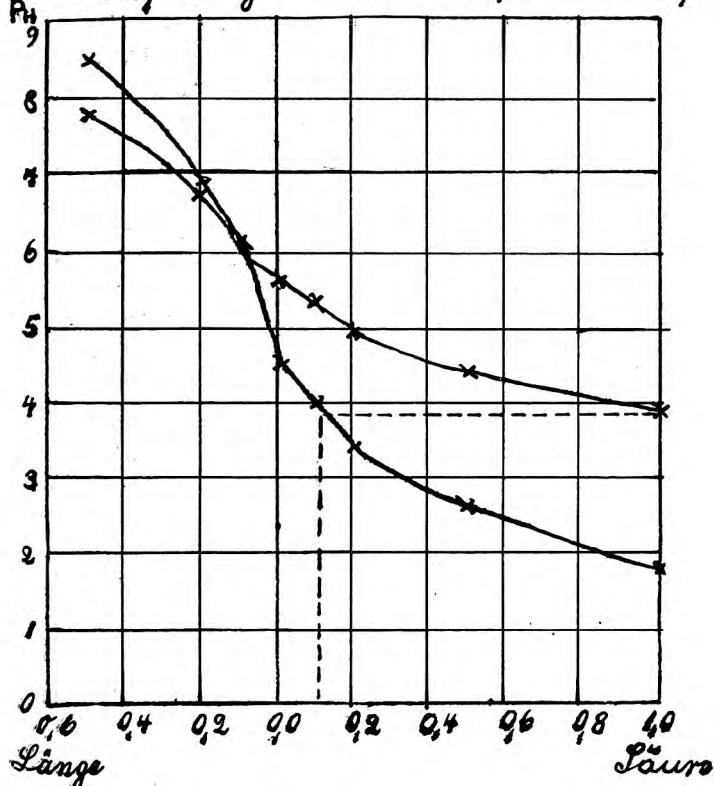
Wargenau I № 23.

pH Senferträge : alk: 589 sauer 42,3

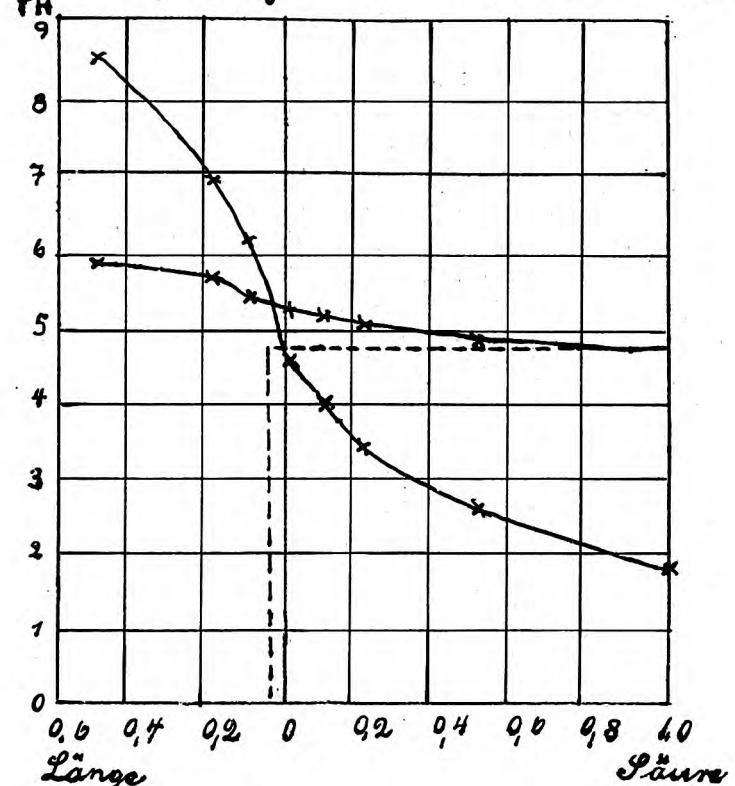


Bledau Kl Küchengarten Trobe i Horst 1937 Trömpau - Wiese № 16

Senferträge : alk: 79,5 sauer: 83,1



Senferträge : alk 100,6 sauer 100,2.



Was die Alkalitätsschädigung beim Hafer anbetrifft, konnten wir durch die bereits angegebenen Gründe eine Genauigkeit nicht erzielen, dennoch ersehen wir aus unseren Kurven eine gewisse Übereinstimmung; die ersten 7 Böden, deren Pufferfläche auf alkalischer Seite gering ist, zeigen eine mehr oder minder deutliche Alkalitätsschädigung beim Hafer, während beim letzten Boden Nr. 16 mit einer grossen Pufferfläche auch die Alkalitätsschädigung verschwunden ist. Die anderen Böden in Tabelle IV, die wir ebenfalls auf deren Pufferwirkung untersucht haben, fügen sich ziemlich genau in das System ein. Unbedeutende Abweichungen lassen sich wohl auf Versuchsfehler, vor allem auf den Wachstumsfaktor Licht zurückführen.

Aber noch eine andere Beobachtung ist bemerkenswert. Die Grösse der Pufferfläche ist unabhängig von dem jeweiligen pH-Gehalt des Bodens, so hat der Boden Nr. 38 eine grössere Pufferfläche, aber einen kleineren pH-Wert als der Boden Nr. 23, ebenso verhalten sich die Böden Nr. 37 in bezug auf Nr. 18 und der Boden Nr. 16 in bezug auf Nr. 18 und 37. Es kann also durchaus ein Boden mit einem verhältnismässig niedrigeren pH-Gehalt dank einer entsprechend grösseren Pufferung die durch die Tätigkeit der Pflanzen frei werdenden Säuren und Basen der physiologischen Düngesalze binden und somit physiologisch alkalischer wirken, als ein Boden mit höherem pH-Wert, aber geringer Pufferung.

Was die einzelnen Bodenarten anbetrifft, können wir dieselbe Beobachtung machen, wie bei der kolorimetrischen Methode: die geringe Pufferfläche und damit die geringste Möglichkeit, die während der Vegetation aus den Düngesalzen frei werdenden Säuren und Basen zu binden, falls nicht der Kalk regulierend eingreift und das ganze Pufferungsgebiet wesentlich verschiebt. Darauf folgen im allgemeinen die sandigen Lehmböden, während die schweren Lehmböden und die Humusböden eine grosse Pufferfläche und somit ein grosses Adsorptionsvermögen für die auf sie einwirkenden Säuren und Basen aufweisen können.

Ausser der kolorimetrischen Methoden bestimmten wir auch elektrometrisch die Böden in den abgeernteten Gefässen. Wir führten die Bestimmung mit der Chinchydronelektrode nach BILLMANN durch. Da der physiologischen Wirkung der Düngesalze eine Hauptschuld an der allgemeinen Verstüerung der Böden zugeschrieben wird, dürfte eine mögliche Lösung dieser für die landwirtschaftliche Produktion so unendlich wichtigen Frage von fundamentaler Bedeutung sein. Zahlreiche Arbeiten bedeutender Forscher (23)(25)(39) haben bereits auf diesem Gebiet eine teilweise Lösung dieser Frage gebracht.

