

VERHANDLUNGEN DER ZWEITEN KOMMISSION
UND DER ALKALI-SUBKOMMISSION DER INTER-
NATIONALEN BODENKUNDLICHEN GESELL-
SCHAFT

HELSINKI 26.-30. VII. 1938

TEIL B.

631.415.1 = 631.414.3

DR. D. J. HISSINK. *Groningen. (Holland).*

BODENAZIDITÄT UND BODENADSORPTION.

Bodenazidität.

Arbeiten über Bodenazidität liegen nicht vor. Betreffs der Methodik der pH-Bestimmung möchte ich folgende Bemerkung machen. Auch in Holland hat sich die Anzahl Böden, bei denen die Chinhydron-Methode infolge zunehmenden pH-Wertes (Drift) nicht anwendbar ist, als grösser erwiesen, als wir ursprünglich meinten. Bei der Chinhydron-Elektrode ist es durchaus nötig, unmittelbar nach Hinzufügung von Chinhydron zu messen; höchstens 10 bis 15 Sekunden nach Hinzufügung von Chinhydron muss abgelesen werden. Zeigt sich dann während des Messens eine pH-Zunahme, so ist der Boden für eine Messung mit Chinhydron nicht geeignet. In diesem Falle benutzen wir die Glaselektrode. Bei solchen Böden kann man auch angenäherte pH-Werte mit Chinhydron bekommen, wenn man die Messung mit einer zweiten Bodenprobe mit einer Ableszeit von höchstens 10 bis 15 Sekunden nach Hinzufügung von Chinhydron wiederholt. Bei Serien-Analysen darf das Chinhydron also nicht zu allen Proben der Serie zu gleicher Zeit hinzugesetzt werden. Unter diesen Umständen würde es sich vielleicht empfehlen, alle Bodenproben mit der Glaselektrode zu messen. An dem Bodenkundlichen Institut Groningen (Holland) ist die Glaselektrode noch nicht auf Massenanalysen eingerichtet.

Das Trocknen des Bodens.

Es gibt Böden, welche beim Trocknen an der Luft sehr grosse Aenderungen in pH-Werten erleiden. Wir haben in Holland Böden, welche im frischen Zustand ungefähr neutral reagieren (pH ungefähr 7) und nach dem Eintrocknen pH-Werte bis sogar 1 und niedriger besitzen. Es sind Böden, welche FeS_2 und vielleicht andere Schwefeleisenverbindungen enthalten und kein CaCO_3 . Sobald Luft (Sauerstoff) hineindringt, werden die Sulfide zu Sulfaten oxydiert; es bilden sich Eisen- und Aluminiumsulfate. Auch in Finnland kommen solche Böden vor (siehe die Arbeiten von Aarnio und Kivinen). Wir haben nun bemerkt, dass beim schnellen Eintrocknen nur eine teilweise Oxydation der Sulfide stattfindet; der Endpunkt der Oxydation wird erreicht bei langsamer Oxydation, in etwas feuchter Luft, am besten unter Mitwirkung der betreffenden Bakterien.

Bodenadsorption (1).

Betreffs der Bodenadsorption liegen zwei Arbeiten vor, bezw. von Kotzmann und Kivinen. Erst einige Bemerkungen über Kivinen's Arbeit: "Ueber den Basenaustausch in Finnischen Tonböden".

Von Kivinen sind in verschiedenen Tonbodenarten (schwere Tonböden, leichte Tonböden, Bröckeltonböden) die Werte S und T-S (also auch die Werte T und V) und auch die pH-Werte in verschiedener Tiefe (Ackerkrume, Pflugsohle und Untergrund) bestimmt. Die Werte S und T-S sind bestimmt nach der Methode Vageler-Alten. Bei seinen Betrachtungen hat Kivinen nun übersehen, dass der T-Wert von dem Gehalt an Adsorptionskomplex (Ton-Humussubstanz) und der S-Wert von dem Gehalt an Adsorptionskomplex und von dem Sättigungszustand dieses Komplexes, also von dem T- und dem V-Wert, bedingt wird ($S = V \times T : 100$). Dass die von Kivinen erwähnten Böden ziemlich gleiche T-Werte besitzen (18 bis 27), rührt daher, dass diese Böden alle ziemlich schwere Böden mit wenig Humus sind, also ziemlich gleiche Menge an Ton-Humus haben. Weiter vergleicht Kivinen die S-Werte mit den pH-Werten. Das ist jedoch nicht erlaubt; nicht die S-Werte, sondern die V-Werte sollen mit den pH-Werten verglichen werden. Ich habe für diesen Vergleich bei holländischen Böden auch S-Werte genommen, aber diese vorher auf 100 g Ton + Humus umgerechnet. Diese Umrechnung ist immer eine annähernde, und es ist noch die Frage, ob dieselbe für finnische Böden erlaubt ist.

