

De betekenis van geadsorbeerde en oplosbare kationen voor de structuur van kleigronden¹

The importance of adsorbed and soluble cations on soil structure of clay soils

Summary see p. 788

P. BOEKEL,

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen

De invloed van de geadsorbeerde kationen heeft schrijver nagegaan in laboratoriumproeven, waarbij gronden werden omgezet tot H-kleien en daarna werden geschud met hydroxyden of carbonaten van een groot aantal kationen. Voor het bestuderen van de invloed van de in oplossing zijnde kationen kon schrijver gebruik maken van proefveldresultaten. Ten slotte werd op een proefveld op kleigrond met zeer ongunstige fysische structuur nagegaan wat de invloed was van schuimaarde, mergel en gips op de oplosbare Ca-ionen in de bodem.

Voor de resultaten verwijzen wij naar de conclusies op blz. 788.

RED.

I INLEIDING

In de loop der jaren is veel onderzoek verricht naar de invloed van verschillende kationen op de fysische eigenschappen van kleigronden (1, 2). Tot nu toe heeft men echter niet nauwkeurig kunnen aangeven wat de invloed is van de basenbezetting op de bodemstructuur te velde. Dit blijkt uit het feit dat de meningen over het effect van kalk nogal verschillen. Zo wordt door BAYER (4) getwijfeld aan een gunstige werking van kalk, daar hij geen verschil in fysisch gedrag tussen een H-klei en een Ca-klei kon aantonen en verder bij een groot aantal kleigronden geen verband tussen uitwisselbaar Ca en aggregatie kon vinden. Ook BRADFIELD (7) kon geen betere aggregatie constateren op kleigronden met veel kalk.

In Nederland verkeren de meeste kalkrijke zware kleigronden in een goede structuurtoestand. Het is bekend dat bij volledige ontkalking de structuur sterk achteruit gaat, waarbij mogelijk het kleiner worden van het aantal Ca-ionen en het groter worden van het aantal Mg-ionen aan de klei (HISSINK, 10) als gevolg van het in oplossing gaan van de minder gemakkelijke Ca-Mg-carbonaten (BRUIN, 8) een rol speelt. Er zijn echter enkele kleigronden, die, ondanks een hoog gehalte aan koolzure kalk, toch in een slechte structuurtoestand verkeren.

Verder is op verschillende proefvelden in ons land gebleken (en in de praktijk is dit ook bekend), dat op ontcalcite kleigronden de structuur door becalcining weer kan worden verbeterd. In het algemeen zijn daarbij de ervaringen

¹ Ter publikatie ontvangen 7 nov. 1958.

met schuimaarde veel gunstiger dan met landbouwpoederkalk of kalkmergel.

Het effect van kalk op de structuur van kleigronden kan dus nogal verschillend zijn. Over de oorzaak daarvan was tot nu toe weinig bekend.

Dat de aard van de aan klei geadsorbeerde kationen van grote betekenis kan zijn voor de bodemstructuur is vooral duidelijk geworden in de gebieden van ons land die met zout water waren geïnundeerd. Daarbij is gebleken dat een Na-klei, na het uitspoelen van het grootste deel van de in de bodemoplossing aanwezige Na^+ -ionen, in een slechte structuurtoestand verkeert en dat deze te verbeteren is door het aan de klei gebonden Na te vervangen door Ca. De ervaring is opgedaan dat daartoe de grond het beste met gips kan worden behandeld (5, 19).

Er is echter ook gebleken dat niet alleen de aan de klei gebonden ionen van betekenis zijn voor de bodemstructuur, maar eveneens de in de bodemoplossing aanwezige. Bekend is het verschijnsel dat een kleigrond, die naast veel Na aan de klei ook nog veel Na-ionen in de bodemoplossing bevat, in een goede structuurtoestand kan verkeren (19). Volgens LAATSCH (13) kunnen op dezelfde wijze Ca-ionen in de bodemoplossing het gunstige effect van Ca-ionen aan de klei nog versterken.

Doordat het inzicht in de structuurgenese, in het bijzonder bij kleigronden, nog tamelijk onvolledig was, kon tot nu toe geen bevredigende verklaring voor de genoemde verschijnselen worden gegeven. Lange tijd heeft men gemeend dat in het bijzonder het vermogen van een kation om de klei uit te vlokken bepalend was voor de invloed van dat kation op de bodemstructuur. De laatste jaren wordt echter ingezien dat men hier slechts met een correlatief verband te doen heeft en dat de bodemstructuur op andere wijze door de kationen wordt beïnvloed. Immers, een kleigrond verkeert onder praktijkomstandigheden vrijwel nooit in een suspensietoestand, zodat op die wijze geen ongedwongen verklaring kan worden gegeven.

Volgens BOEKEL EN PEERLKAMP (6) wordt bij de zwaardere kleigronden het structuurverval in het algemeen teweeggebracht door een plastische deformatie onder invloed van verschillende mechanische krachten. Die deformatie zal niet alleen afhangen van de sterkte van die krachten, maar ook van de weerstand, die de grond tegen die krachten kan bieden. Het is een bekende ervaring dat die weerstand onder vochtige omstandigheden kleiner is dan onder droge. Een natte klei is het meest gevoelig voor structuurverval.

Volgens TERZACHI (17) begint bij kleigronden onder druk vervorming op te treden wanneer het vochtgehalte boven de uitrolgrens komt. Beïnvloeding van het vochtbindend vermogen van de klei is dus belangrijk ten aanzien van de structuur. De werking van de aan de klei gebonden, alsmede van de in de bodemoplossing aanwezige kationen, hangt vermoedelijk nauw samen met de wijze en mate waarop ze dat vochtbindend vermogen van klei beïnvloeden.

Het is bekend dat kleimineralen niet alleen vocht kunnen binden door absorptie tussen de lagen van het kristalrooster, maar ook in de vorm van een waterfilm tussen de kleideeltjes. Voor de wijze waarop deze waterfilm tot stand komt, zijn in de loop der jaren verschillende theorieën naar voren gebracht.

Aanvankelijk werd verondersteld dat daarbij vooral de hydratatie aan de

uitwisselbare kationen een rol speelde, maar uit latere berekeningen bleek dat in dat geval slechts een laagje water ter dikte van 20 Å kon worden gebonden, terwijl in werkelijkheid vaak een dikte van 3000 Å wordt bereikt.

VAGELER (18) meende de waterbinding door een osmotische werking van de kationenzwerm te kunnen verklaren.