Man hat allgemein beobachtet können, dass durch den Einfluss der Vegetation bei künstlicher Düngung die Azidität wesentliche Änderungen erfuhr. Die Arbeiten sind mit Böden, wie mit Nährösungen durchgeführt worden. Die Meinungen gingen dabei oft stark auseinander. Es soll hier an den Resultaten der Arbeiten nicht zweifelt werden; wie bereits bei der Besprechung der kolorimetrischen Methode erwähnt, ist der Grund wohl in der verschiedenen Pufferwirkung der Böden zu suchen.

Betrachten wir nun unsere Ergebnisse auf der Tabelle VII. Bei den Böden Nr. 20, 23, 24, 25 und 51 mit geringer Pufferfläche gegen Säure tritt auf den sauer gedüngten Gefässen eine deutliche Erhöhung der Bodenazidität ein; die Böden sind nicht imstande, die während der Vegetation frei werdenden Säuren aus den Düngesalzen zu binden, was naturgemäß zu schweren Vergiftungs-Erscheinungen, besonders bei den säureempfindlichen Pflanzen, führen kann. Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, ist der Senf bei den betreffenden Böden überall geschädigt; bei den Böden Nr. 16, 17, 18, 19 und 48, deren Pufferfläche und somit das Bindungsvermögen für Säure gross ist, geht auf den sauer gedüngten Gefässen die Azidität gegenüber dem Anfangswert überall zurück. Die Erklärung dürfte wohl darin zu suchen sein, dass die frei werdende Schwefelsäure des $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und die freie Säure des Superphosphats nunmehr gleich gebunden werden, während dem Superphosphat an und für sich wohl eine physiologisch alkalische Reaktion zugesprochen werden muss. Eine mögliche physiologische Alkalität des genannten Düngemittels hat bereits KAPPEN (22) bei seinen Versuchen beobachten können. Eine Schädigung des Senfs trat in diesem Falle nicht ein.

Betrachten wir nun die Alkalitäts-Erscheinungen auf den alkalisch gedüngten

Gefässen, so ist es durchaus bemerkenswert, dass bei den Böden, deren Pufferfläche gering gegen Alkali ist - Nr. 17, 18, 19, 20, 23, 24 und 25 - eine starke Zunahme der Alkalität zu beobachten ist. Die Böden sind nicht imstande, die frei werdenden Alkalien zu binden, was nunmehr zu erheblichen Vergiftungs-Erscheinungen durch Alkali führt.

Der Hafer ist im Ertrage bereits erheblich gedrückt, teilweise auch der Senf. Auf den Böden Nr. 16, 48 und 51, deren Pufferfläche gegen Alkali gross ist, tritt ebenfalls eine Schädigung der Alkalität ein, die aber nirgends den Neutralpunkt 7,0 überschreitet. Vergiftungs-Erscheinungen treten nicht mehr ein, die Pflanzen bleiben gesund. Wir sehen nunmehr, dass die Reaktionsveränderung der Böden durch die Vegetation und Düngung mit der Pufferfläche in engem Zusammenhang zu stehen scheint. Auch scheint die Veränderung durch alkalische Düngung erheblich grösser zu sein als durch saure, wobei vielleicht auch der Umstand mitwirken kann, dass das Neutralisierungs-Vermögen der Pflanzen gegen Alkali geringer ist als gegen Säure.

Einen Zusammenhang zwischen der Reaktionsveränderung des Bodens und der einzelnen Pflanzenart konnten wir leider hier nicht feststellen. Da die kolorimetrische Methode der gewünschten Genauigkeit entbehrt, so muss dieses Problem späteren Arbeiten überlassen bleiben.

III. DIE KALKBEDÜRFIGKEIT DER BÖDEN.

Die Frage der Kalkbedürftigkeit der Böden hat in der Literatur in den letzten Jahrzehnten einen ausserordentlichen Umfang angenommen. Die Furcht vor der Bodensäure in der Praxis hat die damit eng verbundene Kalkfrage direkt akut werden lassen.

Viele bedeutende Forscher, z.B. ARRHENIUS (2)(3), CHRISTENSEN (7)(8), JENSEN (7), HUDIG (8), KAPPEN und BELING (24) u.a. haben sich dieser Frage angenommen, und ihre zahlreichen Arbeiten haben sich als sehr fördernd erwiesen. Leider ist die für die landwirtschaftliche Produktion so unendlich wichtige Frage heute vielfach zu Propagandazwecken benutzt worden, und es liegt die Gefahr nahe, dass auch da mit Kalk gedüngt werden könnte, wo physiologisch eine Kalkdüngung nicht am Platze wäre und wir dann statt einer Säurefrage eine alkalische Frage bekommen könnten, deren Schädlichkeit für das Pflanzenwachstum nicht zu erkennen ist.

Die Wichtigkeit dieser Frage hat uns veranlasst, zu ihr Stellung zu nehmen und bei ihrer Beurteilung ausser den Resultaten unserer Vegetationsversuche gleichzeitig die Salzsäureprobe und die Azotobakterprobe heranzuziehen.

Was die Versuchsanstellung anbetrifft, so sei auf die entsprechende Literatur (8)(30) hingewiesen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle VIII angegeben. Von 51 Böden reagierten mit Salzsäure nur 6 Böden. Die Zahl der Böden, die Kalk in Form von Ca CO_3 enthielt, war also gering. Bemerkenswert war aber, dass die meisten physiologisch alkalischen Böden, wie Nr. 8, 9, 12, 14, 18, 19, 31, 34, 37, 45, 47 mit Salzsäure nicht reagierten.

Die Azotobaktermethode zeigte dagegen bei der Mehrheit der Böden ein kräftiges Wachstum, schwach war es bei den Böden Nr. 4, 15, 20, 21, 26, 27, 28, 39, 42 und 48. Kein Wachstum war auf den Böden Nr. 10, 25, 40, 41, 46 und 51 zu verzeichnen, somit haben sich die meisten Böden nach dieser Methode als kalkhaltig erwiesen. Der Kalk scheint wohl in anderen Verbindungen im Boden vorhanden gewesen zu sein. Es dürfte sich hierbei in erster Linie um die den Boden regulierenden Silikate handeln.

Die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen unserer Vegetationsversuche war im allgemeinen eine gute. Auffallend war aber, dass die Böden Nr. 22, 23 und 24, bei denen der Senf unter dem Einfluss einer sauren Düngung geschädigt war, ein starkes Azotobakterwachstum aufwiesen; es scheint somit nicht ausgeschlossen, dass die ausgesprochen kalkliebenden Pflanzen unter Umständen grössere Ansprüche an die Reaktionsverhältnisse eines Bodens stellen als die Azotobakterien, - eine Erscheinung, auf die bereits CHRISTENSEN (8) aufmerksam macht.

Wenn bereits nach der Azotobaktermethode die Mehrzahl unserer Böden nicht als

kalkbedürftig anzusprechen ist, so durfte diese Annahme durch unsere Vegetationsversuche eine volle Bestätigung erfahren.

Von den zum Vegetationsversuch verwendeten 51 Böden waren gegen vierzehn physiologisch alkalisch - eine Kalkung kommt dort nicht in Frage; die Hälfte der Böden schwankte um den physiologischen Neutralpunkt, d.h. entweder waren sie gegen jede Düngung indifferent, also gleich stark gegen Säure und Lauge gepuffert, oder sie erwiesen sich sowohl gegen saure wie alkalische Düngung empfindlich - ihre Pufferung war also gegen beide gering.

