

2061

Reported from the Proceedings of the Second Commission
of the International Society of Soil Science,
Volum B, Groningen (Holland), 1927.

BIBLIOTHEEK
INSTITUUT VOOR
BODENVRUCHTBAAUW
GRONINGEN

631.411.3

DIE BODENADSORPTION.
BERICHT FÜR DIE GRONINGER SITZUNG
DER II. KOMMISSION AM 2. APRIL 1926

SEPARAAT
No. 17093

von

Dr. D. J. Hissink, Groningen.

Einer Krankheit wegen bin ich nicht imstande gewesen, einen ausführlichen Bericht über die allgemeinen Bodenadsorptionsfragen zu erstatten. Prof. von 'Sigmund ist so liebenswürdig gewesen, diese Aufgabe von mir zu übernehmen (siehe Anlage V), wofür ich ihm an dieser Stelle herzlich danke. Ich begnüge mich hier damit, die Aufmerksamkeit auf folgende, allgemeine Betrachtungen zu lenken.

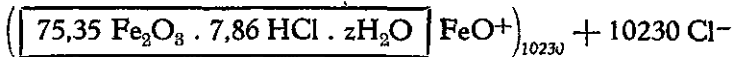
1. Theoretische Betrachtungen über die Adsorption.

Neulich ist von Georg Wiegner (Zürich) eine ausführliche Arbeit über Dispersität und Basenaustausch erschienen (1). Ich benutzte diese Gelegenheit, um die Aufmerksamkeit der Bodenkundler auf die Arbeiten von Wiegner zu lenken, welche für die Bodenkunde von grundlegender Bedeutung sind. Die hier folgenden Betrachtungen sind z.T. der obengenannten Arbeit entnommen.

Ein suspensoides Teilchen, das im Dispersionsmittel Wasser dispergiert ist, zeigt eine elektrische Aufladung. Die Ionen, die diese Aufladung der Teilchen bestimmen, sind entweder durch Dissoziation eines kleinen Bruchteils der Moleküle, die das Ultramikron aufbauen, entstanden, oder sie sind fremde Ionen, die aus der Menge der Ionen, die als Elektrolyten im Dispersionsmittel enthalten waren, an der Oberfläche adsorbiert wurden. An Oberflächen im allgemeinen und an der Oberfläche von Ultramikronen im besonderen werden solche Ionen be-

sonders gut adsorbiert, die mit den Atomen und Atomkomplexen der Oberfläche schwerer lösliche Verbindungen eingehen können. Aus dieser Erscheinung, dass ein Stoff sich an der Grenzfläche zweier Phasen anreichert, lässt sich die Definition des Begriffes „Adsorption“ ableiten. Aber zu gleicher Zeit geht aus dieser Vorstellung hervor, dass ein Gegensatz von chemischen Verbindungen zu Adsorptionen nicht anzunehmen ist; oder, wie *Michaëlis* (2) sagt: „die Adsorption bedeutet nicht einen prinzipiellen Gegensatz zu chemischen Bindungen. Man spricht von Adsorption, wenn eine Reaktion sich auf die Grenzfläche zweier Phasen beschränkt, sodass die präparative Darstellung der entstandenen Verbindung in reinem Zustand nicht möglich ist und stöchiometrische Verhältnisse daher nicht gefunden werden können.“

In einigen Fällen ist es gelungen, die Zusammensetzung eines Ultramikrons zu bestimmen. So hatte z. B. ein Teilchen eines Fe_2O_3 -Sols (Grösse des Teilchens ungefähr 100–200 $\mu\mu$) die folgende Zusammensetzung (3):



