

BODEMKUNDIG INSTITUUT, GRONINGEN.

Het verband tusschen de pH, de kalkfactor, den verzadigings-
toestand (V) en de S (humus) van eenige humusgronden.

S (humus) en V van deze gronden bij een pH = 7.

Het equivalentgewicht van de
humussubstantie

DOOR

DR. D. J. HISSINK.

(Ingezonden 5 Juni 1926.)

In een tweetal publicatie's ¹⁾ zijn verschillende grootheden van eenige humusgronden behandeld. Het doel van deze verhandeling is na te gaan of en zoo ja welk verband er tusschen deze grootheden bestaat. Het zijn 15 humusgronden, wier kleigehalte van weinig of geen beteekenis in vergelijking met het humusgehalte is. Bepaald zijn de volgende vier grootheden: pH, kalkfactor, verzadigingstoestand en S (humus).

De pH is langs potentiometrischen weg met behulp van de BILMANN-elektrode in de waterige grondsuspensies bepaald. Een hoeveelheid grond, bevattende 5 gram humus, werd gedurende drie dagen in aanraking gelaten met 200 cc. water, daarna chinhydron toegevoegd, geschud en direct, dat is na ongeveer 5 à 7 minuten, bij 18° Celsius gemeten. Deze cijfers kunnen iets afwijken van die, verkregen door 10 gram grond met 25 cc. H₂O te behandelen (invloed van de verdunning).

De verzadigingstoestand van den grond (V) is de verhouding van de hoeveelheid adsorptief gebonden basen (Ca, Mg, K, Na), die de grond bevat (S), tot de hoeveelheid T, die de grond bij volkomen verzadiging bevatten kan. Onder volkomen verzadiging wordt verstaan de vervanging van alle zuurwaterstofatomen door een base ²⁾. De beide grootheden S en T worden in milligramequivalenten per 100 gram grond uitgedrukt; $V = 100 S : T$. Nu is van de 15 betreffende gronden alleen het gehalte aan uitwisselbare of adsorptief gebonden kalk of kleihumuskalk bepaald en niet de gehalten aan uitwisselbare Mg, K en Na. Het betreft hier normale bovengronden en voorloopig is daarom de waarde S uit het kalkgehalte berekend, door aan te nemen, dat 80 % van de uitwisselbare basen uit Ca bestaan ³⁾. Ik erken, dat hierbij een fout gemaakt kan worden en zoo spoedig de tijd dit veroorlooft, zullen de gehalten aan Mg, K en Na mede bepaald

worden. De berekening van V voor B 1718 is nu als volgt. 100 gram droge stof van B 1718 bevatten (zie Tabel I) 1,734 gram uitwisselbare

TABEL I.

Grond- monster n°. B.	pH in de waterige grond- suspensie (5 gram humus + 200 cc. H ₂ O).	Gehalten in procenten op drogen grond (105° Celsius) aan			
		Humus.	Klei.	Zand.	Uitwissel- bare of humuskalk (CaO).
1609	7.1	33.7	24.7	41.6	1.689
1868/70	6.9	43.0	20.2	36.8	1.815
1869/71	6.5	42.6	23.1	34.3	1.715
1856/58	6.4	44.9	17.7	37.4	1.605
1718	5.9	50.0	31.3	18.7	1.734
1857/59	5.6	48.1	21.3	30.6	1.390
1690	5.5	23.6	7.9	68.5	0.657
1610	5.0	40.3	± 23	± 37	1.089
1724	5.1	50.0	29.9	20.1	1.104
1691	4.5	23.4	7.2	69.4	0.395
2061	5.4	7.7	3.8	88.5	0.111
2059	5.1	8.1	3.9	88.0	0.115
2063	4.7	8.8	4.0	87.2	0.075
2057	4.5	9.6	3.6	86.8	0.074
1396	3.4	6.7	8.4	84.9	0.009

kalk (CaO), dat is 1734 milligram en $1734 : 28 = 61,93$ milligram-equivalenten (het milligramequivalentgewicht van CaO = $56 : 2 = 28$). S wordt dan $61,93 : 0,8 = 77,4$. Voor T—S is gevonden *) 220,8, dat wil zeggen, dat 100 gram van B 1718 nog 220,8 milligramequivalenten base kunnen vastleggen (adsorbeeren) tot volkomen verzadiging. Totaal houdt dan 100 gram grond gebonden $S + (T—S) = 77,4 + 220,8 = 298,2$ milligramequivalenten base = T, zoodat V wordt $100 S : T = 100 \times 77,4 : 298,2 = 26,0$ (zie Tabel II).

Onder S (humus) wordt de hoeveelheid uitwisselbare of adsorptief gebonden basen (Ca, Mg, K, Na) per 100 gram humus verstaan. Deze grootte wordt dus berekend door $100 \times S$ door het humusgehalte te deelen. Voor B 1718 wordt S (humus) = $100 \times 77,4 : 50,0 = 154,8 = 155$ (zie Tabel II). In deze S (humus)-waarde schuilt natuurlijk dezelfde fout als in de S-waarde, maar bovendien wordt er bij deze wijze van berekening geen rekening mede gehouden, dat een deel van de basen S in de kleisubstantie gebonden voorkomt. De fout, die men hiermede maakt is evenwel niet groot; het gehalte aan klei in de betreffende gronden is betrekkelijk laag, maar bovendien bindt de kleisubstantie minder basen dan de humus *).

TABEL II.