Im ersten Falle wäre eine Kalkung überflüssig, im zweiten Falle aber direkt schädlich; die hier in Frage kommenden Böden würden dank ihrer geringen Pufferung gegen Alkali bald überkalkt sein und somit für einen grossen Teil unserer Kulturpflanzen unbrauchbar werden.

Die Zahl der physiologisch sauren Böden war verhältnismässig gering. Es durfte sich etwa um 10 Böden von 51 handeln. Diesen Böden durfte eine gewisse Kalkbedürftigkeit zugesprochen werden, falls nicht bereits eine alkalische Düngung ausreicht, um die vorhandene Bodenazidität abzustumpfen. In Wirklichkeit durfte die Zahl der physiologisch sauren Böden noch niedriger sein, da anzunehmen ist, dass die Landwirte beim Einsenden der Bodenproben dieselben nur von solchen Schlägen entnommen haben, die ihnen besonders säureverdächtig erschienen.

Wir glauben daher auf Grund unseres Vegetationsversuchs annehmen zu können, dass, soweit Ostpreussen in Frage kommt, eine direkte "Säuregefahr" nicht vorhanden ist; auch durfte die Frage der Kalkbedürftigkeit der Böden, deren grosse Bedeutung wir nicht erkennen, in bezug auf die Bodenreaktion nur für einen geringen Teil der Böden in Frage kommen.

Es scheint viel weniger die Frage der Kalkbedürftigkeit entscheidend zu sein - viel wichtiger erscheint uns die Aziditätsempfindlichkeit der anzubauenden Pflanzen, sowie die richtige Auswahl der Düngemittel bei gleichartiger Berücksichtigung der Grösse der Pufferfläche der einzelnen Böden.

Wie wir bereits konstatieren konnten, ist zwischen der letzteren und der Schädigung durch Azidität bzw. Alkalität ein enger Zusammenhang vorhanden.

Je grösser die Pufferfläche gegen Säure und je geringer sie gegen Alkali ist, um so mehr werden wir sauer düngen können und alkalieliebende Pflanzen beim Anbau bevorzugen können. Ist die Pufferfläche dagegen gegen Säure gering und gegen Alkali gross, werden wir alkalisch düngen müssen und säureliebenden Pflanzen den Vortzug geben. Ist die Pufferfläche bei einem Boden gleichzeitig gegen Alkali und Säure gross, so verhält er sich indifferent gegen Düngung und Pflanzenart, ist die Pufferfläche dagegen gleichzeitig gegen Alkali und Säure gering, werden wir von Fall zu Fall bei der anzubauenden Kulturpflanze das entsprechende Düngemittel zu berücksichtigen haben.

Zum Schlusse meiner Ausführungen spreche ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. E.A. MITSCHERLICH für die Überlassung der Doktorarbeit, sowie für das grosse Interesse und die Unterstützung, welche er meiner Arbeit im weitesten Masse zuteil werden liess, meinen herzlichen, ergebenen Dank aus.

LITERATUR-VERZEICHNIS.

- (1) ARRHENIUS, Bodenreaktion und Pflanzenleben. - (2) ARRHENIUS, Der Kalkbedarf der Böden vom pflanzenphys. Standpunkt, Zeitschr.f.Pflanzenernähr.u.Düngung 1925, A IV.Bd., S.30-52. - (3) ARRHENIUS, Der Kalkbedarf d.Böden v.pflanzenphys. Standpunkt; Ztschr.f.Pfl.u.D. A, 3.Jhrg., H.3. - (4) AKTINS, Ref.in Biedermanns Zentralbl. 1922, S.193. - (5) BAUMANN, Untersuchungen ü.d.Humussäure, Mitt.d.Bayr. Moor-