Das suspensioide Eisenoxydteilchen hat also eine stabilisierende, am Teilchen festhaftende, innere Ionenschicht (10230 FeO^+ -Ionen). Die dieser inneren Ladung entgegengesetzt geladenen Cl^- -Ionen sind frei beweglich. Man muss sich die Sache nun so denken, dass die Molekularbewegung mit dem Bestreben, die Cl^- -Ionen gleichmässig im Dispersionsmittel (H_2O) zu verteilen, und die elektrostatische Anziehung, die die Cl^- -Ionen in der Nähe der positiven Innenladung einzuordnen trachtet, miteinander in Konkurrenz treten. Die klassische Vorstellung *Helmholtz'*, dass diese Cl^- -Ionen eine dünne Schicht von ungefähr molekularer Dicke um das Eisenoxydteilchen bilden, ist nicht ausreichend. Nach den neueren Auffassungen von *Gouy* und *Chapman* bildet sich eine diffuse, äussere Cl^- -Ionen-Schicht, oder wie *Wiegner* sagt, ein „Ionenschwarm“. Die Dicke dieser diffusen, äusseren Schicht hängt von verschiedenen Faktoren, (Löslichkeit der chemischen Verbindungen an der Oberfläche; Wertigkeit der Ionen), ab. So ist z. B. die Dicke des oben erwähnten Eisenoxydteilchens: Innerer Teil = ungefähr 150 (100–200) $\mu\mu$; äusserer Ionenschwarm = ungefähr 200–400 μ .

2. Anwendung des Begriffes Adsorption auf den Boden (Ton und Humus).

Es ist schon längst bekannt, dass der Boden Adsorptionsvermögen besitzt und dass als Sitz dieses Adsorptionsvermögens die mehr oder weniger kolloiden Bestandteile des Bodens, hauptsächlich die Ton- und Humussubstanz, zu betrachten sind.

Am zweckmässigsten für die gesamte bodenkundliche Forschung und insbesondere für die Fragen der Bodenadsorption hat sich die ganz allgemeine Auffassung vom Boden als dispersem System erwiesen. *Georg Wiegner* hat diese Auffassung mit unbedingter Konsequenz in seinem lehrreichen Buch „Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung“ vertreten und ziemlich allgemein verbreitet. Bei meinen Betrachtungen über die Bodenadsorption meine ich mich am besten — auf die Fussspur von *Wiegner* — den Auffassungen der allgemeinen Dispersoidchemie anschliessen zu können.

Um tiefer in das Wesen des Bodenadsorptionsvermögens einzudringen, sei in erster Linie hervorgehoben, dass ein Tonteilchen — und ebenso ein Humusteilchen — im Dispersionsmittel Wasser eine elektrische Ladung hat. Wenn wir uns ein Bild eines derartigen Ton- resp. Humusteilchens machen wollen, so müssen wir die Frage stellen, aus welchen Atomen, bezw. Atomkomplexen die stabilisierende, an den Ton- bezw. Humusteilchen festhaltende, innere Ionenschicht besteht und welche Ionen in dem äusseren, diffusen Ionenschwarm vorkommen.

Es liegt nahe, anzunehmen, dass diese Ionen durch Dissoziation eines kleinen Bruchteils derjenigen Moleküle entstanden sind, die das Ton- bezw. Humusteilchen aufbauen. Weiter wissen wir, dass die innere Ionenschicht negativ elektrisch geladen ist, sodass der äussere Ionenschwarm aus Kationen besteht. Obgleich die genaue Zusammensetzung der Ton- bezw. Humussubstanz nicht bekannt ist, so weiss man doch, dass es sich um salzartige Verbindungen von hypothetischen Aluminiumkieselsäuren und organischen Säuren, kurzweg von Ton- und Humussäuren, mit den Basen (Kalk, Magnesia, Kali, Natron) handelt. Man ist berechtigt, anzunehmen, dass diese Verbindungen an der Oberfläche der Teilchen zum Teil ionisiert sind, wobei die Anionen der Ton- bezw. der Humussäuren die stabilisierende, am Teilchen haftende, innere Ionenschicht

bilden, während sich in dem äusseren Ionenschwarm die Kationen Ca, Mg, K, Na, H befinden.

Bei gleicher Innenladung wird nun das Potential des Teilchens von der Natur der Kationen des äusseren Schwarmes abhängig, und damit seine Stabilität verschieden sein. Befindet sich z. B. (Wiegner 348—349), bei gleicher negativer Innenladung, im äusseren Ionenschwarm Wasserstoff oder ein wenig hydratisiertes Ion (Ca, Mg), so ist der Schwarm dicht, das Potential des Teilchens und damit die Stabilität sehr gering (Kalkton). Ist der äussere Ionenschwarm (*ceteris paribus*) aus stark hydratisierten Ionen locker gefügt, so ist das Potential hoch, das Teilchen erscheint stabil (Natronton).