HOUWINK EN LAATSCH (11, 14) gaven de meest bevredigende verklaring. Zij hebben de verschillende krachten, die tussen kleideeltjes onderling werkzaam zijn, in beschouwing genomen. In de eerste plaats zijn dat aantrekkende (LONDEN—VAN DER WAALS krachten) die bij een bepaalde kleigrond alleen zullen afhangen van de afstand tussen de kleideeltjes (kracht evenredig met r^{-3}).

In de tweede plaats zijn tussen de kleideeltjes afstotende krachten werkzaam, zolang de gedissocieerde, uitwisselbaar gebonden kationenzwermen elkaar overlappen. De grootte van die kracht is een exponentiële functie van de afstand tussen twee kleideeltjes en hangt verder sterk af van de dikte van de genoemde kationenzwermen, dus van de aard en van de concentratie van de kationen. Daar bij het groter worden van de afstand tussen de kleideeltjes de afstotende krachten veel sneller afnemen dan de aantrekkende, zal bij een bepaalde afstand de resultante minimaal zijn.

Bij bevochtiging van de kleigrond zullen de kleideeltjes dus proberen een dusdanige positie ten opzichte van elkaar in te nemen dat de resultante van genoemde krachten minimaal is. Tijdens dat proces zullen de ruimten tussen de kleideeltjes onder invloed van capillaire krachten met water worden volgezogen.

Het zal dus sterk afhangen van de dikte van de kationenzwerm welke positie de kleideeltjes ten opzichte van elkaar zullen innemen en hoeveel water er gebonden zal kunnen worden. Dat zal uiteindelijk weer bepalend zijn voor de weerstand van de grond tegenover vervorming door mechanische krachten.

DOOR BOEKEL EN PEERLKAMP (6) werd als maat voor deze weerstand, ook wel aangeduid als consistentie, gebruikt de ligging van het gewichtsperscentage vocht bij pF 2,0 ten opzichte van de uitrolgrens en vloeigrens.

De verruiming van het inzicht in de structuurgeneese van kleigronden, gepaard met de ontwikkeling van genoemde consistentiemethode, maakte het mogelijk een nader onderzoek in te stellen naar de betekenis van de kationen voor de structuur van kleigronden. Getracht werd een antwoord te verkrijgen op de volgende vragen:

- a wat is de betekenis van geadsorbeerde kationen voor de bodemstructuur,
- b wat is de betekenis van de oplosbare kationen,
- c waaraan is het verschil in effect tussen verschillende kalkmeststoffen te wijten.

De betekenis van de geadsorbeerde kationen voor de structuur werd bestudeerd door middel van laboratoriumonderzoek en de betekenis van de oplosbare kationen werd in hoofdzaak nagegaan op enkele bestaande, voor een ander doel opgezette, maar voor ons bruikbare proefvelden. Het verschil in effect tussen enkele kalkmeststoffen werd nagegaan op een nieuw aangelegd proefveld.

2 INVLOED VAN GEADSORBEERDE KATIONEN OP DE INTRINSIEKE STRUCTUUR² VAN ENKELE KLEIGRONDEN

Voor dit onderzoek werden de volgende kleihoudende gronden gebruikt:

- a een rivierklei uit de omgeving van Elst met ongeveer 60% afslibbaar (fractie $< 16 \mu$).
- b een kleigrond uit Zuurdijk met ongeveer 45% afslibbaar,
- c een zware mariene kleigrond uit het Oldambt met ongeveer 60% afslibbaar en
- d een lichte zavel uit Hornhuizen met ongeveer 15% afslibbaar.

Deze gronden werden eerst op tamelijk grove wijze tot H-kleien omgezet door met 0,1 N HCl intensief te schudden en vervolgens af te filtreren, uit te wassen en te drogen. Het op deze wijze verkregen uitgangsmateriaal was uiteraard niet volkomen vrij van basen, maar daar dit onderzoek als voorlopige oriëntatie was bedoeld, werd het niet nodig geoordeeld om de kleien door middel van elektrolyse te zuiveren.

Vervolgens werden verschillende basenbezettingen verkregen door te schudden met oplossingen van de hydroxyden, of, indien dat niet mogelijk was, met de carbonaten van de volgende kationen: Li, Na, K, Ca, Mg, Ba, Sr, Fe en Al. Er werd steeds met zoveel hydroxyde geschud, dat de pH theoretisch op 8 zou komen, maar achteraf is gebleken, dat dit niet volledig is gelukt. Voor het op globale wijze nagaan van de invloed der verschillende basen, is deze werkwijze vermoedelijk wel voldoende geweest.

De consistentie van de op deze manier verkregen kleigronden werd bepaald door meting van uitrolgrens, vloeigrens en gewichtspercentage vocht bij pF 2,0 (BOEKEL EN PEERLKAMP, 6).

De resultaten van dit onderzoek zijn vermeld in tabel 1. De daarin opgegeven quotiënten (uitrolgrens: veldcapaciteit) en (vloeigrens: veldcapaciteit) kunnen als maat voor de consistentie worden beschouwd.

De éénwaardige kationen Na en Li verhogen in sterke mate de veldcapaciteit, zo sterk zelfs dat die vochtwaarde boven de vloeigrens komt te liggen. Bezetting van het complex met K doet de veldcapaciteit op ongeveer gelijke hoogte als de vloeigrens komen. Dat betekent dus dat deze kleigronden, met Li, Na of K bezet, onder zeer vochtige omstandigheden tot een zeer plastische, papperige massa zullen worden.

De tweewaardige kationen vertonen een aanmerkelijk gunstiger beeld. Daarbij komen Ca en Sr gemiddeld wat gunstiger voor de dag dan Mg en Ba, maar groot zijn de verschillen niet.

De driewaardige kationen Fe en Al hebben het gunstigste effect gehad, daar de veldcapaciteit vrij dicht bij of zelfs beneden de uitrolgrens is gekomen.

² Een grond heeft een goede intrinsieke structuur (of structuurcapaciteit) wanneer onder normale omstandigheden een goede structuurtoestand (of actuele structuur) kan worden verkregen. Uiteraard kan een grond met goede intrinsieke structuur door het optreden van sterke destructieve krachten in slechte structuurtoestand en een grond met slechte intrinsieke structuur door bepaalde gunstige invloeden (grond bewerking, vorstwerking) — meestal tijdelijk — in goede conditie verkeren.

Tabel 1 Invloed van de basenbezetting op de consistentie.

