VERSLAGEN VAN LANDBOUWKUNDIGE ONDERZOEKINGEN

BIJDRAGEN TOT DE KENNIS VAN ENIGE NATUURKUNDIGE GROOTHEDEN VAN DE GROND

CONTRIBUTIONS TO THE KNOWLEDGE OF SOME PHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL

No. 10

DE DRUKVASTHEID, DE BUIGVASTHEID, DE SLAGBUIGVASTHEID, DE TREKVASTHEID EN DE HARDHEID VAN GRONDEN IN GEDROOGDE TOESTAND

I

LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT

MINISTERIE VAN LANDBOUW, VISSERIJ EN VOEDSELVOORZIENING

LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O.
GRONINGEN

DE DRUKVASTHEID, DE BUIGVASTHEID, DE SLAGBUIGVASTHEID, DE TREKVASTHEID, EN DE HARDHEID VAN GRONDEN IN GEDROOGDE TOESTAND

I

THE MODULUS OF RUPTURE BY PRESSURE, BY BEND, BY SMASH AND BY TEAR, AND THE HARDNESS OF SOILS IN A DRIED STATE

I

S. B. HOOGHOUDT

STAATSDRUKKERIJ UITGEVERIJBEDRIJF

VERSL. LANDBOUWK. ONDERZ. No. 56 . 3 - 'S-GRAVENHAGE - 1950

INHOUD

blz.

I. INLEIDING; doel van het onderzoek 7

II. HET ONDERZOEK 11

1. De gebruikte gronden en verder uitgangsmateriaal . . . 11

2. De gemeten natuurkundige grootheden en hun bepalingsmethode 18

a. Enige algemene opmerkingen over het maken van de modellen, zoals deze voor de bepaling van de, in sub c tot en met g en gedeeltelijk ook sub h van II, 2 genoemde grootheden nodig zijn, en over de reproduceerbaarheid van deze bepalingen 18

b. Algemene literatuurbespreking 22

c. De drukvastheid 37

d. De buigvastheid 53

1. Literatuuroverzicht 53

2. Beschrijving van de wijze, waarop de staven werden gemaakt en de buigvastheid werd gemeten 61

e. De slagbuigvastheid 76

1. Literatuuroverzicht 76

2. Beschrijving van de wijze, waarop de staven werden gemaakt en de slagbuigvastheid werd gemeten 86

f. De trekvastheid 96

g. De hardheid 106

h. De krimp; het poriënvolume tijdens de bepaling . . 121

i. De vloeigrens volgens ATTERBERG 124

j. Samenvatting 127

III. BESPREKING VAN DE VERKREGEN RESULTATEN 130

1. De invloed van de droogtemperatuur; de invloed van het in gedroogde toestand resterende vochtgehalte 131

a. De invloed van de droogtemperatuur 131

b. De invloed van het resterende vochtgehalte na de droging 138

2. De invloed van het vochtgehalte van de pasta, waarmede de modellen werden gemaakt 139

3. De invloed van het verouderen van de pasta, waarmede de modellen werden gemaakt 143

4. De invloed van het slib- en lutumgehalte; de physische constanten van enige afzonderlijke fracties; de reproduceerbaarheid van de verkregen resultaten 144
a. De invloed van de slibfractie (= fractie < 16 μ) . . 144
b. De invloed van het lutumgehalte (= fractie < 2 μ) . . 150
c. De drukvastheid van enkele fracties 155
d. De reproduceerbaarheid van de verkregen resultaten 157
5. De invloed van de fijnheid van de zandfractie 169
6. De invloed van de basenhuishouding 177
7. Enkele korte opmerkingen over de invloed van het humusgehalte 186
8. Enkele afzonderlijke onderzoekingen 190
SAMENVATTING 194
SUMMARY 207

I. INLEIDING

Doel van het onderzoek

De structuur van de grond wordt bepaald door de korrelstapeling (poriënverdeling) en door de onderlinge binding van de afzonderlijke deeltjes. Onderzoekingen over deze structuur hebben zich dan ook in beide richtingen bewogen. De hier medegedeelde onderzoekingen hebben betrekking op de onderlinge binding van deze deeltjes, de onderzoekingen naar de korrelstapeling blijven hier dan ook buiten beschouwing.

Naar gelang van de hoeveelheid van het aanwezige water kunnen onderzoekingen over deze binding betrekking hebben op omstandigheden, waarop een overmaat water aanwezig is (b.v. slempigheid, de bestendigheid van de structuur tegen slagregen, of in het algemeen bestendigheid tegen een overmaat van water, enz.), 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 enz.). 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 Sciences at Amsterdam" [1] 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 gedroogde modellen van grondpasta's. Hiervoor zijn namelijk, vooral door onderzoekers uit het gebied van de klei- en aardewerk- en porselein-industrie, reeds bepaalde onderzoekingsmethoden opgesteld, die alleen nog verder uitgewerkt en gecontroleerd moesten worden. Hierbij komt nog, dat de factoren, die de onderlinge binding van de deeltjes in deze gedroogde gronden bepalen, vaak mede zullen gelden voor gronden met grotere vochtgehalten, zodat met de bestudering hiervan zeker 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. Bij de ene methode gaat men uit van de structuur, zoals deze in de natuurlijke

[1] First and second report on viscosity and plasticity prepared by the committee for the study of viscosity of the Royal Academy of Sciences at Amsterdam; *Verh. der Koninkl. Acad. van Wetensch., afd. Natuurkunde*, (1939) deel XV, No. 3, resp. (1938) deel XVI, No. 4.

omstandigheden aanwezig is en tracht hieruit door analyse, hoe dan ook, de hiervoor genoemde factoren af te leiden. Deze methode is ongetwijfeld het meeste toegepast. Ook een geheel andere methode is mogelijk, waarbij men de natuurlijke ligging van de grond geheel loslaat en zelfs de gronden splitst in hun bestanddelen om uitgaande van deze bestanddelen en door deze met elkaar te combineren langzamerhand weer te komen tot de natuurlijke grond en tenslotte tot een grond in zijn natuurlijke structuur. Deze methode zou men de synthetische kunnen noemen. Deze methode is zeker veel minder toegepast. Beide methoden hebben uiteraard hun voordelen, echter ook hun nadelen. Een voordeel van de laatstgenoemde boven de eerstgenoemde is, dat hierbij 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 ligging, indien deze factor althans daarbij nog kan worden aangetoond.

Nu hangt de onderlinge binding van de deeltjes 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 2 μ. Deze bepalingen zijn voor dit doel echter onvoldoende, aangezien daardoor over de samenstelling van de juist zo belangrijke fractie beneden 2 μ geen gegevens worden verkregen. Mede om deze reden en om deze methode ook voor deeltjes groter dan 2 μ te verbeteren, werd door ons dan ook deze methode tot de bepaling van deeltjes met een doorsnede van 1 μ nog eens gecontroleerd en uitgebreid [2b], 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 $\frac{1}{8}$ μ.

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 [2a], PURI [2c] en RUSSELL [2d] werden onderzoekingen over de bepaling van het gehalte aan subfracties van de fractie kleiner dan 2 μ verricht. Belangrijk uitgebreide mogelijkheden, wat betreft de bepaling van de granulaire samenstelling van gronden, kunnen dan ook binnen afzienbare tijd worden tegemoet gezien, wanneer

[2b] S. B. HOOGHOUDT: Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond, No. 9, *Versl. Landbouwk. Onderz.*, No. 50 (1945) (13) A, blz. 671 e.v.

[2a] S. BERG: Untersuchungen über Korngröszenverteilung; *Kolloid Beih. 53*, (1941) blz. 149 e.v.

[2c] A. N. PURI en B. R. PURI: Ultra-mechanical analysis of soils; *J. of Agricultural Sci. 31*, (1941), blz. 171 e.v.

[2d] E. W. RUSSELL: The subdivision of the clay fraction in mechanical analysis; *J. of Agricultural Sci. 33*, (1943), blz. 147 e.v.

de genoemde methoden door verder onderzoek nader zullen zijn gecontroleerd. Het onderzoek naar de onderlinge binding van de afzonderlijke deeltjes van gronden en daarmede van de structuur van de grond zal dit zeer 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. Hiertoe behoren ook de humus en wellicht ook de ontledingsstoffen van organische stoffen [3a], zoals deze tijdens het ontledingsproces onder invloed van de bacteriën ontstaan. Deze worden echter bij de hier medegedeelde onderzoekingen voorlopig vrijwel geheel buiten beschouwing gelaten.

Tenslotte moge hier nogmaals op de bijzondere betekenis van het water in de grond op de onderlinge binding der gronddeeltjes en daarmede op de structuur van de grond worden gewezen. Deze betekenis hangt ongetwijfeld met de bijzondere eigenschappen van water samen; namelijk met het bezitten van een hoge diëlectriciteitsconstante en een dipoolmoment. Zo vond RUSSELL [3], dat pasta's van een kleigrond met b.v. amylalcohol (na verdamping der vloeistof) zacht blijven en met de vingers zijn te verpoederen, daarentegen met water en aethylalcohol harde kluiten gevormd worden. De oorzaak van dit verschillende gedrag is te vinden in de verschillende eigenschappen van deze vloeistoffen.

Juist door de hier gekozen methode kunnen m.i. beter dan langs andere wegen dergelijke fundamentele vraagstukken als hier naar voren werden gebracht, worden onderzocht. Zo b.v. ook de vraag of een pasta van kleigrond en water bij indrogen hard wordt ten gevolge van de sterke spanningen, die in de grond optreden, doordat de menisken zich tijdens het indrogen in de fijnste poriën terugtrekken, dan wel electrostatische krachten hier vooral een rol spelen, zoals door RUSSELL (zie noot 3) naar voren werd gebracht. Is de eerste verklaring juist dan moet de oppervlakte-spanning van de vloeistof, waarmede de kleigrond wordt gekneed en daarna gedroogd, van grote invloed zijn. In het andere geval zal het al of niet bezitten van een dipoolmoment, de grootte van de diëlectriciteitsconstante en andere daarmede verwante eigenschappen vooral van invloed zijn. Ofschoon de juistheid van deze laatste verklaring zeer waarschijnlijk meer kansen heeft dan de eerste (ook de onderzoekingen van HAINES [4] wijzen niet op een grote invloed van capillaire

[3] E. W. RUSSELL: The interaction of clay with water and organic liquids as measured by specific volume changes and its relation the phenomena of crumb formation in soils; Philosophical Transactions of the Royal Society of London; Series A, 233, 361, 1934. Zie ook van dezelfde schrijver: The binding forces between clay particles in a soil crumb; Transactions of the International Congres of Soil Science Oxford, 1935, I, 26.

[3a] Zie noot 138.

[4] W. B. HAINES: (Studies in the physical properties of soils II. A note on the cohesion developed by capillary forces in an ideal soil; *J. of Agricultural Sci., 15,* (1925), 529), heeft de invloed van capillaire krachten op de cohesie voor ideale gronden in theoretisch opzicht nagegaan, waarbij hij ook met een enkel experiment (met behulp van de z.g. cohaesie bepaald met het apparaat van Atterberg) deze theoretische

spanningen), zou deze kwestie toch door onderzoekingen aan gedroogde kleigronden verkregen uit kleigrond met vloeistoffen met verschillende eigenschappen — o.a. dus ook met verschillende oppervlaktespanningen — kunnen worden nagegaan (zie ook hoofdstuk III, 1).

Door dergelijke onderzoekingen kunnen dan ook fundamentele vragen over de binding van de afzonderlijke deeltjes van gronden worden onderzocht. Deze zullen er zeker toe bijdragen om het inzicht in de binding van de gronddeeltjes en daarmede ook in de structuur van gronden in hun natuurlijke ligging belangrijk te vergroten.