kulturanst. 1910. - (6) CHRISTENSEN und JENSEN, Unters. bezgl. der zur Bestimmung der Bodenreaktion benutzten elektrometrischen Methoden. Intern. Mitt. f. Bodenkunde 1924, XIV. Bd. H.1-2, S.1-25. - (7) CHRISTENSEN-JENSEN, Über die Bestimmung der Bufferwirk. des Bodens, Intern. Mitt.f. Bodenkunde 1924, XIV. Bd.,H.3-6,S.112-130. (8) CHRISTENSEN und HUDIG, Kalkzustand u. Bodenunterg., Verl.d.Vereins Dtsch. Kalkwerke 1924. - (9) FEILITZEN und NYSTRÖM: Über den Anbau verschiedener Kulturpflanzen auf stark humushaltigem Moor, Ref. in Ztschr.f.Pflanzern.u.Düng..Bd.I,S.95.- (10) GULLY, Die Humussäuren im Lichte neuzeitl.Forsch.-Ergebnisse, Int.Mitt.f.Bodenk. 1915 S.232 u.347.- (11) HAGER, Das Wesen, d.Bedeut.u.d.Bestimmungsmethoden d.Bodenazidität, Ztschr.f.Pfl.u.D. 1925 A IV,Bd.,S.227. - (12) HASENBAUMER, Ldw. Ztschr.f. Westfalen u.Lippe Nr.25 1924, S.359. - (13) HILTNER, Die Dörrfleckkonkr. d.Hafers u.ihre Heilung d.Mangan, Ldw. Jhr.Bc. 30.B1., H.6 1924,S.769. - (14) HILTNER, Prakt.Bl.f.Bayr. Landesanst.f.Pfl.Bau u.Pfl.Zucht 1, 1924. - (15) HIRSSINK, Int. Mitt. f.Bodenk. 1922,S.170. - (16) KAPPEN, Studien a.sauren Min.-Böden aus d. Nähe von Jena, L.V.St.38,S.13-120. - (17) KAPPEN, Zu d.Ursachen d.Azidität der durch Jonenaustausch sauren Böden, L.V.St.89,S.39-80. - (18) KAPPEN, Über Wasserstoff-Jonenkonz. in Ausfällen v.Moorböd.u.v.moor-u.rohhumbild.Pfl., L.V.St.90,S. 321-374. - (19) KAPPEN, Über die Aziditätsformen d.Bod.u.ihre pflanz.-phys. Bedeut. L.V.St.96, S.277 307. - (20) KAPPEN, M.d.D.L.,S.6,1922,Heft 44. - (21) KAPPEN, Wesen u.Bedeut.d.Bodenazid., Ztschr.f.Pfl.u.D. 1924,A,Bd.III,S.203. - (22) KAPPEN Unters.z.Bodenazidit.-Frage durch Veg.-Versuche, Ztschr.f.Pfl.u.D. 1925. - A.Bd.IV S.202-214. - (23) KAPPEN und LUCAS, Zur physiolog.Reakt. d.Dingesalze, Ztschr.f.Pfl.u.D.,A.1925, Bd.V, S.249-270. - (24) KAPPEN und BELING, Über d.Chinhydrionmethode u.über d. Bezieh. ihrer Resultate z.d.Azidit.-Formen d.Böden, Ztschr.f.Pfl. u.D. 1925, VI.Bd.A.S.1-26. - (25) KIRSTE, Über das Pfl.-Wachst. auf sauren Böden, Ztschr.f.Pfl.u.D.,A. 1925, V.Bd.S.129-194. - (26) KNICKMANN, Untersuch.z.Frage d. Bodenazid., Ztschr.f.Pfl.u.D. A. 1925, V.Bd. - (27) KÖNIG, HASENBAUMER und KRÖGER, Ldw. Jahrb. Bd.58, 1923,S.117. - (28) KRULL, Untersuch. über d.Reakt.-Empfindlichkeit v.Keiml., Botan. Archiv VI,1923. - (29) MICHAELIS, Die Wasserstoffionenkonz., 2.Aufl. Teil I,S.87. - (30) MITSCHERLICH, Bodenkunde III.Aufl. 1920,S.235. - (31) MITSCHERLICH, Die Bestimm.d.Düngerbedürfn.d.Bod., Verl. Praey 1924. - (32) NIKLAS und HOCK, Zur Frage d. Austauschazid.d.Böd. u.d.Zusammenh. zw. Titrations-u.aktueller Azid., Ztschr.f.Pfl.u.D. 1925 A, Bd.V,S.270-292. - (33) ODÉN, Die Huminsäuren, Colloidchem. Beih.,Bd.XI,1919. - (34) OLSEN, Biedermanns Ztbl-Bl., Ref.v.Behrens,Jhg.54,S.308. - (35) PRIANISCHNIKOW, Das Ammoniak als Anfangs-u.Endprod.des Stickstoffumsatzes i.d.Pfl., Ldw. Versuchs-Stat. Bd.99,S.267-286. - (36) RAMANN, Das Wesen, d. Bedeut. u.d.Bestimmungsmeth.d.Bodenazid., Ztschr.f.Pfl.u.D. A 1925, IV.Bd.S.217-221. - (37) v.ROSE, Ein Beitrag z.Einwirk.d. Dingesalze auf d.Bodenreak. u.d.Ertrag verschied. Pfl., Botan. Archiv Bd.VII, 1924. - (38) SÜCHTING, Kritische Studien ü.d.Humussäuren, L.V.St.70,S.16. - (39) SCHUCKENBERG, Zur Kenntnis d.Pfl.-Schäd. auf sauren Böden, Ztschr.f.Pfl.u.D.,A,1924, III.Bd.S.65-90. - (40) STOCKLASSA, Über die Verbreitung d.Aluminiums i.d.Nat., Ref.i.Ztschr.f.Pfl.u.D.,A. Bd.I, S.174. - (41) STÜTZER und HAUPT, Journ.f.Landw. 1915, S.33-42. - (42) TACKE, Int. Mitt.f.Bodenk. 1915,S.135. - (43) TRENEL, Über ein einf. Gerät z.elektrom.Bestimm. d.Bodenazid., Ztschr.f.Pfl.u.D.,A 1925 IV.Bd.S.239-241. - (44) TRENEL, Hat die Bodenreak. auch i.d.prakt.Landw. d.Einfl., d.ihr auf Grund v.wissens. Vegetations-Vers. zugeschrieben wird?, Ztschr.f.Pfl.u.D. 1925, B.Bd.IV,S.340-353. - (45) TRENEL, Kennst Du Deinen Bod., Landwirt, seine Krankh.u.Schwächen?, Jll.Ldw. Zeitung, 45. Jhrg.Nr.51. - (46) TROFIMOW, Zum Studium ü.d.Änderungen währ.d. Vegetationsperiode a.versch. bearbeiteten Brachfeld., Journ.f.Landw.Wiss. 1924, Mosk. Nr.9-10, 1.Jhrg. - (47) GAARDER u.HAGEN, Versuche ü.Nitrifikation u.Wasserstoffionenkonz., Bergens Museum Aarbok 1919-1920,Nr.6. - (48) GAARDER u.HAGEN, Nitrifik.i.sauren Lösung., Bergens Mus. Aarbok 1922-23,Nr.1. - (49) KRÜGER, Ldw.Jhrb. Bd.34 (1905) S. 783-788.

Tabelle I.

Ernteergebnisse in Trockensubstanz in gr.

Nr. des Bodens.	Alkalische Düngung.				Saure Düngung.				Senf. Gesamt.	
	Hafer.			Senf.	Hafer.					
	Korn.	Stroh.	Gesamt.	Gesamt.	Korn	Stroh	Gesamt.	Gesamt.		
1	37,8	41,6	79,4	20,7	40,1	45,4	85,5	20,2	20,2	
	36,1	39,4	75,5	19,1	40,4	44,5	84,9	20,2		
Mittel	37,0	40,5	77,5	19,9	40,3	45,0	85,2	20,2		
2	39,0	43,0	87,0	59,9	44,9	45,8	90,7	56,8	56,8	
	40,2	45,9	86,1	59,4	44,4	45,5	89,9	56,4		
	39,6	47,0	86,6	59,7	44,7	45,7	90,4	56,6		
3	35,0	38,0	73,0	55,6	32,3	35,2	67,5	57,9	57,9	
	37,5	39,6	77,1	60,8	34,7	36,9	71,6	56,7		
	Mittel	36,3	38,8	75,1	58,2	33,5	36,1	69,6	57,3	
4	40,4	40,7	81,1	70,3	32,9	41,6	74,5	61,6	61,6	
	32,3	40,1	72,4	73,1	36,1	40,2	76,3	60,4		
	Mittel	36,4	40,4	76,8	71,7	34,5	40,9	75,4	61,0	
5	38,7	47,5	86,2	67,8	38,2	45,8	84,0	65,7	65,7	
	36,4	42,0	78,4	65,9	39,4	45,0	84,4	67,5		
	Mittel	37,6	44,8	82,4	66,9	38,8	45,4	84,2	65,6	
6	40,1	44,0	84,1	77,2	44,1	47,2	91,3	71,1	71,1	
	40,2	46,2	86,4	75,4	44,9	48,7	93,6	73,4		
	Mittel	40,2	45,1	85,3	76,3	44,5	48,0	92,5	72,3	
7	39,8	42,6	82,4	55,9	39,6	45,0	84,5	54,1	54,1	
	34,0	38,1	72,1	52,0	39,4	42,2	81,6	57,7		
	Mittel	36,9	40,4	77,3	54,0	39,5	43,6	83,1	55,9	
8	43,9	52,5	96,4	84,0	48,8	53,7	102,5	83,5	83,5	
	41,1	45,7	86,8	81,4	48,7	52,4	101,1	85,5		
	Mittel	42,5	49,1	91,6	82,7	48,8	53,1	101,9	84,0	
9	38,1	44,0	82,1	49,4	41,5	49,9	91,4	57,6	57,6	
	35,0	40,1	75,1	52,7	41,2	51,0	92,2	54,2		
	Mittel	36,6	42,1	78,7	51,1	41,4	50,5	91,9	55,9	
10	32,1	39,8	71,9	59,9	44,0	48,3	92,3	30,2	30,2	
	32,5	42,0	74,5	57,5	44,2	51,9	96,1	31,2		
	Mittel	32,3	40,9	73,2	58,7	44,1	50,1	94,2	30,7	

Tabelle I cont.