Grond- monster N ^o . B.	Milligramequivalenten basen per 100 gram drogen grond.			Verzadi- gings- toestand van den grond = $V = \frac{100 S}{T}$	Per 100 gram humus.	
	S.	T—S	T		Milligram- equivalenten basen = S (humus).	Grammen uitwissel- bare of humus- kalk = K (humus).
1609	75.4	133.8	209.2	36.0	224	5.01
1868/70	81.0	145.1	226.1	35.8	188	4.22
1869/71	76.1	143.9	220.0	35.0	179	4.03
1856/58	71.7	178.8	250.5	28.6	160	3.57
1718	77.4	220.8	298.2	26.0	155	3.47
1857/59	62.1	202.8	264.9	23.4	129	2.89
1690	29.3	108.4	137.7	21.3	124	2.78
1610	48.6	209.8	258.4	18.8	121	2.70
1724	49.3	242.0	291.3	16.9	99	2.21
1691	17.6	124.4	142.0	12.4	75	1.69
2061	5.0	38.7	43.7	11.4	65	1.44
2059	5.1	40.8	45.9	11.1	63	1.42
2063	3.3	43.4	46.7	7.1	38	0.85
2057	3.3	47.0	50.3	6.6	34	0.77
1396	0.4	42.9	43.3	0.9	6	0.13

In Tabel II is mede de K (humus)-waarde opgenomen, dat is het gehalte aan uitwisselbare kalk per 100 gram humus. Voor B 1718 wordt $K(\text{humus}) = 100 \times 1,734 : 50,0 = 3,47$. Deze K (humus) kan ook berekend worden door S (humus) met $28 \times 0,8 = 22,4$ te vermenigvuldigen en dit product door 1000 te deelen; bijv. voor B 1718 is $K(\text{humus}) = 155 \times 22,4 : 1000 = 3,47$. Ook in deze K (humus) zit de fout, dat met het kleigehalte geen rekening gehouden is ⁶⁾.

De kalkfactor (Tabel III) is overgenomen uit de publicatie van Dr. VAN DER SPEK en mij, blz. 176, Tabel IX ⁷⁾. Voor B 1718 is de kalkfactor 1,51, dat wil zeggen, dat zooveel gram grond, als 100 gram humus bevatten, dus in dit geval 200 gram grond, bij de potentiometrische titratie met kalk, 1,51 gram CaO in den vorm van klei-humuskalk moet vastleggen ⁸⁾, opdat de grond de neutrale reactie (pH = 7) bereikt. Voor de gronden B 1609 en 1869/71 is deze grootheid door gebrek aan stof niet bepaald. Aangezien B 1609 reeds zeer zwak alcalisch reageert (pH = 7,1) is hier de kalkfactor iets negatief,

TABEL III.

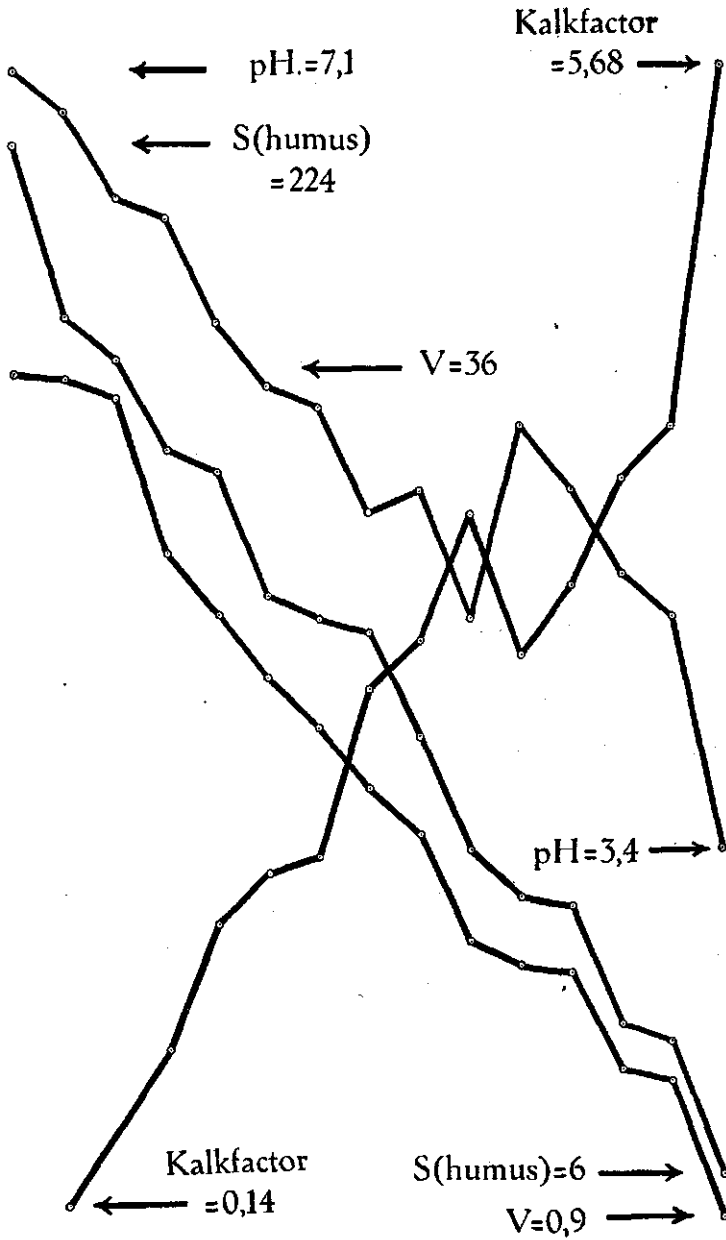
Grondmonster n ^o . B.	Hoeveelheid CaO, die geadsorbeerd moet worden om den grond de neutrale reactie (pH = 7) te geven			S bij een pH = 7, dat zijn milligram-equivalenten basen per 100 gram grond in den neutralen toestand.	Verzadigingstoestand (V) van den grond in den neutralen toestand (pH = 7).	Per 100 gram humus		Equivalentgewicht van de humussubstantie.
	in grammen per 100 gram humus.	in 7 grammen per 100 gram grond.	in milligram-equivalenten per 100 gram grond.			S bij een pH = 7 en een gem. V = 33,3, dus S (humus) in den neutralen toestand.	S bij V = 100, dus S (humus) van den volkomen verzadigden grond.	
1609	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	621	161
1888/70	0.14	0.060	2.1	83.1	36.7	193	526	190
1869/71	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	516	194
1856/58	0.90	0.404	14.4	86.1	34.4	192	558	179
1718	1.51	0.755	27.0	104.4	35.0	209	596	168
1857/59	1.76	0.847	30.3	92.4	34.9	192	551	181
1690	1.84	0.434	15.5	44.8	32.5	190	583	172
1610	2.65	1.110	39.6	88.2	34.1	219	641	156
1724	2.89	1.445	51.6	100.9	34.6	202	583	172
1691	3.50	0.819	29.3	46.9	33.0	200	607	165
2061	2.81	0.216	7.7	12.7	29.1	165	568	176
2059	3.15	0.255	9.1	14.2	30.9	175	567	176
2063	3.67	0.323	11.5	14.8	31.7	168	531	188
2057	3.92	0.376	13.4	16.7	33.2	174	524	191
1396	5.68	0.381	13.6	14.0	32.3	209	646	155
Gemiddeld					33.3	191	571	175