Voor een zo juist mogelijke keuze van de methoden van onderzoek of in feite van de te bepalen natuurkundige grootheden hebben we overleg gepleegd met Prof. Dr C. J. VAN NIEUWENBURG te Delft en Dr K. ZIMMERMAN, gewezen directeur van het gewezen Rijksproefstation en Voorlichtingsdienst ten bate van de Klei- en Aardewerkindustrie. Voor de ons betoonde medewerking en voorlichting evenals voor het beschikbaarstellen van een apparaat van Michaëlis voor de bepaling van de trekvastheid wordt hier gaarne onze dank gebracht.

Aangezien het verder gewenst leek zoveel mogelijk natuurkundige grootheden te bepalen, aangezien één natuurkundige grootheid niet het gedrag van deze gedroogde gronden zou kunnen vastleggen of dit althans niet vaststaat, werd besloten de volgende grootheden te bepalen, nl. de buigvastheid, de drukvastheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid en de hardheid volgens BRINELL, terwijl verder ook nog de krimp en de vloeigrens volgens ATTERBERG zullen moeten worden nagegaan, waarop in het volgende hoofdstuk zal worden teruggekomen.

afleiding en de hieruit volgende invloed van het vochtgehalte op de cohaesie heeft nagegaan bij de z.g. „silt fraction", zoals deze bij de slibanalyses van kleigronden was verzameld, aangezien deze fractie het meest een ideale grond (de deeltjes zijn alle bollen van dezelfde doorsnede) benadert. Hierbij bleek echter, dat juist bij lage vochtgehalten de cohaesie nul werd, terwijl theoretisch de cohaesie dan weer zou moeten stijgen. Met fijnere fracties of met kleigronden werden geen verdere proefnemingen verricht. Zie in dit verband ook: H. PUCHNER: Untersuchungen über die Kohäreszenz der Bodenarten; Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur. *Physik*, *12*, (1869), 235.

II. DE GEBRUIKTE GRONDEN EN HET VERDERE UITGANGSMATERIAAL; DE GEMETEN NATUURKUNDIGE GROOTHEDEN EN HUN BEPALINGSMETHODEN

1. De gebruikte gronden en verder uitgangsmateriaal

Uit hoofdstuk I blijkt feitelijk reeds, dat voor dit onderzoek niet direct kan en overigens ook niet zal worden uitgegaan van gronden, zoals deze in de natuur voorkomen. In het algemeen zijn immers de verhoudingen bij deze gronden te gecompliceerd en van te veel factoren afhankelijk. Hierdoor wordt het moeilijk zo niet ondoenlijk de invloed van de afzonderlijke factoren na te gaan. Dit wil volstrekt niet zeggen, dat op de duur niet naar gronden, zoals deze in de natuur voorkomen, zal worden overgegaan; dit zal echter niet eerder geschieden, dan nadat de invloed van de afzonderlijke factoren voldoende vaststaat. Welbewust zal hier dus de synthetische en niet de analytische methode worden gevolgd, d.w.z. dat van het eenvoudigst denkbare materiaal zal worden uitgegaan, dat in verloop van tijd gecompliceerder van samenstelling zal worden, totdat de samenstelling van natuurlijke gronden zal zijn bereikt.

In deze publicatie zijn in hoofdzaak de onderzoekingen beschreven, die betrekking hebben op de invloed van het slib- en lutumgehalte, van de fijnheid van de zandfractie bij gelijkblijvend slibgehalte, van de temperatuur tijdens het drogen van het onderzochte materiaal of dus van de invloed van geringe vochtgehalten. Ten slotte zullen ook nog de resultaten besproken worden van enkele onderzoekingen over de invloed van de z.g. kunsthumus [5] en van verschillende kationen. Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat voorlopig is afgezien van een bestudering van de invloed van wat men de totale fijnheid van de grond zou kunnen noemen, nl. door de bovengenoemde natuurkundige grootheden van de afzonderlijke fracties, bestaande uit minerale deeltjes van bepaalde doorsneden, vanaf de fijnste tot en met de grofste fracties en van mengsels daarvan te bepalen. De reden daarvan is, dat voor dit onderzoek vrij aanzienlijke hoeveelheden van deze fracties beschikbaar moeten zijn, welke — althans de fijnste — alleen dan in een voldoende mate te bereiden zijn, indien over een daarvoor geschikte centrifuge kan worden beschikt. Ofschoon deze centrifuges wel bestaan, was het helaas in de huidige omstandigheden niet meer mogelijk, daarvan een exemplaar te kunnen aanschaffen, zodat deze onderzoekingen, die feitelijk mede in de eerste plaats verricht hadden moeten worden tot later moeten worden uitgesteld. Dit neemt niet weg, dat althans aan enkele fracties, voor zoverre deze in voldoende mate aanwezig zijn enige oriënterende onderzoekingen zijn verricht. De meest interessante en belangrijkste subfracties, nl. met deeltjes kleiner dan 2 μ (bijv. van 2-1 μ ; van 1-0,5 μ , enz.), waren echter behoudens enkele uitzonderingen in een onvoldoende mate

[5] Deze kunsthumus werd ons in November 1940 welwillend door Prof. Hudig ter beschikking gesteld, waarvoor wij hier gaarne onze dank betuigen. Dit preparaat is het z.g. x_2-preparaat; zie hierover J. Hudig en N. H. Siewertz van Reesema: *Landbouwk. Tijdschr.* 52, (1940), 371 en 577.

aanwezig. Het onderzoek daarvan moet dan ook tot later worden verschoven.

Aangezien, zoals reeds is opgemerkt, het de bedoeling is, de afzonderlijke factoren te bestuderen, die op de genoemde eigenschappen van invloed zijn, en dus in de eerste plaats de invloed van het slibgehalte (deeltjes kleiner dan 16 μ) en van de fijnheid van de zandfractie (deeltjes van 16-2000 μ) onderzocht moesten worden, was het noodzakelijk uit te gaan van uiterst zware gronden, nl. van gronden, waarin slechts een gering gehalte aan deeltjes van 16-2000 μ voorkomt. Door bijvoeging van ander materiaal is immers zowel het slibgehalte als de fijnheid van de zandfractie gemakkelijk te variëren. Gekozen werden daartoe twee gronden, nl. een zware rivierkleigrond uit Haaften (No. B 17752) en een zware leemgrond uit Roden (No. B 17753); beide gronden zijn afkomstig uit dieper gelegen lagen. De eerste kleigrond werd op dezelfde plaats en uit dezelfde laag genomen als het monster No. 6378, waarmede het in samenstelling ook vrijwel overeenkomt [6]. Het andere monster is uit de ondergrond van hetzelfde perceel genomen, als het monster No. 6416, waarmede het in samenstelling — afgezien van het humusgehalte, de pH en de kleur (deze was van No. 17753 veel donkerder) — eveneens vrijwel overeenkomt.

De samenstelling van deze monsters is aangegeven in tabel 1. De gronden werden daarbij voorbewerkt met HCl (eindconcentratie 0.2 N) en met 50 cc 30 % H_2O_2. De analyses werden telkens verricht met 10 gram grond. De slibfractie werd daarbij afgeslibd met de Atterbergcylinders, terwijl de resterende zandfractie droog werd gezeefd met behulp van een Rotap-zeefmachine [6a].

Deze grond werd nu zo goed mogelijk humus- en $CaCO_3$- vrij gemaakt door deze grond telkens bij porties van 20 gram voor te bewerken met HCl en H_2O_2, zoals dat ook voor de bepaling van de granulaire samenstelling gebruikelijk is. Daarna werd de aldus voorbewerkte grond per

[6] Zie: D. J. Hissink, S. B. Hoogh oudt en Jac. van der Spek: Der mineralische Bodenkomplex; *Soil Res. 5*, (1936), 21.

[6a] Later werden deze gronden ook nog eens onderzocht met de gecombineerde zeef-pipetmethode (zie van schrijver: Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond No. 9, *Versl. Landbouwk. Onderz. 50*, (1945) (13) A, 671. Hierbij werden de volgende gehalten gevonden:

Grondmonster	Fractie				Zand 16-2000 μ
	< 2 μ	2-8 μ	8-16 μ	< 16 μ	
17752	68.8	20.5	6.1	95.4	2.8
17753	66.8	11.4	1.2	79.4	15.9

Deze resultaten zijn iets afwijkend van die verkregen met de methode Atterberg; vooral voor het slibgehalte (= fractie < 16 μ) en het zandgehalte van No. 17752. Ofschoon de, met de gecombineerde zeefpipetmethode verkregen, cijfers juister zijn dan de met de methode Atterberg verkregen cijfers, zal echter in het vervolg met de laatste cijfers rekening worden gehouden, aangezien op grond van deze analyses de gebruikte mengsels zijn gemaakt. Het slibgehalte van de mengsels verkregen met het grondmonster 17752 kan dan ook enkele procenten onjuist zijn.

TABEL 1

Monster B	In % op droge grond				Slib op slib + zand = 100	Subfracties van de zandfractie										U [7]	pH	Vocht-luchtdroge grond in %
	$CaCO_3$	Humus [8]	Slib	Zand		16-43 μ	43-74 μ	74-104 μ	104-147 μ	147-208 μ	208-295 μ	295-417 μ	417-589 μ	589-833 μ	833-1168 μ			
17752	0.2	2.1	88.9	8.8	91.0	1 6	1.1	1.2	1.2	1.2	0.7	0.7	0.7	0.4	0	137	7.9	7.61
17753	0.0	5.2	80.6	14.2	85.0	2.0	1.5	2.0	2.7	3.1	1.4	0.8	0.4	0.2	0.1	126	6.3	6.74

Soilsample B	*In % on dry matter*				*Clay on clay + sand = 100*	*Subfractions of the sandfraction*	*U*	*pH*	*Moisture air-dry soil in %*
	$CaCO_3$	*Humus*	*Claycontent (< 16 μ)*	*Sandcontent (16-2000 μ)*					

[7] Het soortelijke oppervlak geeft de fijnheid van de zandfractie in één cijfer aan: zie S. B. HOOGHOUDT: Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond, No. 3; Bepaling van het uitwendige oppervlak van het minerale grond-deeltjes-complex. *Versl. Landbouwk. Onderz. 41* B (1935) 589. Zie ook de normaalbladen N 209, 210 en 213.

[8] Bepaald volgens de elementair analyse (methode Ter Meulen); zie C. SPITHOST: De methodiek van de humusbepalingen; *Versl. Landbouwk. Onderz. 38* B. (1932) 65.

2 à 3 kg met gedestilleerd water in een grote fles van 25 l gebracht en hieraan zoveel HCl toegevoegd, tot de eindconcentratie daarvan 0.1 N was. De fles werd daarbij ongeveer voor ¾ gevuld. De gehele massa werd daarna goed geschud, waarna de suspensie gelegenheid gegeven werd te bezinken. De bovenstaande, vrijwel heldere vloeistof werd afgeheveld, waarna zoveel gedest. water werd toegevoegd tot de fles weer voor ¾ was gevuld. De inhoud werd nu opnieuw goed geschud, waarna weer werd gewacht tot de bovenstaande vloeistof helder was enz. Hiermede werd zolang voortgegaan, tot de suspensie nagenoeg niet meer bezonk. De vloeistof is dan tevens vrijwel $Ca^{\cdot\cdot}$- en $Cl^{\prime}$vrij. Deze suspensie werd dan aan een electrodialyse onderworpen tot het gedest. water, dat de anodekamer langzaam doorstroomt, $Cl^{\prime}$-vrij is. Het gedestilleerde water dat de kathode-kamer langzaam doorstroomt is dan tevens $Ca^{\cdot\cdot}$-vrij. De pH van een suspensie (10 gram grond op 25 cc gedest. water; gemeten met glaselectrode) ligt dan tussen ongeveer 3.5 en 4.0. De grond kan dan als een zuivere $H^{\cdot}$-grond worden opgevat. Na deze electrodialyse werd de suspensie in porceleinen schalen van 500 cc gebracht, op het waterbad ingedampt tot droog, nagedroogd in een droogstoof tot pl.m. 110° C, gestampt, gezeefd door de 2 mm zeef, waarna de aldus voorbehandelde grond in grote aarden potten werd bewaard. Van ieder van deze gronden werd op de boven aangegeven wijze 25 kg voorbewerkt. De aldus voorbewerkte grond werd opnieuw geanalyseerd (methode ATTERBERG). De samenstelling bleek nu aldus te zijn (zie tabel 2).