Es sind nun die H-Ionen dieses äusseren Schwarmes welche die Bodenazidität bilden. Je nachdem die Silikate, bzw. die Humate, mehr entbast sind, treten die H-Ionen in grösseren Mengen auf; der Boden wird stärker sauer. Es scheint mir übrigens auch möglich zu sein, dass bei stark sauren Böden auch eine Spur von Al-Ionen in dem äusseren Ionenschwarm auftreten; denn Aluminium besitzt ja in sauren Lösungen Kationencharakter. Infolgedessen könnten letzten Endes *Daikuhara, Kappen*, u. a. in soferne recht haben, dass das in Lösung gegangene Al (und Fe) wenigstens zum Teil in austauschbarer Form im Boden vorhanden war. Der grösste Teil des in Lösung gegangenen Aluminiums (und Fe) wird aber durch die Wirkung der Salzsäure in Lösung gehen; wird doch die Wasserstoffionenkonzentration bei Behandlung mit der ziemlich starken KCl-Lösung stark gesteigert (siehe Nachschrift).

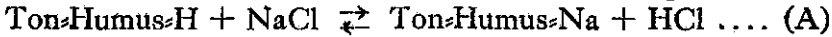
Mit den meisten Bodenkundlern betrachte ich die Bodenadsorption als eine *Austauschadsorption*, d. h. dass, wenn ein Kation A aus einer Lösung vom Boden festgelegt wird, eine äquivalente Menge eines Kations B aus dem Boden in die Lösung übergeht.

Von *Schulze* (4) ist betont worden, dass nur die Ionen austauschbar sind. Dies scheint nicht richtig zu sein. Denn auch die undissoziierten Oberfläche-Moleküle beteiligen sich am Austauschprozess. Dies geht aus folgender Tatsache hervor. Wenn ein As_2S_3 -Sol von $BaCl_2$ ausgeflockt worden ist, hat sich an der Oberfläche der As_2S_3 -Teilchen unlösliches BaS gebildet, und doch ist das Ba dieser unlöslichen Verbindung völlig austauschbar. Wir kommen also zu der Schlussfolgerung, dass die Oberflächen-Moleküle die austauschfähigen Kationen liefern.

Ich muss nun noch bemerken, dass die H_2 - und OH_2 -Ionen sich von allen Ionen am festesten mit anderen Ionen verbinden (5); nur in den starken Säuren und Basen ist die H_2 -Ionen, bezw. OH_2 -Ionen-Bindung sehr lose. Besonders fest ist die gegenseitige Bindung der H_2 - und OH_2 -Ionen zu H_2O .

Dies lässt nun bestimmte Schlussfolgerungen zu.

Bei Behandlung des Bodens mit einer Lösung eines Neutral-salzes, z. B. $NaCl$, werden die H_2 -Ionen der Ton-Humussubstanz des Bodens nur schwach von den Na_2 -Ionen verdrängt werden:



Das Gleichgewicht (A) ist nur wenig nach rechts verschoben, weil die Ton-Humus-Substanz das H_2 -Ion stark bindet, während die Bindung von H_2 - und Cl_2 -Ionen sehr lose ist; mit anderen Worten, weil die Ton-Humus-Säuren zu den schwachen, die Salzsäure zu den starken Säuren gehören.

Bei Anwendung eines hydrolytisch gespaltenen Salzes wie Na_2 oder Ca_2 -Azetat, wird das Gleichgewicht (A) — infolge der festen Bindung von H_2 - und CH_3COO_2 -Ionen, anders gesagt, infolge der geringen Stärke der Essigsäure — schon mehr nach rechts verschoben.

Die Verschiebung nach rechts ist besonders stark, wenn eine Base [$NaOH$, $Ca(OH)_2$] einwirkt, weil die H_2 -Ionen dann Gelegenheit bekommen, sich mit den OH_2 -Ionen zu H_2O zu vereinigen.

Es sei nachdrücklich betont, dass diese ganze Auffassungsweise einfach den Prinzipien der physikalischen Chemie entnommen ist.