Kationen- bezetting	pH-H ₂ O	Uitrolgrens	Vloiegrens	Veldcap.	Ug Vc	Vl Vc	Kationen- bezetting	pH-H ₂ O	Uitrolgrens	Vloiegrens	Veldcap.	Ug Vc	Vl Vc
Zuurdijsklei ("Zuurdijs" clay soil)							Rivierklei (river clay)						
H	3,6	22,0	32,5	25,6	0,86	1,27	H	3,8	26,2	38,1	29,6	0,89	1,29
Na	6,7	18,6	45,8	54,2	0,34	0,85	Li	7,0	19,2	51,5	70,1	0,27	0,73
H	7,5	18,3	45,6	51,5	0,36	0,89	Na	7,4	18,5	45,8	64,5	0,29	0,71
K	6,3	20,2	32,1	31,8	0,64	1,01	K	6,6	22,0	33,9	35,5	0,62	0,95
Ca	6,4	21,4	38,3	25,7	0,83	1,49	Ca	6,6	23,2	40,8	29,0	0,80	1,41
Mg	6,7	21,1	38,9	28,2	0,75	1,38	Mg	6,2	21,6	40,1	32,8	0,66	1,22
Ba	6,2	22,0	35,1	26,5	0,83	1,33	Ba	6,0	24,0	38,9	30,1	0,80	1,29
Sr	6,7	21,7	40,3	25,9	0,84	1,56	Sr	6,0	23,5	45,6	27,0	0,87	1,69
Fe	4,0	21,1	33,2	22,4	0,94	1,48	Fe	3,9	25,4	40,3	30,7	0,83	1,31
Al	3,5	31,5	48,6	32,5	0,97	1,50	Al	3,9	24,7	37,7	24,4	1,01	1,55
Dollardklei (marine clay soil)							Lichte zavel (sandy clay soil)						
H	3,4	32,2	46,2	32,6	0,99	1,42	H	4,1	23,6	22,1	18,1	1,30	1,22
Li	6,7	25,4	66,4	86,9	0,29	0,76	Li	7,9	23,9	23,2	22,8	1,05	1,02
Na	6,8	25,2	63,9	76,4	0,33	0,84	Na	8,3	23,9	22,5	24,3	0,98	0,93
K	6,6	27,1	44,7	50,1	0,54	0,89	K	7,0	24,2	21,7	23,6	1,02	0,92
Ca	6,7	31,0	58,7	37,0	0,85	1,42	Ca	7,0	24,1	22,4	22,0	1,10	1,02
Mg	6,2	29,5	47,9	40,9	0,72	1,17	Mg	6,8	24,3	22,2	25,6	1,03	0,87
Ba	5,4	29,1	42,7	38,0	0,77	1,12	Ba	6,5	23,4	22,2	23,0	1,02	0,97
Sr	6,4	30,5	50,8	37,7	0,81	1,35	Sr	6,9	24,5	22,2	24,4	1,00	0,91
Fe	3,8	22,3	35,7	25,5	0,87	1,40	Fe	4,5	23,0	21,8	17,9	1,29	1,22
Al	3,8	29,0	40,1	26,7	1,09	1,56	Al	4,6	24,0	22,4	20,3	1,18	1,10
Adsorbed cation	pH-H ₂ O	Lower plastic limit	Upper plastic limit	Field cap.	Ug Vc	Vl Vc	Adsorbed cation	pH-H ₂ O	Lower plastic limit	Upper plastic limit	Field cap.	Ug Vc	Vl Vc

Table 1 Influence of exchangeable cations on soil consistency.

Ug = Uitrolgrens (lower plastic limit); Vl = Vloiegrens (upper plastic limit).

Vc = Gewichtspercentage vocht bij pF 2,0, „Veldcapaciteit” (field capacity).

Het is echter niet duidelijk wat er met de Fe- en Al-ionen is gebeurd. Kennelijk zij ze niet op normale wijze aan de klei gebonden, daar de pH in beide gevallen niet is verhoogd.

Het H-ion vormt een uitzondering op de regel dat de éénwaardige het minst gunstige effect vertonen. Dit ion komt in werking vrijwel overeen met de tweewaardige kationen, bij de Dollardklei zelfs nog iets gunstiger.

Bij de lichte zavelgrond hebben de verschillende kationen weinig effect kunnen uitoefenen op de vochtwaarden. Bij bezetting met H en bij behandeling met Fe en Al is de veldcapaciteit iets lager. De verschillen zijn echter gering, zodat alleen geconcludeerd kan worden dat de toch al slechte intrinsieke structuur, die hier in hoofdzaak wordt bepaald door de ligging van de veldcapaciteit ten opzichte van de vloiegrens, vrijwel niet door de basenbezetting kan worden beïnvloed.

Uiteraard zijn de hier gebruikte basenbezettingen extreme gevallen, die in de praktijk niet voorkomen. Nemen we echter aan dat de intrinsieke structuur evenredig verandert met wijzigingen in de basenbezetting, dan kan voor verschillende kleigronden met basenbezettingen die in de praktijk wel voorkomen, de consistentie worden berekend.

Een dergelijke berekening is door ons opgezet voor de drie in het voorgaande besproken kleigronden met normale bezetting, met een bezetting die volgens WESTERHOF (19) aanwezig is na inundatie met zout water, en met een bezetting die volgens HISSINK (10) kan ontstaan na ontkalking van Dollardklei en waarbij Mg een belangrijke plaats aan het kleicomplex gaat innemen. Het resultaat is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Consistentie van enige kleigronden met verschillende basenbezetting.

Aard van de klei	Basenbezetting totaal aantal mill. aeq. = 100				Consistentie (Ug : Vc)		
	Ca	Na	Mg	K	Zuurdijs- klei	Rivier- klei	Dollard- klei
Met normale basenbezetting .	81	1	9	4	0,81	0,78	0,82
Met zout water geïnundeerd .	41	23	31	5	0,67	0,61	0,64
Sterk ont kalkt	71	3	24	2	0,79	0,75	0,80
<i>Nature of clay</i>	<i>Exchangeable bases</i>				<i>Consistency (Ug : Vc)</i>		

Table 2 Consistency of some clay soils with different exchangeable kations.

De bij inundatie met zout water verkregen basenbezetting heeft de consistentie, zoals was te verwachten, belangrijk doen afnemen. De vervanging van Ca door Mg bij sterke ontkalking van Dollardklei en bij analoog veronderstelde gevallen bij Zuurdijs- en rivierklei heeft slechts in geringe mate de consistentie doen verminderen. Die achteruitgang is zo klein, dat daarmee niet het waargenomen sterke structuurverval kan worden verklaard. Er moeten dus andere oorzaken zijn, waarop later zal worden teruggekomen.