TABEL 2

Monster B	Vocht luchtdroog in % op droge stof	In % op droge grond				Soortelijk gewicht	U
		Humus *	$CaCO_3$	Slib	Zand		
17752	6.55	1.9	0	90.0	8.1	2.777	137
17753	4.39	1.0	0	82.1	16.9	2.686	126
Soil sample B	*Moisture, airdry in % on dry matter*	*Humus*	*$CaCO_3$*	*Clay*	*Sand*	*Specific gravity*	*U*
		In % on dry matter					

* Elementair analyse: zie noot 8.

Uit tabel 2 blijkt, dat nog een gering percentage humus (organische stof) aanwezig is. Een dergelijk verschijnsel, namelijk dat na de voorbehandeling met H_2O_2 nog een zeker gehalte aan organische stof aanwezig is, werd veel vaker, ook in andere gronden, opgemerkt[9]. Het

[9] Deze kwestie werd door schrijver uitvoerig onderzocht; zie de in noot 2b genoemde publicatie.

vochtgehalte van de voorbehandelde grond is bepaald, nadat deze een lange tijd aan de lucht blootgesteld was geweest. Tenslotte kan in dit verband nog worden opgemerkt, dat het soortelijk gewicht bepaald werd in water met behulp van een pycnometer, waarbij de lucht zorgvuldig werd verwijderd.

Om uit deze voorbewerkte gronden korrelmassa's te maken met bepaalde slibgehalten, waarvan de zandfractie fijn- dan wel grofkorrelig is, werden deze gronden gemengd met subfracties van de zandfractie, zoals deze tijdens de zeefanalyse met de Rotap-zeefmachine in verloop van duizenden analyses waren verzameld.

De gronden, waarvan deze fracties afkomstig waren, zijn ongetwijfeld zeer verschillend geweest; deze gronden zijn echter op de gewone wijze met HCl en H_2O_2 voorbewerkt, zij het dan ook gedeeltelijk met slechts 6 % H_2O_2. Ook deze fracties werden in de genoemde fles van 25 l met gedest. H_2O en HCl (eindconcentratie 0,1 N) opgeschud, waarna na bezinken de bovenste vloeistof werd afgeheveld. Ook nu werd weer gedestilleerd water bijgevuld, opnieuw geschud en na bezinken weer de bovenste vloeistof afgeheveld, enz. totdat de bovenstaande vloeistof helder en vrijwel Cl'-vrij was. Deze fracties werden dan aan een electrodialyse onderworpen, tot het water, dat de anodekamer doorstroomd had, chloorvrij was. Deze suspensies werden ook nu op een waterbad tot droog ingedampt, nagedroogd in een stoof op pl.m. 110° C en daarna in wijdhalsflessen of aarden potten bewaard. Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat van de subfractie 16-43 μ de geringste hoeveelheid materiaal aanwezig was en deze subfractie bovendien vaak moest worden gebruikt. Toen dan ook op zeker moment geen fractie van 16-43 μ meer aanwezig was, werd deze opnieuw gemaakt door uit te gaan van een tweetal zandgronden uit de N.O.-polder, waarvan ons een grote hoeveelheid welwillend door Dr Ir A. Zuur, Wetenschappelijk Ambtenaar bij de Wieringermeer, was toegezonden, waarvoor wij hierbij onze dank betuigen. Deze gronden hebben nl. vrijwel geen slib, daarentegen een zeer fijne zandfractie. De granulaire samenstelling van de gronden (bepaald met methode Atterberg en de Rotap-zeefmachine) is als volgt (zie tabel 3).

TABEL 3

Monster B	In % op droge grond				Subfracties van de zandfractie in %									U
	$CaCO_3$	Humus	Slib	Zand	16-43 μ	43-74 μ	74-104 μ	104-147 μ	147-208 μ	208-295 μ	295-417 μ	417-589 μ	589-833 μ	
22261	7.8	1.0	2.8	88.4	44.6	39.0	3.3	0.6	0.5	0.2	0.1	0.1	0	285
22262	7.0	2.1	4.9	86.0	38.5	43.2	2.6	0.4	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	272

Soil sample B	$CaCO_3$	*Humus*	*Clay*	*Sand*	*Subfractions of the sandfraction in %*	*U*
	In % on dry matter					

Ook deze gronden werden per 20 gram voorbewerkt, geslibd met Atterberg cylinders en gezeefd, zoals dit bij de bepaling van de granulaire samenstelling gebruikelijk was[10] en hiervoor reeds is aangegeven. De subfracties werden verzameld en verder behandeld als boven voor de reeds eerder genoemde subfracties is aangegeven.

Bij het voorgaande kan nog worden opgemerkt, dat ook bij het opnieuw zuiveren van mengsels van de bovengenoemde fracties dezelfde methode werd toegepast. Ook nu werden deze mengsels in een grote fles eerst met verdund HCl (0.1 N) en dan met gedestilleerd water geschud en aan een electrodialyse onderworpen.

Voor het verkrijgen van goede resultaten is het wenselijk deze gronden eerst enige malen (driemaal) achtereenvolgens met gedestilleerd water te kneden, op een glasplaat in kleine stukjes te laten drogen en vervolgens fijn te stampen enz. alvorens deze voor de bepalingen te benutten.

Verder werden enkele natuurkundige grootheden bepaald van subfracties van de vier gronden, die ook voor het onderzoek hebben gediend, waarvan de resultaten in de, in noot 6 genoemde publicatie zijn medegedeeld, met uitzondering van de keileem, waarvoor een grond van dezelfde vindplaats en van eenzelfde samenstelling is gebruikt. Voor verdere bijzonderheden moge naar deze publicatie worden verwezen. Hier zal worden volstaan met het aangeven van de granulaire samenstelling in de oorspronkelijke toestand van deze gronden (zie tabel 4).

Deze subfracties, behalve de subfractie kl. dan $\pm$ 0.1 μ (leem) en kl.

[10] In de laatste tijd zijn, zoals reeds werd opgemerkt, onderzoekingen verricht om tot een andere methode voor de bepaling van de granulaire samenstelling te geraken. Deze onderzoekingen zijn inmiddels gepubliceerd (zie de in noot 2b genoemde literatuur).

dan ± 0.1 μ en ± 0.25—2 μ (rivierklei), werden met behulp van de slibmethode volgens ATTERBERG verkregen. De voorbehandeling daarvan was ook nu met HCl en H_2O_2. Alleen de fracties kl. dan 0.1 en van 0.25—2 μ van de rivierklei- en de fractie kl. dan 0.1 μ van de leemgrond werden uit de fractie kl. dan 2 μ verkregen met behulp van een centrifuge (zie de boven aangehaalde literatuur); de overige fracties waren niet meer in voldoende mate aanwezig. De verdere behandeling was dezelfde als bij de andere fracties, terwijl ook deze fracties geëlectrodialyseerd werden. Ook zijn van enige fracties van kaolien en kwarts de physische constanten bepaald. Ook deze fracties zijn in het bovengenoemde onderzoek reeds gebruikt [11]. Al deze fracties zijn in tabel 5 aangegeven. Het spreekt wel vanzelf, dat alleen die fracties gebruikt konden worden, waarvan nog zoveel aanwezig was, dat althans één natuurkundige grootheid daarmede bepaald kon worden.

Tenslotte werden op verzoek van Dr Ir A. ZUUR, nog een 33 gronden uit de N.O. polder op de drukvastheid onderzocht. Deze gronden waren voorbehandeld met H_2O_2; HCl werd niet toegevoegd. Om deze gronden in dezelfde toestand wat betreft de uitwisselbare kationen te krijgen, werden deze gronden verder behandeld met $CaCl_2$, waarna de overmaat $CaCl_2$ na bezinking werd afgeheveld. De koolzure kalk werd dus niet

TABEL 4

Monster B	In % op droge grond				Subfracties van de zandfractie in %										U	pH
	$CaCO_3$	Humus	Slib	Zand	16-43 μ	43-74 μ	74-104 μ	104-147 μ	147-208 μ	208-295 μ	295-417 μ	417-589 μ	589-833 μ	833-1168 μ		
keileem 2552	0.5	0.3	26.3	72.9	5.9	6.8	9.2	13.4	14.9	10.1	5.9	3.6	1.9	1.0 *	100	—
leem 6416	0	1.4	81.6	17.0	3.5	1.8	2.3	3.0	3.3	1.7	0.8	0.3	0.2	0.1	148	7.0
zeeklei 5688	0	3.7	65.4	30.9	26.6	1.2	0.7	0.9	0.9	0.3	0.1	0.1	0.1	—	356	7.2
rivierklei 6378	0	2.3	90.9	6.8	4.1	0.9	0.5	0.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	—	282	8.0
Soil sample B	*$CaCO_3$*	*Humus*	*Clay*	*Sand*	*Subfractions of the sandfraction in %*										*U*	*pH*
	In % on dry matter															

* Deze grond bevat nog 0.2 % van de fractie van 1168—1651 μ.
* *This soil contains still 0.2 % of the fraction from 1168—1651 μ.*

[11] Zie noot 6.

verwijderd. Enkele van oorsprong vrij sterk humeuze monsters waren, zoals Dr Ir ZUUR mij mededeelde, niet geheel humusvrij. Hierop zal in Hoofdstuk III worden teruggekomen. Hier kan worden volstaan met op te merken, dat ook onzerzijds reeds herhaaldelijk werd opgemerkt, dat door een voorbewerking met H_2O_2 niet alle humus wordt weggeoxydeerd. Dit is des te meer het geval, naarmate het humusgehalte in het oorspronkelijke monster hoger is (zie de, in noot 2b genoemde literatuur).

TABEL 5

Grond of materiaal	Fractie	Grond of materiaal	Fractie
keileem	$< 2\ \mu$	rivierklei	$< 0.1\ \mu$
„	2-8 μ	„	0.25-2 μ
leem	$< 0.1\ \mu$	„	$< 2\ \mu$
„	$< 2\ \mu$	„	2-8 μ
„	2-8 μ	kaolien	$< 2\ \mu$
zeeklei	$< 2\ \mu$	„	2-8 μ
„	2-8 μ	kwarts	$< 2\ \mu$
Soil or material	*Fraction*	*Soil or material*	*Fraction*

De bovengenoemde gronden waren verder zo gekozen, dat de verhouding van de lutum- en slibfractie (kl. dan 2 μ resp. kl. dan 16 μ) verschillend was bij eenzelfde slibgehalte. De bepalingen van de drukvastheid van deze gronden werden uitgevoerd door de Heer G. BAKKER, analist eerste klasse bij „De Wieringermeer".

2. DE GEMETEN NATUURKUNDIGE GROOTHEDEN EN HUN BEPALINGSMETHODE

a. Enige algemene opmerkingen over het maken van de modellen, zoals deze voor de bepaling voor de, in sub c tot en met g en gedeeltelijk ook sub h van II, 2 genoemde grootheden nodig zijn, en over de reproduceerbaarheid van deze bepalingen

Voor de bepaling van alle natuurkundige grootheden, die in sub c tot en met g en ook gedeeltelijk sub h van II. 2 zijn genoemd, moeten de gebruikte gronden, of ander onderzocht materiaal, in bepaalde vormen voorhanden zijn. Zoals we later zullen zien, werd de drukvastheid bepaald met behulp van halve bollen, de buigvastheid met behulp van repen, de slagbuigvastheid met behulp van staafjes, de trekvastheid met behulp van dichte achtvormige stukken en de hardheid met behulp van cylinders. Voor de krimp werd gedeeltelijk gebruik gemaakt van verschillende vormen (zie overigens sub h).