Weiter sei darauf hingewiesen, dass das Gleichgewicht (A) noch vom Kation abhängig ist. Das Ca_2 -Ion verbindet sich fester mit der Ton-Humussubstanz als das Na_2 -Ion; mit anderen Worten, Ca_2 -Ton-Humus (oder Calcium-Aluminat-Silikat und Calcium-Humat) ist weniger löslich als Na_2 -Ton-Humus; noch anders ausgedrückt: die Ca_2 -Ionen sind weniger hydratisiert, als die Na_2 -Ionen (6). Bei Einwirkung von $CaCl_2$ wird das Gleichgewicht (A) also mehr nach rechts verschoben, als bei Einwirkung von $NaCl$.

Schliesslich sei noch bemerkt, dass auch die Anionen das Gleichgewicht (A) beeinflussen können. Alle diese Betrachtungen sind schon vor 4 Jahren auf der III. Konferenz in Prag von mir behandelt worden (7).

3. Sättigungszustand der Ton-Humus-Substanz.

Es hat sich nun gezeigt, dass das gegenseitige Verhältnis der Kationen in dem Aussenschwamm — und infolgedessen auch das gegenseitige Verhältnis dieser Atome in den nicht dissoziierten Molekülen der Oberflächenteilchen — eine grosse Rolle in den Bodenprozessen spielt. Besonders ist derjenige Zustand, den — wenn ich nicht irre, — *Ramann* zum ersten Male das „mehr oder weniger Gesättigtsein“ des Bodens genannt hat, von grosser Wichtigkeit. Darüber werden wir uns wohl einig sein (8).

Die zweite Frage ist jedoch, wie wir diesen Sättigungszustand zahlenmässig ausdrücken müssen. Ueber diesen Punkt sind die Meinungen sehr verschieden. Von *Gedroiz* (9), *Sokolowski* (10) und *Gehring* (11) wurde dies in anderer Weise ausgedrückt als von mir.

Als Sättigungszustand des Bodens habe ich das Verhältnis $V = (100 \times S) : T$ definiert, worin *S* die Menge der im Boden vorhandenen, adsorptiv gebundenen Basen ist, während: $T = S + (T-S)$ ist. Die Grösse $(T-S)$ ist der Säurewasserstoff, d. h. also der noch nicht gesättigte Wasserstoff der Ton- und Humussäuren. Beide Werte „*S*“ und „*T*“ müssen natürlich in Äquivalenten ausgedrückt werden (12).

Ich habe eine Methode zur Bestimmung der adsorptiv gebundenen oder austauschfähigen Basen im Boden (Kalk, Magnesia, Kali und Natron), der Grösse „*S*“ also, ausgearbeitet, welche auch auf CaCO_3 -haltende Böden anzuwenden ist. Bei einer Untersuchung von normalen, niederländischen Ton- und Humusböden zeigte sich, dass die bivalenten Basen unter den austauschfähigen Basen die erste Stelle einnehmen und unter ihnen wieder der Kalk (im Mittel ungefähr 79 Ca, 13 Mg, 2 K und 6 Na). Bei Untersuchungen von amerikanischen und englischen Böden sind *Kelley* und *Page* zu ähnlichen Resultate gekommen.

Von *Sigmond* hat Kritik an dieser Methode geübt, und morgen wird dieser Punkt eingehender zur Diskussion stehen. Jedenfalls ist im wesentlichen klargestellt, worum es sich handelt, und es bleiben bloss noch Detailfragen zu beleuchten.

Wie schon bemerkt, wird die Grösse $(T-S)$ von einigen Kollegen in anderer Weise als von mir bestimmt, und infolgedessen bekommen sie auch andere „*T*“ und „*V*“ Werte als ich. Ich will zugeben, dass man auch mit diesen anderen „*T*“

und „V“ Werten weiter arbeiten kann, wie z. B. die Arbeit von *Gehring* beweist. Trotzdem muss ich behaupten, dass meine Auffassung des (T—S)-Wertes theoretisch genauer ist, und ich möchte das kurz erläutern.