Nr. des Bodens.	Alkalische Düngung.				Saure Düngung.				Senf. Gesamt.	
	Hafer.			Senf. Gesamt	Hafer.					
	Korn.	Stroh.	Gesamt.		Korn.	Stroh.	Gesamt.			
11	36,4	47,2	83,6	59,2	44,9	51,5	96,4	50,2		
	38,8	45,4	84,2	60,8	46,4	52,0	98,4	49,2		
Mittel	37,6	46,3	83,9	60,0	45,7	51,8	97,4	49,7		
12	35,7	44,1	79,8	77,0	53,2	56,2	109,4	77,7		
	37,2	44,2	81,4	76,2	44,3	54,0	98,3	79,4		
Mittel	36,5	44,2	80,7	76,6	48,7	55,1	103,8	78,6		
13	50,6	61,6	112,2	63,3	46,6	57,9	104,5	86,6		
	43,2	58,0	101,2	66,3	46,1	54,1	100,2	87,1		
Mittel	46,9	59,8	106,7	64,8	46,4	56,0	102,4	86,9		
14	35,0	41,8	76,8	50,4	41,1	51,9	93,0	65,0		
	31,2	39,9	71,1	51,7	39,5	44,7	84,2	64,0		
Mittel	33,1	40,9	74,0	51,1	40,3	48,3	88,6	64,5		
15	56,7	64,8	121,5	100,1	57,8	62,2	120,0	79,9		
	49,4	62,5	111,9	97,0	56,0	60,5	116,5	76,0		
Mittel	53,1	63,8	116,9	98,6	56,9	61,9	118,8	78,0		
16	51,4	66,2	117,6	102,9	52,4	57,3	109,7	100,9		
	50,3	59,0	109,3	98,2	51,2	56,1	107,3	99,4		
Mittel	50,9	62,6	113,5	100,6	51,8	56,7	108,5	100,2		
17	44,9	45,2	90,1	70,9	44,7	49,6	94,3	76,4		
	40,1	43,5	83,9	67,9	23,5	32,6	56,1	71,5		
Mittel	42,5	44,4	86,9	69,4	44,7	49,6	94,3	74,0		
18	45,8	57,7	103,5	70,7	52,4	54,2	106,6	74,8		
	44,0	55,3	99,3	68,7	56,1	54,6	110,7	74,7		
Mittel	44,9	56,5	101,4	69,7	54,3	54,4	108,7	74,8		
19	42,8	53,7	96,5	62,4	42,4	49,5	91,9	76,3		
	44,8	52,7	97,5	63,4	44,6	52,5	97,1	72,9		
Mittel	43,8	53,2	107,0	62,9	43,5	51,0	94,5	74,6		
20	41,2	45,2	86,4	63,2	46,9	51,7	98,6	19,3		
	39,2	46,2	85,4	61,1	41,9	46,8	88,7	18,0		
Mittel	40,2	45,7	85,9	62,2	44,4	49,3	93,7	18,7		
21	37,7	43,8	81,5	57,4	38,6	45,3	83,9	20,6		
	34,4	46,5	80,9	55,4	38,2	42,9	81,1	20,0		

Tabelle I cont.

Nr. des Bodens.	Alkalische Düngung.				Säure Düngung				Senf. Gesamt.
	Hafer.			Senf.	Hafer.			Senf.	
	Korn.	Stroh.	Gesamt.	Gesamt.	Korn.	Stroh.	Gesamt.	Gesamt.	
22	39,8	43,5	83,3	59,9	37,0	44,7	81,7	46,4	
	40,7	46,0	86,7	59,0	25,3	39,8	65,1	47,8	
	40,3	44,8	85,1	59,5	31,2	42,3	73,5	47,1	
23	40,1	46,2	86,3	60,3	49,0	52,7	101,7	43,9	
	35,9	44,5	80,4	57,4	43,0	45,2	88,2	40,7	
	38,0	45,4	83,4	58,9	46,0	48,9	94,9	42,3	
24	42,6	44,7	87,3	58,7	42,8	43,9	86,7	25,1	
	39,6	45,4	84,7	60,9	45,3	47,5	92,8	26,9	
	41,0	45,1	86,1	59,8	44,1	45,7	89,8	26,0	
25	32,0	32,9	64,9	64,4	39,7	50,5	90,2	40,7	
	26,8	35,2	62,2	63,1	39,3	44,4	83,7	36,2	
	29,4	34,1	63,5	63,8	39,5	47,5	87,0	38,5	
26	28,7	33,5	62,2	62,0	38,4	38,6	77,0	50,8	
	29,1	32,6	61,7	60,4	33,0	38,6	71,6	50,7	
	28,9	33,1	62,0	61,2	35,7	38,6	74,3	50,8	
27	31,1	41,3	72,4	55,9	38,0	48,3	86,3	52,5	
	30,6	41,5	72,1	54,4	40,3	46,1	86,4	53,4	
	30,9	41,4	72,3	55,2	39,2	47,2	86,4	53,0	
28	38,0	48,0	86,0	49,3	42,7	49,1	91,8	21,0	
	39,3	48,0	87,3	52,3	45,4	50,5	95,9	23,6	
	38,7	48,0	86,7	50,8	44,1	49,8	93,9	22,3	
29	39,5	46,3	85,8	57,1	44,6	52,0	96,6	56,7	
	37,7	43,7	81,4	54,0	43,6	45,7	89,3	55,2	
	38,0	45,0	83,6	55,6	44,1	48,9	93,9	56,0	
30	17,5	33,5	51,0	49,2	42,7	47,8	90,5	59,4	
	29,2	39,2	68,4	45,1	38,5	50,0	88,5	63,6	
	23,4	36,4	59,8	47,2	40,6	48,9	89,5	61,5	
31	43,6	56,2	99,3	83,2	45,7	54,5	100,2	86,9	
	41,8	54,5	96,3	83,7	51,8	58,5	110,3	85,0	
	42,7	55,4	98,1	83,5	48,8	56,5	105,3	86,0	
32	39,1	50,5	89,6	65,0	46,3	51,2	97,5	62,1	
	40,5	45,2	85,7	65,8	46,8	51,0	97,8	63,9	
	Mittel	39,8	47,9	87,7	65,4	46,6	51,1	97,7	63,0

Tabelle I cont.