d.w.z., dat een zeer kleine hoeveelheid kalk aan de klei-humussubstantie onttrokken moet worden om den grond de pH = 7 te geven. Van een grond met een pH = 7 is de kalkfactor natuurlijk = 0 en omgekeerd wijst een kalkfactor = 0 op een pH = 7.

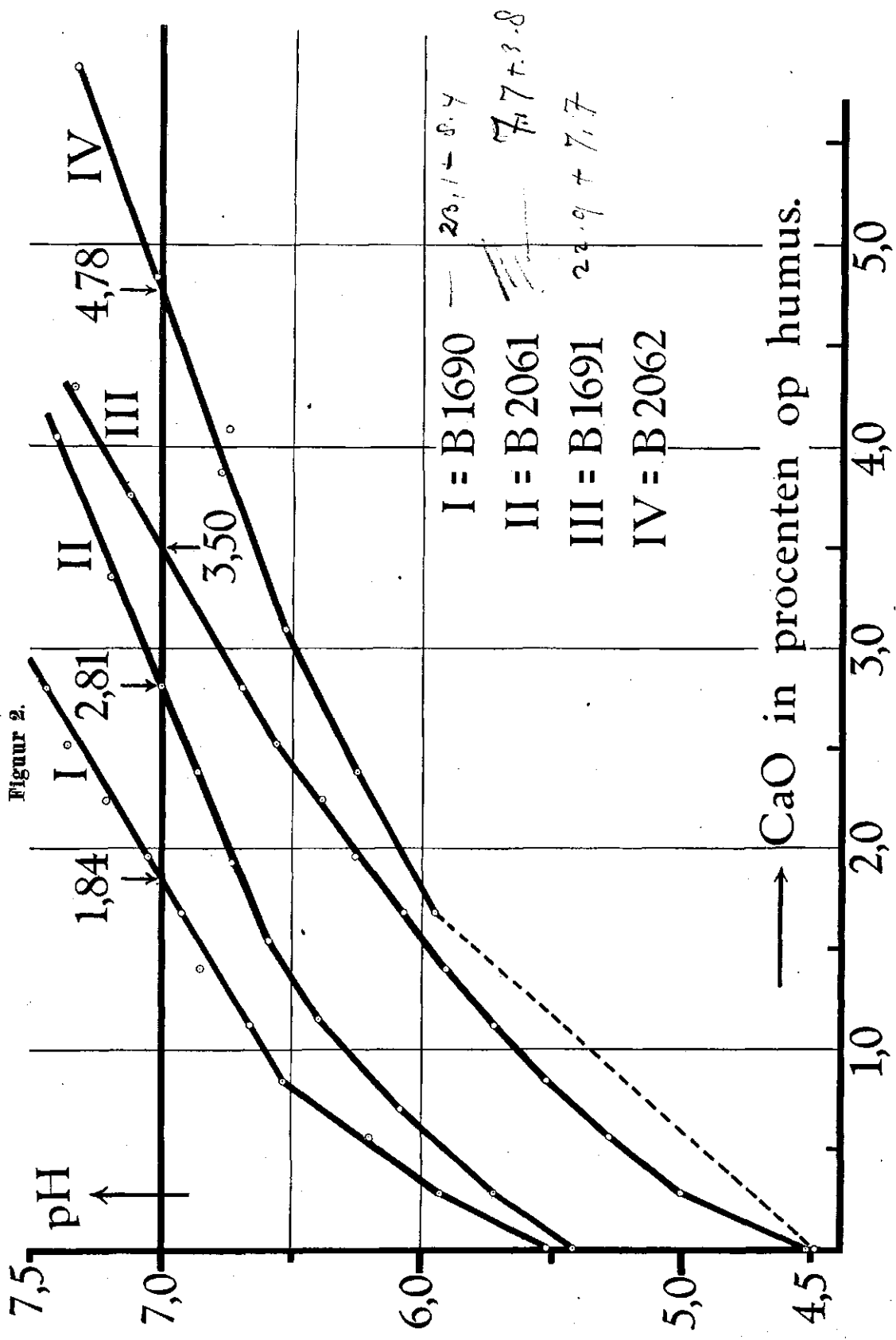
Ik herhaal hier nogmaals nadrukkelijk, dat de V- en S (humus)-waarden slechts bij benadering juist zijn en dus als voorloopige cijfers zijn te beschouwen.

De verschillende grootheden zijn in de Tabellen I, II en III opgenomen. De gronden zijn gerangschikt naar de afdalende waarden van V, beginnende met den hoogsten verzadigingstoestand (36,0) en eindigende met den laagsten (0,9). Er treden dus zeer groote verschillen in den verzadigingstoestand op. Dit is mede ten opzichte van de andere drie grootheden het geval. De pH's liggen tusschen 7,1 en 3,4; de S (humus)-waarden tusschen 224 en 6; de K (humus)-waarden tusschen 5,01 en 0,13 en de kalkfactor-cijfers tusschen 0,14 en 5,68.

Figuur 1.



Kalkfactor, pH, V en S (humus) van de
15 oorspronkelijke gronden.