Es handelt sich darum, den Sättigungs- oder den Äquivalenzpunkt der sehr schwachen Bodensäuren zu finden. Obschon wir die Stärke dieser Bodensäuren noch nicht zahlenmässig ausdrücken können, so wissen wir doch, dass es sehr schwache Säuren sind, welche sich ungefähr mit der Borsäure vergleichen lassen. Es ist möglich, dass die Humussäuren, wenigstens zum Teil, etwas stärker sind, als die Tonsäuren (13). Nun liegt bekanntlich der Sättigungs- oder Äquivalenzpunkt der Borsäure bei einem pH-Wert von ungefähr 10,5; es steht also demnach zu erwarten, dass der Sättigungspunkt der Bodensäuren auch bei sehr alkalischen Werten liegen wird, also bei pH-Werten von vielleicht ungefähr 10—11. Solche Werte kommen in der Natur, — selbst bei den meisten alkalischen Sodaböden, — nicht vor. Ich muss also auch diese Böden als ungesättigt betrachten. Es steht also in voller Übereinstimmung mit der Theorie, wenn v. *Sigmond* „bis jetzt noch keinen Boden gefunden hat“, wie er auf Seite 63 schreibt, „welcher nach *Hissink's* Methode geprüft, sich als gesättigt erwiesen hätte“.

Bei der Bestimmung des Gehaltes an sehr schwachen Säuren versagt die gewöhnliche Titriermethode mit Indikatoren, weil sich der Farbenumschlag wegen der starken Hydrolyse des sich bildenden Salzes über ein zu grosses Intervall ausdehnt. Schwache Säuren lassen sich auch nicht potentiometrisch titrieren, weil die pH-Kurve in der Nähe des Sättigungs- oder Äquivalenzpunktes ziemlich horizontal verläuft. Man ist also auf die konduktometrische Titriermethode angewiesen.

In einigen Arbeiten habe ich diese Methode beschrieben, später dieselbe jedoch durch eine andere Methode ersetzt (14). Von *Sigmond* hat diese Abänderung geprüft und begutachtet. Auch diesen Punkt werden wir morgen diskutieren.

Jedenfalls stimme ich dem Vorschlag von von *Sigmond* völlig bei, dass die verschiedenen Methoden zur Bestimmung von „S“ — und ich möchte hinzufügen, auch von „T“ und „V“ — miteinander verglichen werden müssen. Soweit ich die Sache bis jetzt übersehen kann, wird sich herausstellen, dass Zusammenhänge zwischen den verschiedenen „V“-Werten bestehen. So glaube ich z. B., dass man den „V“-Wert von *Gehring*

aus meinem „V“-Wert durch Multiplizieren mit ungefähr 1,25 berechnen kann.

Es bleibt mir noch übrig, kurz zwei Punkte hervorzuheben. Aus diesen Bemerkungen werden dann meine Vorschläge für die weiteren Arbeiten auf diesem Gebiet zu entnehmen sein.

I. Ausführliche Analyse des Bodens.

Erstens ist es mir aufgefallen, dass viele Forscher sich mit der Bestimmung von ein oder zwei Bodenwerten begnügen. Die Folge davon ist, dass der Boden und die Bodenprozesse, welche man zu studieren versucht, in sehr ungenügender Weise charakterisiert werden. Es liegt auf der Hand, dass es auf diese Weise in vielen Fällen nicht möglich sein wird, richtige Schlussfolgerungen zu ziehen.

Was ich hier meine, ist dasselbe, was Kappen bei der Diskussion über die Bodenazidität gelegentlich der Hauptversammlung des Verbandes d. Landw. (Lüneburg, 10—11. Sept. 1925) vorgebracht hat (15). Kappen sagt (Seite 200): „Bei verschiedenen Böden kann daher der gleiche Aziditätsgrad, etwa 7,0 cem Austauschazidität, vorhanden sein, ohne dass diese Böden sich pflanzenphysiologisch gleich verhalten. Ein bestimmter Aziditätsgrad kann nämlich bei einem leichten Boden dadurch hervorgerufen sein, dass die geringe Menge der in ihm vorhandenen Zeolithe und Humate sehr weit an Basen verarmt ist, während bei einem schweren, zeolithreichen Boden schon eine ganz schwache Basenverarmung zu dem gleichen Aziditätsgrad führt.“

Aus diesen Bemerkungen von Kappen erhellt, dass es durchaus unrichtig ist, sich bei seinen Untersuchungen des Bodens auf die einzelne Bestimmung der Austauschazidität zu beschränken.

