

631.13:541.183
HET ADSORPTIEVERMOGEN VAN DEN
GROND ¹⁾

door

D. J. HISSINK.

1. Reeds in 1850 toonde Way ²⁾ aan, dat bij behandeling van een grond met neutrale zouten, een uitwisseling plaats vindt tusschen een gedeelte van de kationen uit de oplossing en Ca, Mg, K en Na uit den grond. De anionen nemen aan dit uitwisselingsproces geen deel ³⁾. Voor zoover onderzocht, stelt het evenwicht zich zeer snel in. Zoo ging bij behandeling van 25 gram grond met 250 cc. N. NaCl-oplossing na 5 seconden 0.756 % CaO in oplossing; na 3 minuten 0.78 %; na 7 dagen 0.78 %.

Later is gebleken, dat ook waterstof uit den grond tegen kationen uit de oplossing wordt uitgewisseld ⁴⁾ en dat in sterk zure gronden ook Al en Fe, hoewel altijd in geringe hoeveelheden, in oplossing verschijnen.

2. Bij behandeling van den grond met oplossingen van basen — NaOH, Ca(OH)₂, Ba(OH)₂ — verdwijnt een gedeelte van de base uit de oplossing. Wanneer het verband tusschen de concentraties van de base in de oplossing en van de door den grond opgenomen base graphisch voorgesteld wordt, verkrijgt men de bekende adsorptie-isotherm ⁵⁾.

3. De deeltjes van een waterige grond-suspensie verplaatsen zich onder invloed van een potentiaalverschil (kataphoresis) en wel tegen de richting van den stroom in.

4. Waterige grond-suspensies worden door elektrolyten uitgevlokt. De uitvlokkings-theorie voor de suspensioïde systemen is op de klei-suspensies van toepassing. Een tweetal te Groningen onderzochte klei-suspensies A en B vlokten bij de volgende concentraties uit:

¹⁾ Deze voordracht, gehouden in de vergadering van 18 Sept. der Sectie voor kolloïdchemie te Utrecht, geeft een kort overzicht uit vroegere publicaties, hoofdzakelijk verschenen in de Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat., in de Intern. Mitt. Bodenk., in het Landbouwk. Tijdschr. en in de Trans. Sec. Comm. Internat. Soc. Soil Science, Groningen, 1926, Volume A. (Trans. Groningen).

²⁾ J. Roy. Agri. Soc. 11 en 13.

³⁾ Onlangs is dit punt opnieuw door Puri en Comber behandeld; zie The Action of Non-diffusible Ions in Soil Phenomena by Prof. Dr. N. M. Comber, Leeds; Trans. Groningen, A. 43—45.

⁴⁾ Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 27, blz. 157; idem, blz. 162—202. Voor zoover mij bekend, heeft in deze publicatie van der Spek voor het eerst met cijfers aangetoond, dat ook bij behandeling van zwak zure tot zwak alkalische gronden met oplossingen van neutrale zouten een daling van de pH plaats vindt.

⁵⁾ In de J. Soc. Agron. 18, 449—515 (1926) is een „Symposium on Base Exchange Phenomena in Soils” verschenen, waarin o.m. een verhandeling voorkomt van Sante Mattson over „The Relation Between the Electrokinetic Behaviour and the Base Exchange Capacity of Soil Colloids”. Volgens Mattson wordt methyleenblauw tot het isoelectrische punt kwantitatief door den grond geadsorbeerd en bleef er geen kleurstof in oplossing achter. Michaelis (Die Wasserstoffionenkonzentration, Teil I, 1922) geeft de vergelijking (blz. 210): kaolien + methyleenblauw $\rightleftharpoons$ kiezelzuurmethyleenblauw + CaCl₂, waarin ligt opgesloten, dat altijd iets van de kleurstof in de oplossing achterblijft.

A		B	
Al ₂ (SO ₄) ₃	0.2	CuCl ₂	0.5
CaCl ₂	1.5	Cu(OH) ₂	0.6
CaSO ₄	1.7	KOH	12
HCl	3.0	NaOH	16
NaCl	80 tot 100	KCl	40 tot 50
		NaCl	80 tot 100

