

DE ONDERLINGE BINDING VAN MINERALE GROND- DEELTJES IN VERBAND MET DE STRUCTUUR VAN DE GROND*)

DR S. B. HOOGHOUTD

Landbouwproefstation en Bodenkundig Instituut T.N.O.

The mutual binding of mineral particles in relation to the structure of the soil.

(Summary see p. 348).

1. INLEIDING.

De structuur van de grond wordt bepaald door de korrelstapelning en door de onderlinge binding van de afzonderlijke deeltjes. Onderzoekingen over deze structuur hebben zich dan ook in beide richtingen bewogen. Het hier medegedeelde heeft betrekking op de onderlinge binding van deze deeltjes; de korrelstapelning blijft hier buiten beschouwing.

Ten aanzien van de factor water kan onderzoek van deze aard betrekking hebben op omstandigheden, waarop een overmaat water aanwezig is (b.v. slompigheid, de bestendigheid van de structuur tegen slagregens of in het algemeen bestendigheid tegen een overmaat van water, waarbij een normale hoeveelheid water aanwezig is (b.v. de bewerkbaarheid van gronden) en waarbij slechts weinig water aanwezig is (b.v. kluitvorming, het korstig worden van gronden). Laten we de bestendigheid van de structuur bij een overmaat van water buiten beschouwing, dan is waarschijnlijk de onderlinge binding van de deeltjes bij normale vochtverhoudingen wel het belangrijkste. Zien we af van zand- en veengronden dan zal voor meer fundamenteel onderzoek hier vooral een onderzoek naar de plasticiteit van de grond dienen te geschieden. Blijkens de twee rapporten van de „Committee for the study of viscosity of the Royal Academy of Science at Amsterdam (2) zijn deze onderzoekingen echter juist voor gronden niet gemakkelijk uit te voeren. Een goede methode van onderzoek bestond hiervoor althans op het tijdstip, waarop de hier medegedeelde onderzoekingen begonnen, nog niet. Zeker enige jaren zouden besteed moeten worden om alleen deze methode uit te werken, terwijl daarna pas met het eigenlijke onderzoek zou kunnen worden begonnen. Om deze reden bepaalden wij ons dan ook tot onderzoekingen over deze onderlinge binding van de afzonderlijke deeltjes van gronden onder omstandigheden, dat slechts weinig water meer aanwezig was, d.w.z. tot onderzoekingen over gedroogde gronden of (beter uitgedrukt) tot onderzoekingen aan bepaalde modellen van gedroogde grondpasta's. Hiervoor waren namelijk, vooral door onderzoekers uit het gebied van de klei-, aardewerk- en porselein-industrie reeds bepaalde onderzoekingsmethoden opgesteld, die alleen nog verder moesten worden uitgewerkt en gecontroleerd. Hierbij komt nog, dat de factoren, die de onderlinge binding van de deeltjes in deze gedroogde gronden bepalen, vaak mede van invloed zullen zijn op ~~de~~

*) Een uitvoerige publicatie over dit onderwerp zal als No. 60 in de serie: Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond, verschijnen in de Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen.

vochtverhoudingen, zodat met de bestudering hiervan althans zou kunnen worden begonnen.

Nu is een onderzoek naar de structuur van de grond en vooral naar de factoren, die hierbij een rol spelen, altijd op twee manieren mogelijk. Enerzijds gaat men uit van de structuur, zoals deze in de natuurlijke omstandigheden aanwezig is en tracht hieruit door analyse, hoe dan ook, elementen van betekenis af te leiden. Deze richting is ongetwijfeld het meeste gevolgd. Anderzijds is ook een geheel andere werkwijze mogelijk, waarbij men nl. de natuurlijke ligging van de grond geheel loslaat en zelfs de gronden splitst in hun bestanddelen om daarna door combinatie daarvan langzamerhand weer te komen tot een natuurlijke grond en tenslotte tot een grond in zijn natuurlijke structuur. Deze werkwijze, welke men de synthetische zou kunnen noemen, is zeker veel minder toegepast. Beide bieden uiteraard hun perspectieven. Laatstgenoemde echter zeker niet de minste, aangezien daarbij gemakkelijk omstandigheden kunnen worden geschapen en onderzocht, die bij natuurlijke gronden niet voorkomen. Hierdoor kan men uitersten onderzoeken, waarbij de factor die men wil bestuderen, veel duidelijker tot uiting komt dan bij gronden in hun natuurlijke samenstelling en ligging, indien deze factor althans daarbij nog tot uiting komt.

2. METHODEN VAN ONDERZOEK.

De onderlinge binding van de deeltjes hangt in elk geval in sterke mate van de fijnheid van het materiaal af. Men denke b.v. slechts aan kleigronden enerzijds en zandgronden met te verwaarlozen gehalten aan slib en humus anderzijds. Onderzoekingen over deze onderlinge binding maken dan ook een nauwkeurige kennis van deze fijnheid noodzakelijk. De granulometrische bepalingen beperkten zich tot voor kort tot de bepaling van de gehalten aan deeltjes met een diameter van gewoonlijk niet kleiner dan 2μ . Voor dit doel is dit echter onvoldoende, aangezien daardoor over de samenstelling van de juist zo belangrijke fractie $< 2\mu$ geen gegevens worden verkregen. Mede om deze reden en ook in meer algemeen opzicht werd de methode ter bepaling van de granulaire samenstelling van gronden door ons nog eens onder de loupe genomen en wel tot en met de bepaling van deeltjes met een doorsnede kleiner dan 1μ als onderste grens (3), terwijl ook de mogelijkheid werd onderzocht om door middel van een micropipet en microbalans zonder gebruik te maken van een centrifuge deze bepaling uit te breiden tot de fractie kleiner dan $\frac{1}{3}\mu$. Deze onderzoekingen zijn reeds voor een belangrijk gedeelte gereedgekomen en toonden de mogelijkheid aan om deze gehalten op een relatief eenvoudige en ook voldoende snelle wijze te bepalen. Ook door andere onderzoekers, nl. door Berg (1), Puri (4) en Russell (6), werden onderzoekingen over de bepaling van het gehalte van subfracties van de fractie kleiner dan 2μ verricht. Belangrijk uitgebreide mogelijkheden, wat betreft de bepaling van de granulaire samenstelling van gronden, kunnen dan ook binnen afzienbare tijd worden tegemoet gezien, wanneer de genoemde methoden door verder onderzoek nader zullen zijn gecontroleerd. Dit zal aan het onderzoek naar de onderlinge binding van de afzonderlijke deeltjes van gronden, en dus aan het structuurvraagstuk van de grond ten goede komen.