Nr. des Bodens.	Alkalische Düngung.			Saure Düngung.			Senf. Gesamt.	
	Hafer.			Senf. Gesamt.	Hafer.			
	Korn.	Stroh.	Gesamt.		Korn.	Stroh.		
33	43,5	48,2	91,7	77,0	49,2	53,8	103,0	76,9
	46,5	52,7	99,2	76,0	48,9	54,8	103,7	71,6
Mittel	45,0	50,5	95,5	76,5	49,1	54,3	103,7	74,3
34	41,1	47,5	88,6	59,2	48,7	49,4	98,1	60,1
	41,5	46,8	88,3	57,7	49,0	52,2	101,2	60,7
Mittel	41,3	47,2	88,5	58,5	48,9	50,8	99,7	60,4
35	43,1	49,4	92,5	80,7	49,1	53,6	102,7	70,2
	41,2	53,4	94,6	83,7	45,3	56,4	101,7	70,4
Mittel	41,3	51,4	93,6	82,2	47,2	55,0	102,2	70,3
36	47,1	53,0	100,1	67,2	46,3	63,6	109,9	64,0
	45,0	54,7	101,0	66,6	46,8	55,3	102,1	63,9
Mittel	46,1	53,9	100,6	66,9	46,6	59,5	106,1	64,0
37	47,1	55,6	102,7	77,0	53,1	58,5	111,6	82,0
	45,0	56,7	101,7	81,9	54,4	60,4	114,8	84,2
Mittel	46,1	56,2	102,3	79,5	53,8	59,0	112,8	83,0
38	42,0	49,1	91,1	61,0	44,5	50,0	94,5	58,1
	43,3	49,9	93,2	58,7	44,3	51,5	95,8	57,2
Mittel	42,7	49,5	92,2	59,9	44,4	50,8	95,2	57,7
39	37,4	43,4	80,8	65,4	48,3	51,7	100,0	59,1
	38,1	47,4	85,5	66,4	47,1	53,3	100,4	55,8
Mittel	37,8	45,4	83,2	65,9	47,7	52,5	100,2	57,5
40	36,7	40,4	77,1	49,0	38,0	40,7	78,7	28,4
	38,0	40,4	78,4	50,9	37,5	38,5	76,0	30,9
Mittel	37,4	40,4	77,8	50,0	37,8	39,6	77,4	29,7
41	31,8	32,4	64,2	45,4	34,8	34,9	69,7	23,8
	35,2	35,0	70,2	46,4	35,3	35,8	71,1	22,8
Mittel	33,5	33,7	67,2	45,9	35,1	35,4	70,5	23,3
42	43,8	46,0	89,8	59,7	41,0	44,7	85,7	42,0
	43,7	44,0	87,7	60,0	40,1	46,0	86,1	38,7
Mittel	43,7	45,0	88,7	59,9	40,6	45,4	86,0	40,4
43	40,8	49,2	90,0	61,0	45,7	47,7	93,4	56,7
	41,3	49,7	91,0	63,5	-	-	-	60,0
Mittel	41,1	49,5	90,5	62,3	45,7	47,7	93,4	58,4

Tabelle I cont.

Nr. des Bodens.	Alkalische Düngung.				Saure Düngung.				Senf. Gesamt.
	Hafer.			Senf.	Hafer.			Senf.	
	Korn.	Stroh.	Gesamt	Gesamt.	Korn.	Stroh.	Gesamt.	Gesamt.	
44	26,4	38,7	65,1	53,5	28,5	37,7	66,1	55,0	
	26,1	36,1	62,2	53,7	27,0	37,1	64,1	50,0	
Mittel	26,3	37,4	63,7	53,6	37,8	37,4	65,2	51,0	
45	37,4	36,3	73,7	54,8	35,6	40,7	76,3	59,9	
	32,4	35,1	67,5	53,3	35,3	36,4	71,7	59,5	
Mittel	34,9	35,7	70,6	54,1	35,5	38,6	74,1	59,7	
46	29,1	31,0	60,1	52,0	31,9	34,0	65,9	34,5	
	28,3	33,6	61,9	55,2	33,6	34,9	68,5	32,0	
Mittel	28,7	32,3	61,0	53,6	32,8	34,5	67,3	33,3	
47	29,5	30,5	60,0	49,1	37,3	35,2	72,5	57,2	
	28,5	32,9	61,4	50,5	34,3	35,2	69,5	55,2	
Mittel	28,0	31,7	59,7	49,8	35,8	35,2	71,0	56,2	
48	23,3	27,9	51,2	45,1	21,7	28,5	50,2	47,5	
	24,5	29,5	54,0	44,9	29,3	32,3	61,6	45,1	
Mittel	23,9	28,7	52,6	45,0	25,5	30,4	55,9	46,3	
49	18,8	+)	21,2	+)	40,0	+)	44,1	+)	42,3 +)
	17,6	23,8	41,4		38,4		20,4	24,4	44,3
Mittel	-	-	-	-	-	-	-	-	
50	24,7	+)	30,0	+)	54,7	+)	45,7	+)	53,4 +) 49,1 +)
	12,4	23,9	36,1		45,0		0,9	16,7	17,6
Mittel	-				-		-	-	
51	15,2	21,3	36,5	20,2	-	-	-	14,5	
	13,1	20,7	33,8	22,0	-	-	-	-	
Mittel	14,2	21,0	35,2	21,1	-	-	-	-	

+) Die Gefäße erhielten am 3. Juli 0,2 gr Mangansulfat.

Tabelle II

Nr. der Böden.	Gesamtertr. in gr Trockensubst. i. Mittel.				Aziditätsgrad in pH.			
	alkalisch Hafer	Senf	sauer Hafer	Senf	kolorimetrisch im Mai	i. Oktober	elektrometrisch in H ₂ O	KCl
1	77,5	19,9	85,3	20,2	8,6	7,0	6,42	-
2	36,6	59,7	90,4	56,6	8,9	8,0	7,64	6,99

Tabelle II cont.

Nr. der Böden.	Gesamtertr. i.gr Trockensubst.i.Mittel.				Aziditätsgrad in pH.			
	alkalisch Hafer.	sauer Senf.	alkalisch Hafer.	sauer Senf.	kolorimetrisch im Mai	kolorimetrisch i.Oktob.	elektrometrisch in H ₂ O	elektrometrisch in KCl
3	75,1	58,2	69,6	57,3	8,9	7,8	7,59	6,99
4	76,8	71,7	75,4	61,0	8,6	6,4	6,28	5,49
5	82,4	66,9	84,2	60,6	9,0	7,6	6,58	5,90
6	85,3	76,3	92,5	72,3	8,2	6,8	6,28	5,21
7	77,3	54,0	83,1	55,9	8,6	8,0	7,88	7,16
8	91,6	82,7	101,9	84,0	8,2	7,5	6,67	6,46
9	78,7	51,1	91,9	55,9	7,8	7,2	5,73	4,84
10	73,2	58,7	97,2	30,7	8,6	7,4	5,45	4,46
11	83,9	60,0	96,5	49,7	8,8	7,4	6,12	5,29
12	80,7	76,6	103,8	78,6	8,2	7,4	6,55	5,83
13	106,7	64,8	102,4	86,9	7,6	7,2	6,29	6,22
14	74,0	51,1	88,6	64,5	8,2	7,8	7,46	6,71
15	116,9	98,6	118,8	78,0	8,0	6,8	4,94	5,07
16	113,5	100,6	108,5	100,2	8,3	7,2	5,41	5,22
17	86,9	69,4	94,3	74,0	8,2	7,8	7,10	6,24
18	101,4	69,7	108,7	74,8	8,0	7,5	6,42	6,16
19	107,0	62,9	94,5	74,6	8,2	7,4	6,42	6,43
20	85,9	62,2	93,7	18,7	8,8	7,8	5,38	4,52
21	81,8	56,4	32,5	20,3	8,2	7,0	5,27	4,35
22	85,1	59,5	73,5	47,1	8,6	7,6	6,44	6,02
23	83,4	58,9	94,9	42,3	8,6	8,0	6,14	5,83
24	86,1	59,8	89,8	26,0	8,2	7,0	6,66	6,09
25	63,5	63,8	87,0	38,5	9,0	7,4	5,47	4,93
26	62,0	61,2	74,3	50,8	8,2	7,2	5,04	4,55
27	72,3	55,2	86,4	53,0	8,0	7,2	5,29	4,54
28	86,7	50,8	93,9	22,3	9,0	7,6	6,12	-
29	83,6	55,6	93,0	56,0	9,0	8,2	8,09	7,40
30	59,8	47,2	89,5	61,5	8,7	7,4	6,73	5,97
31	98,1	83,5	105,3	86,0	8,2	7,4	5,93	5,40
32	87,7	65,4	97,7	63,0	8,8	7,8	6,66	6,10
33	95,5	76,5	103,4	74,3	8,6	7,8	6,44	6,07
34	88,5	58,5	99,7	60,4	8,8	7,6	6,44	5,41
35	93,6	82,2	102,2	70,3	8,6	7,6	4,71	4,38

Tabelle II cont.