Meine erste Bemerkung geht also dahin, dass es nötig ist, den betreffenden Boden nach Möglichkeit umfassend zu untersuchen. Zu dieser ausführlichen Bodenanalyse gehören die folgenden Bestimmungen: der Gehalt an Ton, Sand, Humus und CaCO_3 ; der pH-Wert der wässrigen Bodensuspensionen; die verschiedenen Kappen'schen Werte, wobei auch die Menge des in Lösung gegangenen Al (evtl. Fe) zu beachten ist; der Gehalt an austauschfähigen Basen (Ca, Mg, K, Na), also der

Wert „S“; der Wert „T—S“, woraus sich $V = (100 \times S) : T$ ergibt; die Titrationskurve mit CaO, vielleicht auch mit NaOH. Hat man Zeit, so empfiehlt es sich auch, das Molekularverhältnis nach Gansen ($Al_2O_3 : SiO_2 : \text{Basen}$) zu bestimmen. Hierbei sind die Bemerkungen von Smolik über den Einfluss des Eisens zu beachten (16).

Mit Hilfe dieser Werte sind verschiedene andere Boden-
größen zu errechnen.

Es wird sich dann herausstellen, dass ein Zusammenhang zwischen verschiedenen dieser Bodenwerte besteht. Als Beispiel verweise ich auf die graphische Darstellung auf Seite 202 meiner Arbeit in den Groninger Verhandlungen Teil A. Ich kann zu den drei Werten: pH, „S“ (Humus) und „V“ noch einen vierten Wert hinzufügen, nämlich: die Menge CaO in g, welche 100 g von der Humussubstanz adsorbieren muss, um den pH-Wert = 7 zu erreichen; kurzweg den Kalkfaktor (bis pH = 7). Man findet diesen Wert in Tabelle II, Seite 201 (0—0,38 u.s.w. bis 6,15).

Wie aus der graphischen Darstellung hervorgeht, besteht eine Beziehung zwischen diesen vier Werten; nur bei den vier Humussandböden (Nr. 11, 12, 13 und 14) tritt eine Abweichung auf.

II. Was findet bei einer Bekalkung mit dem Kalkdünger statt?

Ausserdem wollte ich zweitens noch folgendes bemerken. Es genügt nicht, den Boden vor der Düngung mit Kalk zu analysieren. Man muss auch nachzuforschen versuchen, was mit dem gegebenen Kalkdünger stattfindet. Also:

1. Welche Mengen CaO von den Pflanzen aufgenommen und aus dem Boden ausgespült werden.
2. Welche Mengen CaO als $CaCO_3$ und als Ton-Humus-CaO im Boden zurückbleiben.

Zu diesem Zweck müssen von gekalkten und ungekalkten Parzellen desselben Bodens eines Versuchsfeldes auf bestimmten Stellen nach der Kalkung erneut Proben genommen und diese ausführlich untersucht werden. In meiner Arbeit (Seite 174—197) „Was findet bei einer Bekalkung des Bodens mit der Kalkdüngung statt?“ habe ich dies ausführlich auseinandergesetzt. Besonders sei hier hervorgehoben, dass neben anderen Faktoren, (feine Verteilung der Kalkdüngung und innige

Mischung mit dem Boden; Grösse des Ton- und Humusgehaltes), der Sättigungsgrad des Bodens der wesentliche Faktor ist, der auf die von der Ton- und Humussubstanz adsorbierte Menge Kalk bestimmend einwirkt.

Ich bin davon überzeugt, dass Bodenuntersuchungen in dieser Weise und natürlich im Zusammenhang mit Düngungsversuchen ausgeführt, Aufklärung in manchen Punkten herbeibringen werden.

Ich möchte mich auf diese wenigen Bemerkungen beschränken; Prof. von *'Sigmund* wird so liebenswürdig sein über die Methoden zur Bestimmung von S und V zu berichten.

BEMERKUNGEN.