Om misverstand te voorkomen, wil ik bij het bovenstaande nog opmerken, dat behalve de fijnheid van de grond vele andere factoren bij de onderlinge binding van de afzonderlijke deeltjes van gronden een rol spelen, waarvan ook nog enkele besproken zullen worden. Hiertoe behoren ook de humus en wellicht ook de ontledingsstoffen van organische stoffen (5), zoals deze tijdens het ontledingsproces onder invloed van de bacteriën ontstaan. Deze zijn echter bij de hier medegedeelde onderzoekingen voorlopig vrijwel geheel buiten beschouwing gelaten.

Voor een zo juist mogelijke keuze van de methoden van onderzoek of in feite van de te bepalen fysische constanten hebben wij voor de oorlog reeds overleg gepleegd met Prof. Dr. Van Nieuwenburg te Delft en Dr. Zimmermann, gewezen directeur van het gewezen Rijksproefstation en Voorlichtingsdienst ten bate van de klei- en Aardewerkindustrie te Gouda. Voor de ons betoonde medewerking wordt hier gaarne onze dank gebracht.

Het leek ons voor het onderzoek van belang ons niet te beperken tot de bepaling van slechts één natuurkundige grootte als maat voor de binding, maar daarbij te betrekken: de buigvastheid, de drukvastheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid en de hardheid volgens Brinell. Bovendien werden nog somtijds de krimp, de vloeigrens volgens Atterberg en het poriënvolume in natte en in droge toestand nagegaan.

In het korte bestek van dit artikel kan het niet de bedoeling zijn de genoemde fysische constanten, ook wat betreft de bepalingswijze, uitvoerig te bespreken. Wij zullen ons er dan ook toe bepalen slechts enkele opmerkingen hierover te maken.

De buigvastheid, de drukvastheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid en de hardheid volgens Brinell worden bepaald met behulp van bepaalde modellen. Deze worden

gemaakt uit geknede pasta's van de te onderzoeken grond en water, die via negatieve gipsmodellen de benodigde vorm verkrijgen. Deze modellen worden eerst aan de lucht en dan in een droogstof bij meestal 70°C tot constant gewicht gedroogd en daarna onderzocht.

a. De buigvastheid.

De *buigvastheid* wordt bepaald met behulp van reepvormige modellen. Deze worden op 2 punten ondersteund en daarna in het midden belast, tot breuk optreedt. Uit deze belasting wordt de buigvastheid $= \frac{\text{buigmoment}}{\text{weerstandsmoment}} = \frac{3 P l}{2 bh^2}$ afgeleid en in kg/cm² uitgedrukt. Aangezien de modellen tijdens het drogen krimpen, moet voor deze krimp worden gecorrigeerd hetgeen hier automatisch geschiedt door de afmetingen van het breukvlak in de formule in te voeren. Door uitvoerige, hier verder niet te bespreken onderzoeken, kon worden vastgesteld, dat de buigvastheid onafhankelijk is van de lengte, de breedte en de dikte van het model en van de onderlinge afstand der steunpunten. Deze grootte is dus vrijwel een absolute grootte, afgezien van de invloed, die de snelheidstoename van de belasting daarop uitoefent. Dit werd niet verder onderzocht, aangezien deze toename van de belasting per tijdseenheid gemakkelijk constant is te houden.

b. De drukvastheid.

De *drukvastheid* wordt bepaald met behulp van halve bollen. Hierop wordt van boven een druk uitgeoefend tot het model stuk gedrukt wordt. De drukvastheid wordt uitgedrukt in kg, waarbij de krimp op deze wijze wordt gecorrigeerd, dat de drukvastheid wordt herleid tot de drukvastheid van een halve bol met een bepaalde doorsnede (b.v. 2½ cm). Uit uitvoerige onderzoeken met halve bollen van een verschillende doorsnede is namelijk gebleken, dat de drukvastheid recht evenredig is met het kwadraat van de straal van de halve bol. Deze grootte blijft echter een empirische grootte, o.a. al door het feit, dat de stempel, met behulp waarvan een druk op het halve bolletje wordt uitgeoefend, een klein plat vlakje aan de bovenkant van het halve bolletje maakt. Ook zal de drukvastheid veranderen, wanneer een ander model — b.v. een kubus — wordt genomen. Uiteraard is het noodzakelijk ook hierbij de toename van de druk per seconde constant te houden.

c. De trekvastheid.

De *trekvastheid* wordt bepaald met behulp van de bekende gesloten achtvormige modellen. Uit de kracht nodig om dit model uit elkaar te trekken wordt de trekvastheid berekend en uitgedrukt in kg/cm². Door deze berekening wordt automatisch de krimp in rekening gebracht, hetgeen veroorloofd is, aangezien uit uitvoerige onderzoeken met grotere en kleinere modellen bleek, dat zelfs ver buiten de grenzen, waartussen door krimp de grootte van het model kan schommelen, practisch een rechtevenredigheid met de oppervlakte van het breukvlak optreedt. Ook deze grootte is empirisch, doordat zij o.a. sterk door de vorm van het model zal worden beïnvloed. Ook hier is het uiteraard noodzakelijk de toename van de trekkracht per seconde constant te houden.

d. De slagbuigvastheid.

De *slagbuigvastheid* wordt bepaald met een balkvormig model (dit balkje wordt in 2 punten ondersteund en in het middel doorgeslagen door een z.g. slingerhamer), en uitgedrukt in kgcm/cm² verbruikt arbeidsvermogen. Door deze berekening wordt de krimp automatisch in rekening gebracht, hetgeen veroorloofd is, aangezien uit onderzoeken bleek, dat binnen de grenzen, waardoor tengevolge van de krimp de doorsnede van het balkje kan veranderen, de slagbuigvastheid rechtevenredig is met deze doorsnede. Deze grootte is sterk empirisch. Zij hangt af van de vorm, de afstand van de steunpunten, de kracht, waarmee het balkje doorgeslagen wordt enz.

e. De hardheid.

De *hardheid* volgens *Brinell* wordt bepaald met behulp van een cilindertje van het te onderzoeken materiaal. Met behulp van een kogeltje, waarop een bepaalde druk wordt uitgeoefend, wordt in dit cilindertje een kuiltje gedrukt. De hardheid in kg/mm² wordt berekend uit het quotient van de belasting en het oppervlak van de kogelindruk of dus ook uit de belasting, de doorsnede van het kogeltje en de diepte van de kogelindruk.