Nr. der Böden.	Gesamtertr.i.gr.Trockengsubst.i.Mittel.				Aziditätsgrad in pH.			
	alkalisch Hafer.	sauer Senf.	alkalisch Hafer.	sauer Senf.	kolorimetrisch. im Mai	kolorimetrisch. i.Oktob.	elektrometr.in H ₂ O	elektrometr.in KCl
36	100,	66,9	106,1	64,0	8,6	7,5	6,38	5,39
37	102,3	79,5	112,8	83,1	8,4	7,5	6,22	5,55
38	92,2	59,9	95,2	57,7	9,0	7,5	6,05	5,45
39	83,2	65,9	100,2	57,5	8,6	7,4	6,23	5,21
40	77,8	50,0	77,4	29,7	8,6	7,8	5,67	5,41
41	67,2	45,9	70,5	23,3	8,2	7,4	5,98	4,81
42	88,7	59,9	86,0	40,	9,0	7,6	6,29	4,54
43	90,6	62,3	93,4	50,4	8,5	8,2	7,88	6,99
44	63,7	53,6	65,2	51,0	8,5	8,2	7,88	6,73
45	70,6	54,1	74,1	59,7	8,4	7,6	6,55	5,66
46	61,0	53,6	67,3	33,3	8,4	7,7	5,72	5,20
47	59,7	49,8	71,0	56,2	8,7	7,4	7,04	5,93
48	52,6	45,0	55,9	46,3	6,6	6,2	5,18	4,52
49	41,4	38,4	44,2	41,6	8,8	8,2	6,66	6,33
50	36,3	45,0	17,6	32,8	8,6	7,8	7,10	6,54
51	35,2	21,1	14,5	-	7,8	7,0	4,75	4,03

Tabelle III.

Bestimmung der Bodenazidität in pH (kolorimetrisch).

Boden.	Mai. pH	Juli. pH	Oktober. pH
19	8,2	8,0	7,4
20	8,8	8,0	7,8
21	8,2	8,2	7,0
32	8,8	8,0	7,8
36	8,6	7,8	7,5
38	9,0	8,2	7,4
39	8,7	7,8	7,4
47	8,7	7,8	7,4
40	8,6	7,8	7,4

Tabelle IV.

Bestimmung der Pufferwirkung (kolorimetrisch) in pH.

Nr. der
Böden.

	$\frac{n}{10} \text{ H}_2\text{SO}_4$					$\frac{n}{10} \text{ Na OH + Ca(OH)}_2$		
	10 ccm p_H	5 ccm p_H	2 ccm p_H	1 ccm p_H	0 ccm p_H	1 ccm p_H	2 ccm p_H	5 ccm p_H
10	2,8	4,4	6,0	6,6	7,4	8,2	8,7	-
11	2,8	4,6	6,2	6,8	7,6	7,8	8,2	-
12	4,4	5,6	6,4	7,0	7,6	8,2	8,7	-
16	6,0	6,5	6,8	6,9	7,2	7,4	7,6	7,9
17	5,2	6,4	7,0	7,3	7,8	8,4	8,6	-
18	4,6	5,8	6,2	7,0	7,4	8,2	8,6	-
19	5,0	6,2	7,0	7,4	8,0	8,3	8,7	-
20	3,0	4,6	6,1	6,8	7,7	8,0	8,2	-
21	3,0	4,8	6,2	6,8	7,7	8,0	-	-
22	4,1	6,0	7,8	8,2	8,6	8,8	9,0	-
23	3,0	4,5	6,0	6,5	7,2	7,8	8,2	8,6
24	3,4	5,3	6,4	7,0	7,8	7,9	8,0	8,4
25	3,0	4,4	5,8	6,5	7,5	8,3	9,0	-
29	6,6	7,4	7,8	8,2	8,8	-	-	-
31	5,0	6,2	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,6
32	4,6	6,0	7,0	7,4	8,0	8,6	-	-
35	3,8	5,0	6,5	7,0	7,6	7,8	8,0	-
36	5,6	6,0	6,8	7,4	7,8	8,0	8,2	8,4
37	6,2	6,4	7,0	7,4	7,8	8,0	8,2	8,4
38	4,8	6,3	7,4	7,3	8,2	-	-	-
39	3,0	5,2	7,0	7,5	8,2	9,0	-	-
40	2,9	4,6	6,4	7,5	8,2	8,4	8,5	-
41	3,0	4,4	5,6	6,4	7,4	7,6	7,8	-
44	4,6	6,4	7,4	7,8	8,4	8,6	8,8	-
46	3,0	4,6	6,0	6,5	7,2	7,8	8,3	-
47	5,0	6,0	6,3	7,2	7,8	8,2	8,4	-
48	6,2	6,5	6,6	6,7	6,8	-	-	-
49	4,2	5,6	6,8	7,6	8,2	8,6	8,8	-
50	6,0	6,4	7,2	7,6	8,2	8,6	8,8	-
51	2,8	4,6	6,0	6,6	7,7	8,6	-	-

Tabelle V.

Bestimmung der Pufferwirkung der Böden (elektr.)

Nr. der Böden.	$\frac{n}{10} \text{ H}_2\text{SO}_4$							$\frac{n}{10}$	Na OH +	Ca(OH)_2
		10 ccm		5 ccm	1 ccm		0 ccm		1 ccm	
		pH	pH	pH	pH	pH	pH		pH	
10	2,3	3,0	3,8	4,2	5,2	6,1	6,9		8,3	
11	2,4	3,2	4,2	4,7	5,5	6,7	-		-	
16	4,65	4,85	5,0	5,05	5,1	5,35	5,7		5,8	
17	3,8	4,2	5,8	6,2	6,9	7,5	8,0		8,8	
18	3,4	4,4	5,05	5,4	6,0	6,7	7,6		8,75	
19	3,2	4,3	5,1	5,6	6,3	7,3	7,9		9,1	
20	2,0	2,75	3,5	4,2	5,3	6,4	7,0		7,9	
21	2,0	3,1	3,8	4,25	5,2	6,4	7,2		8,5	
23	2,0	3,25	4,1	5,10	6,0	6,85	7,6		8,9	
24	2,3	3,4	4,65	5,6	6,5	7,2	7,7		8,5	
25	2,1	3,2	4,0	4,4	5,25	6,0	6,8		8,2	
29	6,1	6,6	7,2	7,5	7,8	8,4	9,0		9,8	
31	3,6	4,5	5,0	5,3	5,8	6,3	6,5		7,0	
37	3,9	4,4	4,95	5,3	5,6	6,0	6,8		7,8	
38	3,2	4,0	4,8	5,3	5,7	6,7	7,9		8,8	
39	2,2	3,0	4,0	4,7	5,7	6,8	7,8		8,5	
48	4,15	4,5	4,2	4,3	5,0	5,15	5,1		5,3	
49	3,0	4,0	5,0	5,6	6,2	7,25				
50	4,7	5,4	5,85	6,05	6,45	7,3	7,7		8,7	
51	1,8	2,6	3,4	4,0	4,5	6,1	6,8		8,5	

Tabelle VI.