Het verband tusschen de vier grootheden V, S(humus), pH en kalkfactor van de oorspronkelijke gronden.

Zooals uit de Tabellen I, II en III blijkt, bestaat er een verband tusschen de vier grootheden V, S (humus), pH en kalkfactor. Dit verband blijkt tevens uit de grafische voorstelling op blz. 229 (Figuur 1). De punten in deze grafische voorstelling hebben betrekking op de 15 gronden in de volgorde, waarin deze in de tabellen I, II en III voorkomen. Het zijn vier lijnen, resp.:

V-lijn, beginnende met $V = 36$ en eindigende met $V = 0,9$;

de S (humus)-lijn, beginnende met $S(\text{humus}) = 224$ en eindigende met $S(\text{humus}) = 6$;

de pH-lijn, beginnende met $pH = 7$, en eindigende met $pH = 3,4$;

de kalkfactor-lijn, beginnende met 0,14 (voor het tweede grondmonster B 1868/70) en eindigende met 5,68 (op deze lijn ontbreken het eerste en het derde punt).

Met dalende V-waarden dalen ook de S (humus)-waarden, zonder uitzondering. Aanvankelijk dalen ook de pH-cijfers; bij het negende monster (B 1724) treedt een zeer kleine stijging op (van 5,0 tot 5,1), waarna de daling zich weer voortzet tot $pH = 4,5$ (bij B 1691, dat is het tiende monster). De pH's van de No's 11, 12, 13 en 14 (B 2061, 2059, 2063 en 2057) vertoonen evenwel een vrij sterke afwijking; het zijn de vier zeer zandige humusgronden met van 7,7% — 9,6% humus. Opmerkelijk is evenwel, dat dit gedeelte van de pH-lijn weer nagenoeg evenwijdig met het begingedeelte van de pH-lijn verloopt. Er treedt een afwijking voor de vier humuszandgronden ten opzichte van de andere humusgronden op, maar onderling vertoonen deze vier zandgronden weer verband tusschen hunne pH-, V- en S (humus)-waarden. Ten slotte ligt dan punt N°. 15 (van B 1396 met $pH = 3,4$) vrijwel weer in het verlengde van het begingedeelte van de pH-lijn.

Met dalende V-waarden stijgen de kalkfactor-cijfers. Ook hier treedt weer eene afwijking bij de vier humuszandgronden in de kalkfactor-lijn op, maar ook dit gedeelte verloopt weer nagenoeg evenwijdig met het begingedeelte. Onderling vertoonen deze vier humuszandgronden dus weer verband tusschen hunne vier waarden (V, S (humus), pH en kalkfactor). Ten slotte ligt punt N°. 15 (van B 1396 met een kalkfactor = 5,68) weer vrijwel in het verlengde van het begingedeelte van de kalkfactorlijn.

Met uitzondering van de vier humuszandgronden, bestaat er dus voor alle gronden een duidelijk verband tusschen de waarden V, S (humus), pH en kalkfactor en onderling vertoonen de vier humuszandgronden dit verband eveneens. Naarmate de verzadigingstoestand van de humussubstantie daalt, daalt ook de hoeveelheid basen in den humus (in procenten op humus) en mede de zuurgraad van den grond (pH). Met deze daling gaat een stijging van de kalkfactoren gepaard. Hoe meer dus de humussubstantie onderverzadigd is, des te zuurder reageert de grond en des te meer kalk moet de humussubstantie vastleggen om de neutrale reactie ($pH = 7$) te bereiken.

**Verband tusschen den zuurgraad van den grond (pH)
en de kalkfactor.**

Het komt mij wenschelijk voor, om het verband tusschen de pH en de kalkfactor nog eens wat nader onder de oogen te zien. Daartoe zijn deze twee grootheden nog eens in tabel IV opgenomen en wel in de volgorde van de pH's. Bovendien is het cijfer van de kalkfactor omgerekend op K.G. CaCO_3 per 1000 K.G. humus. 100 gram humus van B 1396 moeten 5,68 gram CaO in den vorm van humuskalk vastleggen om de neutrale reactie ($\text{pH} = 7$) te bereiken; dat is per 1000 K.G. humus 56,8 K.G. CaO of de kalk van $100 \times 56,8 : 56 = 101,4$ K.G. CaCO_3 (cijfer laatste kolom). In tabel IV zijn mede de twee humuszandgronden B 2058 en B 2062 opgenomen, dat zijn de ondergronden van B 2057 en B 2061 ^o); zij bevatten resp. 7,8 % en 5 % humus.

TABEL IV.

Grondmonster N ^o . B.	pH.	Kalkfactor (gr. CaO , welke 100 gram humus moeten vast- leggen om de $\text{pH} = 7$ te bereiken).	Het vorige cijfer, omgerekend op K.G. CaCO_3 per 1000 K.G. humus.
1609	7.1	n. b.	n. b.
1868/70	6.9	0.14	2.5
1869/71	6.5	n. b.	n. b.
1856/58	6.4	0.90	16.1
1718	5.9	1.51	27.0
1857/59	5.6	1.76	31.4
1690	5.5	1.84	32.9
2061	5.4	2.81	50.2
1724	5.1	2.89	51.6
2059	5.1	3.15	56.2
1610	5.0	2.65	47.3
2063	4.7	3.67	65.5
1691	4.5	3.50	62.5
2057	4.5	3.92	70.0
2062	4.5	4.78	85.4
2058	4.4	4.52	80.7
1396	3.4	5.68	101.4

Er blijkt verband tusschen de pH en de kalkfactor-cijfers te bestaan; naarmate de pH daalt, dat wil zeggen naarmate de grond zuur-

der wordt, neemt de kalkfactor toe, dat wil zeggen, moet de humus meer kalk vastleggen om de $\text{pH} = 7$ te bereiken. In het pH -gebied van 5,4 — 5,0 is de overeenstemming evenwel minder goed. Ook bij de beide ondergronden (2062 en 2058) treedt eene kleine afwijking op.