Uit proefnemingen met kogeltjes van 6 en 8 mm bleek, dat binnen deze grenzen de hardheid practisch niet van de doorsnede van het gebruikte kogeltje afhangt. De bepaling van deze hardheid is echter langdurig, terwijl pas bij hogere drukken de hardheid vrijwel onafhankelijk wordt van de toegepaste druk. Deze grootte is bovendien empirisch, doordat bij een bepaalde belasting de indrukingsnelheid slechts asymp-

totisch met de tijd tot nul nadert en dus na een zekere tijd deze indrukking moet worden beschouwd.

Aangezien uit het onderzoek is gebleken, dat de correlatiecoëfficiënten zeer hoog zijn, kan men zich dus beperken tot een tweetal van deze constanten. De meeste aanbeveling verdienen de drukvastheid en de buigvastheid en daarna de trekvastheid. Hierop kan niet verder worden ingegaan.

3. DE RESULTATEN.

Wat de tot nu toe verkregen resultaten betreft, is het onmogelijk deze ook maar enigszins volledig te behandelen. We hebben ons dus moeten beperken.

a. Invloed droogtemperatuur.

Uitgebreide onderzoeken werden verricht om de invloed van de droogtemperatuur van de modellen op deze grootheden na te gaan. Zoals wij reeds opmerkten, worden de modellen, na enige tijd aan de lucht te zijn voorgedroogd, in de droogstof bij een bepaalde temperatuur nagedroogd. Om de invloed van deze temperatuur op de fysieke constanten te bestuderen, werden bepaalde mengsels onderzocht van een rivierkleigrond en een leemgrond, beide humus- en CaCO_3 -vrij, met de zandfractie van 16-43 μ resp. van 208-295 μ , waarbij het slibgehalte van het mengsel resp. 30 en 60% bedroeg. Deze mengsels werden verder onderworpen aan een electro-dialyse, waarna de genoemde fysieke constanten werden bepaald. Hierbij werden de modellen echter gedroogd bij 40°, 70° of 100° C, terwijl hierin tevens het resterende vochtgehalte werd bepaald, aangegeven op droge stof bij 110° C gedroogd. Het resultaat was, dat tussen een droogtemperatuur van 70° en 100° geen verschil bestond, terwijl bij 40° C hoogstens iets lagere waarden werden verkregen. De resterende vochtgehalten bedroegen bij een droogtemperatuur van 40°, 70° en 100° C resp. rond 1.5, 0.35 en 0.05%. Hieruit volgt, dat het weinig waarschijnlijk is, dat het onderzochte fysieke gedrag, dus het hard worden van geknede pasta's van kleigrond en water bij het indrogen, wordt veroorzaakt door de oppervlaktenspanning van de zich in steeds nauwer poriën terugtrekkende meniscen; althans niet bij de hier onderzochte vochtgehalten. Blijkbaar treden hier andere krachten (electrostatische) op, die de onderlinge binding der deeltjes veroorzaken.

b. Invloed korrelgrootte.

Een serie onderzoeken werd verder verricht om de invloed van de korrelgrootte van de minerale deeltjes op de sterkte van hun onderlinge binding te onderzoeken. Hiertoe werd begonnen met een viertal series mengsels met opklimmende slibgehalten en met een verschillend grove zandfractie te maken. Deze serie werd verkregen door een zeer zware humus- en koolzure kalkvrij gemaakte rivierklei- en leemgrond te mengen met de zandsubfractie 16-43 μ of 208-295 μ . Deze mengsels werden daarna aan een electro-dialyse onderworpen. Hiervan werden de verschillende fysieke constanten bepaald. De resultaten van een serie zijn in tabel 1 aangegeven.

Tabel 1.
Rivierkleigrond + fractie 208-295 μ

Fysieke Constanten.	Slibgehalte in procenten									
	7.5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Hardheid	—	—	1.6	1.6	1.9	2.3	2.7	4.4	5.2	5.7
Slagbuigvastheid	—	—	0.56	0.60	0.64	0.75	0.80	0.82	0.90	0.90
Trekvastheid	—	—	4.5	5.2	7.7	10.2	14.6	19.1	20.6	20.7
Buigvastheid (Kort)	—	—	6.9	9.2	15.6	25.2	29.5	39.9	56.4	71.2
Buigvastheid (Lang)	—	—	7.7	10.0	16.1	21.3	32.7	44.5	63.9	74.1
Drukvastheid A	4.1	5.1	11.6	14.0	21.2	32.0	50.6	68.6	88.0	109.6
Drukvastheid B } bollen										
Drukvastheid C } bollen										
Krimp	—	—	1.3	4.1	8.5	11.9	16.9	21.3	26.0	28.2
Poriënvolume droog	—	—	35.5	32.6	31.9	31.4	32.1	32.4	33.6	35.2
Poriënvolume nat	—	—	36.3	35.4	37.7	39.5	43.5	46.8	50.8	53.2
Vloeigrens Atterberg ..	—	—	14.4	15.0	20.0	25.0	28.7	36.0	40.5	45.5
Vochtgehalte pasta	—	—	16.3	18.4	20.9	25.3	28.5	33.5	38.7	44.8

Uit deze tabel 1 blijkt, dat alle onderzochte fysieke constanten toenemen met een toenemend slijbgehalte. Ook beneden 10% slijb behoudt de massa nog steeds een zekere samenhang. Duidelijk blijkt hieruit ook de sterke invloed van het slijbgehalte.

Nu is de invloed van de fijnheid van de zandfractie na te gaan door telkens de 2 series te vergelijken, die alleen verschillen, doordat zij een verschillend fijne zandfractie bezitten. Dit is geschied voor enkele fysieke grootheden in de diagrammen 1, 2 en 3.