Schliesslich möchte ich noch bemerken, dass das Basenverhältnis der finnischen Böden einen hohen Prozentgehalt an Mg zeigt. Während die normalen Kalktonböden ein Basenverhältnis von ungefähr $79 \text{ (Ca)} + 13 \text{ (Mg)} + 5 \text{ (K)} + 3 \text{ (Na)} = 100$ besitzen, gibt Kivinen Zahlen zwischen $69 + 23 + 2 + 6 = 100$ und $44 + 53 + 1 + 2 = 100$. Auch in Holland kennen wir solche Böden. Die Salzwasserböden, welche sich an unseren Küsten ablagern, also der Typ "Alkalisalzböden" nach von Sigmond, besitzen ein Verhältnis von z. B. $30 + 42 + 8 + 20 = 100$; es sind also Magnesia-Natronböden. Nach der Eindeichung wird das Natrium, das von der Ton-Humussubstanz schwach gebunden wird, ziemlich bald vom Regenwasser ausgelaugt und durch Ca ersetzt; wir finden z. B. ein Verhältnis: $66 + 26 + 6 + 2 = 100$. Mg bleibt ziemlich lange gebunden. 70 Jahre nach der Eindeichung finden wir Zahlen wie: $86 + 9 + 4 + 1 = 100$. Es sei bemerkt, dass diese holländischen Böden reich an CaCO_3 sind und, solange CaCO_3 vorhanden ist, ändert sich das Verhältnis nicht. Es ist nun bemerkenswert, dass das Verhältnis nach ungefähr 250 bis 300 Jahren, nachdem der CaCO_3 ausgelaugt ist, wiederum ungefähr $71 + 24 + 2 + 3 = 100$ geworden ist. Vielleicht hat der Gehalt an austauschfähigem Mg auf Kosten von dem saurelöslichen Mg zugenommen; anders gesagt, Mg ist aus den inneren Gitterräumen an die Oberfläche diffundiert. An Stelle von Mg sind dann H-Ionen gekommen (2).

Ich erlaube mir hier die Frage, welche Bedeutung der hohe Gehalt an austauschfähigem Mg besitzt, und zwar für die Bodenstruktur und den Pflanzenwuchs.

Ich komme jetzt zu der Arbeit von Kotzmann. Diese Arbeit handelt über die Methodik der Bestimmung des V-Wertes ($V = 100 \text{ S: T}$). Wie bekannt, arbeitet Budapest (di Gleria, Kotzmann) nach dem Ammoniumadsorptionsverfahren. Kotzmann erwähnt nun in erster Linie, dass die Höchstgrenze der Adsorption nach diesem Verfahren unabhängig ist von der Natur der verwendeten Basen; Bestimmungen mit Ammoniak-, Kalk-, Baryt-, Kali- und Natronlauge führen zum selben Ergebnis. Weiter weist Kotzmann darauf hin, dass der V-Wert (di Gleria-Kotzmann) enge Beziehung zum pH-Wert zeigt. Kotzmann erwähnt dann, dass verschiedene Methoden zur Bestimmung des V-Wertes in Gebrauch sind und er schlägt vor, diese verschiedenen Methoden einer internationalen Prüfung von verschiedenen Laboratorien zu unterziehen und die Ergebnisse dem Kongress-1940 vorzulegen. Natürlich müssen die Arbeitsmethoden genau beschrieben werden, und die Untersuchungen stets an denselben Bodenproben vorgenommen werden. Ich möchte hier hinzufügen, dass vielleicht die Standardbodenproben hierzu am meisten geeignet sind; also die sieben Boden-

proben I—VII, siehe die Mitteilung in der grünen Zeitschrift, Teil XII (1937), n^o 2, Seiten 66/67. Diese Bodenproben können bei mir (Bodenkundliches Institut, Groningen, Holland) bezogen werden.