3 INVLOED VAN OPLOSBARE KATIONEN OP INTRINSIEKE EN ACTUELE STRUCTUUR VAN ZWARE KLEIGROND

Voor het onderzoek naar de betekenis van de oplosbare kationen voor de bodemstructuur werd gebruik gemaakt van enkele bestaande proefvelden, nl. a) van het in 1928 op de proefboerderij „Jacob Sijpkensheerd” te Nieuw Beerta aangelegde kalk-kali-proefveld en b) van het in 1951 aangelegde zwavelproefveld in de Beemster.

a) Het eigenlijke doel van het eerstgenoemde proefveld was om na te gaan of kalibemesting op een oude, sterk ont kalkte Dollardklei nodig was en in hoeverre een zware bekalking daarop van invloed was. Daartoe werden verschillende hoeveelheden kali bij onbekalkte en bekalkte objecten (14 ton CaO in 1929 en 5 ton in 1949) aangewend.

Om te voorkomen dat door geregelde kalibemesting de structuur zodanig achteruitging, dat het nadelig effect daarvan een eventueel aanwezig gunstig

effect zou overdekken, werd in 1946 de helft van het aantal veldjes jaarlijks met gips (3000 kg/ha) behandeld. Deze gipsbehandeling heeft tot 1950 plaats gevonden.

Over de invloed van kali- en kalkbemesting werd eerder door VAN DER PAAUW (15) uitvoerig gerapporteerd.

Uit de resultaten van een uitvoerig structuur- en beperkt chemisch onderzoek, dat in 1954 en 1955 werd verricht, blijkt duidelijk (tabel 3) dat de structuur op de gips-objecten beter is dan op de kalkobjecten (hoger poriën- en luchtvolume, betere consistentie, hogere visuele waardering en minder grote kluiten), terwijl door behandeling met kalk en gips samen een nog iets gunstiger toestand is verkregen.

Tabel 3 Enkele fysische en chemische eigenschappen van een kleigrond na behandeling met kalk en gips.

Object	Fysische eigenschappen							Chemische eigenschappen				
	Por. vol. (vol. %)	Vol. % lucht	Vol. % gr. poriën	Gew. % vocht bij pF 2,0	Ug Vc	Gew. % aggr. > 8 mm	Vis. beoord.	pH KCl	Tot. opl. zou- ten	Opl. Na	Opl. K	Opl. Ca
	(m.aeq./100 g dr.gr.)											
Geen kalk of gips . . .	53,0	7,7	2,7	40,3	0,82	93,1	1+	5,2	1,21	0,57	0,30	0,34
Met kalk . .	53,3	9,7	6,4	38,3	0,86	82,2	3-	6,8	1,34	0,20	0,21	0,93
Met gips . .	54,0	11,2	7,9	37,7	0,90	73,3	4-	5,3	2,51	0,14	0,30	2,05
Met kalk en gips . .	53,8	12,2	11,4	36,7	0,91	63,5	5-	6,7	2,03	0,16	0,23	1,64
Treatment	Pore space	Air content	Non capill. porosity	Field cap.	Lower pl. lim. : Field cap.	Aggr. > 8 mm (perc. of weight)	Structure visual. estim.	pH KCl	Total sol- uble salts	Sol- uble Na	Sol- uble K	Sol- uble Ca
	Physical properties							Chemical properties				

Table 3 Some physical and chemical properties of a clay soil after treatment with lime and gypsum.

Door behandeling met kalk blijkt de pH van deze kleigrond aanmerkelijk te zijn verhoogd, terwijl gips in dit opzicht geen enkele invloed heeft gehad. Dat betekent dus, dat met kalk de bezetting van het complex is gewijzigd (H door Ca vervangen), terwijl met gips in ieder geval geen H door Ca is uitgewisseld. Daarentegen heeft kalk de hoeveelheid oplosbare kationen weinig verhoogd, dit in tegenstelling met gips. Hieruit blijkt dus, dat kalk de chemische eigenschappen van deze kleigrond op geheel andere wijze heeft doen veranderen dan het gips.

Wij kunnen wel aannemen dat de waargenomen structuurverbeteringen het gevolg zijn geweest van de aangebrachte veranderingen in de chemische samenstelling van klei en bodemvocht, die weer veranderingen in het vochtbindend vermogen van de klei hebben aangebracht. De resultaten van dit proefveld boden ons nu de mogelijkheid om na te gaan wat de invloed was van iedere factor — bezetting van de klei en hoeveelheid oplosbare Ca — op de bodem-

structuur. Als maat voor de structuur werden hier gebruikt de consistentie ($\frac{U_g}{V_c}$) en het visuele structuurcijfer.

Het geheel werd als een driedimensionaal probleem beschouwd, waarbij op de verticale as de structuur en op de beide horizontale assen de pH (als maat voor de basenbezetting van de klei) en het oplosbare Ca werd uitgezet. Door de ruimtelijke puntenzwerm die daarbij werd verkregen, kon een zwak gebogen vlak worden gelegd. In fig. 1a-d zijn de snijlijnen van een 4-tal verticale vlakken met dit vlak weergegeven; waarbij 1a en 1b betrekking hebben op de driedimensionale samenhang $\frac{U_g}{V_c} - \text{pH} \cdot \text{KCl-opl. Ca}$, terwijl in 1c en 1d als maat voor de structuur de visueel bepaalde waarden zijn genomen.

De consistentiewaarden werden slechts op de helft van het aantal aanwezige veldjes bepaald, zodat in fig. 1a en 1b alleen van deze veldjes de chemische gegevens werden gebruikt. In fig. 1c en 1d werden echter de gegevens van alle veldjes gebruikt. Zij zijn dan ook anders dan die in de beide eerste figuren.

FIG. 1 EFFECT VAN pH EN OPLOSBAAR Ca OP CONSISTENTIE EN STRUCTUUR.