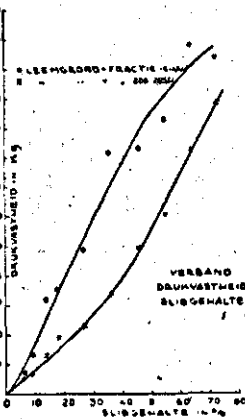


Diagram 1

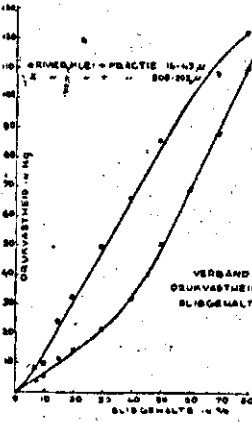


Diagram 2

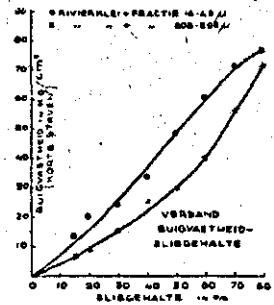


Diagram 3

Uit deze diagrammen volgt, dat de serie met een grovere zandfractie een geringere samenhang vertoont dan de serie met een fijnere zandfractie. Bij tal van andere onderzoeken werd hetzelfde gevonden. Om ook de minste twijfel hieraan weg te nemen, d.w.z., dat het voorgaande ook voor meer normale samenstellingen van de zandfractie geldt, werd ook een serie mengsels onderzocht, gemaakt door dezelfde rivierkleigrond, eveneens vrij gemaakt van humus- en koolzure kalk, met verschillende zandsubfracties te mengen, totdat mengsels met steeds 20% slijb maar met opklimmende U-cijfers van de zandfractie ontstonden. Ook deze mengsels werden aan een electro-dialyse onderworpen. Onderzocht werden mengsels met U-cijfers van de zandfractie van resp. 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 270 en 310. Daarvan werd de drukvastheid bepaald. De resultaten zijn in het diagram 4 aangegeven.

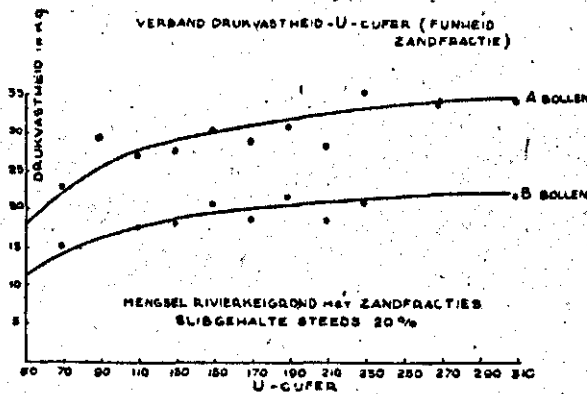


Diagram 4

Ondanks een enkele onregelmatigheid volgt hieruit, dat met een toenemende fijnheid van de zandfractie de drukvastheid en daarmee dus de onderlinge samenhang toeneemt; vooral van de grofste zandfractie af tot een zandfractie met een U-cijfer van ongeveer 150. Hieruit volgt dus, dat de mening, die wel eens naar voren is gebracht, nl. dat de hardheid of dus de samenhang van droge kleikluiten bestaande uit kleigronden met een grofzandige zandfractie daarom zo hoog is, doordat de grovere zandkorrels daarin dezelfde rol spelen als grind in beton, onjuist is. Indien immers kluiten van fijnzandige kleigronden worden gevormd, zijn deze nog veel harder. Iets anders is mogelijk het feit, dat kluitvorming bij lichte kleigronden met grofzandige zandfracties gemakkelijker optreedt dan in

overigens overeenkomstige kleigronden met een fijnzandige zandfractie. Men vergeet immers niet, dat deze kluiten nog altijd hard zijn. Indien dat het geval mocht zijn, zou dit mogelijk kunnen verklaard worden door het feit, dat kleigronden, vooral lichte kleigronden, met een grofzandige zandfractie een veel kleinere krimp en dus ook opzwellen en overigens ook een kleiner poriënvolume hebben dan kleigronden met een fijnzandige zandfractie. Een sterke krimp en opzwellen zullen in op elkaar volgende perioden van droogte en regen immers een gunstige invloed op structuurvorming hebben. Hoe het ook zij, een feit is het, dat in de series met mengsels met opklimmende slijbgehalten en met resp. een fijn en grofzandige fractie een duidelijk verschil in krimp is waargenomen, terwijl ook het poriënvolume, althans voor de mengsels met lagere slijbgehalten (tot $\approx 40\%$), duidelijk lager is voor de mengsels met grove zandfracties dan voor de mengsels met fijne zandfracties. De resultaten van de krimpbepalingen, uitgedrukt in volumeprocenten van het natte volume, zijn in de diagrammen 5 en 6 aangegeven. Hieruit blijkt duidelijk het verschil in krimp; vooral bij de laagste slijbgehalten.

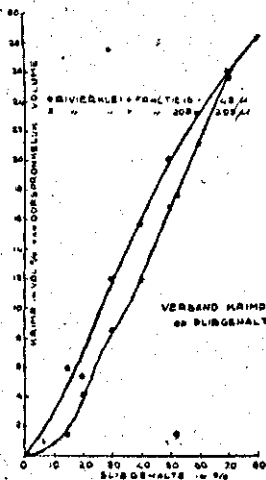


Diagram 5

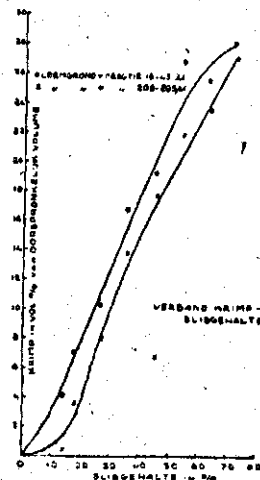


Diagram 6

c. Invloed lutumgehalte.

Nu wij hebben aangetoond, dat met een toeneming van het gehalte aan afslibbare delen de fysische constanten, die tevens de onderlinge samenhang der deeltjes aangeven, toenemen, is het uiteraard van belang na te gaan, wat de invloed van het lutumgehalte (fractie $< 2 \mu$) en wat de invloed van de fractie $2-16 \mu$ op deze onderlinge binding is. Hierbij kwam ons het toeval tegemoet, doordat Dr A. J. Zuur, wetenschappelijk ambtenaar bij de Wieringermeer, ons verzocht van een aantal gronden in de Noord-Oostpolder, waarin de lutum-slijbverhouding sterk verschilt, de drukvastheid te bepalen. Voor de bepaling daarvan werd een tweetal analysten ter beschikking gesteld. Onderzocht werd een tweetal series grondmonsters met oplopende lutum- en slijbgehalten, waarin de lutum- en slijbverhouding resp. boven 55% resp. lager dan 40% was. Deze grondmonsters waren met H_2O_2 behandeld om de humus te verwijderen en verder met $CaCl_2$ om ze in ongeveer dezelfde basencomplextoestand te verkrijgen. De overtollige electrolyten werden tenslotte door decanteren verwijderd.