Om de grond of het andere gebruikte materiaal in deze vormen te

brengen, moet deze gekneed worden met water. Aangezien geen kneedmachine aanwezig was, geschiedde dit op een glasplaat met de handen. De toegevoegde hoeveelheid water was zo groot, dat bij uitrollen de massa geen scheuren vertoonde noch uitvloeide. De pasta kleeft dan, afgezien tijdens het kneden, weinig aan de handen. Zoals we later zullen zien ligt dit vochtgehalte ongeveer bij (soms iets onder soms iets boven) de vloeigrens volgens ATTERBERG. Gedeeltelijk werd bij herhalingen op het gevoel zoveel water toegevoegd, dat de pasta weer dezelfde eigenschappen had; gedeeltelijk werd ook het vochtgehalte de eerste keer bepaald en bij herhalingen zoveel water toegevoegd, dat hetzelfde vochtgehalte werd bereikt.

Het zorgvuldig geknede materiaal moet dan in de vorm worden gebracht, die voor iedere bepaling gewenst is. De door PURI [12] aangegeven methode voor het maken van halve bollen bleek voor onze gronden onbruikbaar, afgezien nog van het feit, dat deze methode niet voor de andere vormen te gebruiken is (zie ook onder sub b). Na tal van proefnemingen, die verder niet beschreven zullen worden, bleek de volgende methode zeer goed te voldoen:

De vormen, die de gronden moeten hebben, (zie hiervoor ook sub b tot en met g) werden daartoe zorgvuldig in koper nagemaakt. Van deze vormen werden op de volgende wijze in gips afgietsels gemaakt. De kopermodellen werden met iets vaseline ingevet, of met een sterke zeepoplossing, waaraan iets slaolie was toegevoegd, bestreken; het overtollige werd met een plukje met de zeepoplossing bevochtigde watten weggenomen. Een glasplaat van spiegelglas werd eveneens met de genoemde zeepoplossing ingesmeerd, waarbij ook nu weer de overtollige zeepoplossing met een, in de zeepoplossing vochtig gemaakt, plukje watten werd verwijderd. Deze modellen werden dan met de breedste zijde (bijv. bij de halve bollen met het platte vlak enz.) op de glasplaat gelegd. Om deze modellen heen werd dan een zinkrand (eveneens met de zeepoplossing ingesmeerd) geplaatst, die over het algemeen een tweetal cm hoger was dan de dikte van het model bedroeg; alleen bij de achtvormige stukken (trekvastheid) en de staafjes (slagbuigvastheid) was de zinkrand precies even hoog als de dikte van de achtvorm of het staafje (zie hieronder). Deze zinkrand werd tot aan de rand met een gipspap (verhouding water tot gips = 8 : 15 à 5 : 8) gevuld. De gipspap werd in een grote porceleinen schaal aldus gemaakt: In de schaal werd eerst de benodigde hoeveelheid water gebracht; de afgewogen hoeveelheid gips [13] werd daarna geleidelijk in dit water gestrooid, ongeveer 1 minuut gewacht, waarna de massa goed werd gemengd, totdat kluitjes en luchtbelletjes verdwenen waren. Was de pap iets te dik, dan werd nog iets water toegevoegd en opnieuw snel gemengd. Nu werd de pap in de zinkrand gegoten. Met een dun staafje werd rondom de koperen vormen gestreken om luchtblaasjes te verwijderen; daarna werd de zinkrand zo snel moge-

[12] A. N. PURI: Physical Characteristics of Soils: I New methods of Measurement; *Soil Sci. 44*, (1937), 481.

[13] 40 gram water + 75 gram gips gaf zo ongeveer 66 cc vaste gips.

lijk vol gegoten. Met een lepel werd nu even op het gipsoppervlak geklopt, waardoor het oppervlak vlak werd. Het geheel bleef dan een nacht overstaan, waarna de zinkrand werd verwijderd en de koperen vormen er voorzichtig uit werden genomen. Hiertoe waren kleine gaatjes in de grondvlakken van de kopervormen geboord, die voorzien waren van schroefdraad en waarin kleine knopjes gedraaid konden worden, waaraan de koperen modellen konden worden opgetild. Het gipsmodel (negatief) werd nu in de zon, op de radiator van de centrale verwarming of in een electrische stoof bij een niet te hoge temperatuur ($\pm$ 40° C) gedroogd en zo nodig iets bijgewerkt. Alleen bij de achtvormen (trekvastheid) en de staafjes (slagbuigvastheid), waar de dikte van de gipsplaat even groot moet worden als van de koperen vorm, werd de overtollige gips met een mes zorgvuldig weggeschrapt tot een planparallelle gipsplaat overbleef van de dikte van het koperen model. Op deze wijze werden dus gipsplaten verkregen met de gewenste openingen. Aangezien deze laatste vormen van onderen niet gesloten waren, werden voor het leggen onder deze vormen platte gipsplaatjes van $\pm$ 2 cm dikte gemaakt, waarop dus de gipsplaat met de achtvormige opening tijdens het maken van de grondmodellen komt te liggen. Op deze wijze kunnen de 8-vormige stukken of staafjes uit grond of uit het andere gebruikte materiaal gemakkelijk zonder te breken uit de gipsvorm verwijderd worden.

De zorgvuldig geknede massa van grond of ander gebruikt materiaal en water wordt nu uitgerold tot een lange rol. Hiervan werden zulke lange stukken afgesneden als met de te maken vorm overeenkwam. Deze rol werd nu met de hand in de gipsvorm gedrukt, waarbij er zoveel mogelijk voor gezorgd werd, dat zich geen luchtholten vormden, waardoor verborgen, zwakke plekken zouden kunnen ontstaan.

Voor het maken van de halve bollen (drukvastheid) en de 8-vormige stukken (trekvastheid) werden van de geknede massa met de hand bolletjes gedraaid of resp. 8-vormige stukken gekneed, die dan in de gipsvormen werden gedrukt. In alle gevallen werd echter zoveel mogelijk vermeden, dat bij het maken der bovengenoemde ruwe vormen, de oorspronkelijke rol pasta getordeerd werd. De overtollige grondmassa werd daarna met een dunne draad afgesneden, waarna de bovenkant vlak werd gemaakt met een iets vochtig gemaakt paletmes. De gevulde gipsmodellen bleven dan ongeveer 24 uur staan, waarna de modellen uit grond of ander materiaal iets zijn ingedroogd en ingekrompen en gemakkelijk uit de gipsmodellen zijn te verwijderen. Alleen bij die pasta's, waarin slechts een zeer klein slibgehalte aanwezig was, en welke pasta's bij drogen dus zeer weinig krimpen, was het wel eens moeilijk de modellen uit de gipsvormen te verwijderen, waardoor soms zo gemakkelijk breuk optrad, dat bepaalde modellen niet meer gemaakt konden worden en de bepaling van de betreffende natuurkundige grootheid dan ook niet kon geschieden (zie verder hieronder en hoofdstuk III).

Nadat de modellen uit de gipsvormen waren verwijderd, werden deze ongeveer twee dagen op gipsplaten aan de lucht voorgedroogd. Ten slotte werden ze in de electrische stoof bij een bepaalde temperatuur en gedurende een zekere tijd nagedroogd. De temperatuur, waarbij deze

modellen werden gedroogd, heeft zowel 40, 70 als 100° C bedragen. In het geheel werden twee electrische stoven gebruikt, die dag en nacht op dezelfde temperatuur bleven, aangezien bleek, dat de grootte van deze natuurkundige grootheden afnam, indien zij, sedert zij in de droogstoof waren gebracht, tussentijds afkoelden tot kamertemperatuur. De verklaring hiervan is waarschijnlijk, dat bij afkoeling de modellen weer iets vocht opnemen, daardoor iets zwellen en brosser worden, doordat scheurtjes zijn ontstaan. De tijd, waarover de modellen minstens in de droogstoven bleven, — nl. tot constante vochtgehalten reeds enige tijd waren bereikt —, is voor de verschillende modellen verschillend. Deze tijd is langer, naarmate de modellen groter zijn en naarmate de temperatuur waarbij gedroogd werd, lager was. Bij de besprekingen van de verschillende natuurkundige grootheden zal hierop worden teruggekomen.

Ten slotte mogen hier nog enige algemene opmerkingen over de reproduceerbaarheid van de bepaalde natuurkundige grootheden worden gemaakt.

In de eerste plaats kan worden opgemerkt, dat om een gemiddeld cijfer te verkrijgen, waarvan de middelbare fout voldoende laag is, he' bij alle bepaalde natuurkundige grootheden noodzakelijk is de bepalingen in veelvoud te verrichten. Gewoonlijk bedroeg het aantal herhalingen 8 à 10; soms ook iets minder. Al deze herhalingen werden oorspronkelijk gemaakt uit dezelfde hoeveelheid geknede massa. Het bleek echter reeds spoedig, dat na het fijnstampen van de gemaakte modellen en na opnieuw kneden met water enz. de gemiddelde waarde van de 2de serie een zo grote afwijking kan vertonen met de gemiddelde waarde van de eerste serie, dat hierbij gedacht moet worden aan de invloed van factoren, die tijdens het maken van de eerste serie, hoe gelijk beide series overigens ook zijn gemaakt (zelfde vochtgehalte van de pasta), toch nog zoveel verschillend zijn geweest, dat hierdoor niet onbelangrijke verschillen kunnen ontstaan. Belangrijk minder van elkaar afwijkende gemiddelde cijfers van 2 series werden verkregen, indien de benodigde hoeveelheid pasta in 5 of liefst 10 afzonderlijke gedeelten werd bereid en uit ieder van deze 5 of 10 geknede ballen grondpasta telkens twee of resp. 1 model (len) voor de bepaling van alle onderzochte natuurkundige grootheden werd(en) gemaakt. Het is duidelijk, dat deze methode alleen kan worden toegepast, indien er voldoende materiaal aanwezig is. Is dit niet aanwézig, dan moet de aanwezige hoeveelheid wel in één keer met water tot een pasta worden gekneed. Hier kan worden opgemerkt, dat afwijkende cijfers in één serie *niet* werden geschrapt, tenzij daarvoor een direct aan te wijzen oorzaak aanwezig was en tenzij de afwijking van het gemiddelde van de andere bepalingen zeer groot was (meer dan 3x de m.f. van het gemiddelde). In alle gevallen werden echter zoveel series gemaakt, dat de gemiddelde cijfers binnen een voldoend kleine fout met elkaar overeenstemden. Meestal waren twee series voldoende; in enkele gevallen waren drie series nodig, terwijl in een hoogst enkel geval nog een vierde en vijfde serie werd gemaakt. Hierbij kan worden opgemerkt, dat deze opeenvolgende series telkens werden gemaakt uit de fijngestampte modellen, wanneer daarmede de betreffende metingen van de vooraf-

gaande serie waren verricht. *Onder reproduceerbare, gemiddelde cijfers worden hier dan ook cijfers verstaan, die bij een volgende serie bepalingen binnen niet te grote foutengrenzen opnieuw bepaald kunnen worden, indien daarvoor het materiaal verkregen door het fijnstampen der modellen (en zeven door een zeef van 2 mm), die reeds voor de bepaling van de grootheden hebben gediend, wordt gebruikt.* Overigens zal, zodra de beschikking is verkregen over een kneedmachine, dit opnieuw worden onderzocht.