5. Gronden zonder klei of humus, die alleen zand bevatten ⁶⁾, vertoonen de bovengenoemde verschijnselen niet.

De bovengenoemde verschijnselen kunnen als volgt onder een kolloïdchemisch gezichtspunt worden samengevat. In een waterige grond-suspensie vormt zich om de klei- en humusdeeltjes heen een elektrische dubbellaag. Het materiaal voor deze dubbellaag, dus de kationen en de anionen, moet door de moleculen, die zich aan de oppervlakte van de gronddeeltjes bevinden, geleverd worden. Een gedeelte van de oppervlakte-moleculen moet zich dus in waterige suspensies dissocieëren. Wij komen dus tot de volgende voorstelling van de gesuspendeerde gronddeeltjes. Op de oppervlakte van de gronddeeltjes bevinden zich negatief geladen anionen; bij de kleideeltjes zullen dit wel Al₂O₃-SiO₂-verbindingen, bij de humusdeeltjes anionen van organischen aard zijn. Om de negatief geladen gronddeeltjes heen zit een diffuse kationenzwerm, die uit de ionen Ca, Mg, K, Na en H bestaat, terwijl in zeer zure gronden mogelijk ook Al- en Fe-ionen in de buitenste zwerm voorkomen.

De adsorptie van den grond is nu eene uitwisselingsadsorptie. Bij behandeling van den grond met eene oplossing, bijv. van BaCl₂, wisselen Ca, Mg, K en Na uit den grond tegen Ba uit de oplossing uit. Aan dit uitwisselingsproces nemen niet alleen de gedissocieerde moleculen van de elektrische dubbellaag, doch ook ongedissocieerde oppervlakte-moleculen deel ⁷⁾. Bij behandeling van een bepaalde hoeveelheid grond met een bepaalde hoeveelheid van een oplossing treedt een evenwichtstoestand in, bijv.:



Door den grond met de BaCl₂-oplossing uit te loogen, wordt een eindpunt bereikt en alle uitwisselbare Ca door Ba vervangen. Ditzelfde geschiedt bij uitloogen met oplossingen van andere zouten (bijv. NaCl, NH₄Cl). Hierop berust de methode, om het gehalte aan uitwisselbare basen te bepalen ⁸⁾.

Zooals reeds gezegd werd, vindt ook de uitwisseling:



plaats. Een suspensie van een grond in eene oplossing van BaCl₂ (resp. NaCl, enz.) reageert dien-

⁶⁾ Voor de definitie van de begrippen klei, leem en zand, zie Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 30, blz. 169—202.

⁷⁾ Volgens Schulze (Z. physik. Chem. 89, 168—178; zie ook Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 24, blz. 145 en noot 2, blz. 229) zouden alleen de ionen aan het uitwisselingsproces deelnemen. Dit lijkt minder juist. Een met BaCl₂ uitgevlokte As₂S₃-sol bevat het Ba zeker niet, of hoogstens slechts voor een uiterst kleine hoeveelheid, in ionenvorm, terwijl het Ba toch vrijwel totaal uitwisselbaar is. Mogelijk, dat een spoor Ba in ionenvorm voorhanden blijft en na uitwisseling telkens aangevuld wordt.

⁸⁾ Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 24, blz. 168—170.

tengevolge zuurder dan de waterige grond-suspensie⁹⁾. De grond zelf wordt evenwel minder zuur. Zoo werd 25 gram van een humus-zandgrond (met ongeveer 20% humus) uitgeloozd met resp. 1, 3 en 5 liter N BaCl₂-oplossing; na afloop werd het BaCl₂ met H₂O uitgewasschen en de pH van de waterige grondsuspensie bepaald. Ook werd de pH van de waterige suspensie en van eene suspensie in BaCl₂ van den oorspronkelijken grond gemeten. Hierbij werden de volgende resultaten verkregen:

oorspronkelijke grond	{	waterige suspensie.	pH 4.95
		suspensie in BaCl ₂	3.41
waterige suspensie na uitloozing met BaCl ₂	{	1 liter	5.08
		3 "	5.41
		5 "	5.45

De neutrale reactie wordt dus niet bereikt; men verklaart dit, door aan te nemen, dat de H-ionen zeer sterk gebonden zijn¹⁰⁾.

De H-ionen wisselen wel uit, wanneer de grond met oplossingen van sterke basen behandeld wordt. Ik stel me voor, dat hier het volgende proces plaats vindt:



Bij behandeling van sterk zure gronden met oplossingen van neutrale zouten komen, naast Ca, Mg, K, Na en H, nog Al en Fe in oplossing, doch slechts in geringe hoeveelheden. Over de verklaring van dit verschijnsel loopen de meeningen uiteen. Sommigen nemen eene directe uitwisseling van Al en Fe tegen kationen uit de oplossing aan; anderen meenen, dat eerst H uit den grond uitwisselt, waardoor bij gronden, die reeds vrij zure waterige suspensies geven, een sterk zure suspensie ontstaat, waarin dan Al en Fe in oplossing gaan¹¹⁾.