Alle monsters bevatten een ruime hoeveelheid $CaCO_3$, terwijl ook de fijnheid van de zandfractie van de beide series niet veel verschilt. De serie met de hoge lutum-slijbgehalten is echter iets grofzandiger. De resultaten van de drukvastheidsbepalingen zijn in de diagrammen 7 en 8 aangegeven, waarbij de drukvastheid resp. tegen het slijbgehalte en tegen het lutumgehalte is uitgezet. Uit diagram 7 blijkt, dat zolang de granulaire samenstelling van de slijbfractie gelijk blijft, de drukvastheden toenemen met het slijbgehalte, maar dat bij een hoger lutumgehalte van deze fractie de drukvastheid en dus de onderlinge binding sterk toeneemt. Zelfs blijkt uit het diagram 8, waarin de drukvastheid tegen het lutumgehalte is uitgezet, dat in deze grondmonsters schijnbaar alleen het lutumgehalte de drukvastheid bepaalt en dat de fractie $2-16 \mu$ hierin geen rol speelt. Dit laatste is echter weinig waarschijnlijk, aangezien het dan niet duidelijk is, waarom de grofheid van de zandfractie, zoals we gezien hebben, wel een invloed op deze onderlinge binding uitoefent.

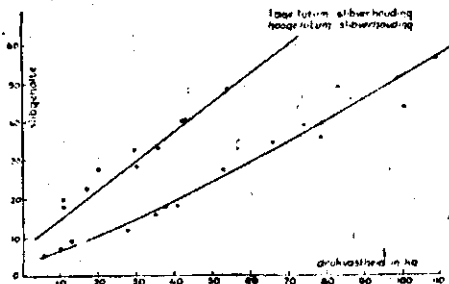


Diagram 7
verband drukvastheid-slibgehalte

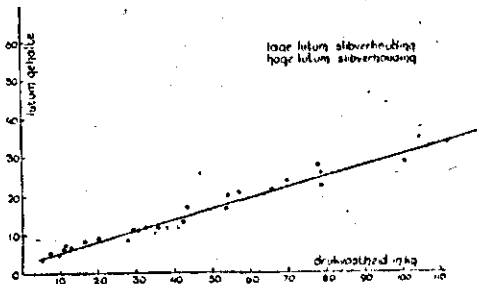


Diagram 8
verband drukvastheid-slibgehalte

d. Invloed 2-16 μ fractie.

Om de invloed van de fractie 2-16 μ te onderzoeken werd dan ook weer een onderzoek met mengsels van fracties uitgevoerd, waarbij er uiteraard voor gezorgd worden kan, dat zowel de samenstelling van de lutumfractie, van de fractie 2-16 μ , als van de zandfractie steeds dezelfde is; de verhouding, waarin deze fracties voorkomen, verschilt echter. Gemaakt werden de volgende mengsels: 30% van de fractie < 2 μ , resp. afkomstig van de rivierklei-, een keileem-, een dollardklei-, en de leemgrond, 30% van de fractie 2-16 μ , en 40% van de fractie < 16 μ (16-74 μ) resp. 30% van de fractie < 2 μ , achtereenvolgens afkomstig van de rivierklei-, een keileem-, een dollardklei- en de leemgrond en 70% van de fractie > 16 μ (16-74 μ). Tenslotte werden ook nog onderzoeken verricht met een mengsel bestaande uit 60% fractie < 2 μ afkomstig van de rivierklei-, een keileem-, een dollardklei- en de leemgrond en 40% van de fractie > 16 μ . Alle mengsels werden uiteraard onderworpen aan een electrolyse. De verkregen resultaten zijn in de tabel 2 aangegeven.

Tabel 2.

Lutumfractie (= fractie < 2 μ) afkomstig van:	Lutum- gehalte in %	Gehalte fractie 2-16 μ in % Samenstelling constant	Gehalte fractie 16-74 μ in % Samenstelling constant	Drukvastheid in kg	
				A-bollen	B-bollen
Leemgrond	30	30	40	95	66
"	30	—	70	61	46
"	60	—	40	128	95
Rivierklei	30	30	40	73	49
"	30	—	70	41	31
"	60	—	40	95	65
Keileem	30	30	40	71	54
"	30	—	70	48	33
"	60	—	40	108	82
Zeeklei	30	30	40	61	48
"	30	—	70	49	31
"	60	—	40	88	64

Hieruit volgt, dat ten opzichte van de fractie 16-43 μ de fractie 2-16 μ de drukvastheid vergroot; ten opzichte van de fractie < 2 μ wordt door toevoeging van de fractie 2-16 μ de drukvastheid verlaagd. Tot en met de fractie < 2 μ verlaagt dus iedere grovere fractie de onderlinge binding in een mengsel van fracties, indien deze voor een fijnere fractie in de plaats komt. Uiteraard zal het belangwekkend zijn na te gaan of dit ook geldt voor de subfracties van de fractie < 2 μ . Dit zal zo spoedig mogelijk worden onderzocht. Tevens volgt hieruit, dat de, met de gronden uit de Noordoostpolder verkregen resultaten, nl., dat de fractie 2-16 μ in het geheel geen invloed op de onderlinge binding zou hebben, onjuist zijn en vermoedelijk veroorzaakt worden door systematische verschuiving van de granulaire samenstelling binnen de fracties < 2 μ , 2-16 μ en/of > 16 μ .

c. Invloed uitwisselbare kationen.

Tenslotte werd nog de invloed van de uitwisselbare kationen op de fysieke constanten en derhalve ook op de onderlinge binding der deeltjes onderzocht. Hierbij werden in de eerste plaats onderzocht mengsels met 30 en 60% slib, gemaakt uit de rivierkleigrond en de leemgrond en resp. de fracties 16-43 μ en 208-295 μ . Deze humus- en CaCO₃-vrij gemaakte mengsels werden eerst aan een electro-dialyse onderworpen. De ene helft werd in de zuivere H⁺-ion vorm onderzocht en de andere helft werd tot pH 6.5 à 7.0 met Ca²⁺-ionen verzadigd. Het resultaat hiervan was, dat alle fysieke constanten van de H⁺-gronden lager waren dan van de Ca²⁺-gronden en dat hierbij ook, als steeds, de fysieke constanten voor de gronden met een grovere zandfractie kleiner waren dan voor de gronden met een fijnere zandfractie. Dit geldt dan ook onafhankelijk van de kationenbezetting van het adsorptiecomplex.