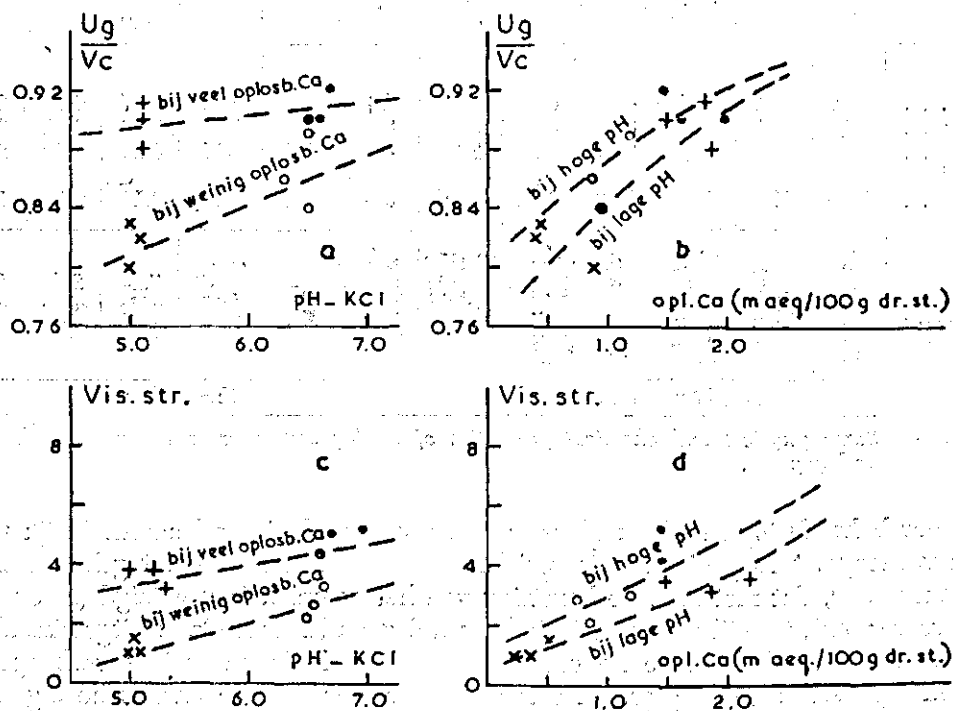


Fig. 1 Effect of pH and amount of soluble Ca-ions on consistency and soil structure.

- x geen kalk of gips (no lime or gypsum).
- o kalk (treated with lime).
- + gips (treated with gypsum).
- kalk + gips (treated with lime and gypsum).

Daaruit blijkt in de eerste plaats duidelijk de sterke invloed van de in de bodem oplosbare Ca-ionen. De invloed op de consistentie is bij hoge pH (bo-

venste lijn fig. 1b) iets kleiner dan bij lage pH. De invloed van de pH is aanmerkelijk kleiner en bij een grote hoeveelheid in de bodem oplosbare kalk (bovenste lijn fig. 1a) zelfs gering.

Zoals was te verwachten vinden we een ongeveer overeenkomstig effect van genoemde factoren op het visuele structuurcijfer. Het enige verschil is, dat hier de invloed van de pH bij verschillende hoeveelheden oplosbare Ca vrijwel gelijk is.

Dit verschil wordt in hoofdzaak veroorzaakt door het feit, dat op het object kalk + gips de actuele structuur beter is dan men volgens de consistentie zou verwachten. Dit kan weer zijn oorzaak vinden in het feit, dat de consistentie zich direct aanpast aan de veranderde chemische eigenschappen van de klei, terwijl de actuele structuur dat zeer zeker niet doet. En inderdaad blijkt, dat op het genoemde object de hoeveelheid oplosbare kalk lager is dan men zou verwachten, vermoedelijk doordat hier de laatste jaren wat meer is uitgespoeld. De visuele structuur ondervindt nog de gunstige invloed van de vroegere Ca-ionen-concentratie.

De resultaten van dit proefveld tonen dus aan, dat de structuur van een kalkarme Dollardklei enigszins kan worden verbeterd door bekalking (poederkalk, mergel), waarbij de klei dus weer tameijk volledig met Ca-ionen wordt bezet en de pH dus toeneemt, maar dat daarnaast door toediening van goed oplosbare Ca-zouten als gips een nog grotere verbetering kan worden verkregen. Met kalk alleen is laatstgenoemd effect moeilijk te bereiken, daar dit vrij snel tot het onoplosbare CaCO_3 wordt omgezet.

b) Het zwavelproefveld, door het Proefstation voor de Groenteteelt in de volle grond te Alkmaar in 1951 op een zware, iets kalkhoudende kleigrond in de Beemster aangelegd, had tot doel om de invloed van verschillende pH op de fosfaathuishouding te bestuderen³. Na het aanwenden van verschillende zwavelgiften bleek echter niet alleen de pH, maar ook de structuur in sterke mate te zijn beïnvloed.

In 1956 werd dit proefveld door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen aan een uitvoerig onderzoek onderworpen, waarbij de structuur werd vastgelegd door visuele beoordeling en door bepaling van de aggregatietoestand door droog zeven, terwijl een indruk over enkele chemische eigenschappen werd verkregen door bepaling van pH, gehalte aan koolzure kalk en hoeveelheid in de bodem oplosbare Ca, N en K.

Uit tabel 4, waarin de gemiddelde resultaten van de in drievoud aanwezige objecten zijn weergegeven, blijkt dat met toenemende zwavelgift de pH afneemt, evenals het gehalte aan koolzure kalk. Dat betekent dat zowel een gedeelte van de Ca-ionen aan de klei alsmede een deel van het onoplosbare CaCO_3 in oplossing is gebracht en dat de bodemoplossing rijker aan Ca-ionen is geworden. Uit de in 1956 uitgevoerde bepaling van de oplosbare zouten blijkt dat inderdaad nog wel enigszins. Immers, gemiddeld bezitten de veldjes met de hogere zwavelgiften de grootste hoeveelheid oplosbare kationen.

³ Alle op genoemd proefveld verkregen resultaten werden samengevat in het interne rapport „Invloed van zwavelbehandelingen op de chemische samenstelling en de structuur van zware kleigrond” van J. G. VERLAAT, verbonden aan het Proefstation voor de Groenteteelt in de volle grond in Nederland te Alkmaar.

Tabel 4 Invloed van zwavel op enkele fysische en chemische eigenschappen van een kleigrond.

Object g. zwavel/ m ²	Fysische eigenschappen		Chemische eigenschappen				
	Gem. aggr. diam. (cm)	Visuele beoord.	pH _{KCl}	CaCO ₃ (gew. %)	Ca	K	Na
					Oplosbaar m.aeq./100 g dr. grond		
0	2,4	5+	7,1	1,6	1,72	0,53	0,32
100	2,7	5+	6,9	1,0	1,43	0,51	0,28
150	3,0	5½	6,7	1,1	1,29	0,50	0,34
200	2,6	6+	6,7	0,8	1,68	0,56	0,30
250	1,9	7-	5,9	0,3	2,54	0,64	0,34
300	1,8	7-	6,1	0,5	5,74	0,51	0,39
350	2,0	6½	5,9	0,3	3,36	0,53	0,38

Treatment g. sulfur/m ²	Mean aggr. diam. (cm)	Structure visually estim.	pH _{KCl}	CaCO ₃ (%)	Ca	K	Na
	Physical properties				Soluble cations m.aeq./190 g dry matter		
	Physical properties			Chemical properties			

Table 4 Influence of sulfur on some physical and chemical properties of a clay soil.