Van practisch belang is het, de volgende punten na te gaan:

A.: de onderlinge verhouding van de uitwisselbare basen Ca, Mg, K en Na;

B.: de verhouding van deze uitwisselbare basen tot de hoeveelheid zuur-waterstof.

A. Onderlinge verhouding van de uitwisselbare basen (Ca, Mg, K, Na).

Het is gebleken, dat in de normale Nederlandsche gronden geen groote verschillen in de onderlinge verhouding van de uitwisselbare basen in de klei-humus-substantie bestaan. Gemiddeld is gevonden:

in de kleigronden 79 Ca, 13 Mg, 2 K, 6 Na; en

in de humusgronden 76 Ca, 13 Mg, 3 K, 8 Na.

In de normale Nederlandsche gronden domineeren dus onder de uitwisselbare basen de bivalente basen CaO en MgO en onder deze weder de kalk. De-

⁹⁾ Zie ook Chem. Weekblad 22, 500-501 (1925). Het wezen van den zuurgraad van den grond door Dr. D. J. Hissink en Dr. Jac. van der Spek.

¹⁰⁾ Zie ook Michaelis, t. a. p., blz. 203.

¹¹⁾ Van der Spek vond hoogstens een 30 mg. Al₂O₃ + Fe₂O₃ op 100 gram drogen grond in oplossing gaan; Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 27, blz. 183, tabel 6. Kappen, Arrhenius e. a. meenen, dat de H niet uitwisselt, doch dat direct Al en Fe tegen het kation uit de oplossing uitwisselen. Saint (Trans., Groningen, A. 597) daarentegen schrijft: „iron and aluminium would appear to come into solution as a secondary affect due to the increase of the hydrogenion concentration of the system”. Zie ook J. Line, Aluminium and Acid Soils: J. Agr. Sci. 16, 335-364 (1926).

zelfde resultaten zijn later in Engelsche en Amerikaanse gronden gevonden¹²⁾.

Bij bemesting van een grond met een zout (NaNO₃, KCl, NaCl) vindt eene verschuiving in de onderlinge verhouding van de uitwisselbare basen plaats. Bij een enkele bemesting, bijv. van 1 K.G. NaNO₃ per 10.000 K.G. grond, is deze verschuiving uiterst gering; bij voortgezette bemesting met Chili-salpeter, kan ze afmetingen aannemen, die van practische betekenis worden. Bij eene overstrooming met zout water vindt eene zeer sterke wijziging in de onderlinge verhouding plaats. In Zeeuwsche kleigronden, die in 1906 overstroomd geweest waren, werd in 1916 gevonden:

Ca	Mg	K	Na
42.1 + 25.0 = 67.1		6.5 + 26.4 = 32.9	

De uitwisselbare Mg en K en vooral de uitwisselbare Na zijn dus sterk vermeerderd, alle drie ten koste van de uitwisselbare kalk. Men kan hier van natron-kleigronden spreken; dat zijn dus gronden, die meer uitwisselbare natron bevatten dan de gewone of normale kleigronden, die men kalk-kleigronden kan noemen.

Matson¹³⁾ heeft de kataphorese-snelheid van een natron-klei-suspensie en van de overeenkomstige kalk-klei-suspensie bepaald en deze gevonden resp. = -3.5 en = -1.0. De kataphorese-snelheid geeft een maat voor de elektrische lading van de deeltjes en deze lading is dus in de natron-klei-suspensie grooter dan in de kalk-klei-suspensie¹⁴⁾.

De gevolgen van de vervanging van uitwisselbare Ca door Na zijn van tweeërlei aard. In de eerste plaats zal de zuurgraad van den grond dalen (stijging van de pH). In de tweede plaats treden wijzigingen in de structuur van den grond op; natron-kleigronden zijn ondoorlatende, pappige gronden, die tot een harde, moeilijk te bewerken massa indrogen¹⁵⁾.