Om deze invloed van de uitwisselbare kationen uitvoeriger te onderzoeken werden twee series mengsels gemaakt met ieder 40% slib resp. afkomstig van de rivierkleigrond en de leemgrond en de fractie 43-74 μ . Beide series (humus- en CaCO₃-vrij) werden aan electro-dialyse onderworpen en daarna in 11 gelijke porties verdeeld. Tien van deze porties werden telkens verzadigd met evenveel m.E. per 100 gram droge mengsel van de volgende kationen: nl. Li⁺, Na⁺, K⁺, Rb⁺, Cs⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺ en La³⁺. De resultaten van de bepalingen van de fysieke constanten zijn in het diagram 9 aangegeven.

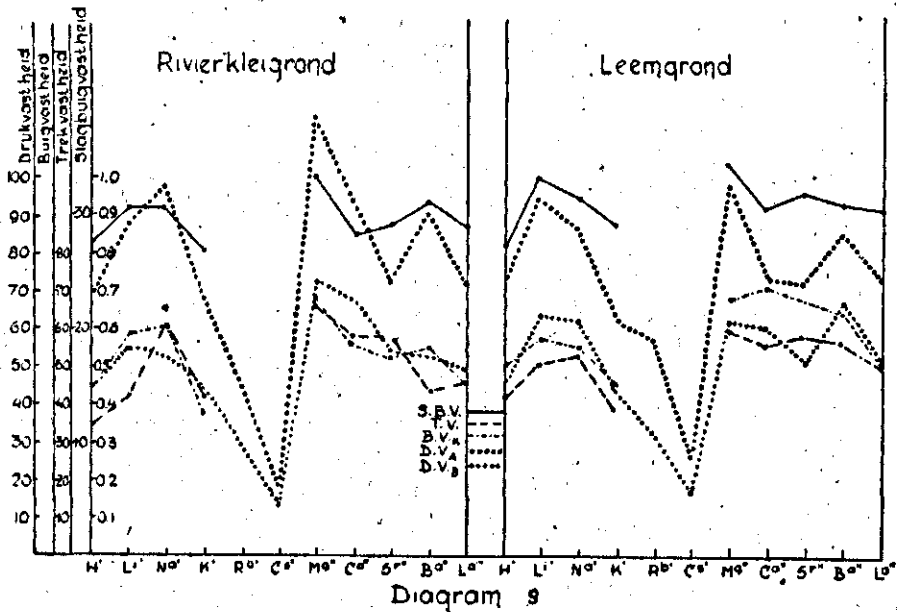


Diagram 9

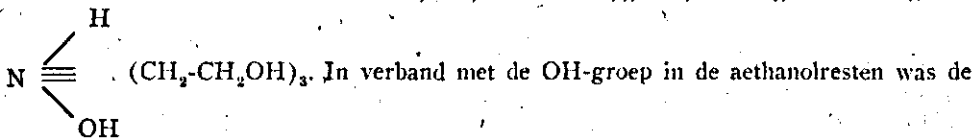
Hierbij moeten wij echter opmerken, dat deze bepalingen slechts in enkelvoud zijn verricht en de resultaten dan ook nog wat „rammelen”, d.w.z., dat niet alle fysieke constanten in afhankelijkheid van het gebruikte kation steeds dezelfde volgorde in grootte van de fysieke constanten aangeven. De grote lijnen, waarop het hier aankomt, staan echter vast. Verder waren de Cs- en Rb-verbindingen zo kostbaar, dat hiervan alleen de drukvastheid was te bepalen.

Kijken we nu eerst naar de tweewaardige en het enige driewaardige kation, dan blijken hierin geen grote verschillen voor te komen. Het Mg²⁺-ion gaf vrijwel steeds de hoogste fysieke constanten of dus de grootste onderlinge binding. Blijkbaar overheerst hier de lading met de daarmee in alle gevallen gepaard gaande sterke hydratatie. Voor de eenwaardige ionen, afgezien van het H⁺-ion, is echter het resultaat geheel anders. Voor het mengsel met de slibfractie, afkomstig van de leemgrond, dalen de fysieke constanten in de reeks, Li⁺, Na⁺, K⁺, Rb⁺, Cs⁺. Voor het mengsel met de slibfractie, afkomstig van de rivierkleigrond, waren somtijds de fysieke constanten voor de Na⁺-grond hoger dan van de Li⁺-grond. Hier heeft dus blijkbaar in het algemeen de toenemende ion-grootte en de daarmee gepaard gaande sterke afnemende van de hydratatie tengevolge dat de onderlinge binding sterk daalt. Zelfs is de drukvastheid van de Cs⁺-grond 4 à 5 maal lager dan de hoogste drukvastheid welke bij andere kationen

werd verkregen. Men krijgt dan ook de indruk, dat voor een verlagings van de onderlinge binding de grond minder hydrophiel moet worden gemaakt.

Het belangrijkste resultaat van deze metingen is echter wel, dat het blijkbaar met eenvoudige middelen mogelijk is de onderlinge binding der deeltjes zelfs zeer sterk te verlagen. Aangezien nu de structuur van een grond wordt bepaald door of althans samenhangt met de sterkte van de onderlinge binding der deeltjes, vraagt men zich onwillekeurig af, hoe de structuur van een grond verandert, indien men de sterkte van de onderlinge binding sterk verlaagt of dus hoe deze structuur van de sterkte van deze onderlinge binding afhangt. Denkt men b.v. aan een stugge, zware knikgrond, dan is men geneigd deze sterke verlagings van de onderlinge binding als zeer gunstig te beoordelen, aangezien men denkt aan de wellicht als gevolg daarvan optredende veel gemakkelijker bewerkbaarheid van deze gronden. Denken we aan lichtere gronden (veen- en zandgronden blijven buiten beschouwing), dan staat het zeker nog niet vast, dat men hier naar een verlagings van deze binding moet streven. Hier is men geneigd, althans voor de lichtste gronden, een verhoging van de onderlinge binding, als gunstig te beschouwen (slempigheid). De mogelijkheid, bestaat bij zware gronden verder ook, dat men wel de onderlinge binding moet verlagen, echter niet onbepakt. Bij dit alles moet echter niet worden vergeten, dat de structuur van gronden in de natuurlijke omstandigheden van veel meer factoren afhangt en de resultante van al deze factoren nog niet is te overzien. Wel lijkt het ons echter gewenst de veranderingen in de structuur te velde door proefnemingen met de onderlinge binding sterk verlagende stoffen na te gaan, met voorlopig geen ander doel dan te onderzoeken, of men zich met de veranderingen, die tengevolge daarvan in de structuur optreden, al dan niet in de goede richting beweegt. Ook lichte gronden moeten in dit onderzoek worden betrokken. Nu zal het zonder meer wel duidelijk zijn, dat Cs^+ preparaten daarvoor niet geschikt zijn, aangezien deze daarvoor veel te kostbaar zijn.