- 1) Dispersität und Basenaustausch von *Georg Wiegner*, Zürich; Ergänzungsband der Kolloidzeitschr. Band 36, Seite 341—369.
- 2) *Leonor Michaëlis*: „Die Wasserstoffionenkonzentration“, I, 1922, Seite 207.
- 3) Siehe: „De electriche lading van kolleoidale deeltjes“, von Prof. Dr. *W. Reinders*, Chemisch Weekblad, Jahrg. 23, 1926, Seite 130—134.
- 4) „Die Ionendiffusion im Permutit und Natrolith“ von *Günther Schulze*, Zeitschr. f. Physik. Chemie, 89, 168—178, 1915.
- 5) *Michaëlis*, Seite 203.
- 6) Die Hydratation der Ionen ist eine Hilfsvorstellung, um eine Abweichung der Elektrolytlösungen, die bei höheren Konzentrationen stärkere Wirkungen auf osmotischen Druck u.s.w. ausüben, als ihrer Zahl entspricht und deren elektrische Beweglichkeit bei den einwertigen Ionen nicht mit der Ionengrösse übereinstimmt, von der klassischen Theorie zu erklären (*Wiegner*, Seite 345).
- 7) Comptes Rendus de la Conférence Extraordinaire (III ième Internationale) Agropédologique 1922, Seite 236 ff.
- 8) *Gedroiz* meint, dass der adsorbierende Bodenkomplex die Grundlage für die Bodenklassifizierung bilden kann. Siehe auch die Bemerkungen von *Robinson* in den Groninger Verhandlungen, 1926, Teil A, Seite 170—173.
- 9) Siehe das Referat von *Page* in den Groninger Verhandlungen 1926, Teil A, Seite 207—231.
- 10) *A. N. Sokolowski*, Transactions of the Institute of Fertilizers, Nr. 13, Moskau 1923. Nach *Ramann*, Zeitschr. f. Pflanzenern. und Düngung, Teil A, Wissenschaftlicher Teil, Band III, 1924, Seite 263.
- 11) Groninger Verhandlungen 1926, Teil A, Seite 153—169.
- 12) Siehe Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, Band XII, 1922, Seite 115 ff.; weiter: „Base Exchange in Soils“, Transactions of the Faraday Society, Nr. 60 Vol. XX, Part. 13, April 1925; und „Der Sättigungszustand des Bodens; A. Mineralböden (Tonböden)“, Zeitschr. f. Pflanzenern. u. Düngung, Teil A, Band IV, Seite 137—158.
- 13) Siehe die pH-V-Kurven auf Seite 240 der Comptes Rendus de Prague, 1922.
- 14) Siehe Anmerkung (11).
- 15) Landwirtschaftliche Versuchsstationen, Band 104, Seite 199—201.
- 16) Groninger Verhandlungen 1926, Teil A, Seite 25—28.

Nachschrift (September 1926).

100 g lufttrockner Boden wurde mit 250 cc N KCl-Lösung ein Stunde geschüttelt und filtriert; das Filtrat wurde mit 0,1 N NaOH-Lösung titriert und auf $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ untersucht. Weiter wurde pH sowohl in der wässrigen als in der KCl-Suspension bestimmt (100 g Boden mit 250 cc Flüssigkeit).

N ^o . B	cc 0,1 n NaOH auf 100 g Trockensubstanz berechnet.	pH in der Suspension		‰ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ auf Trockensubstanz.
		H ₂ O	KCl	
1691a	9.7	4.2	3.6	0.023
2330	11.7	4.1	3.9	0.014
1697	18.7	4.8	3.9	0.034
1724a	9.0	4.6	3.9	0.024
2329	2.6	5.0	4.3	0.005
1690a	1.0	5.0	4.6	0.004
1939	0.5	6.2	5.2	0
1718a	0.4	5.9	5.5	0
1698	0.5	6.8	6.0	0
1937	1.0	7.4	6.8	0

Nur in den stark sauren KCl-Suspensionen erscheint Al (und Fe) in Lösung. In dieser Beziehung sei auf eine Arbeit von *Line* hingewiesen (Aluminium and acid soils by *J. Line*, J. of Agr. Science, Vol. XVI, 1926, 335—364; siehe insbesondere die Kurve auf Seite 340). Für die gebrauchten Bodenproben, siehe z. T. Teil A. Die ausführlichen Resultate werden später von *van der Spek* und mir veröffentlicht.