B. De mate, waarin de grond met basen verzadigd is.

Er bestaan groote verschillen in de gehalten aan uitwisselbare of adsorptief gebonden basen. Als ik mijn collectie eens doorzie, dan tref ik in de

¹²⁾ Replaceable Bases in Soils by Walter P. Kelley and S. Melvin Brown. University of California Publications, The Agricultural Experiment Station of the College of Agriculture, September 1924. Techn. Paper, No. 15, 1-39. In normale Californische gronden vond Kelley 63 Ca, 25 Mg, 4 K en 8 Na. In de zoogen. alkali-gronden waren de verhoudingen geheel anders; om enkele cijfers te noemen: 0-0-35-65; 0-0-3-97; 0-54-12-34. In deze gronden ontbreekt de uitwisselbare kalk geheel. De gronden van de proefboerderijen van het bekende proefstation Rothamsted zijn door Page onderzocht; zie Studies on Base Exchange in Rothamsted Soils, by H. J. Page and W. Williams; General Discussion held by the Faraday Society, December 1924; Trans. Faraday Soc., No. 60, Vol. 20, Part. 3, April 1925, 573-585. In dit verband vestig ik mede de aandacht op de belangrijke publicaties van den Russischen bodemkundige, Prof. Gedroiz. In de Trans., Groningen A, heeft Page een uitvoerig overzicht van Gedroiz' werk gegeven.

¹³⁾ Mattson, t. a. p., 466-467 (figuur 2). De beide suspensies hadden evenveel methyleenblauw noodig om het isoelectrische punt te bereiken.

¹⁴⁾ Georg Wiegner, Dispersität und Basenaustausch (Ionen-austausch), Zsigmondy-Festschrift, Ergänzungsband der Kolloid-Z. 36, 341-369, brengt het verschil in stabiliteit van eene natron-klei-suspensie en eene kalk-klei-suspensie met verschillen in de hydratatie van de Na- en de Ca-ionen in verband.

¹⁵⁾ Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 24, blz. 191. Door herhaalde bemesting van kleigronden met chilisalpeter vormen zich korstige gronden; zie Demeter-Eugelia Almanak, 1923.

Nederlandsche gronden gehalten van 0% tot bijna 3% uitwisselbare kalk, dat zijn % CaO op drogen grond. Deze verschillen worden door twee factoren veroorzaakt:

1. door de hoeveelheid adsorbeerend materiaal, dus de klei-humus-substantie;
2. door de mate, waarin deze klei-humus-substantie met basen verzadigd is.

Ik laat hier eenige voorbeelden volgen¹⁶⁾. De cijfers CaO hebben op uitwisselbare kalk in procenten op drogen grond betrekking.

Tabel I.

No. B.	Bijzonderheden	CaO	K(humus)	V	pH	Kalk factor
1944	Zware kleigrond met weinig humus	0.665	—	53	8.0	n.b.
1939	Kleigrond met vrij wat humus	0.849	—	40	6.4	n.b.
1937	Humusgrond met 50% humus	1.139	—	50	7.4	n.b.
1724	voór de bekalking	1.104	2.21	17	4.8	2.89
1718	na	1.734	3.47	26	5.6	1.51
2057	Humusgrond met 9.6% humus	0.074	0.77	6.6	4.4	3.92
1396	 6.7 ..	0.009	0.13	0.9	3.3	5.68
238	Leemgrond	0.0	—	0	4.5	n.b.

n.b. = niet bepaald.

Voor een goede beoordeling van deze gronden is het noodig, naast de gehalten aan uitwisselbare kalk (resp. aan uitwisselbare basen) en aan klei en humus, ook te leren kennen de mate, waarin de klei- en humus-substantie met basen verzadigd is. Dit kan worden uitgedrukt, door de som aan uitwisselbare basen S (milligram-aquivalenten Ca, Mg, K en Na per 100 gram grond) om te rekenen op 100 gram klei, resp. op 100 gram humus. Deze grootheden heb ik S (klei) en S (humus) genoemd.

Aangezien de kalk onder de adsorptief gebonden basen de hoofdrol speelt (80% ongeveer) en de bepaling van de uitwisselbare kalk zeer vlug plaats kan vinden, heb ik mij er voor de meeste gronden toe bepaald, de uitwisselbare kalk te bepalen en daarna te berekenen, hoeveel gram kalk (CaO) per 100 gram klei, resp. per 100 gram humus aanwezig is. Ik heb deze grootheden K (klei) en K (humus) genoemd.

Zoo wordt de K(humus) voor de humusgronden van Tabel I:

B	K(humus)
1724 $100 \times 1.104 : 50 =$	2.21
1718 $100 \times 1.734 : 50 =$	3.47
2057 $100 \times 0.074 : 9.6 =$	0.77
1396 $100 \times 0.009 : 6.7 =$	0.13

Voor zoover het geoorloofd is uit het betrekkelijk kleine cijfermateriaal, waarover ik beschik, reeds conclusies van meer algemeen aard te trekken, meen ik de K(humus) in goed verzadigde, normale Nederlandsche humusgronden op ongeveer 5.0 en de K(klei) in goed verzadigde, normale Nederlandsche kleigronden op ongeveer 1.1 te mogen stellen. Dit zijn natuurlijk nog slechts voorloopige cijfers en het is mogelijk, dat voor verschillende typen grond nog verschillende cijfers zullen blijken te bestaan.