Op 2 van de 3 veldjes met de hoogste gift (350 gr/m²) was vrijwel geen oplosbare kalk meer aanwezig. We kunnen wel aannemen dat dit veroorzaakt is door het feit, dat hier reeds de eerste jaren alle koolzure kalk door de toegevoegde zwavel in oplossing werd gebracht, zodat er tot 1956 alle gelegenheid is geweest om het te doen uitspoelen. Het derde veldje, waarop nog wel een grote hoeveelheid oplosbare kalk werd aangetroffen, bezat vóór de aanleg van de proef meer koolzure kalk, zodat hier vermoedelijk ook het laatste jaar dat zwavel werd toegediend (1953), nog koolzure kalk in oplossing is gebracht.

Op de veldjes met 100, 150 en 200 g zwavel per m² werd een iets kleinere hoeveelheid oplosbare kalk aangetoond dan op het onbehandelde object. Door uitspoeling zijn hier vrijwel alle door zwavel in oplossing gegane kationen weer verdwenen en door het kleiner worden van de reserve aan CaCO₃ is de aanvulling kleiner dan op de onbehandelde veldjes.

De invloed van behandeling met zwavel op de bodemstructuur is wat duidelijker weergegeven in fig. 2. Daar een groter worden van de gemiddelde aggregaatdiameter en het kleiner worden van het visueel verkregen structuurcijfer ongunstig is, kan worden geconstateerd, dat de kleine giften zwavel, aangewend in de jaren 1951-1954, een iets slechtere structuurtoestand in 1956 tot gevolg hebben gehad. Dit moet in hoofdzaak worden toegeschreven aan de geringe afname van de hoeveelheid oplosbare kalk.

Bij de grotere giften zwavel heeft kennelijk de grotere hoeveelheid oplosbare kalk de structuur in gunstige zin beïnvloed. Dat echter bij de hoogste giften zwavel de structuur weer iets terugloopt, moet worden toegeschreven aan het kleiner worden van de hoeveelheid oplosbare kalk door uitspoeling.

Dat op het moment van de bemonstering op alle drie veldjes de structuur toch beter was dan op het onbehandelde object, ondanks het feit dat op twee de oplosbare kalk vrijwel geheel was verdwenen, is te danken aan het feit dat de actuele structuur zich niet momentaan aan de veranderde chemische eigenschappen aanpast.

FIG. 2 INVLOED VAN ZWAVEL OP DE ACTUELE STRUCTUUR.

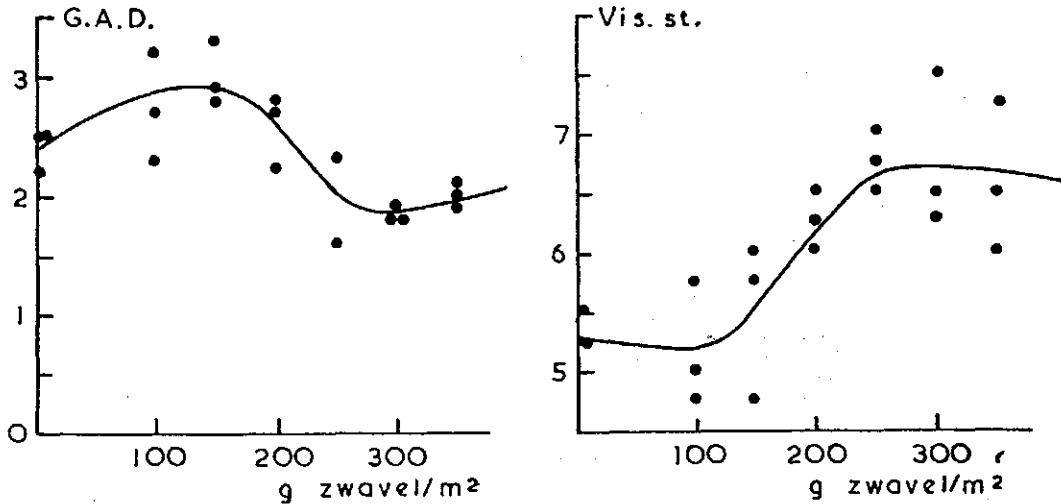


Fig. 2 Influence of sulfur on the actual soil structure.

G.A.D. = gemiddelde aggregaatdiameter (mean aggregate diameter).

Vis.st. = visuele structuurbeoordeling (structure visually estimated).

4 INVLOED VAN ENKELE CALCIUMHOUDENDE MESTSTOFFEN OP DE HOEVEELHEID OPLOSBARE KALK IN DE BODEM

In 1957 werd op een kleigrond te Zuurdijk, die bekend staat om zijn zeer ongunstige fysische eigenschappen, een proefveld aangelegd, waar o.a. werd nagegaan wat de invloed was van schuimaarde, mergel en gips op de oplosbare Ca-ionen in de bodem. De genoemde meststoffen werden gebracht op veldjes van $7\frac{1}{2}$ are naar hoeveelheden van resp. 15, 11 en 5 ton/ha. Iedere maand werden monsters genomen voor bepaling van de oplosbare zouten, uitgezonderd gedurende enkele zomermaanden toen dat door de gewasgroei onmogelijk werd gemaakt. Het tot nu toe verkregen resultaat is weergegeven in fig. 3.

Duidelijk blijkt, dat na behandeling met schuimaarde een grotere hoeveelheid oplosbare kalk wordt verkregen dan na behandeling met mergel. Het is nog niet geheel duidelijk wat de oorzaak daarvan is. Zowel de fijne verdeling van de kalk als het gehalte aan organische stof in de schuimaarde, kan daarbij een rol hebben gespeeld. Deze laatste verklaring lijkt aannemelijk, daar door vorming van CO_2 de koolzure kalk van de schuimaarde in sterkere mate tot oplossing kan worden gebracht.

Gips heeft de eerste maanden een sterke verhoging van de hoeveelheid oplosbare Ca veroorzaakt, maar na ruim 8 maanden is alles weer verdwenen, hetgeen ongetwijfeld aan uitspoeling moet worden toegeschreven.

Het voornaamste resultaat van dit proefveld is dus het verschil in oplosbaarheid tussen mergel en schuimaarde, hetgeen uiteraard ook verschil in hoeveelheid Ca-ionen in de bodemoplossing betekent.