Ich könnte hiermit mein Referat beschliessen, möchte jedoch noch gerne einige allgemeine Betrachtungen folgen lassen.

Wie bekannt, habe ich die Werte: S, T und V in der Bodenkunde eingeführt. Als Sättigungszustand des Bodens habe ich das Verhältnis $V = 100 S : T$ 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; diese Grösse stellt den Grad des Ungesättigtheits des Bodens dar und stimmt nach meiner Auffassung mit der Menge austauschbarer Wasserstoffionen überein. Der Sättigungszustand des Bodens ist also das Verhältnis der Menge der im Boden vorhandenen adsorptiv gebundenen Basen S zu der Menge Basen T, welche der Boden *total* binden kann; T ist also, was Kelley später genannt hat: the total binding capacity of the soil.

Gegen diese Umschreibung des Begriffes des Sättigungsgrades des Bodens sind keine Einwände erhoben. Meine Methode zur Bestimmung des T-Wertes, oder besser gesagt, des Wertes T-S, also meine konduktometrische Titrationsmethode der Bodensäuren (sogenannte Barytmethode), hat jedoch von verschiedenen Seiten Kritik erfahren und es ist eine ganze Reihe von Methoden zur Bestimmung des Wertes T-S hinzugekommen. Bevor wir uns nun über die (T-S)-Methode einigen können, müssen wir uns darüber klar sein, was der V-Wert bedeuten soll. Ich habe das schon öfters gesagt, und auch Kotzmann sagt es jetzt wiederum auf Seite 47 seiner Arbeit: der Wert V ist in erster Linie ein Charakteristikum des Bodens. In zweiter Linie kommt dann die Frage, in wiefern wir dieses Charakteristikum auch für praktische Zwecke, z. B. für Bekalkungsrecepte anwenden können.

Mein V-Wert entspricht nun der Bedingung, dass er den holländischen Böden, so weit bis jetzt untersucht, in guter Weise zu charakterisieren vermag. Unsere jungen marinen Tonböden, welche reich an CaCO_3 sind, haben alle einen V-Wert von rund 45, und behalten diesen Wert, solange noch CaCO_3 vorhanden ist. Später, nach Auslaugung des CaCO_3 durch das Regenwasser, sinkt der V-Wert und zugleichzeitig nimmt auch der pH-Wert ab. Bei unseren Humusböden von verschiedenem Typus habe ich folgenden Zusammenhang zwischen

pH- und V-Werten (nach Hissink) gefunden: $V = 25$, $pH = 6$; $V = 30$, $pH = 6.5$; $V = 37$, $pH = 7$.

Dann hat leider, schon im Jahre 1926, von 'Sigmond meinen V-Wert abgelehnt, weil "in der Natur keine Böden gefunden werden, welche nach Hissink einen V-Wert = 100 besitzen". Hier macht von 'Sigmond einen prinzipiellen Fehler. Statt der V-Wert in erster Linie als Charakteristikum des Bodens zu betrachten, hat er sofort praktische Erwägungen an diesem Wert angeknüpft. Das hat zu den sogenannten praktischen V-Werten geführt. Diesen V-Werten gegenüber hat mein V-Wert wenigstens den Vorteil, dass er eine theoretische Grundlage bildet. Mein T-Wert gibt die Mengen an Basen, welche für die theoretische oder die Total-Sättigung nötig ist, und es ist nun völlig in Uebereinstimmung mit den theoretischen Auffassungen, dass der Sättigungspunkt oder der Aequivalenzpunkt der schwachen Bodensäuren bei sehr alkalischen pH-Werten liegt. Und diese theoretische Auffassung des T-Wertes hat den grossen Vorteil, dass sie allgemeine Anwendung finden kann, was mit den der Praxis entnommenen T-Werten nicht der Fall ist, und auch nicht der Fall sein kann. Die praktischen T-Werte müssen je nach Klima, Bodenart, Bodentypus und Pflanzenart verschieden sein, und es liegt also auf der Hand, dass es viele praktische T-Werte gibt, das heisst Werte, bei denen der betreffende Boden nach praktischen Auffassungen optimal mit Basen gesättigt ist. Mein T-Wert gibt die Sättigung in einem internationalen Klima; d. h. im Laboratorium. International wird man sich nur auf diesen internationalen T-Wert einigen können.