Men kan de zaak nu nog iets anders bekijken en nagaan welke verschillen in de kalkfactor-cijfers bij gronden met gelijke pH -cijfers optreden. De grootste afwijkingen treden op tusschen B 1691 en B 2062; beide gronden hebben een $\text{pH} = 4,5$, terwijl de kalkfactor-cijfers resp. 3,50 en 4,78 zijn. Verder is er nog een groot verschil tusschen de gronden B 1690 en B 2061 met nagenoeg gelijke pH -cijfers (5,5 en 5,4) en kalkfactor-cijfers resp. 1,84 en 2,81. Deze verschillen in de kalkfactor-cijfers zijn in eerste instantie een gevolg van het verschil in het beloop van de pH -lijnen bij de kalktitratie's. Deze kalktitratiecurven zijn in Figuur 2 nog eens geteekend ¹⁰⁾. Vielen deze kalktitratiecurven voor alle humusgronden met gelijke pH 's samen, dan zou — wanneer het beloop van deze lijnen eenmaal was vastgesteld — uit eene bepaling van de pH en het humusgehalte de hoeveelheid kalk, die de grond in den vorm van humuskalk moet vastleggen, om een zekere pH en in het bijzonder de neutrale reactie ($\text{pH} = 7$) te bereiken, berekend kunnen worden. Dit is thans niet het geval. Toch wil ik opmerken, dat de lijnen B 1691 en B 2062 vanaf de $\text{pH} = 4,5$ tot $\text{pH} = 6$ vrijwel samenvallen. Per 100 gram humus moeten beide gronden ongeveer 1,7 gram CaO als humuskalk adsorbeeren om de $\text{pH} = 6$ te bereiken; zelfs tot de $\text{pH} = 6,5$ is het verschil niet groot, doch daarna loopen de twee titratiecurven sterk uiteen, om de lijn $\text{pH} = 7$ bij een kalkfactor = 3,50 en resp. = 4,78 te snijden.

De oorzaak van dit verschillend beloop van de kalktitratiecurven is mij niet bekend. Mogelijk speelt de aard van den humus een rol en dit zou in tweeërlei opzicht mogelijk kunnen zijn. Wat in deze publicatie's „humus” genoemd is, is het „gloeiverlies van de organische stof”. Nu kan de eene grond per 100 gram gloeiverlies meer verweerde organische stof, humus, bevatten dan de andere grond ¹¹⁾. Bovendien kunnen er verschillen in de „humuszuren” in de verschillende gronden bestaan. Ten slotte bevatten de gronden ook nog, zij het dan ook geringe hoeveelheden minerale bestanddeelen (klei, leem), die kalk adsorbeeren. Door verder onderzoek moet getracht worden de oorzaak van de verschillen in het beloop van de kalktitratiecurven op te sporen. Intusschen zijn deze verschillen niet zóó groot, of er is wel — als de zuurgraad van den grond (pH) bekend is — gemiddeld aan te geven, hoeveel gram kalk ongeveer per 100 gram humus geadsorbeerd moet worden, om de neutrale reactie te bereiken. Bij de onderzochte gronden ligt dit bedrag voor een grond met een $\text{pH} = 5,5$ tusschen ongeveer 1,8 à 2,8 gram CaO in; voor een grond met een $\text{pH} = 4,5$ tusschen ongeveer 3,5 à 4,5 gram CaO in; of indien men deze cijfers in K.G. CaCO_3 per 1000 K.G. humus wil uitdrukken, dan moet een grond met een $\text{pH} = 5,5$ de kalk van ongeveer 30 à 50 K.G.

CaCO_3 en een grond met een $\text{pH} = 4,5$ de kalk van ongeveer 80 à 80 K.G. CaCO_3 adsorbeeren, om de neutrale reactie te bereiken. Dit zijn natuurlijk nog voorloopige cijfers en ik geef toe, dat ze nog vrij ver uit elkander liggen. Men verkrijgt evenwel al heel wat minder ver uiteenliggende cijfers, als men zich de vraag stelt, hoeveel kalk geadsorbeerd moet worden, om de zeer zwak zure reactie ($\text{pH} = 6,5$) of de zwak zure reactie ($\text{pH} = 6$) te bereiken. Ik ga hier thans niet nader op in. Dit onderwerp ligt buiten het terrein van deze verhandeling en bovendien zullen nog meer kalktitratiecurven van humusgronden van uiteenlopend type bepaald moeten worden, om nauwkeuriger gegevens te verkrijgen.

De heer J. HUDIG is ten opzichte van zijn „kalktoestand”-cijfers in humusgrondgronden tot geheel andere conclusie's gekomen dan ik hierboven ten opzichte van mijne kalkfactor-cijfers. Zoo liggen bijv. de kalktoestand-cijfers, door den heer HUDIG bij een zeer groot aantal gronden met een $\text{pH} = 5,5$ verkregen, tusschen 0 en — 80. Ook andere pH -waarden geven een overeenkomstig beeld ¹²⁾. Nu behoeven de resultaten van den heer HUDIG volstrekt niet met de hierboven medegedeelde cijfers van Dr. VAN DER SPEK en mij in strijd te zijn. De kalktoestand-cijfers worden bepaald door de waterige grondsuspensie (bevattende 0,7 gram humus plus 50 cc. H_2O) met natronloog te titreeren tot een $\text{pH} = 7$, en daarna de loogcijfers op K.G. CaCO_3 per 1000 K.G. humus om te rekenen. Zooals de onderzoekingen van Dr. VAN DER SPEK en mij hebben aangetoond (deze Verslagen, blz. 164—197), hebben de NaOH -titratiecurven een geheel ander beloop dan de CaO -titratiecurven. Men dient evenwel goed in het oog te houden, dat deze laatste curven de hoeveelheid CaO weergeven, die door den humus in den vorm van humuskalk moet worden vastgelegd, om den grond een zekere pH te geven. De cijfers van de NaOH -titratiecurven zijn hiervoor *niet* te gebruiken. Het is dus verkeerd te meenen, dat een grond ($\text{pH} = 5,5$) met een kalktoestand bijv. = — 5, per 1000 K.G. humus de kalk van 5 K.G. CaCO_3 , dat is $5 \times 0,56 = 2,8$ K.G. CaO , in den vorm van humuskalk zou moeten adsorbeeren, om de neutrale reactie ($\text{pH} = 7$) te verkrijgen. Daartoe dient aanzienlijk meer kalk in den vorm van humuskalk te worden vastgelegd; zooals wij boven aangeven, per 100 gr. humus ongeveer 1,8 à 2,8 gram CaO . Wanneer dus een grond van een $\text{pH} = 5,5$ en een kalktoestand is — 5 per 100 gram humus 0,28 gram CaO in den vorm van humuskalk vastlegt, dan wordt de pH niet = 7, maar blijft, blijkens de kalktitratiecurven, nog onder de 6.