¹⁶⁾ Voor deze en andere cijfers, zie Trans. Groningen, 1926, Vol. A.

Wat dit zeggen wil, kan uit het volgende voorbeeld van twee goed verzadigde, zwak alkalisch reagerende humus-kleigronden blijken.

Tabel II.

Grondmonster	Gehalten in % op drogen grond aan		Grammen uitwisselbare kalk (CaO) per 100 gram grond bij goede verzadiging aanwezig in de			gevonden
	klei	humus	klei (berekend)	humus (berekend)	samen (berekend)	
No. B.						
885	53.0	12.7	0.583	0.635	1.218	1.22
1735	26.1	47.5	0.287	2.372	2.659	2.72

Uit een en ander volgt tevens, dat het basenbindend vermogen van de humus aanzienlijk grooter is dan dat van de klei. In neutrale tot zwak alkalische gronden bindt 100 gram humus ongeveer 5:1.1 = 4.5 maal meer kalk dan 100 gram klei.

Op de wijze om de mate, waarin de klei-humus-substantie met base (resp. met kalk) verzadigd is, door de grootheden S(humus) en S(klei), resp. K(humus) en K(klei) uit te drukken, kan de volgende kritiek worden uitgeoefend. Wat men klei en humus noemt, is niet bij alle gronden hetzelfde begrip. De deeltjes, kleiner dan 0.02 mM. diameter, dat is dus, wat we de klei-substantie noemen, bevatten bij het ene grondtype meer verweerde aluminumsilikaten en bij het andere grondtype meer fijne scheikundig nog weinig verweerde mineraalfragmenten, hoofdzakelijk fijn kwartsmeel, en deze twee producten, die ik resp. „klei” en „leem” genoemd heb, bezitten een verschillend basenbindend vermogen. Dit valt ook op te merken ten opzichte van de organische stoffen in den grond, die we onder het verzamelwoord „humus” samenvatten.

Ik heb getracht, den verzadigingstoestand van den grond wat nauwkeuriger uit te drukken door de grootheid V, die ik definieer als de verhouding tusschen de hoeveelheid adsorptief gebonden basen S, die de grond gebonden houdt en de hoeveelheid adsorptief gebonden basen T, die de grond tot volkomen verzadiging binden kan: $V = 100 S : T$. Hoe S bepaald wordt, heb ik reeds medegedeeld. Ik bepaal dan verder T—S, dat is de hoeveelheid base, die de grond nog binden kan tot alle zuurwaterstofatomen van de klei- en humuszuren verzadigd zijn. Het betreft hier zwakke zuren, waarvan de hoeveelheid conductometrisch bepaald wordt¹⁷⁾.

Omdat het hier zwakke zuren betreft, zal het verzadigungspunt ($V = 100$) bij sterk alkalische reactie liggen. Gevonden is ongeveer een $p_H = 10.5$ à 11 bij $V = 100$. In de natuur zijn dergelijke, sterk alkalisch reagerende gronden niet aangetroffen. Als men dus den verzadigingstoestand op de door mij aangegeven wijze bepaalt, zal men steeds een V kleiner dan 100 vinden, dat wil zeggen, dat alle gronden bij dit onderzoek adsorptief onverzadigd zullen blijken te zijn. Ook de gronden met een $K(klei) = 1.1$ en een $K(humus) = 5$ (zie Tabel II), die ik hierboven de goed verzadigde, Nederlandsche

¹⁷⁾ Voor de methode ter bepaling van den verzadigingstoestand van den grond zie o.m. Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 30, blz. 115—141.

gronden genoemd heb, zijn in dezen zin onverzadigd. Hun V is voor de kleigronden ongeveer 55 en voor de humusgronden ongeveer 40. Men kan ze desnoods praktisch verzadigd noemen. In de tabel I heb ik eenige waarden voor V opgenomen.

In deze tabel I heb ik tevens de K (humus)-waarden van de humusgronden, alsmede de 8 p_H 's opgenomen. Zooals men ziet, bestaat er verband tusschen deze waarden, wat trouwens te verwachten was. Zoo stijgt bijv. het gehalte aan uitwisselbare kalk bij bemesting van den humusgrond B 1724 (met 50% humus) van 1.104 tot 1.734%; de K(humus) van 2.21 tot 3.47, de V van 17 tot 26 en de p_H van 4.6 tot 5.5.