Welches sind nun diese praktischen Werte: T-S, T und V?

Es sind Vorschläge gemacht, um den Wert T-S durch Titration bis $pH = 7$ zu bestimmen. Da es jedoch Böden mit höheren pH-Werten als 7 gibt, sind dann Vorschläge gekommen, um bis $pH = 8$ zu titrieren. Dann sind andere (Bradfield, Maschhaupt) gekommen und haben den Boden mit $CaCO_3$ behandelt, bezw. mit CaO und Nachbehandlung mit CO_2 . Das würde dann der Endpunkt sein, der gerade in der Natur vorkommt. Aber das ist nicht richtig. Nach diesen letzten Methoden kommen die Böden auf einen pH-Wert von ungefähr 8.2—8.5. In unserem humiden, holländischen Klima besitzen die $CaCO_3$ -haltigen Böden solche hohen pH-Werte jedoch nicht; möglicherweise können unmittelbar nach einer Bekalkung stellenweise solche hohe pH-Werte auftreten, ein Teil des von der Ton-Humussubstanz adsorptiv gebundenen Kalkes wird jedoch sehr rasch von der Bodenkohlensäure als $CaCO_3$ festgelegt und der pH-Wert sinkt bald unter 8. Auch hier fehlt also die theoretische Grundlage. Dann hat die Gleria bemerkt, dass in dem ungarischen ariden Klima auch noch Böden

mit CaCO_3 vorkommen, welche ungesättigt sind, und er hat mittels seiner Ammoniumadsorptionsmethode die Ungesättigkeit vieler dieser ungarischen, CaCO_3 -haltigen Böden nachgewiesen. Diese Böden sind also in Hinsicht auf das aride, ungarische Klima ungesättigt; in unserem humiden Klima kommen solche Böden jedoch gar nicht vor. Schliesslich haben wir noch die Methode Vageler-Alten, welche mit einer Lösung von Calciumazetat arbeitet. Ich will annehmen, dass der Sättigungs-Endpunkt bei den von dieser Methode gegebenen Vorschriften erreicht wird; aber dieser Endpunkt ist dann doch von der angewandten Lösung (Calciumazetat) abhängig. Beim Gebrauch einer anderen Lösung, z. B. Natriumborat statt Calciumazetat, wird ein anderer Sättigungs-Endwert erreicht.

Ich komme zu der Schlussfolgerung, dass man sich international nur auf einem theoretischen (T-S)-Wert einigen kann, und das ist, so weit ich das beurteilen kann, der nach meiner Methode bestimmte (T-S)-Wert (3).

Ich möchte diese Gelegenheit benutzen, um noch einige Bemerkungen betreffs der Methodik der Barytmethode zu machen.

1) Es ist die Bemerkung gemacht, dass bei Anwendung von stark alkalischen Lösungen (bis pH ungefähr 10 bis 11) eine Zerstörung von Humusstoffen möglich ist; dass dies wirklich stattfindet, ist niemals bewiesen.

2) Weiter ist der Gedanke ausgesprochen, dass bei Anwendung von stark alkalischen Lösungen eine molekulare (apolare) Adsorption von Baryt stattfinden könnte. Wenn dies der Fall ist und die molekulare Barytadsorption sich in zunehmendem Masse äussert, je stärker alkalisch die Barytlösung wird, so müssen die Winkel der Titrationsgeraden mit der horizontalen Achse sehr viel kleiner sein als 45° . Bei Mineralböden ist das nicht der Fall; bei Humusböden tritt allerdings eine kleine Abweichung von 45° auf, welche jedoch von geringer Bedeutung ist.

3) Drittens ist bemerkt, die Barytmethode würde viel Zeit kosten. Die Methode eignet sich jedoch sehr gut für Massenanalysen. Nötigenfalls genügt für annähernde Bestimmungen eine Titration; durch diesen Punkt wird dann eine Gerade gezogen, welche mit der horizontalen Achse einem Winkel von 45° bildet.