In dit verband moeten ten slotte de onderzoekingen van JACOB [14] genoemd worden. Deze onderzoeker merkt op, dat om de kleinste spreiding in een serie bepalingen te krijgen, het in de eerste plaats noodzakelijk is om homogene proeflichamen te maken. Zonder resultaten van metingen van physische constanten te vermelden, deelt JACOB mede, dat deze homogene proeflichamen op de volgende wijze verkregen kunnen worden: De grond wordt droog in een klein glasbuisje gedaan van 3 cm hoogte en 1.4 cm doorsnede en daarna gecentrifugeerd (2400 omwentelingen per minuut), waarbij het buisje van onderen was afgesloten door een filtreerpapiertje. Na afloop van het centrifugeren wordt de grond in het buisje in vacuo langzaam van onder af met water verzadigd en daarna weer langzaam (eerst bij 40° C en daarna boven H_2SO_4 van bepaalde concentratie) gedroogd (poriënvolume 40 tot 55 %). In de glazen buisjes werd 2—4 gram grond afgewogen en 10 minuten gecentrifugeerd. Langer centrifugeren gaf geen kleiner poriënvolume meer. De homogeniteit werd gecontroleerd door de aanzuigsnelheid van de gedroogde grond van water te meten, welke aanzuigsnelheid met het apparaat van ENSLIN [15] gemeten werd, waarvoor verder naar het artikel van JACOB wordt verwezen. Aangezien verder geen resultaten van de metingen van de natuurkundige grootheden werden medegedeeld, kan niet worden nagegaan, in hoeverre met de bovenbeschreven wijze van bereiding van de grondmodellen, gebruikt zowel voor de drukvastheid als voor de slagbuigvastheid, betere resultaten zijn verkregen dan met de hiervoor beschreven methode. Ofschoon een verdere publicatie van de resultaten van deze onderzoekingen zal moeten worden afgewacht, lijkt mij deze methode van bereiding van de grondmodellen voor zwaardere gronden in verband met de krimp en de zwelling (scheurvorming) weinig hoopvol.

b. Algemene literatuurbespreking

Alvorens over te gaan tot een bespreking van de hier onderzochte natuurkundige grootheden is het gewenst eerst meer in het algemeen de literatuur over de hier onderzochte of althans daarmede verwante natuurkundige grootheden te bespreken. Vooropgesteld moge worden, dat van

[14] H. JACOB: Zur Bestimmung der mechanischen Festigkeit trockener Bodenprobe; *Zeitschr. für Bodenk. und Pflanzenernährung* 25, (1941), 240.

[15] O. ENSLIN: Ueber ein Apparaat zur Messung der Flüssigkeitsaufnahme von quellbaren und porösen Stoffen und zur Charakteriserung der Benätzbarkeit; *Chem. Fabrik* 6, (1933), 147—148.

volledigheid geen sprake kan zijn. Aangezien o.a. Amerikaanse literatuur over dit onderwerp in het algemeen en verder literatuur over dit onderwerp in verband met de porcelein- en aardewerkindustrie, wegenbouw enz. of niet of althans slechts moeizaam toegankelijk is. Voor zover deze literatuur meer in het bijzonder op één van de hier onderzochte natuurkundige grootheden betrekking heeft, zal zij bij de bespreking van de betreffende natuurkundige grootheid behandeld worden.

De literatuur voor omstreeks 1911 is door ATTERBERG [16] samengevat: Hieruit moge het volgende worden aangehaald.

HABERLANDT [17] vulde glasbuizen van 15 cm lengte met gezeefde gronden. Deze buizen werden daarna in water gezet tot de grond door capillaire opzuiging verzadigd was met water. De buisjes waren van onderen afgesloten door een linnen lapje; zij werden 1 cm diep in water geplaatst. Ook werd wel (publicatie van 1878) de tot een zekere grens met water verzadigde grond bij zeer kleine hoeveelheden tegelijk in deze glasbuizen gestampt. De grondcylinders werden er dan uitgedrukt, gedeeltelijk of volledig gedroogd, en in 3 cm lange cylinders verdeeld. Deze cylinders werden dan rechtop geplaatst en met een steeds toenemende druk tot breuk belast. Dit geschiedde door in een glascylinder, die op het grondcylindertje was geplaatst, water te laten vloeien; bij de breuk van het cylindertje hield de watertoevoer automatisch op. De daarvoor benodigde druk noemde hij „absolute Festigkeit", welke grootheid dus hier de drukvastheid genoemd zou worden. Verder werd ook nog een op analoge wijze gemaakte 10 cm lange en 2 cm dikke grondcylinder op 2 draagbalkjes gelegd, die met hun binnenkanten zich op 6 cm onderlinge afstand bevonden. In het midden van deze cylinders werd met behulp van een draagband van blik van 2 mm breedte een schaal opgehangen, waarop een steeds toenemende druk werd uitgeoefend door hierop steeds meer gewichten te plaatsen tot breuk optrad. De benodigde druk noemde hij „relatieve Festigkeit". Deze grootheid benadert dus de buigvastheid (zie hieronder). Uit de resultaten van deze onderzoekingen blijkt, dat beide bovengenoemde grootheden sterk afhangen van het vochtgehalte van de proeflichamen en wel nemen beide sterk toe met een dalend vochtgehalte. De „absolute Festigkeit" blijkt verder door toevoeging van kwartszand aan de onderzochte grond af te nemen en in versterkte mate door toevoeging van veengrond. Verder nemen deze grootheden regelmatig toe, naarmate de grond meer of minder sterk werd samengeperst, hetgeen dus wijst op een invloed van het poriënvolume. Ook waren deze grootheden groter, naarmate deze gronden zwaarder waren, dus meer slib bevatten, zij het dan ook, dat door het meer of minder hoge humus- en $CaCO_3$-gehalte deze samenhang slechts in ruwe trekken was aan te tonen. Toevoeging van gebrande kalk verlaagde de „relatieve" en de „absolute Festigkeit" zeer sterk. Hetzelfde, zij het dan ook in

[16] A. ATTERBERG: Die Konsistenz und die Bindigkeit der Böden; *Internationale Mitt. für Bodenk. 2*, (1912), 149 e.v.

[17] FR. HABERLANDT: Wissenschaftlich praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaus I, *22*, (1875) en Wollnys Forschungen a.d. Gebiete d. Agrikultur *Physik 1*, (1878), 148.

mindere mate, was het geval, bij toevoeging van koolpoeder. De betreffende grond, waarmede deze laatste proeven waren uitgevoerd, was een „Granit-Boden aus Eibenschitz in Mähren". Tenslotte bleek tussen de „relatieve" en „absolute Festigkeit" een zeker verband te bestaan.

SCHÜBLER [18] bepaalde de consistentie [19] op de volgende manier: Van de vochtige grond werden door middel van houten of metalen vormen kleine staafjes van 5 cm lengte en 15 mm doorsnede gemaakt, welke na het drogen op 50—60° C op deze wijze onderzocht werden, dat met behulp van een bepaald apparaat [20] een stalen wig in deze grondcylinder werd gedrukt tot zij doorgesneden was. De daarvoor benodigde druk werd „Festigkeit" genoemd, welke grootheid sterk verwant is met het „Festigkeits"-getal van ATTERBERG (zie hieronder). Uit de verkregen resultaten blijkt, dat deze „Festigkeit" toeneemt, naarmate de gebruikte kleigrond vetter wordt, of dus naarmate het slibgehalte toeneemt.

PUCHNER [21] heeft evenens omvangrijke onderzoekingen verricht. Voor zijn in 1889 gepubliceerde onderzoekingen gebruikte hij een apparaat, waarbij het mogelijk was de druk (Trennungswiderstand genoemd) te bepalen, die nodig was voor het drukken van een wigvormig lichaam (2 cm breed, 1 cm hoog, hoek 13°) tot steeds dezelfde diepte in de meer of minder vochtbevattende grondpasta. Deze grootheid is naar zijn mening sterk verwant met de weerstand, die bij het ploegen van de grond wordt ondervonden. Behalve in het genoemde artikel in „Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur Physik" is een afbeelding van dit apparaat ook te vinden in het artikel van ATTERBERG in deel II van de Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, 1912 (zie hieronder). Verder paste hij ook de onderzoekingsmethoden van HABERLANDT en van SCHÜBLER toe (zie hiervoor), waarbij een verbeterd apparaat van SCHÜBLER werd gebruikt.

In zijn in 1889 verschenen artikel in „Wollnys-Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur Physik" merkt hij reeds op, dat het gewenst is de „Kohäreszenz" [22] van de afzonderlijke delen, waaruit de bodem bestaat, in een zo zuiver mogelijke toestand en daarna in mengsels van deze bestanddelen te onderzoeken. Daarom onderzocht hij behalve gronden ook kaolien, kwartszand, humus (uit veen bereid door extractie met alcohol, aether resp. HCl; de aldus voorbehandelde veengrond werd aan de lucht voorgedroogd, fijn gewreven en gezeefd) en mengsels van kaolien, kwarts of (en) veen.

Uit de verkregen resultaten stippen wij het volgende aan:

Naarmate de gronddeeltjes fijner zijn, neemt de „Trennungswider-

[18] G. SCHÜBLER: Grundsätze der Agrikultur Chemie, Leipzig, 2de druk, deel II, (1838), 74.

[19] Bedoeld wordt de samenhang van de grond in algemene zin; dit woord zal in het vervolg hier in genoemde betekenis gebruikt worden.

[20] Het door ATTERBERG gebruikte apparaat is in wezen een verbeterd apparaat van SCHÜBLER (zie hieronder).

[21] H. PUCHNER: Inaugural Dissertation Leipzig 1889; zie ook Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur, *Physik XII*, (1889), 195; verder *Internationale Mitt. für Bodenk. 3*, (1913), 141.

[22] Hier zouden we dit dus „samenhang" noemen.

stand" toe; bij een mengsel van korrelfracties ligt deze waarde tussen de extreme waarden in, echter dichter bij de waarde van de fijnste fractie. Bij de zandige gronden is bij 'n middelbaar vochtgehalte de „Trennungswiderstand" het grootste; bij hogere of lagere vochtgehalten neemt de waarde van deze grootheid steeds af. Dit middelbare vochtgehalte, waarbij de „Trennungswiderstand" maximaal was, nam verder toe, naarmate de korrelfractie grover was. Bij een leemgrond bleek, dat de „Trennungswiderstand" toeneemt, naarmate de onderzochte grond meer is samengeperst en het vochtgehalte kleiner is. Verder bleek, dat de „Trennungswiderstand" bij de „humus" (zie hiervoor) het kleinste en bij de klei (feitelijk kaolien, die werd afgeslibd) het grootste is. Voor mengsels is de waarde van de bovengenoemde grootheid des te groter, naarmate het kleigehalte hoger en het humusgehalte lager is, terwijl door verhoging van het kwartszandgehalte van kleibevattende gronden de waarde van deze grootheid afneemt. Toevoeging van $Ca(OH)_2$, KOH en K_2CO_3 [23] deed de „Trennungswiderstand" afnemen resp. toenemen (KOH en K_2CO_3). Dit laatste echter alleen in droge toestand.

Bij de toepassing van de onderzoekingen volgens HABERLANDT en bij het gebruik van een verbeterd apparaat volgens SCHÜBLER werden de volgende resultaten verkregen:

De bepaling van de „absolute Festigkeit" en de „relatieve Festigkeit" [24] gaven resultaten, die volkomen in overeenstemming waren met die verkregen met de bepaling van de „Trennungswiderstand", waarnaar verwezen kan worden.