Het ligt voor de hand hiervoor andere dikke kationen te kiezen. Hierbij is in de eerste plaats gedacht aan samengestelde ammonium-ionen, dus NH_4^+ -ionen, waarbij de H-atomen geheel of althans grotendeels zijn vervangen door andere groepen, uiteraard liefst niet-polair. Ook dit onderzoek is nog slechts begonnen en wel met het in de handel voorkomende triaethanolamine, dat, in water opgelost, de volgende base geeft:



verwachting hiervan echter niet hoog gespannen. Onderzocht werden mengsels, bestaande uit 40% fractie $< 16 \mu$ afkomstig resp. van de rivierklei- en de leemgrond en de fractie $43\text{-}47 \mu$. Ook deze mengsels (vrij van humus en CaCO_3) werden aan een electro-dialyse onderworpen en daarna voor de helft verzadigd met Ca^{++} -ionen tot een pH = 6, de andere helft werd verzadigd met het triaethanolammoniumion, waarbij per 100 gram droge grond evenveel m.E. triaethanolammonium als in de andere Ca^{++} -ionen aanwezig waren. De resultaten van deze onderzoeken zijn in tabel 3 aangegeven. Hieruit volgt, dat het triaethanolammonium een lagere drukvastheid en buigvastheid en dus onderlinge binding geeft dan het Ca^{++} -ion. De verlagings is echter niet groot.

Tabel 3.

Gebruikt grondmengsel	Verzadigd met	Drukvastheid		Buigvastheid in kg/cm^2
		A-halve bollen in kg (doorsnede halve bol 2.5 cm)	B-halve bollen in kg (doorsnede halve bol 2.0 cm)	
Leemgrond + fractie 43-74 μ slibgehalte 40%	Ca^{++} $(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3\text{NH}^+$	64	48	58
		47	38	40
Rivierkleigrond + fractie 43-74 μ slibgehalte 40%	Ca^{++} $(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3\text{NH}^+$	53	44	45
		31	21	30

Deze onderzoeken zijn inmiddels voortgezet met tri (iso) amylamine, waarbij dezelfde mengsels werden gebruikt. De resultaten hiervan zijn opgenomen in tabel 4.

Tabel 4.

Gebruikt grondmengsel	pH	Aantal m Mol (C ₈ H ₁₁) ₃ N per 100 gram droge stof	Drukvastheid	
			A-halve bollen in kg (doorsne- de halve bol 2.5 cm)	B-halve bollen in kg (doorsne- de halve bol 2.0 cm)
Leemgrond + fractie 43-74 μ; slibgehalte 40 %	3.9	0	59.4	37.5
	4.3	6	9.0	6.9
	5.9	12	4.9	2.8
Rivierkleigrond + fractie 43-74 μ; slibgehalte 40 %	3.9	0	37.5	25.7
	4.5	6	13.5	8.7
	5.9	12	8.4	5.5

Zoals uit tabel 4 blijkt, verlaagt het triïsoamylammoniumion de druvastheid en dus de onderlinge binding van de deeltjes zeer sterk.

Verder lag het voor de hand ook onderzoekingen te verrichten met de z.g. stabiele humuspreparaten, waarmede wij echter niet willen zeggen, dat de invloed daarvan op de sterkte der onderlinge binding op dezelfde wijze tot stand komt als bij de kationen. Hiertoe werd gebruik gemaakt van het z.g. X₂-preparaat van Prof. Hudig, waarvan ons een hoeveelheid ter beschikking werd gesteld. Aangezien dit laatste preparaat een NH₄⁺-preparaat was werden mengsels vergeleken, bestaande uit 30 of 60% slib, gemaakt van de rivierkleigrond en de fractie 16-43 μ. Deze mengsels (zonder humus of CaCO₃) werden aan een lectrodialyse onderworpen en vervolgens met een NH₄-ion verzadigd (ook het humuspreparaat is een NH₄-verbinding) en wel tot evenveel m.E. per 100 gram mengsel als de overeenkomstige Ca²⁺-gronden, dus tot een pH van omstreeks 7. De ene helft daarvan kreeg bovendien 0.5% van de stabiele humus, die daarmede innig (via suspensies) werd gemengd.

Uit de verkregen resultaten, die in tabel 5 zijn aangegeven, blijkt, dat de druvastheid en daarmede de onderlinge binding door de stabiele humus wordt verlaagd, echter slechts weinig.

Tabel 5.

Gebruikt grondmengsel	Verzadigd en gemengd met	Drukvastheid		Hard- heid in kg/mm ²
		A-halve bollen in kg (doorsne- de halve bol 2.5 cm)	B-halve bollen in kg (doorsne- de halve bol 2.0 cm)	
Rivierkleigrond + fractie 16-43 μ slibgehalte 30%	NH ₄ ⁺ NH ₄ ⁺ + 0.5% kunsthumus	55	33	3.8
		39	24	2.9
Rivierkleigrond + fractie 16-43 μ slibgehalte 60%	NH ₄ ⁺ NH ₄ ⁺ + 0.5% kunsthumus	135	87	7.0
		103	75	6.4

Indien dus een aanmerkelijke verlaging van de sterkte van de onderlinge binding nodig is voor een grote structuurverandering, hetgeen overigens in het geheel nog niet vaststaat, zou de invloed van deze kunsthumus op de structuur dus slechts onbetekenend kunnen zijn. In elk geval is deze stof niet geschikt om de veranderingen te bestuderen, die een sterke verlaging van de onderlinge binding op de structuur uitoefent.

In verband met het voorgaande is het interessant nog te vermelden, dat ook onderzoekingen werden verricht met waterige extracten van een goed verteerde stalmest. De gebruikte mengsels waren dezelfde als in tabel 3 en 4 zijn genoemd, nu echter met Ca²⁺-ionen verzadigd tot pH 6 à 7. Aan deze mengsels werd zoveel extract toegevoegd, als overeenkwam met 1 % droge stof per 100 gram droog mengsel. Een invloed van het mestextract op de druvastheid kon praktisch gesproken niet worden waargenomen.

Verder is het ook mogelijk om series grondmonsters met goede, slechte en matige structuren in hun natuurlijke samenstelling te onderzoeken.

In een zware zeekleigrond van hetzelfde proefveld, echter met een goede resp. slechte structuur konden geen verschillen in de bepaalde fysieke constanten worden verkregen.