Dr. van der Spek en ik hebben verder het verloop van de kalktitratie-curven van een serie humusgronden nagegaan¹⁸⁾. De resultaten zijn voor een viertal gronden in fig. 2 graphisch voorgesteld door op de horizontale as uit te zetten het aantal grammen CaO, toegevoegd per 100 gram humus en op de vertikale as de p_H . Het aantal grammen CaO, dat per 100 gram humus geadsorbeerd moet worden, om de neutrale reactie ($p_H = 7$) te bereiken, heb ik den kalkfactor genoemd. Voor de vier gronden uit fig. 2 zijn deze kalkfactor-cijfers:

B	begin p_H	kalkfactor
1690	5.5	1.84
2061	5.4	2.81
1691	4.5	3.50
2062	4.5	4.78

Verder zijn nog enkele kalkfactor-cijfers in Tabel I opgenomen.

Van een 15-tal humusgronden is verder nagegaan, of er verband tusschen de grootheden S (humus), V, p_H en kalkfactor bestaat, en wel als volgt. In

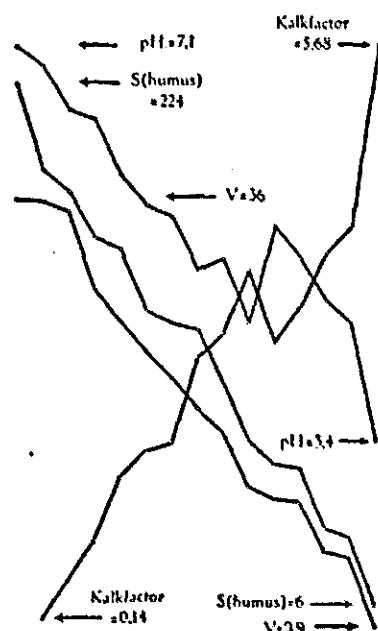


Fig. 1.

fig. 1 zijn van elk van de 15 gronden, gerangschikt volgens aldadelende waarden van S (humus) boven elkander de vier waarden: S (humus), V, p_H en kalkfactor uitgezet. We zien een daling van de V-

¹⁸⁾ Deze publicatie is in de Trans., Groningen, Deel A, verschenen en verschijnt binnenkort in de Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 31.

waarden met de S (humus)-waarden; ook de p_H -waarden dalen, terwijl de kalkfactor-cijfers toenemen.

In fig. 1 ziet men een viertal gronden (No. 11, 12, 13 en 14), wat de p_H -waarden en de kalkfactor-cijfers betreft, iets van de overige 11 gronden afwijken. Onderling treedt evenwel het verband tusschen de vier waarden ook weer bij deze 4 gronden op. Het zijn vier gronden van 4 perceelen van één proefveld, die verschillend bemest zijn.

Het eenigszins afwijkende karakter van deze vier gronden komt natuurlijk ook in de titratie-curven tot uiting. In fig. 2 zijn het de nummers 2061 en 2062. Ik heb in deze figuur twee paar lijnen geteekend, die telkens bij nagenoeg dezelfde p_H beginnen en wel B 1690 en B 2061 bij p_H ongeveer 5.5 en B 1691 en B 2062 bij p_H ongeveer 4.5. Hadden de lijnen twee aan twee dan verder hetzelfde beloop, dan zou dus bij elke p_H een bepaalde kalkfactor behooren. Dit nu is niet het geval. In figuur 2 zijn evenwel de grootste afwijkingen, die tot nu toe gevonden zijn, geteekend. De twee gronden met een p_H van ongeveer 5.5 geven een kalkfactor van resp. 1.84 en 2.81; de twee gronden met een p_H van ongeveer 4.5 een kalkfactor van

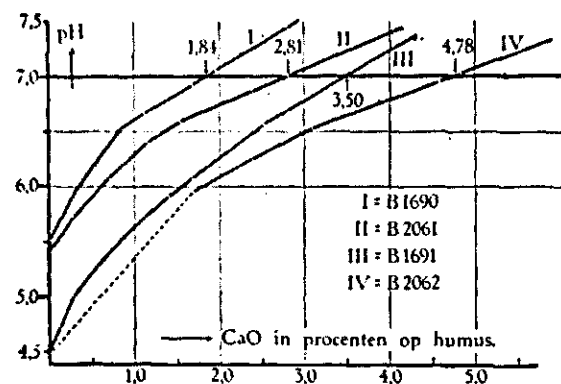


Fig. 2.

resp. 3.50 en 4.78. Deze kalkfactor-cijfers lopen vrij sterk uiteen, doch niet zoo, of men kan uit de p_H de kalkfactor wel bij benadering taxeren.