PUCHNER [25] gaf ten slotte in 1913 nog een overzicht van talrijke nieuwe door hem verrichte bepalingen aan tal van grondmonsters. Aangezien het vochtgehalte van invloed is op de „Kohäreszenz", onderzocht hij de grondmonsters in gedroogde toestand (bij 100° C gedroogd). De Atterbergse methode, die de weerstand tegen indringing van een vast lichaam in het proeflichaam meet (zie hieronder), geeft volgens hem gemakkelijk aanleiding tot grote afwijkingen. Ook kunnen met het gebruikte apparaat [26] geen grote drukken worden toegepast zonder dit apparaat te beschadigen. PUCHNER meent dan ook, dat de methode om de „Kohäreszenz" van een grond te meten door de bepaling van de „Trennungswiderstand" minder juist is, gezien dus de grote verschillen, die bij herhalingen kunnen optreden [27]. Ook voor de „relatieve Festigkeit" (= ongeveer buigvastheid) was toen nog geen goed apparaat geconstrueerd, waarom hij dan ook aan de bepaling van de „absolute Festigkeit", nu door hem „Rückwirkende Festigkeit" genoemd (= drukvastheid) vasthoudt. Het door hem gebruikte apparaat was hetzelfde, dat ook reeds

[23] De toegevoegde hoeveelheid bedroeg telkens 1 % van de gebruikte hoeveelheid kaolien.

[24] Zie de in noot 17 genoemde literatuur.

[25] H. PUCHNER: Vergleichende Untersuchungen über die Kohäreszenz verschiedener Bodenarten; *Int. Mitt. für Bodenk. III*, (1913), 141.

[26] Deze critiek slaat wel is waar niet op het laatste door ATTERBERG gebruikte apparaat (zie de in noot 29 genoemde literatuur).

[27] Zie ook voor een verdere critiek op deze methode: HAINES (noot 47).

bij zijn vroegere onderzoekingen (zie noot 21) was gebruikt. Een foto en een beschrijving werden in deze publicatie (zie noot 25) opgenomen, waarnaar verwezen kan worden.

PUCHNER merkt verder op, dat de proefcylinders een éénkorrelstructuur moeten bezitten om reproduceerbare cijfers te verkrijgen. Verder moet ook steeds dezelfde cylindervorm worden gebruikt. Voor de bereiding van deze proefcylinders geeft hij dan ook nauwkeurige voorschriften [28], terwijl verder een apparaat beschreven wordt om de boven- en onderkant van de cylindertjes vlak en planparallel ten opzichte van elkaar te krijgen. De proefcylindertjes werden gedroogd bij 100° C, terwijl de krimp in rekening werd gebracht, zoals door ATTERBERG [29] is aangegeven.

Om de „Rückwirkende Festigkeit" te bepalen, werd de druk op het proefcylindertje gemeten door gewichten in de schaal aan de uiterste kant van de balansarm van bovengenoemd apparaat te leggen. Deze druk werd daarbij langzaam [30] verhoogd, totdat het cylindertje werd stukgedrukt.

PUCHNER onderzocht op de bovenaangeduide wijze een groot aantal gronden. Hierbij bleek, dat de „Kohäreszenz" van grond tot grond zeer sterk wisselt. Verder bleek, dat met een toenemende fijnheid (toenemend slibgehalte) gemiddeld genomen de „Kohäreszenz" toeneemt. Dit neemt niet weg, dat bij gelijkblijvende „Kohäreszenz" de granulaire samenstelling [31] belangrijk kan variëren. Hij verdeelt dan ook de onderzochte gronden in groepen, waarvan de „Rückwirkende Festigkeit" binnen bepaalde grenzen ligt en beschouwt deze in verband met de gemiddelde cijfers van de granulaire samenstelling. De invloed van verschillende fracties op de „Rückwirkende Festigkeit" werd daarbij nagegaan. Interessant was daarbij het resultaat, dat een eenzijdige toeneming van het gehalte aan de fractie kleiner dan 1.5 μ niet de hoogste „Kohäreszenz" gaf. Als verklaring daarvan voert PUCHNER aan, dat door de sterke krimp van deze fractie zeer hoge spanningen optreden, zodat bij geringe verschillen in deze spanningen in de verschillende zones spleten, scheuren enz. ontstaan, waardoor de „Kohäreszenz" afneemt. Zo vond hij voor een bepaalde grond een „Kohäreszenz", die groter was dan deze grootheid voor de verschillende fracties bedroeg en met name dus ook groter was dan van de fractie kleiner dan 1.5 μ. Toevoeging van iets van de grovere

[28] JACOB (zie noot 14) heeft echter deze bereidingsmethode als ontoereikend aangemerkt, in zoverre de verschillende gronden ten opzichte van elkaar wel daardoor gekarakteriseerd worden. Deze methode is echter onvoldoende (door de te sterke spreiding in een serie bepalingen) om kleine veranderingen bij dezelfde grond door bepaalde factoren te kunnen vaststellen.

[29] Zie de in noot 16 genoemde literatuur. Aangezien hier de drukvastheid bepaald wordt, is deze methode echter ontoelaatbaar, zoals later dan ook door JOHANSSON (zie de in noot 34 genoemde literatuur) werd aangetoond.

[30] Van een gelijkblijvende toeneming van de druk per eenheid van tijd is dus hier nog geen sprake.

[31] Het is natuurlijk de vraag, in hoeverre de toegepaste methode voor de bepaling van de granulaire samenstelling juiste resultaten heeft gegeven. De methode, die werd toegepast, was die volgens FADEJIFF—WILLIAMS.

fracties aan deze fijnste fractie is dus nodig om de „Kohäreszenz" te verhogen.

Ten slotte kan nog worden opgemerkt, dat de „Kohäreszenz" van gronden met kantige deeltjes of met platte deeltjes (gronden met veel glimmer) groter is dan van overeenkomstige gronden, echter nu met ronde deeltjes. PUCHNER verklaart dit door op te merken, dat het totale aanrakingsoppervlak van ronde deeltjes veel kleiner is dan van platte of kantige deeltjes, welke laatste deeltjes met de platte vlakken tegen elkaar kunnen gaan liggen, terwijl bij ronde deeltjes meer sprake is van aanrakingspunten.

Gaan wij nu over tot de bespreking van de achtereenvolgende publicaties van ATTERBERG [32], dan is het wellicht niet onaardig hier eerst zijn definitie van de consistentie van een grond te laten volgen:

> „Unter dem Worte „Konsistenz" wird verstanden das Verhalten der Körper zu aussern Einflüssen, welche auf die Form derselben einwirken können, wie das Verhalten derselben zu der Schwerkraft, zum Druck, zum Stosz, zum Zug und zum Gefühl. Die Körper können flüssige oder feste, lose oder harte, lochere oder kompakte, plastische, weiche und zähe, schmierige und klebende, elastische oder spröde „Konsistenz" haben!"

De invloed van het vochtgehalte op de consistentie van gronden is groot; voor droge en vochtige zandgronden en voor meer of minder vochtige kleigronden is zij bijv. sterk verschillend. Het vochtgehalte van de grond moet dan ook nauwkeurig in aanmerking worden genomen.

Om de „Festigkeit" van de grond te bepalen, laat ATTERBERG de modellen, waarmede de betreffende grootheid bepaald werd, bij 100° C drogen. Onder „Festigkeitszahl" verstaat hij de Festigkeit van bij 100° C gedroogde gronden. Voor deze bepaling is voor het verkrijgen van reproduceerbare gegevens verder nodig, dat de grond een zo dicht mogelijke structuur heeft. Dit werd bereikt door de betreffende grond fijn te stampen, te zeven en dan met zoveel water te kneden tot een homogeen deeg ontstaat, waarvan dan de benodigde grondmodellen werden gemaakt.

Bij zwaardere gronden moeten deze modellen om scheuren te voorkomen aan de lucht worden voorgedroogd alvorens deze bij 100° C worden nagedroogd. De bepalingen werden een zeker aantal malen herhaald; voor de berekening van de gemiddelde waarden werden de sterk afwijkende cijfers weggelaten, aangezien werd aangenomen, dat deze door fouten in de bereiding van de modellen zijn veroorzaakt.

De methode, waarop de Festigkeit werd bepaald, komt hierop neer, dat werd nagegaan bij welke druk op een wig (hoekopening van 15°), die op het midden van een kubusje van 2 x 2 x 2 cm was geplaatst, dit kubusje werd gespleten [33]. ATTERBERG ging nu in de eerste plaats na, of de kracht nodig om een kubusje van 2 x 2 x 2 cm te splijten van dezelfde aard was als de kracht nodig om dit kubusje stuk te drukken (drukvastheid),

[32] Zie de in noot 16 genoemde literatuur.

[33] Later werd hiervoor een prismavormig model gekozen van 7 x 2 x 2 cm; zie hieronder.

waarvoor hij mengsels van verschillende hoeveelheid van dezelfde zandfractie en van dezelfde kleigrond gebruikte. Er bleek een vrij behoorlijk verband te bestaan, waarom hij aan de splijting van deze kubusjes de voorkeur gaf.

Verder toonde hij aan, dat de vorm van het oppervlak, waarop het kubusje bij de bepaling komt te rusten, van groot belang is voor de verkregen resultaten. Is dit ondervlak een plat vlak dan wel de ribbe van een stalen rechthoekig driezijdig prisma, dan zijn de benodigde drukken om deze kubusjes grond te splijten zeer verschillend. ATTERBERG koos als onderlaag voor zijn proeflichamen de ribbe van een stalen rechthoekig driezijdig prisma [34]. Verder bleek de lengte van het proeflichaam bij gelijkblijvende doorsnede geen invloed op de resultaten te hebben, waarom dan ook voor latere onderzoekingen steeds prismatische vormen van 7 x 2 x 2 cm werden gemaakt, waarvan telkens stukjes van 2 cm werden afgespleten (onderlaag is de ribbe van een rechthoekig driezijdig prisma). Van belang bleek verder het vochtgehalte van de gronddeeg te zijn. De „Festigkeitszahl" was des te groter, naarmate het vochtgehalte van de gronddeeg kleiner was; ook nadat een correctie voor de krimp [35] na het drogen van het grondmodel tot 100° C was aangebracht. Om deze reden gebruikte ATTERBERG dan ook zo weinig mogelijk water om de gronddeeg te maken, nl. voor zeer zware gronden 4 tot 6 gram water per 100 gram droge grond meer dan de vloeigrens [36] bedraagt en bij de andere gronden 2 à 3 gram.

De kubusjes en later ook de prisma's werden gemaakt in geelkoperen vormen met een koperplaat als grondplaat. De grondpasta werd er met de vingers en met een van een gummidopje voorziene staaf ingedrukt, waarna de modellen er door een koperen vorm van dezelfde doorsnede als deze modellen werden uitgedrukt. Voor krimpende gronden werd oorspronkelijk een grotere vorm gebruikt. Deze grondmodellen werden dan, voor zij geheel droog waren, bijgesneden. Later werd voor de krimp een correctie aangebracht (zie hieronder).

Verder bleek, dat, als de kubusjes in verschillende richtingen gespleten werden, de „Festigkeitszahl" niet gelijk was. De benodigde druk voor de splijting volgens een vlak evenwijdig aan het boven- en ondervlak van de modellen tijdens het bereiden daarvan was kleiner dan de druk nodig voor de splijting volgens een vlak loodrecht op de genoemde vlakken. Hij verklaart dit door de horizontale gelaagdheid, die deze grondmodellen door de toegepaste bereidingswijze verkrijgen. De bovenkant tijdens de bereiding bleef dan ook de bovenkant tijdens de bepaling;

[34] Later gebruikte hij echter voor meer vochtige grondmodellen een vlakke onderlaag; zie JOHANSSON (voorlopige mededeling van A. ATTERBERG): Die Konsistenzkurven der Mineralböden; *Int. Mitt. für Bodenk. 4*, (1914), 418.

[35] Zie hieronder. Deze wijze van aanbrenging van de correctie van krimp is onjuist; zie de in noot 34 genoemde literatuur; zie ook noot 29. In hoeverre deze conclusie dus gehandhaafd zou zijn gebleven, indien de correctie voor de krimp op de juiste wijze zou zijn aangebracht, is niet na te gaan.