Nr. der Böden.	Gesamtertr.i.gr Trockens. im Mittel				Vor der Veget.	pH	Nach der Vegetationszeit in pH.					
	alkalisch		sauer				alkalisch	sauer.				
	Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.			Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.		
10	73,2	58,7	94,2	30,7	Mittel	8,6	8,8	8,6	8,4	7,8		
						8,8	8,6	8,3	8,0			
						8,8	8,6	8,4	7,9			
16	113,5	100,6	108,5	100,2	Mittel	8,3	8,4	8,3	8,3	8,3		
						8,3	8,3	8,3	8,3	8,3		
						8,3	8,3	8,3	8,3	8,3		

Tabelle VI.

Nr. der Böden.	Gesamtertr.i.gr.Trockens.i.Mittel.				Vor der Vegetat. pH	Nach der Vegetationszeit in pH.				
	alkalisch.		sauer.			alkalisch.	sauer.			
	Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.		Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.	
17	86,9	69,4	94,3	74,0	8,2	3,8	8,4	8,2	8,2	
						8,4	8,4	8,2	8,2	
					Mittel:	8,6	8,4	8,2	8,2	
18	104,4	69,7	108,7	74,8	8,0	9,0	9,0	8,2	8,2	
						8,7	8,6	8,0	8,0	
					Mittel:	8,9	8,8	8,1	8,1	
19	107,0	62,9	94,5	74,6	8,2	8,2	8,6	8,2	8,2	
						8,2	8,6	8,2	8,2	
					Mittel:	8,2	8,6	8,2	8,2	
20	85,9	62,9	93,7	18,5	8,8	8,8	8,8	7,6	7,6	
						8,8	8,8	7,6	7,9	
					Mittel:	8,8	8,8	7,6	7,8	
24	86,1	59,8	89,8	26,0	8,2	8,4	8,4	7,8	7,8	
						8,4	8,6	7,4	7,6	
					Mittel:	8,4	8,5	7,6	7,7	
31	98,1	83,5	105,3	86,0	8,2	8,4	8,4	8,2	8,0	
						8,4	8,4	8,2	8,0	
					Mittel:	8,4	8,4	8,2	9,0	
48	52,6	45,0	55,9	46,3	6,6	6,8	7,0	6,5	6,4	
						6,8	7,0	6,4	6,5	
					Mittel:	6,8	7,0	6,5	6,5	
51	35,2	21,1	14,5	-	7,8	7,8	7,8	7,0	7,2	
						7,8	7,8	7,0	7,0	
					Mittel:	7,8	7,8	7,0	7,1	

Tabelle VII.

Nr. der Böden.	Gesamtertr.i.gr Trockens.i.Mittel.				Vor der Vegetat. pH.	Nach der Vegetationszeit in pH				
	Hafer.		Senf.			Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.	
	Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.		Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.	
16	113,5	100,6	108,5	100,2	5,4	6,7	6,8	5,9	5,7	
						7,0	6,8	5,8	5,7	
					Mittel	6,8	6,8	5,9	5,7	

Tabelle VII cont.

Nr. der Böden.	Gesamtertr.i.gr Trockens.i.Mittel. Vor der Vegetat.				pH	Nach der Vegetationszeit in pH.			
	alkalisch.		sauer.			Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.
	Hafer.	Senf.	Hafer.	Senf.			Hafer.	Senf.	
17	86,9	69,4	94,3	74,0	7,1	8,1	8,2	7,7	7,7
						8,3	8,3	7,9	7,8
					Mittel:	8,3	8,3	7,8	7,8
18	101,4	69,7	108,7	74,8	6,4	7,9	7,5	6,9	7,1
						7,9	7,8	7,0	6,8
					Mittel:	7,9	7,7	7,0	7,0
19	107,0	62,9	94,5	74,6	6,4	7,9	7,7	7,1	7,1
						8,0	8,0	7,0	7,5
					Mittel:	8,0	7,9	7,1	7,6
20	85,9	62,2	93,7	18,7	5,4	7,1	6,7	5,1	4,7
						7,1	7,0	5,1	4,9
					Mittel:	7,1	6,9	5,1	4,8
23	83,4	58,9	94,9	42,3	6,1	7,6	7,5	6,3	6,1
						7,7	7,7	6,1	5,9
					Mittel:	7,7	7,6	6,2	6,0
24	86,1	59,8	89,8	26,0	6,7	7,6	7,1	5,8	6,0
						7,6	7,9	6,3	6,2
					Mittel:	7,6	7,5	6,1	6,1
25	63,5	63,8	87,0	38,5	5,5	7,1	6,7	5,3	5,2
						7,2	6,9	5,4	5,4
					Mittel:	7,2	6,8	5,4	5,4
48	52,6	45,0	55,9	46,3	5,2	6,2	6,1	5,3	5,3
						6,1	6,0	5,5	5,5
					Mittel:	6,2	6,1	5,4	5,4
51	35,2	21,1	14,5	-	4,8	5,6	5,6	4,5	4,2
						5,9	5,7	-	4,2
					Mittel:	5,8	5,7	4,5	4,2

Tabelle VIII.

Bestimmung des Kalkbedürfnisses der Böden.

Nr. der Böden.	Aufbrausen mit HCl.	Azotobakter-Vegetation.
1	- - -	kräftige
2	- - -	sehr kräftige
3	- - -	sehr kräftige
4	- - -	schwache
5	- - -	kräftige
6	- - -	kräftige
7	- - -	kräftige
8	- - -	kräftige
9	- - -	kräftige
10	- - -	keine
11	- - -	kräftige
12	- - -	kräftige
13	- - -	sehr kräftige
14	- - -	kräftige
15	- - -	schwache
16	schwaches	kräftige
17	starkes	sehr kräftige
18	- - -	sehr kräftige
19	- - -	sehr kräftige
20	- - -	schwache
21	- - -	schwache
22	- - -	sehr kräftige
23	- - -	sehr kräftige
24	- - -	sehr kräftige
25	- - -	keine
26	- - -	schwache
27	- - -	schwache
28	- - -	schwache
29	starkes	sehr kräftige
30	schwaches	sehr kräftige
31	- - -	sehr kräftige
32	- - -	kräftige
33	- - -	kräftige
34	- - -	kräftige
35	- - -	kräftige
36	- - -	sehr kräftige
37	- - -	sehr kräftige
38	- - -	kräftige
39	- - -	schwache
40	- - -	keine
41	- - -	keine
42	- - -	schwache
43	schwaches	kräftige
44	- - -	kräftige
45	- - -	kräftige
46	- - -	keine
47	- - -	kräftige
48	- - -	schwache
49	- - -	sehr kräftige
50	sehr starkes	sehr kräftige
51	- - -	keine

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1926

Band/Volume: [15](#)

Autor(en)/Author(s): Hilbig Rolf

Artikel/Article: [Der Einfluss der Bodenreaktion auf das Wachstum der Pflanzen 385-423](#)