De oorzaken van deze verschillen in het beloop van de kalktitratie-curven van humusgronden met dezelfde p_H zijn mij niet bekend¹⁹⁾.

¹⁹⁾ Wat deze verschillen betreft, kan in het algemeen worden opgemerkt, dat zij waarschijnlijk wel in verband zullen staan met verschillen in de samenstelling van wat humus genoemd is (gloeiverlies). Bovendien bevatten de onderzochte humusgronden, zij het dan ook betrekkelijk, geen groote hoeveelheden kleibestanddeelen. Ten slotte is het nog de vraag, in hoeverre de onderzochte gronden alle tot de normale gronden behooren, wier uitwisselbare basen voor ongeveer 90% uit Ca + Mg en voor ongeveer 10% uit K + Na bestaan. Vele van deze gronden zijn eenige jaren met kunstmest bemest en het ware niet onmogelijk, dat ze reeds meer dan sporen uitwisselbare Na bevatten. In dit verband zij nog het volgende opgemerkt. Er is eenig verband tusschen de pH en de K (humus) van humusgronden; met stijgende p_H 's vindt men over het algemeen stijgende K (humus)-waarden. Toch komen er vrij groote afwijkingen voor. Ik schrijf deze afwijkingen onder meer aan de hierboven genoemde oorzaken toe. Niettegenstaande deze groote afwijkingen kan men toch wel met eenige benadering een gemiddelde pH-K (humus)-curve trekken. Ik heb dit gedaan en met behulp van deze curve uit de gevonden pH de K (humus) getaxeerd. Van zwak zuur tot zwak alcalisch reagerende kleigronden met niet te veel humus heb ik dan, met behulp van deze getaxeerde K (humus), de K (klei) berekend. Onlangs is er een belangrijke verhandeling van Hendrik Hesselman in de Zweedsche taal verschenen, met een zeer uitvoerig overzicht in het Duitsch. De titel is: Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und

Het aequivalentgewicht van de klei-substantie en van de humus-substantie.

De grootheid *T* geeft de hoeveelheid basen in milligram-aequivalenten per 100 gram grond, welke ter volkomen verzadiging van de klei-zuren, resp. van de humus-zuren, noodig zijn ($V = 100$). Zoo is bijv. *T* van B 2057 = 50.3, terwijl deze grond 9.6 % humus bevat. 9600 mgr. humus zijn dus door 50.3 milligram-aequivalenten basen verzadigd; dus 191 mgr. humus door 1 milligram-aequivalent base. Ik heb dit getal 191 het aequivalentgewicht van de humus-substantie genoemd. Gemiddeld heb ik gevonden voor het aequivalentgewicht van de humus-substantie 175 en van de klei-substantie 1225. Dit zijn slechts voorloopige cijfers. Ook uit deze cijfers blijkt weer, dat het vermogen van de humus-substantie, om basen te binden, aanzienlijk grooter is dan dat van de klei-substantie.

*Verband tusschen de grootheid *V* en de hoeveelheid kalk, noodig voor het uitvlokken eener klei-suspensie.*

Er bestaat verband tusschen den verzadigings-toestand *V* en de hoeveelheid kalk, noodig om een grondsuspensie uit te vlokken²⁰⁾. Naarmate *V* kleiner is, is — ceteris paribus — meer kalk voor het uitvlokken noodig. Dat wil dus zeggen, dat, als suspensies alleen in verzadigingstoestand verschillen, de elektrische lading van de deeltjes met dalende *V* stijgt.

Ik heb verder gevonden, dat verschillende suspensies van gronden met uiteenlopende verzadigingstoestanden (*V*) alle een goede uitvlokkingsgaven, wanneer zooveel kalk was toegevoegd, om den verzadigingstoestand op ongeveer 95 te brengen.

De hoeveelheid kalk, die voor het uitvlokken noodig is, zal verder des te grooter zijn, naarmate er meer klei en humus aanwezig is. En aangezien de humus aanzienlijk meer kalk binden kan dan de klei, zullen vooral sterk onverzadigde klei-suspensies, die rijk aan humus zijn, groote hoeveelheden kalk voor het uitvlokken noodig hebben. Wij hebben dit bij onze uitvlokkingsproeven kunnen waarnemen²¹⁾, zooals de cijfers van tabel III aantonen.

Tabel III.