FIG. 3 VERLOOP VAN HOEVEELHEID OPLOSBARE Ca NA BEHANDELING MET VERSCHILLENDE CALCIUMHOUDENDE MESTSTOFFEN.

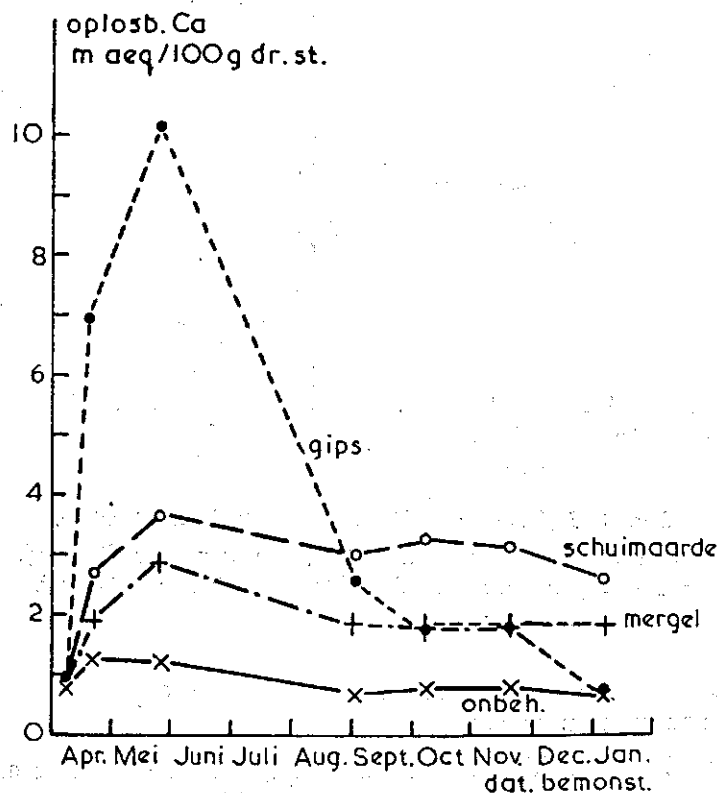


Fig. 3 Course of the quantity of soluble Ca-ions after treatment with different Ca-holding fertilizers.

5 BESPREKING VAN DE RESULTATEN

In het voorgaande werd aangetoond dat de basenbezetting van de klei van belang kan zijn voor de consistentie en dus voor de intrinsieke structuur. Aanwezigheid van veel éénwaardige kationen heeft in het algemeen een ongunstige consistentie tot gevolg. Een uitzondering vormt echter het H-ion, dat een positie inneemt, die vrijwel overeenkomt met die van de tweewaardige kationen. Dit zou kunnen verklaren, dat de pH weinig invloed heeft. De tweewaardige kationen hebben een veel gunstiger effect dan de éénwaardige. Ze worden op hun beurt weer overtroffen door de driewaardige ionen Fe en Al, hoewel van deze laatste niet bekend is op welke wijze ze bij ons onderzoek aan de klei gebonden waren.

Verder is gebleken, dat de hoeveelheid in de bodemoplossing aanwezige Ca-ionen van niet minder groot belang is voor de bodemstructuur. Een groter worden van die hoeveelheid heeft een aanmerkelijke structuurverbetering tot gevolg.

De genoemde werking van de aan de klei gebonden, alsmede van de in de bodemoplossing aanwezige kationen moet zeer zeker worden toegeschreven aan

de wijze en de mate, waarop ze het vochtbindend vermogen van de kleicolloïden beïnvloeden.

Met behulp van de verkregen resultaten en de ontwikkelde visie op de oorzaak van structuurverval, kan wellicht een antwoord worden gegeven op de verschillende in wetenschap en praktijk nog onverklaarde problemen, waarvan enkele in de inleiding werden vermeld.

De werking van gips op iets kalkhoudende en ontkalkte Dollardklei, alsmede die van zwavel op kalkrijke klei, moet dan ook in hoofdzaak worden toegeschreven aan de vergroting van de hoeveelheid in de bodemoplossing aanwezige Ca-ionen, waardoor het vochtbindend vermogen wordt verkleind en consistentie wordt verbeterd.

Het in slechte structuurtoestand verkeren van verschillende kleigronden, ondanks het feit, dat ze voldoende koolzure kalk bezitten, kan dus zijn veroorzaakt door het onvoldoende in oplossing gaan van de koolzure kalk, voor zover het tenminste niet het gevolg is van een afwijkende minerale samenstelling.

Ook het feit dat men op vele kleigronden, waar ondanks de aanwezigheid van enige koolzure kalk de structuur toch te wensen overlaat, meer baat heeft bij schuimaarde dan bij poederkalk en vooral mergel, moet wel worden toegeschreven aan een verschil in oplossen van de kalk. Het is bekend, dat mergel tamelijk onoplosbaar is, terwijl poederkalk na aanwending vrij snel overgaat in het onoplosbare CaCO_3 . Bij geringe CO_2 -vorming in de bodem zal deze kalk weinig betekenis voor de structuur kunnen hebben. Schuimaarde daarentegen bevat nogal wat organische stof, die bij microbiologische omzetting tamelijk veel CO_2 levert, hetgeen een gunstige invloed kan uitoefenen op het in oplossing doen gaan van de kalk. Verder is bekend dat de kalk in schuimaarde zeer fijn verdeeld is, wat de oplosbaarheid ongetwijfeld eveneens gunstig beïnvloedt.

Door middel van ons laboratoriumonderzoek kon vrijwel geen verschil in fysische eigenschappen tussen een H-klei en een Ca-klei worden aangetoond. Toch is duidelijk gebleken, dat van Dollardklei de structuur slechter wordt bij volledige ontkalking. Vermoedelijk moet dat in hoofdzaak worden toegeschreven aan het feit dat een kalkhoudende kleigrond onder praktijkomstandigheden niet alleen Ca-ionen aan de klei, maar ook veel Ca-ionen in de bodemoplossing bevat dat bij voortschrijdende ontkalking niet alleen het complex, maar ook de bodemoplossing armer aan Ca-ionen zal worden.

Hoewel uit ons laboratoriumonderzoek gebleken is, dat Mg een minder gunstige invloed heeft op de consistentie dan Ca, staat toch wel vast dat het waargenomen structuurverval bij ontkalkte kleigronden slechts voor een zeer klein gedeelte door een omwisseling van Ca tegen Mg kan worden verklaard.

Men kan zich nu de vraag stellen of aan de hand van deze resultaten al iets kan worden gezegd over de wijze waarop kleigronden moeten worden behandeld om de meest gunstige structuur te verkrijgen.