4) Schliesslich möchte ich die Frage stellen, was für Konsequenzen es mit sich bringt, wenn ein Boden Verbindungen enthält, welche erst bei sehr hohen pH-Werten, von z. B. 9 bis 10, Baryt festlegen. Die Anwesenheit derartiger Verbindungen erhöht meinen T-Wert, d. h.

dass mein V-Wert eines derartigen, abnormalen Bodens bei den gewöhnlichen pH-Werten, zwischen 6—8, niedriger sein wird, als meine V-Werte bei normalen Böden. Da es sich nun bei den V-Werten in erster Linie um ein Charakteristikum des Bodens handelt, so meine ich, dass dies gerade ein Vorteil meines V-Wertes ist; mein V-Wert lenkt wenigstens die Aufmerksamkeit auf etwas Abnormales und gibt zu einer näheren Untersuchung Veranlassung. Nun enthält jeder Boden in der Tat einen Körper, welcher erst bei hohen pH-Werten Baryt festlegt und zwar Quarz (4). Weil die spezifische Oberfläche der Quarz-Partikelchen im Vergleich mit der Ton-Humussubstanz in den meisten Böden jedoch verschwindend klein ist, spielt die Adsorption von Quarz gewöhnlich praktisch keine Rolle.

Die Methodik der anderen Böden kann ich nicht beurteilen. Nur möchte ich die Aufmerksamkeit darauf lenken, dass die pH-Werte bei den V-Werten = 100 nach di Gleria zwischen 6.0 und 8.5 liegen. Nun werden die pH-Werte nicht nur von den V-Werten, sondern auch von den adsorbierten Ionen (Ba, Ca, Mg, K, Na, NH_4 , u. s. w.) bedingt; aber ein so grosser Unterschied von 6 bis 8.5 lässt sich doch schwer denken. Und wie schon bemerkt, würde der V-Wert, nach Kottmann, gerade eine enge Beziehung zum pH-Wert zeigen. Und schliesslich möchte ich noch bemerken, dass Alten und Kurmies irrtümlicherweise die Existenz einer salzfreien Wasserhaut annehmen. Eine salzfreie Wasserhaut besteht nicht; die Wasserhaut enthält immer Salze, wenn auch weniger als die umgebende Lösung.

Ich komme nun zu der Frage, zu welchen praktischen Zwecken der V-Wert benutzt werden kann; also zu der Frage, in welchem Zusammenhang die Bodenfruchtbarkeit — und dieser Begriff ganz allgemein genommen, also inclusiv die Bodenstruktur, u. s. w., — mit den Eigenschaften des adsorbierenden Bodenkomplexes steht, also mit den Werten T, V und pH und auch mit dem gegenseitigen Verhältnis der adsorptiv gebundenen Basen. Es handelt sich also u. a. um die Frage, bei welchem pH-Wert, bzw. bei welchem V-Wert, die verschiedenen Kulturpflanzen am besten gedeihen. Klima und Bodentypus und Bodenart, und auch die Pflanzenart werden hier eine Rolle spielen.

Es würde nun ganz verfehlt sein, zu meinen, dass man diese Frage mit Hilfe irgendwelcher Methodik der Bestimmung des Wertes T-S beantworten könnte. Zur Beantwortung dieser Frage müssen ganz andere Wege eingeschlagen werden. Dazu kann ich am besten ein

Beispiel geben. In erster Linie wähle ich den Bodentypus: die marinen holländischen Tonböden. Von diesen Böden wissen wir, dass sie in ihrer Jugendzeit ausserordentlich fruchtbar sind, und das in jeder Hinsicht. Sie enthalten CaCO_3 , und so lange CaCO_3 anwesend ist, bleiben die Werte S, V und pH praktisch gleich. Der V-Wert dieser Böden ist nun ungefähr 45. Ich meine nun, dass dieser V-Wert von ungefähr 45 der optimale V-Wert für diesen Bodentypus ist. Die älteren Böden von diesem Typus, welche kein CaCO_3 mehr besitzen und schon sauer reagieren, haben einen niedrigeren V-Wert von z. B. 40 bis 35. Man kann nun ausrechnen, wieviel Kalk die Ton-Humussubstanz von diesen älteren Böden adsorbieren muss, um wiederum auf den V-Wert 45 (nach Hissink) zu kommen. Es sei hier bemerkt, dass zu diesem Zweck mit mehr Kalk als die berechnete Menge beträgt, gedüngt werden muss. Ein anderes Beispiel liefern unsere sandigen Humusböden. Diese sind am besten, wenn sie pH-Werte von ungefähr 6 bis 6.5 besitzen. Man kann dann sowohl Kartoffeln, Hafer, Roggen (Düngung mit Superphosphat und Ammoniumsulfat) als Erbsen und Zuckerrüben und auch Klee mit Thomaschlackenmehl und Kalk- oder Natronsalpeter anbauen. Diese Böden haben V-Werte von 25 bis 30, und man kann die sandigen Humusböden also in der Weise kalken, dass der V-Wert auf 25 bis 30 kommt. Auch hier gilt das Obengesagte, dass zu diesem Zweck mehr Kalk als die berechnete Menge anzuwenden ist. Weiter darf diese Menge nicht mit einem Male verabreicht werden.