No. B.	Type van grond	V	2.5 gram grond vlokten goed uit door 50 cc. oplossing van een normaliteit
1058	Klei-gronden	53	0.0108
829	vrijwel zonder humus	22	0.0180
885	Klei-gronden	53	0.0438
891	met ong. 18 % humus	18	0.0730

deren Afhankelijkheid vom Waldbau. Hesselman heeft ook het verband tusschen de pH en de K (humus) graphisch voorgesteld (zie blz. 242, fig. 12); op blz. 521 zegt hij: „die Reaktionszahl (pH) wächst mit dem Gehalt an assimilierbarem Kalk. Diese Beziehung ist sehr deutlich ausgeprägt, obgleich auch hier, sogar in derselben Gegend, die Variation ziemlich gross ist“.

²⁰⁾ Verslag. Land. Onderzoek. Rijkslandbouwproefstat. No. 30, blz. 130, tabel 5; zie mede: Der Sättigungszustand des Bodens. A. Mineralböden (Tonböden), von Dr. D. J. Hissink, Z. Pflanzen-ernährung und Düngung, Teil A, 4. Jahrg., Heft 3 (Die Ausflockungserscheinungen).

²¹⁾ Het uitvlokkingsproces werd met het oog waargenomen. Door Mattson (zie t.a.p.) werd de verandering van de katalythesnelheid bij toevoeging van methyleenblauw gemeten. Een zijner conclusies luidt: the quantities of methylene blue required to neutralize the negative charge of different soil colloids correspond closely to the total contents of exchangeable bases.

Van de humusvrije kleigronden heeft de goed verzadigde ($V = 53$) vrij wat minder kalk noodig dan de minder goed verzadigde ($V = 22$). De goed verzadigde, humusrijke kleigrond B 885 ($V = 53$) heeft 4 maal zooveel kalk noodig om uit te vlokken als de even goed verzadigde humusvrije kleigrond B 1058 ($V = 53$). De grootste hoeveelheid kalk moet bij den sterk onverzadigten, humusrijken kleigrond B 891 ($V = 18$) worden gevoegd.

Ik heb hiermede een kort overzicht trachten te geven van de adsorptie-vraagstukken, die ons, bodemkundigen, thans in hooge mate bezig houden. In de noten heb ik de betreffende literatuur vermeld en sommige punten nog wat nader uiteengezet.

Zusammenfassung:

Anschliessend an die Auffassungen der Kolloid-chemie wurde das Adsorptionsvermögen des Bodens, als dessen Sitz die Ton- und Humussubstanz zu betrachten ist, theoretisch aufgeklärt. Die Boden-adsorption ist eine Austauschadsorption, bei der Ca, Mg, K, Na und H aus dem Boden gegen Kationen aus der Lösung ausgetauscht werden.

Die Bedeutung des gegenseitigen Verhältnisses der austauschfähigen zweiwertigen (Ca, Mg) und einwertigen (K, Na) Basen wurde besprochen.

Als neue Grössen wurden in die Bodenkunde eingeführt:

S (Ton), bezw. *S* (Humus), das sind Milligramm-aequivalente austauschfähige Basen in der Tonsubstanz auf 100 g. Ton, bezw. in der Humussubstanz auf 100 g. Humus;

der Sättigungszustand des Bodens (*V*), eine Grösse, die erklärt wurde, als das Verhältnis der Menge austauschfähiger Basen im Boden (*S*) zu der Menge Basen *T*, die der Boden binden kann: $V = 100 S : T$; der Kalkfaktor des Bodens (*Kf*), d. h. die Menge CaO in g., welche 100 g. der Humussubstanz adsorbieren müssen, um die neutrale Reaktion ($p_H = 7$) zu erreichen (siehe Titrationskurven, Figur 2).

Wie aus der Tabelle I und aus der graphischen Darstellung (Figur 1) hervorgeht, besteht eine Beziehung zwischen den Werten *S* (Humus), *V*, *Kf* und p_H .

Als mittleres Aequivalentgewicht der Humussubstanz wurde 175, der Tonsubstanz 1225 gefunden. Diese Zahlen sind als vorläufige zu betrachten.

Es wurde auf den Zusammenhang zwischen den zur Ausflockung einer Bodensuspension nötigen Mengen CaO und dem Gehalte an Ton-Humussubstanz, sowie dem Sättigungszustand dieser Substanz hingewiesen (Tabelle III).

Der Vortrag enthält eine kurze Uebersicht über Arbeiten welche schon früher veröffentlicht worden sind (siehe die Bemerkungen).