Dat een humusgrond met een $\text{pH} = 5,5$ aanzienlijk meer dan 0,28 gram CaO per 100 gram humus moet adsorbeeren om de neutrale reactie te bereiken, volgt mede uit het volgende. De K (humus) van gronden met een $\text{pH} = 5,5$ is kleiner dan 3 gevonden; d. w. z., dat 100 gram humus van dergelijke gronden minder dan 3 gram CaO in den vorm van humuskalk bevatten. Wordt nu nog 0,28 gram CaO per

100 gram humus vastgelegd, dan stijgt de K (humus) tot hoogstens ongeveer 3,2 à 3,3. Nu is de K (humus) in neutrale gronden op gemiddeld ongeveer 5 gevonden ¹³⁾ en op zijn laagst op 4,3, dat is aanzienlijk hooger dan 3,2 à 3,3.

Ik kom dus tot de conclusie, dat er verband tusschen den zuurgraad van den grond (pH) en de kalkfactor bestaat. Wel schommelen de kalkfactoren bij gronden met gelijke pH's soms vrij aanzienlijk (bijv. 1,84 tot 3,81 en 3,50 tot 4,78; zie curven blz. 230), maar deze verschillen zijn klein, vooral in vergelijking met de verschillen, die de heer HUDIG voor de kalktoestand-cijfers bij gronden met gelijke pH's gevonden heeft (van 0 tot — 30). Bij denzelfden grond is er zelfs een vrij innig verband tusschen pH en kalkfactor (bijv. het bemestingsproefveld onder IJhorst, B 2057—2063, pH's van 4,5 — 4,7 — 5,1 — 5,4 en kalkfactoren van 3,92 — 3,67 — 3,15 — 2,81; bekalkingsproefveld WIT, B 1857 — 1870, pH's van 5,6 — 6,4 — 6,9 en kalkfactoren van 1,76 — 0,90 — 0,14; bekalkingsproefveld WEYER, B 1724 — 1718, pH's 5,1 en 5,9 en kalkfactoren 2,89 en 1,51).

S en V en S(humus) van de onderzochte gronden in den neutralen toestand, dus bij een pH = 7.

Met behulp van de kalkfactor-cijfers van Tabel III kan nu verder de S-waarde van den grond in den neutralen toestand (pH = 7) berekend worden. Voor B 1718 wordt deze berekening als volgt. 100 gram humus van B 1718 moet 1,51 gram CaO adsorbeeren om de neutrale reactie te bereiken. Het humusgehalte van B 1718 bedraagt 50,0 %, zoodat per 100 gram grond $50,0 \times 1,51 : 100 = 0,755$ gram CaO moet worden geadsorbeerd om de pH = 7 te bereiken. $0,755 \text{ gram CaO} = 755 : 28 = 27,0$ milligramequivalenten CaO. De S-waarde van den oorspronkelijken grond B 1718 is 77,4 (Tabel II), zoodat de S-waarde van B 1718 in den neutralen toestand (pH = 7) wordt $77,4 + 27,0 = 104,4$ (zie Tabel III).

De verzadigingstoestand (V) van B 1718 in den neutralen toestand wordt nu $100 \times S \text{ (bij pH = 7)} : T = 100 \times 104,4 : 298,2 = 35,0$ (zie Tabel III).

De S (humus) in den neutralen toestand (pH = 7) van B 1718 wordt verder $100 \times 104,4 : 50,0 = 209$ (zie Tabel III).

Deze cijfers zijn in Tabel III opgenomen. Terwijl de V-waarden van de oorspronkelijke gronden (zie Tabel II) sterk uiteenloopen (van 36,0 — 0,9), bestaan er geen groote verschillen tusschen de verzadigingstoestanden (V-waarden) van de onderzochte gronden in den neutralen toestand. Deze liggen tusschen 29,1 en 36,7; het gemiddelde is 33,3.

Dezelfde opmerking kan ook ten opzichte van de S (humus) gemaakt worden. De S (humus)-waarden van de oorspronkelijke gronden loopen van 224 — 6, (Tabel II); de S (humus)-waarden van dezelfde gronden in den neutralen toestand loopen van 165 tot 219;

het gemiddelde is 191. Dit beteekent, dat deze gronden per 100 gram humus in den neutralen toestand of bij een gemiddelden verzadigings-toestand van 33,3 gemiddeld 191 milligramequivalenten basen kunnen binden. Uit het feit, dat deze V en S (humus) van de 15 onderzochte gronden in den neutralen toestand niet veel van elkander afwijken, volgt, dat er toch blijkbaar niet zoo heel veel onderscheid in de verschillende humussoorten van de onderzochte gronden bestaat.

Het equivalentgewicht van de humussubstantie.

De T-waarde van B 1718 is 298,2, d. w. z., dat 100 gram droge stof van dezen grond voor volkomen verzadiging 298,2 milligram-equivalenten base noodig hebben; het is dus de S bij volkomen verzadiging ($V = 100$). De S (humus) bij $V = 100$ wordt voor B 1718 met 50,0 % humus dan $100 \times 298,2 : 50,0 = 596$.