[36] A. ATTERBERG; Die Plastizität der Tone; *Int. Mitt. für Bodenk. 1*, (1911) 10.

de splijting geschiedde dus volgens een vlak loodrecht het genoemde bovenvlak.

De invloed van het krimpen (alleen de invloed van de verkleining van de afmetingen van de modellen) werd op deze wijze nagegaan, dat kubusjes van verschillende afmetingen werden onderzocht. Het resultaat, nl. dat de „Festigkeitszahlen" omgekeerd evenredig met de afmetingen zijn, bleek later niet juist te zijn [37]. In deze publicatie van ATTERBERG werden echter de correcties aldus aangebracht, dat de „Festigkeitszahl" werd omgerekend op een kubus van 2 x 2 x 2 cm of van een prisma met een doorsnede van 2 x 2 cm door de verkregen waarden te vermenigvuldigen met 20/A, waarin A de lengte van de ribbe van de kubusjes na droging resp. de zijde van de doorsnede loodrecht de lengterichting van de grondprisma na droging in mm voorstelt.

De in deze publicatie aangegeven apparaten werden later door betere vervangen. Er werd, evenmin trouwens als bij latere onderzoekingen, voor gezorgd, dat de belasting per tijdseenheid evenveel toeneemt.

Uit de medegedeelde resultaten blijkt, dat slechts tussen de plasticiteitsgetallen [38] (= verschil in vochtgehalte per 100 gram droge stof bij de vloei- en uitrolgrens) als gemiddelden van meerdere gronden genomen, en de „Festigkeitszahlen" een zeker verband bestaat. Er komen echter van geval tot geval grote afwijkingen voor, waaruit ATTERBERG dan ook afleidt, dat de hogere „Festigkeitszahlen" en de hogere plasticiteitsgetallen op verschillende oorzaken moeten berusten. Verder bleek, dat bij een vergelijking van mengsels van een kleigrond en een zand de eerste toegevoegde hoeveelheid zand (één deel klei op een half deel zand) vrijwel geen invloed had. Zelfs bij grotere hoeveelheden zand kunnen de „Festigkeitszahlen" nog hoog blijven, zij het dan ook, dat zij duidelijk kleiner zijn dan van de oorspronkelijke kleigrond.

Ten slotte werden ook soortgelijke modellen grond onderzocht, wanneer deze een zeker vochtgehalte bezaten.

In een volgende publicatie [39] ging ATTERBERG de plasticiteit en wat hij noemde de „Bindigkeit" van de verschillende bestanddelen van kleigronden na, in zoverre verschillende fracties van fijngewreven of reeds in fijne toestand verkerende mineralen onderzocht werden, waarvan hij vermoedde of wist, dat deze in kleigronden voorkwamen of althans zouden kunnen voorkomen. Hierbij verstaat hij onder „Bindigkeit" zowel het kleven in natte toestand en de taaiheid (Zähigkeit) in vochtige toestand als de vastheid of hardheid in droge toestand. In dit artikel is een nieuw toestel aangegeven, waarmede de „Festigkeitszahlen" werden bepaald en welk apparaat als een verbeterd apparaat van SCHÜBLER [40] kan worden opgevat. Onder Festigkeitszahl verstaat ATTERBERG ook nu de belasting van de wig in kg, die nodig is om een bij 100° C gedroogd

[37] Zie noot 35.
[38] Zie de in noot 36 genoemde literatuur.
[39] A. ATTERBERG: Die Plastizität und Bindigkeit liefernden Bestandteile der Tone; *Int. Mitt. für Bodenk.* 3, (1913), 291.
[40] l.c. noot 18,

kleiprisma met een doorsnede van 2 x 2 cm te splijten; de hoekopening van de wig is daarbij 15° C.

De in dit onderzoek beschreven resultaten zijn weinig waardevol. Afgezien van het feit, dat het zeker niet vaststaat, dat tijdens het afslibben (bereiding fracties van bepaalde deeltjes-grootten) een volledige peptisatie werd bereikt en dus de verkregen fracties niet zuiver kunnen zijn, is het voor een dergelijk vergelijkend onderzoek onvoldoende alleen de fracties kleiner dan 2 of 3 of zelfs 0.6 μ te vergelijken. Een dergelijke vergelijking heeft alleen dan zin, wanneer er voor gezorgd wordt, dat althans de invloed van de deeltjesgrootte is weggenomen [41], doordat, hetzij alleen fracties met korrels tussen bepaalde deeltjesgrootten, die niet te ver uiteenlopen, worden vergeleken, hetzij er voor gezorgd wordt, dat de fracties, waarvan de diameter van de uiterste korreldoorsneden verder uiteenliggen, resp. kleiner dan een bepaalde korreldoorsnede zijn, eenzelfde sommatiecurve tot de in het laatste geval kleinste, voorkomende deeltjes (0.015 μ en kleiner) bezitten [42]. De onderzochte fracties met deeltjes tussen bepaalde deeltjesgrootten hadden korrelgrootten boven 2 à 3 μ en zijn weinig interessant, in zoverre hiervan geen grote „Festigkeitszahlen" zijn te verwachten.

JOHANSSON [43] heeft, zoals reeds is opgemerkt, uitgemaakt dat de correctie voor de krimp zowel voor de breedte als voor de hoogte van het model moet geschieden. Hij onderzocht verschillende gronden bij verschillende vochtgehalten en bepaalde dus de consistentie-(Festigkeit)-vochtgehalten-curve. Voor de drogere prisma's was de ribbe van een rechthoekig driezijdig prisma de onderlaag; voor de nattere prisma's een plat vlak. Het bleek nu, dat alle consistentie-vochtgehaltencurven een knik vertonen [44]. Deze knik ligt volgens ATTERBERG bij het vochtgehalte, waarbij de kleuromslag (het omslagpunt) optreedt; d.w.z. dus bij het punt, waar de poriën zich bij het droger worden van de grond met lucht vullen. Verder ligt deze knik bij het punt, waar bij verdere indroging geen verdere krimp wordt waargenomen. Deze knik zou dus zowel de krimpgrens als zo ongeveer het omslagpunt aangeven [45].

Verder kunnen in dit verband nog een tweetal onderzoekingen van ATTERBERG [46] en van ATTERBERG en JOHANSSON [47] genoemd worden. Hierin

[41] De invloed van de korrelvorm blijft bestaan, maar deze kan als mede typerende factor van het betreffende mineraal worden aangezien.

[42] Ook bij ons onderzoek moest een dergelijk onderzoek van de subfracties van gronden — althans kleiner dan 2 μ — helaas worden uitgesteld in verband met het ontbreken van een geschikte centrifuge om fracties met deeltjes tussen bepaalde afmetingen te maken.

[43] Zie de in noot 34 genoemde literatuur.

[44] In hoeverre het voorkomen van een knik in verband staat met het gebruik van een verschillende onderlaag voor drogere of nattere prisma's is niet na te gaan.

[45] Zie in dit verband ook het verder hieronder nog te bespreken artikel van Haines (zie noot 48).

[46] A. ATTERBERG: Die Klassifikation der humus freien und der humus armen Mineralböden Schwedens nach den Konsistenzverhältnissen derselben; *Int. Mitt. für Bodenk. 6*, (1916), 27.

[47] A. ATTERBERG und J. JOHANSSON: Die Klassifikation der humus reicheren Mineralböden: *Int. Mitt. für Bodenk. 6*, (1916), 38.

werd geprobeerd om op grond van voornamelijk de consistentievochtgehaltecurven en het humusgehalte tot een onderverdeling van de gronden te komen, waarvoor naar deze publicatie's kan worden verwezen. Hier kan worden volstaan met op te merken, dat hierin werd medegedeeld, dat de knik in de consistentievochtgehaltecurven soms zeer moeilijk is te bepalen en bij lichte gronden ook vaak schijnt te ontbreken.

Later heeft HAINES [48] met een nagebouwd apparaat volgens ATTERBERG nog eens metingen verricht aan een tweetal gronden, waarbij ook nu het vochtgehalte verschillend was. Aan de balansarm was tevens een wijzer gemonteerd, die over een schaalverdeling liep, zodat hieruit was af te leiden, bij welke druk de grondpasta meegaf, welk gewicht als een maat voor de cohaesie (Festigkeit volgens ATTERBERG) werd genomen. Hij merkt daarbij op, dat de meer of minder grote scherpheid van de wig niet zonder invloed zal zijn, aangezien bij een scherpe wig het aanrakingsoppervlak kleiner zal zijn dan bij een stompe wig. Bevat de grond verder een aantal harde minerale korrels, dan zullen deze de neiging hebben de wig stomp te maken, aangezien de wig deze deeltjes voor zich uit zal drijven, zodat de doorsnede van deze korrels de effectieve breedte van de scherpe kant van de wig vormt. Om deze reden zal dan ook een tamelijk stompe wig (ATTERBERG gebruikte een wig met een hoekopening van 15°) de meest gelijkmatige cijfers voor een stof als grond geven. Een verdere vraag is of het wel altijd de cohaesie is, die door het apparaat wordt gemeten. Voor droge gronden zal dit wel het geval zijn; voor vochtige gronden, die plastisch zijn, dringt de wig echter langzaam in de grond. Hierbij treedt deformatie op. De waarden verkregen bij deze vochtgehalten zullen dan ook zowel door de plasticiteit als door de wrijving (van de wig tegen de grond) worden bepaald.

De proeflichamen werden gevormd in een koperen model. De gronden werden daarbij eerst gezeefd door een zeef (100 mesh), waarna de grond met water in een kneedmachine werd gekneed tot de goede consistentie was bereikt. De proeflichamen waren prisma's van 2 x 2 x 6 cm. Zij werden gedurende een zekere tijd te drogen gezet en daarna geparaffineerd, zodat het vochtgehalte niet meer veranderde (en het vochtgehalte overal gelijk werd). Met iedere prisma werden 6 metingen verricht, waarvan het gemiddelde werd genomen.

Uit de verkregen resultaten blijkt, dat de knik, die ATTERBERG [49] in de cohaesie-vochtgehaltencurven vond, nu niet werd waargenomen. Ook de krimpbepalingen, waardoor dus de krimpgrens bekend was (zie hiervóór), waren van geen nut om deze knik vast te stellen. Anderzijds waren de verkregen waarden ook weer onregelmatig genoeg om niet met zekerheid te kunnen zeggen, dat het optreden van een knik in deze curven uitgesloten was. Verder bleek, dat wanneer uitgegaan werd van gedroogde grondprisma's, die daarna weer voorzichtig vochtig gemaakt werden, veel lagere waarden voor de cohaesie werden verkregen dan

[48] W. B. HAINES: Studies in the physical properties of soil I. Mechanical properties concerned in cultivation. *J. of Agricultural Sci. XV*, (1925), 178.

[49] l.c. noot 46.

wanneer van vochtige modellen werd uitgegaan, die tot hetzelfde vochtgehalte waren gedroogd.

Verder kan nog worden opgemerkt, dat HAINES er de aandacht op vestigt, dat er twee soorten van cohaesie zijn, nl. een echte cohaesie tussen de vaste gronddeeltjes zelf en een tijdelijke cohaesie ontstaan tengevolge van de oppervlaktespanning van de menisken bij de aanrakingspunten van de vaste deeltjes, welke laatste cohaesie nul moet worden, zodra de grond geen vocht meer bevat. De echte cohaesie zal daarbij samenhangen met de klevende eigenschappen van de bodemkolloiden.