Tenslotte werden ook nog enkele onderzoeken verricht met een stof (z.g. esterzout B.P.M.), welke de oppervlaktespanning sterk verlaagt. Hierdoor werd de drukvastheid echter slechts iets verlaagd. Ook dit vormt een aanwijzing, dat de sterke samenhang van de gronddeeltjes in gedroogde kleikluiten niet wordt veroorzaakt door de oppervlaktespanning van de menisken in zeer fijne poriën maar door andere factoren.

LITERATUUR.

1. Berg, S.: Untersuchungen über Korngrößenverteilung; *Kolloid Beihefte* 53, (1941) 149 e.v.
2. First and second report on viscosity and plasticity prepared by the committee for the study of viscosity of the Royal Academy of Science at Amsterdam; *Verhandelingen der Koninklijke Academie van Wetenschappen*, afd. natuurkunde, deel XV, no. 3, (1939) resp. deel XVII, no. 4, (1938).
3. Hooghoudt, S. B.: Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, no. 9. *Verlagen van Landbouwkundige Onderzoekingen* no. 50 (13) A, (1945) 671 e.v.
4. Puri, A. N. en H. R. Puri: Ultra-mechanical analysis of soils: *Journal of Agricultural Science* 31, (1941) 171 e.v.
5. Russell, E. W.: *Imperial Bureau of Soil Science, Soil and Fertilizers* VI, no. 2, (1943) 49. Zie ook: zelfde tijdschrift VII, no. 3, (1944) 119.
6. Russell, E. W.: The subdivision of the clay fraction in mechanical analysis; *Journal of Agricultural Science* 33, (1943) 147 e.v.

SUMMARY: THE MUTUAL BINDING OF MINERAL PARTICLES IN RELATION TO THE STRUCTURE OF THE SOIL.

The structure of the soil is determined (first) by the binding force and (second) by the arrangement of the particles. In this publication only the binding force is studied. As it is still now difficult to research the plastic behaviour of clay soils, for the present giving up the behaviour of soils under very wet conditions, the behaviour of models made from dried soilpastes is preliminary studied by the determination of several physical quantities as a measure of the binding force of the particles, because these are already worked out to a rather high degree by several workers, namely of the domain of pottery and porcelain industry.

These physical quantities are: the hardness of Brinell, the modulus of rupture by pressure (drukvastheid), the modulus of rupture by bend (buigvastheid), the modulus of rupture by smash (slagbuigvastheid), the modulus of rupture by tear (trekvastheid), the porespace of the wet and dry models, the shrinkage and the flowing limit of Atterberg. For the factors influencing the binding force are the same in the natural structure (after drying) and in the kneaded, dried models.

The materials used are mixtures of clay soils (delivered from humus and CaCO_3) and subfractions of the so called sandfraction ($16-2000 \mu$). They are electrolysed and sometimes saturated with different cations (till pH 6.5-7.0).

The physical quantities are in the first place further worked out as far as necessary. The correlation between the four modulus of rupture and the hardness of Brinell are fortunate so great, that the determination of two physical quantities are sufficient. The best are the modulus of rupture by pressure and by bend.

A study was made of the influence of the temperature of drying (40°C , 70°C and 100°C) of the models made of soil pastes. The result was, that there was practically no influence except a slight different between a drying temperature of 40° and 70°C . From this follows, that probably the binding force of dried pastes of clay soils is not caused by the surfacetension but by other forces.

A series of researches are made to study the influence of the clay content (dutch: slibfractie = $< 16 \mu$) and of the fineness of the sandfraction ($> 16 \mu$). The result was, that all the physical quantities except the dry porespace increased with increasing claycontent. The physical quantities are higher in finesandy mixtures (soils) than in the corresponding coarsesandy mixtures (soils). In mixtures with always 20 % clay but with an increasing specific surface from 50 till 310 the modulus of rupture by pressure increases first quickly and later only slowly by increasing specific surface (increasing fineness of the sandfraction).

The influence of the lutumfraction ($< 2 \mu$) and of the fraction $2-16 \mu$ are also studied. The result was, that the fraction $2-16 \mu$ deminishes the physical quantities

(binding force) as it comes instead of the fraction 2μ and increases these quantities as it comes instead of the fraction $> 16 \mu$ (here $16-74 \mu$).

The influence of the exchangeable cations was first studied by mixtures of clay soils and sandsubfractions saturated with Ca^{2+} -ions till pH 6.5-7.0 or only by containing La^{3+} -ions. The Ca^{2+} -mixtures have always higher physical quantities and therefore also a higher binding force of the particles than the corresponding H^{+} -mixtures. To study this property somewhat more extensive a comparison was made between the same mixtures saturated however with Li^{+} , Na^{+} , K^{+} , Rb^{+} , Cs^{+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} and H^{+} -ions (equal m.e. pro 100 grams of mixtures; pH of Ca^{2+} -mixture 6.5-7.0).

The difference between the mixture saturated with divalent- or trivalent cations is not great. Mg^{2+} gives in general the highest values. The influence of the always rather high hydration preponderates therefore apparent on the size of the cations. An other behaviour show the monovalent cations. The mixtures saturated with Cs^{+} ions have a modulus of rupture by pressure, which are a fourth till a sixth of that modulus of rupture of a Mg^{2+} -saturated soil. In general the physical quantities diminish in the series Li^{+} , Na^{+} , K^{+} , Rb^{+} , Cs^{+} and are much higher for the Li^{+} - and Na^{+} -saturated mixtures than for the Cs^{+} -saturated mixtures. The size of the cations and specially the diminishing hydration with the increasing size of the cations dominate apparently. One gets the impression, that to diminish the physical quantities or therefore the binding force (of dry soils) the soil must be made less hydrophile.

It is of course of interest to study the alteration of the natural structure of soils after it is succeeded to find a material, which diminishes strongly the binding force (as Cs^{+} -ions, which are to expensive). The possibility even on a simple manner (as Cs^{+} -ions keep this property in claypastes with higher watercontents) is already showed. In connection with this question a study was made of the influence of triethanolammonium as a thick cation in comparison with the Ca^{2+} -ion. The result was, that triethanolammonium diminishes as compared with the Ca^{2+} -ion the physical quantities, however only in a rather small degree. The researches shall be continued with other amines and also with other materials.

Finally a study was made with a artificial humus (so called X_2 -preparation Prof. Hudig). A comparison was made between mixtures containing NH_4^{+} -ions and corresponding mixtures containing NH_4^{+} -ions and 0.5 % artificial humus. The result was, that the artificial humus diminishes the physical quantities and also the binding force, however only in a rather small degree.