Wanneer 100 gram of 100 000 milligram humus van B 1718 voor volkomen verzadiging 596 milligramequivalenten base noodig hebben, dan wordt $100\ 000 : 596 = 168$ milligram humus door 1 milligram-equivalent base verzadigd. Dit is, wat we het equivalentgewicht van de humussubstantie kunnen noemen. We krijgen dit cijfer natuurlijk ook door het humusgehalte in milligrammen door T te deelen; voor B 1718 dus $50000 : 298,2 = 168$.

Deze waarden zijn in Tabel III opgenomen. De S (humus)-waarden bij $V = 100$ liggen tusschen 516 en 646 in, gemiddeld 571. De equivalentgewichten van de humussubstantie loopen van 155 tot 194; het gemiddelde equivalentgewicht is 175. Natuurlijk zijn dit slechts voorloopige cijfers; dezelfde fouten, die aan de S-waarden kleven, zitten ook in het equivalentgewicht. Voorloopig kan evenwel gezegd worden, dat de equivalentgewichten van de humussubstantie in de 15 onderzochte gronden van zeer uiteenlopend type niet zoo heel veel verschillen ¹⁴⁾. Ook uit dit resultaat volgt, dat het onderscheid tusschen de verschillende humussoorten van de onderzochte gronden niet zoo heel groot is.

In mijn voordracht in de Faraday-Society ¹⁵⁾ heb ik het equivalentgewicht van de kleisubstantie op ongeveer 1225 geschat. Ik herhaal, dat deze beide equivalentgewichten — 1225 voor de kleisubstantie en 175 voor de humussubstantie — voorloopige cijfers zijn en ik zal de eerste zijn, om critiek op deze cijfers uit te oefenen. Zij zijn als eene eerste benadering van deze equivalentgewichten te beschouwen, maar in allen geval toonen zij reeds duidelijk het groote verschil in het basenbindend vermogen tusschen de kleisubstantie en de humussubstantie aan. De humussubstantie bezit een vrij wat grooter basenbindend vermogen dan de kleisubstantie. In den toestand van volkomen verzadiging ($V = 100$) bindt 100 gr. humussubstantie ongeveer 7 maal meer kalk dan 100 gram kleisubstantie ($1225 : 175 =$ ongeveer 7). Ook de K-waarden van de kleisubstantie en van de

humussubstantie wijzen op dit verschil in basenbindend vermogen. Zoo bindt 100 gram kleisubstantie in den neutralen toestand ongeveer 1,1 gram CaO ($K(\text{klei}) = 1,1$); 100 gram humus bindt in den neutralen toestand ongeveer 5,0 gram CaO ($K(\text{humus}) = 5,0$). De verhouding is hier ongeveer 4,5. Ik heb reeds vroeger op dit verschil in basenbindend vermogen van de kleisubstantie en de humussubstantie gewezen ¹⁶⁾.

Kort Overzicht.

1. In 15 humusgronden van zeer uiteenlopend type en humusgehalte (van 50 % — 6,7 %) zijn de volgende vier grootheden bepaald : pH, verzadigingstoestand (V), S (humus), d. i. milligramequivalenten uitwisselbare basen per 100 gram humus en kalkfactor, d. i. grammen CaO , die 100 gram humus in den vorm van humuskalk moeten vastleggen (adsorbeeren) om de neutrale reactie ($\text{pH} = 7$) te bereiken. De pH van de 15 onderzochte gronden varieert van 7,1 — 8,4; de V van 36,0 — 0,9; de S (humus) van 224 — 6; de kalkfactor van 0,14 — 5,68 (Tabellen I, II en III).
2. Er bestaat verband tusschen deze vier waarden, welk verband mede graphisch in Figuur 1 (blz. 229) is voorgesteld. Alleen bij de vier humusgrondgronden treedt eene afwijking in de pH-lijn en in de kalkfactor-lijn op. Onderling blijft het verband tusschen deze vier grootheden ook bij de vier humusgrondgronden bestaan.
3. Het verband tusschen pH en kalkfactor is afzonderlijk besproken. (Tabel IV en Figuur 2).
4. Met behulp van de kalkfactor-cijfers is de verzadigingstoestand en de S (humus) in den neutralen toestand (bij $\text{pH} = 7$) berekend. Deze waarden loopen voor de 15 gronden weinig uiteen. De verzadigingstoestand (V) van de onderzochte gronden in den neutralen toestand is gemiddeld 33,3 en S (humus) gemiddeld 191.
5. Het equivalentgewicht van de humussubstantie is berekend door het humusgehalte (in milligrammen) te deelen door T en stelt dus voor, hoeveel milligram humus in den volkomen verzadigden toestand ($V = 100$) door 1 milligramequivalent base gebonden wordt. De equivalentgewichten liggen tusschen 155 en 194, gemiddeld 175 (Tabel III).
6. Er is op gewezen, dat de humussubstantie een vrij wat grooter basenbindend vermogen bezit dan de kleisubstantie.

Met het oog op de wijze, waarop S uit het gehalte aan uitwisselbare CaO berekend is en mede met het oog op het feit, dat de onderzochte humusgronden nog kleibestanddeelen, zij het dan in betrekkelijk kleine hoeveelheden, bevatten, moeten de gegeven cijfers als eene eerste benadering beschouwd worden.

Zusammenfassung.

Die Beziehung zwischen den Grössen pH, Kalkfaktor, Sättigungszustand (V) und S (humus) bei 15 Humusböden.

S (humus) und V dieser Böden bei einer Reaktionszahl $\text{pH} = 7$.

Das Aequivalentgewicht der Humussubstanz.

Diese Verhandlung ist eine Uebersetzung meiner Arbeit „The relation between the values pH, V and S (humus) of some humus soils. S (humus) and V of these soils with $\text{pH} = 7$. The equivalent-weight of the humussubstance“, erschienen in den Verhandlungen der zweiten Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Groningen 1926, Teil A, Seite 198—207. In dieser holländischen Arbeit sind die pH-Zahle und die Kalkfaktor-Werte verbessert (siehe Teil A, Seite 207, Postscriptum) und wird insbesondere noch auf die Beziehung zwischen pH und Kalkfaktor (g. CaO, welche von 100 g. Humus adsorbiert werden müssen um die neutrale Reaktion, $\text{pH} = 7$, zu erreichen) hingewiesen (siehe Tabelle IV).