Das ist der Weg, um die praktische Bedeutung der V-Werte kennen zu lernen und ich gestehe, dass in dieser Hinsicht wohl alle V-Werte dieselbe Bedeutung haben.

So wie die Sachen jetzt liegen, hat Kotzmann völlig Recht, wenn er schreibt, dass die jetzt angewandten V-Werte innerhalb so weiter Grenzen liegen, dass ihre vergleichsweise Verwendung im internationalen Verkehr völlig illusorisch ist und nur zu Missverständnissen Anlass gibt. Ich unterstütze also den Vorschlag von Kotzmann, die verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der Ungesättigtheit von Böden (Wert T-S) international einer Vergleichsprüfung zu unterziehen. Diese Arbeit muss sich jedoch auf die verschiedenen Methoden zur Bestimmung des S-Wertes ausdehnen; sie muss Ende 1939 fertig sein, sodass die nötigen Vorschläge den 1940-Kongress rechtzeitig erreichen können. Ich nehme an, dass die Leitung dieser Zusammenarbeit in Händen von unseren ungarischen Kollegen liegt;

nur möchte ich gerne sehen, dass die Sache mit mir überlegt wird. Weiter bin ich bereit, den mitarbeitenden Instituten die Standardbodenproben zugehen zu lassen.

SCHRIFTTUM.

1) Es sei auf die Literatur „*Transactions of the Third International Congress of Soil Science*“ hingewiesen (Oxford, Vol. II, 1935, p. 60—74).

2) Siehe auch: The reclamation of the Dutch saline soils (solonchak) and their further weathering under the humid climate conditions of Holland, by D. J. Hissink; *Soil Science*, Vol. 45, no. 2, February, 1938, p. 83—94.

3) Ich möchte hier noch gerne Bemerkung 17, aus den Verhandlungen von Oxford (Band II, 1935, Seite 73) zitieren, welche verschiedene Äusserungen zu Gunsten meiner Ansichten enthält. *Soil Conditions and Plant Growth*, by E. John Russell, 1932, page 187: Bradfield showed that the hydrogen in clay was not all replaced till a pH of 10 or 11 was reached. *Soil Science*, Vol. XXXVIII., page 464: In view of the fact that a soil is theoretically saturated only when a pH value of 14 is reached (A. Floyd Heck). Verhandlungen der Zweiten Kommission, Sowjet Sektion, Moskau, Ud.S.S.R., Band A, I, Seite 35: Jene Methoden, bei welchen der Boden mit Bariumionen gesättigt wird, indem man ihn mit einer Barytlösung behandelt (z. B. die Methode von Hissink), entsprechen offenbar den oben angeführten Bedingungen der Bestimmung der Adsorptionsfähigkeit des Bodens (B. P. Nikolsky). Weiter kommt Novák zu der Schlussfolgerung, dass sich von den in Betracht kommenden Methoden für die Bestimmung des V-Wertes am besten die Methode von Hissink bewährt (*Bulletin des Instituts des recherches agronomiques de la République Tchecoslovaque*, No. 57, 1933, Seite 55). Siehe schliesslich auch Joret, Malterre et Gazaban, *Annales Agronomiques*, 4e Année (1934), 463—469.

4) Siehe: Der mineralische Bodenkomplex von D. J. Hissink, S. B. Hooghoudt und Jac. van der Spek. *Soil Research*, Band V (1936), No. 1, Seite 21—56.