Het is duidelijk, dat moet worden gestreefd naar handhaving of verkrijging van een voldoende hoeveelheid oplosbare Ca-ionen in de bodem. Wat de beste en meest economische wijze is om dat te verkrijgen, zal door verder onderzoek worden nagegaan.

CONCLUSIES

Dit onderzoek naar de betekenis van geadsorbeerde en oplosbare kationen voor de bodemstructuur heeft tot de volgende conclusies geleid :

- a de aard van de geadsorbeerde kationen kan van invloed zijn op de bodemstructuur. De éénwaardige kationen Na, Li en K hebben een ongunstige, de driewaardige kationen Fe en Al een gunstige invloed op de consistentie. De tweewaardige kationen Mg, Ca, Ba en Sr, alsmede het éénwaardige H hebben een iets minder gunstig effect dan de driewaardige. Van deze tweewaardige kationen is het Mg het minst gunstig, echter niet zodanig dat dit in de praktijk veel betekenis kan hebben.
- b De concentratie van de bodemoplossing aan Ca-ionen is eveneens van grote betekenis voor de fysische eigenschappen van de klei. De structuurverslechtering van ontkalkte kleigronden moet in hoofdzaak aan een sterke afname van de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen worden toegeschreven.
- c Dat ten aanzien van de bodemstructuur betere resultaten worden verkregen met schuimaarde dan met mergel moet worden toegeschreven aan een betere oplosbaarheid van de kalk in de schuimaarde, vermoedelijk door vorming van CO_2 bij de afbraak van de organische stof in de schuimaarde.
- d Dat enkele kleigronden ondanks een hoog gehalte aan koolzure kalk toch in zeer slechte structuurtoestand verkeren, moet in hoofdzaak aan de slechte oplosbaarheid van de koolzure kalk worden toegeschreven, tenzij de mineralogische samenstelling afwijkt van de normale. Op dergelijke gronden kan een gunstig effect van gips en schuimaarde worden verwacht.

SUMMARY : THE IMPORTANCE OF ADSORBED AND SOLUBLE CATIONS ON SOIL STRUCTURE OF CLAY SOILS

This investigation into the importance of adsorbed and soluble cations on soil structure has laid to the following conclusions :

- a The nature of the adsorbed cations can influence soil structure. The monovalent cations Na, Li and K have an unfavourable, the trivalent cations Fe and Al a favourable influence on consistency. The divalent cations Mg, Ca, Ba and Sr, as well as the monovalent H, have a smaller favourable effect than the mentioned trivalent ones. Of these divalent cations the Mg-ion is the least favourable, however not in such a way that in practice this is of great importance.
- b The concentration of Ca-ions in the soil solution also is of great importance for the physical properties of clay soils. The deterioration of soil structure of clay soils with a low CaCO_3 -percentage is mainly due to a great decrease of the amount of soluble cations.
- c The fact that structure of clay soils generally is more improved by sugar factory lime sludge than by marl, is due to a better solubility of the lime sludge, probable by means of the CO_2 formed by the decomposition of the organic matter in the lime sludge.
- d The bad physical condition of some clay soils, in spite of a high percentage of CaCO_3 , must be due to the low solubility of the calcium carbonate, unless the mineralogical composition is not normal. On these soils a favourable influence of gypsum and lime sludge can be expected.

LITERATUUR

- 1 BAVER, L. D. : The relation of exchangeable cations to the physical properties of soil. *J. of Am. Soc. of Agron.* 20 (1928) 921-941.
- 2 — — : The effect of the amount and nature of exchangeable cations on the structure of a colloidal clay. *Missouri Agr. Exp. Sta. Research Bull.* 129, 1929.
- 3 — — : Factors contributing to the genesis of soil micro-structure. *Am. Soil Survey Assoc. Bull.* 16, pp. 55/56.
- 4 — — : *Soil physics.* New York, 1956.
- 5 BEEKOM, C. W. C. VAN, C. VAN DEN BERG, TH. A. DE BOER, W. H. VAN DER MOLEN, B. VERHOEVEN, J. J. WESTERHOF EN A. J. ZUUR : Reclaiming land flooded with salt water. *Neth. J. of Agr. Sci.* 1 (1953) 153-163, 225-244.
- 6 BOEKEL, P. EN P. K. PEERLKAMP : Soil consistency as a factor determining the soil structure of clay soils. *Neth. J. of Agr. Sci.* 4 (1956) 122-125.
- 7 BRADFIELD, R. : The value and limitations of calcium in soil structure. *Am. Soil Survey Assoc. Bull.* 17, 1936, 31-32.
- 8 BRUIN, P. : De aanwezigheid van Calcium-Magnesiumcarbonaat naast calciumcarbonaat in kleigronden en de ontleding dezer carbonaten onder invloed van zoutzuur, azijnzuur en de bodemzuren. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 44 (1938) 693-738.
- 9 CASAGRANDE, A. : Research on the Atterberg limits of soil. *Pub. Roads* 13 (1932) 121-130.
- 10 HISSINK, D. J. : De bodemkundige gesteldheid van de achtereenvolgens ingedijkte Dollardpolders. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 41 (1935) 47-172.
- 11 HOUWINK, R. : *Elasticity, Plasticity and Structure of matter.* Cambridge, 1937.
- 12 JENNY, H. AND R. F. REITEMEIER : Ionic exchange in relation to the stability of colloidal systems. *J. Phys. Chem.* 39 (1935) 593-604.
- 13 LAATSCH, W. : Die Gare als Kolloidchemisches Problem. *Die Phosphorsäure* 10 (1941) 301-317.
- 14 — — : *Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden.* Dresden und Leipzig, 1957.
- 15 PAAUW, F. v. d. : Het kali-kalkproefveld Pr 80. Verslag over de jaren 1951 t/m 1955 van de Vereniging tot Exploitatie van proefboerderijen in de klei- en zavelstreken van de provincie Groningen.
- 16 RUSSELL, E. W. : The interaction of clay with water and organic liquids as measured by specific volume changes and its relation to the phenomena of crumb formation in soils. *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 233 A, 1934, 361-389.
- 17 TERZAGHI : Simplified Soil test for subgrades and their physical significance. *Pub. Roads* 7 (1926) 153-162.
- 18 VAGELER, P. : *Die Kationen- und Wasserhaushalt der Mineralböden.* Berlin, 1932.
- 19 WESTERHOFF, J. J. : Bodemstructuur en gips. *T.N.O.-Nieuws* 11 (1956) 12-20.
- 20 American Society for Testing Materials. *Procedures for Testing soils.* Philadelphia, 1950, pp. 56-60.