NOTEN.

¹⁾ Titratiecurven van humusgronden, enz. door Dr. D. J. HISSINK en Dr. JAC. VAN DER SPEK, en Wat vindt er bij eene bekalking van den grond met de kalk plaats? door Dr. D. J. HISSINK, deze Verslagen, N°. XXXI, blz. 164—197 en blz. 198—224. In deze twee verhandelingen vindt men ook verdere bijzonderheden betreffende herkomst en samenstelling van de grondmonsters.

²⁾ Men treft nog dikwerf de meening aan, dat neutralisatie en verzadiging van een zuur dezelfde beteekenis hebben, m. a. w., dat de volkomen verzadiging van een zuur door een base bij de neutrale reactie ($\text{pH} = 7$) plaats vindt. Dit geldt alleen voor de verzadiging van sterke zuren door sterke basen. De volkomen verzadiging van een zwak zuur door een sterke base vindt eerst bij vrij hooge pH-waarden plaats; de reactie bijv. van boorzuur, door natronloog geheel verzadigd, ligt bij een pH van ongeveer 10,5; bij een $\text{pH} = 7$, is slechts ongeveer 10 % van het boorzuur verzadigd. Zie deze Verslagen, N°. XXVII, blz. 143 en de teekening op blz. 142. Dienovereenkomstig zal ook een volkomen met base verzadigde bodemsuspensie sterk alcalisch reageeren moeten. Hieruit volgt tevens, dat de neutraal reagerende grond uit een scheikundig oogpunt nog als onverzadigd is op te vatten; uit een landbouwkundig oogpunt kan een dergelijke grond in ons Nederlandsch klimaat desnoods wel „verzadigd“ genoemd worden.

³⁾ Zie deze Verslagen, N°. XXIV, blz. 178 en 224. Gemiddeld bevatten de onderzochte gronden ongeveer een kleine 80 % uitwisselbare Ca op de 100 Ca, Mg, K en Na.

⁴⁾ Voor de methode ter bepaling van S, T—S en V, zie deze Verslagen, N°. XXX, blz. 115—141.

⁵⁾ Zie de betr. litteratuur onder noot 16.

⁶⁾ Op blz. 205 van deze Verslagen, N°. XXXI, is met een voorbeeld aangetoond, dat de kleisubstantie ter berekening van K (humus) bij deze zure humusgronden zonder groote fouten te maken, kan worden verwaarloosd.

⁷⁾ Deze Verslagen, N°. XXXI, blz. 164—197.

⁸⁾ Geheel juist is dit niet; zie deze Verslagen, N°. XXXI, blz. 195—196, noot 10.

⁹⁾ Zie de publicatie van Dr. VAN DER SPEK en mij, deze Verslagen, N°. XXXI, de tabellen IV en VII op blz. 171 en 174.

¹⁰⁾ De cijfers zijn genomen uit de tabellen V, VI en VII op blz. 172, 173 en 174, deze Verslagen, N°. XXXI.

¹¹⁾ ROBINSON heeft getracht de verweerde organische stof van de onverweerde door eene behandeling met waterstofsautoxyde te scheiden; zie *Journal of Agr. Science*, Band XV, blz. 26 (1925). ROBINSON heeft bij dit onderzoek evenwel geen rekening met het vastgebonden water uit de kleisubstantie gehouden, wat hij trouwens zelf opmerkt. Ik geloof, dat de hierdoor gemaakte fout evenwel grooter is, dan ROBINSON zelf aanneemt.

¹²⁾ Ueber die quantitative Bestimmung der Kalkbedürftigkeit der Humussandböden van J. HUNDIG, Groningen, Holland; *Verhandlungen der zweiten Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Groningen, 1926, Teil A, 116—125; zie de tabel IV op blz. 124 met onderschrift. Zie mede deze Verslagen, N°. XXXI, blz. 187—189.

¹³⁾ Zie deze Verslagen N°. XXXI, blz. 176 (tabel IX) en blz. 182—183.

¹⁴⁾ Door VESTERBERG (*Verhandlungen der zweiten Internationalen Agrogeologenkonferenz*, Stockholm, 1911, blz. 135—136) worden andere getallen voor het equivalentgewicht van humuszuur opgegeven (140 en 296). In dit verband vestig ik nog de aandacht op de belangrijke studie van Prof. Dr. SVEN ODÉN, *Die Huminsäuren, Kolloidchemische Beihefte*, 1919. Op blz. 89 geeft ODÉN als gemiddeld aequivalentgewicht van de zuivere humuszuren 340 op. Men moet deze getallen van VESTERBERG en ODÉN voor humuszuren niet met het in mijne Verhandeling vermelde equivalent-gewicht van de humussubstantie verwarren.

¹⁵⁾ Base Exchange in Soils, General Discussion held by the Faraday Society, December 1924, Tabel VII, blz. 563 en blz. 566.

Zie ook Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung, A, IV (1925), blz. 152, alsmede deze Verslagen, N^o. XXX, blz. 137—139.

¹⁶⁾ Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung, A, IV (1925), blz. 153, onderaan; deze Verslagen, N^o. XXX, blz. 138—139; Verhandlungen der zweiten Kommission der Int. Bodenk. Gesell., Groningen, 1926, Deel A, blz. 183, alsmede blz. 203—204 en blz. 204, 205 en 206. Verder deze Verslagen, N^o. XXXI, blz. 209—210. In September 1925 vestigde ik de aandacht van Ir. J. H. ENGELHARDT er op, dat zijn uitspraak: „Klei adsorbeert sterker dan humus” op blz. 156 van zijn werk „Kenniss van den Grond”, onjuist is. Zie intusschen aldaar, blz. 218.