Ten slotte heeft HAINES ook nog pogingen gedaan om de hardheid BRINELL te bepalen. Het bleek daarbij, dat bij vochtgehalten kleiner dan ± 10 % de doorsnede van de indrukken van de stalen kogel weinig meer veranderde. Deze indrukken waren bovendien klein, zodat de metingen niet erg nauwkeurig waren, terwijl de grote brosheid van geen vocht meer bevattende kleigronden de metingen moeilijk maakten, waardoor voor deze laatste gronden deze metingen dus als niet meer mogelijk werden opgevat.

STAUFFER [50] bepaalt eveneens de cohaesie en verder de „modulus of rupture" en de krimp. De cohaesie meet hij door de grondpasta te persen door een zich in verticale stand bevindende glazen buis van 1.2 cm diameter [50a]. De uit deze buis vrijhangende grondkolom breekt af op het moment, dat het gewicht daarvan gelijk is aan de cohaesie. Door deze proef vaak te herhalen en de afgebroken stukken te tellen en te wegen, is dus het gemiddelde gewicht van één stuk en na de deling door de doorsnede van de glazen buis dus de cohaesie per cm^2 te bepalen. Het vochtgehalte van de kleipasta moet daarvoor echter groot genoeg zijn, dat zij door de glazen buis kan worden geperst; anderzijds mag dit gehalte ook al weer niet zo groot zijn, dat de pasta te dun vloeibaar wordt [51].

Voor de bepaling van de cohaesie van droge gronden werden eerst proeven genomen met het uiteentrekken van grondcylinders. Deze methode gaf geen goede resultaten, aangezien de cylindereinden bij het inspannen in de machine voor de bepaling van de trekvastheid verbrokkelden. Ook gelukte het niet deze cohaesie te bepalen door deze cylinders samen te drukken (drukvastheid), doordat geen reproduceerbare waarden konden worden verkregen. Wel gelukte dit voor de bepaling van de buigvastheid, welke grootheid hij de „modulus of rupture" noemde. Hierbij werden cylinders grond gebruikt, die verkregen werden door de grondpasta, in een zo vochtige toestand, dat deze plastisch is, door de

50 L. H. STAUFFER: Measurement of physical Characteristics of soils; *Soil Sci. 24,* (1927), 373.

50a Een dergelijke methode is ook toegepast door O. BARTSCH: Festigkeitseigenschaften des Systems Ton-Wasser. *Ber. der Deutschen Keramischen Gesellsch. 10,* (1929), 146.

51 Mijns inziens zullen — althans bij de meer vochtige pasta's — ook niet te verwaarlozen plastische vervormingen (insnoeringen) optreden, waardoor de gemeten waarde geen zuivere maat voor de cohaesie is.

bovengenoemde glazen buis te persen. Van deze grondcylinders werd door middel van een draad een gedeelte van een bepaalde lengte afgesneden, welk gedeelte dan in een verticale stand op een glasplaat werd gedroogd (waarschijnlijk dus tot luchtdroog). De methode van bepaling komt hierop neer, dat deze cylinders op twee steunpunten worden gelegd, in het midden waarvan een druk wordt geoefend tot de cylinder breekt. Uit deze druk, uit de doorsnede van de cylinders en uit de onderlinge afstand van de 2 steunpunten werd de „modulus of rupture" berekend. De druk op het midden van de grondcylinder werd verkregen door hierop de ribbe van een driezijdig prisma te laten rusten, die aan de onderkant van de balansarm op een bepaalde afstand van het steunpunt was bevestigd. Aan het eind van deze arm werd een emmer opgehangen, waarin langzaam water toevloeide tot breuk optrad. De steunpunten, waarop de grondcylinder rustte, werden gevormd door de ribben van driezijdige prisma's, die van boven iets waren afgerond. Hierdoor kan de cylinder iets verschuiven tijdens de bepaling, waardoor spanningen in de lengterichting volgens deze onderzoeker zouden worden vermeden, waardoor fouten zouden kunnen ontstaan. Verder werden er telkens 6 waarnemingen verricht, waarvan een gemiddelde werd genomen.

Uit de verkregen resultaten blijkt, dat de hoeveelheid water, die bij het maken van de proeflichamen werd gebruikt, (dus het vochtgehalte van de proeflichamen voor de droging) *niet* van invloed was op de buigvastheid [52]. Verder bleek het zeer moeilijk twee proeflichamen te maken van dezelfde grond met precies dezelfde „modulus of rupture". Oorzaken daarvan vormden de onregelmatigheden verbonden aan het maken van de grondpasta en van de modellen. Wat ten slotte de krimp betreft, bleek, dat deze een functie was van zowel de samenstelling als het uitgangsvochtgehalte van de grond.

PANKOW [53] beschrijft hoe een eenvoudige balans van SCHOPPER geschikt is te maken voor de bepaling van de kleefkracht en van de drukvastheid. De kleefkracht is daarbij de kracht nodig om een ronde plaat van het te onderzoeken materiaal resp. van de grond los te trekken, indien deze plaat van tevoren over een zekere tijd en met een bepaald gewicht voorbelast is geweest. Bij het apparaat werd een inrichting gemaakt, dat bij het loslaten van de eerst genoemde plaat van de grond resp. op het moment, dat de grond stuk gedrukt wordt, de zand- of kwikzilverstroom ophoudt, waarmede de ene schaal van de balans wordt verzwaard. Resultaten van bepalingen van de kleefkracht of van de drukvastheid werden niet gegeven. Voor bijzonderheden wordt naar de betreffende literatuur verwezen.

De publicatie van PURI [54] werd reeds eerder genoemd. Hij bepaalde o.a. de cohaesie (in feite de drukvastheid) en de hardheid van BRINELL

[52] Deze resultaten zijn tegengesteld aan die van Atterberg; zie hiervoor de in noot 16 genoemde literatuur.

[53] M. PANKOW (Leningrad). Die Vorwage von Schopper als Kombinierter Apparat zur Bestimmung der Klebigkeit und Härte der Oben- und Unterböden; *Pedology, Moscow*, (1934), 34, Russisch met Duitse samenvatting.

[54] Zie de in noot 12 genoemde literatuur.

van gedroogde gronden. Hierop zal verder hieronder nader worden teruggekomen bij de bespreking van de afzonderlijke natuurkundige grootheden. Hier kan worden volstaan met op te merken, dat bij een grondonderzoek van 18 grondmonsters hoge correlatiecoëfficienten werden verkregen tussen het kleigehalte enerzijds en de cohaesie (drukvastheid) en de BRINELLgetallen anderzijds, nl. resp. 0.79 en 0.90. Ook werd een hoge correlatiecoëfficient verkregen tussen de cohaesiewaarde en de BRINELLgetallen nl. 0.89. Ten slotte kan nog worden opgemerkt, dat ook deze onderzoeker de aandacht vestigt op de moeilijkheden verbonden aan de meting van de cohaesie in droge gronden in verband met de onregelmatigheden, die bij het maken van proeflichamen optreden.

Het artikel van JACOB [55] werd in verband met het vervaardigen van de modellen reeds eerder genoemd. Afgezien daarvan kan nog het volgende worden opgemerkt.

JACOB noemt een apparaat volgens SCHORLO [56], waardoor bij de toepassing van hagel als belastingsmiddel de druk langzaam en zeer gelijkmatig wordt verhoogd.

Hij deelt mede, dat onderzoekingen lopende zijn over de veranderingen van de wateropname- en afgiftesnelheden, van de druk- en slagbuigvastheden, van de kubische krimp, van de poriënverdeling in afhankelijkheid van zowel herhaalde bevochtiging en uitdroging als van herhaalde veranderingen in de temperatuur bij bepaalde grondmonsters om een indruk van de natuurlijke structuurvormingsgeschiktheid en haar samenhang met de granulaire samenstelling, met het gehalte en het type van de bodemkolloiden als met de geadsorbeerde kationen te verkrijgen. Resultaten worden niet medegedeeld. Wel worden de apparaten beschreven om de drukvastheid en de slagbuigvastheid te meten. Hiervoor wordt naar de betreffende literatuur verwezen. Hier kan worden volstaan met de opmerking, dat het apparaat voor de bepaling van de drukvastheid in hoofdzaak bestaat uit een waarschijnlijk gevoelige bascule; de grondcylinder wordt op de platform gelegd en bij het belasten van de gewichtenschaal tegen een zich op de juiste plaats bevindende vaste stempel gedrukt. De toename van de druk vindt langzaam en gelijkmatig plaats [57].

Verder merkt hij op, dat de voor de breuk benodigde druk ook afhankelijk is van de snelheid, waarmede deze druk toeneemt, waarom

[55] Zie de in noot 14 genoemde literatuur.

[56] W. SCHORLO: Experimentelle Untersuchungen zur Erforschung der Bodenstructur. Diss. Breslau 1931. Deze diss. heb ik niet ter inzage kunnen ontvangen, zodat het mij niet bekend is, in hoeverre dit apparaat afwijkt van de methode, die door mij wordt toegepast om genoemde druk langzaam en gelijkmatig te doen verhogen.

[57] C. VON TRÜTSCHLER: Versuche über den Einflusz von Kalk auf die mechanischen Eigenschaften des Bodens, Dipl. Arb. Berlin 1938, benutte het bedoelde apparaat en de aangegeven bereiding van de modellen om de drukvastheid te bepalen, waarbij kleine veranderingen in de drukvastheid ook bij dezelfde grond aangetoond konden worden, waarmede tevens de bruikbaarheid van de aangegeven wijze van de bereiding van de modellen en van de bepalingsmethode van de drukvastheid zelf bewezen zou zijn. Het betreffende geschrift heb ik niet ter inzage kunnen krijgen (aangehaald naar JACOBS).

bij herhalingen deze snelheid van de druktoeneming dan ook dezelfde moet zijn om reproduceerbare cijfers te verkrijgen. Een vaststaand verband tussen deze drukvastheid en de snelheid van de druktoeneming kon niet worden vastgesteld. Dit kan, naar hij mededeelt, veroorzaakt zijn door een factor, die nog niet in aanmerking is genomen. Zo blijkt, dat tijdens de bepalingen en vóór de plotseling optredende breuk de ene balansarm reeds langzaam in beweging is. Hierbij kunnen inwendige vervormingen van het proeflichaam optreden, die nog tot de elasticiteit gerekend kunnen worden; de mogelijkheid van een gelijktijdige directe samendrukking en elasticiteit bestaan echter ook. Voor het tijdstip van de breuk kunnen nog verdere eigenschappen als inwendige wrijving, brosheid en „innere Haftfestigkeit" (cohaesie?) overwegend mede bepalend zijn. Naar zijn mening moet dan ook de factor van deze geringe beweging van de balansarm (of dus van de vormverandering van het proeflichaam vóór de breuk) met de tijdfactor in aanmerking worden genomen. Dit laatste is echter nog niet experimenteel nagegaan, zodat de invloed van deze vormverandering van het proeflichaam vóór de breuk op de drukvastheid nog niet vaststaat.

Betreffende de slagbuigvastheid kan worden opgemerkt, dat hiervoor een slingerhamer werd geconstrueerd, waarvoor verder naar het betreffende artikel verwezen kan worden. In verband met de gevolgde bereiding van de modellen, die dus slechts klein zijn, lagen de steunpunten, waartegen dat grondmodel rust, slechts 0.7 cm uit elkaar [58]. Het gebruikte arbeidsvermogen van de slingerhamer om het model te doorslaan omgerekend per cm^2 doorsnede van het proeflichaam noemt hij de „specifieke slagbuigvastheid" [59]. Verder berekende hij ook de gemiddelde snelheid van de slingerhamer, waarbij de arbeid van het doorslaan werd geleverd (= gemiddelde snelheid, waarmede de slingerhamer op het proeflichaam valt resp. de resterende snelheid van de slingerhamer op het moment, waarop het proeflichaam juist doorbroken is). De noodzakelijkheid om deze laatste factor in rekening te brengen, werd overigens experimenteel nergens aangetoond. Wel deelt hij mede, dat naarmate de hoek tussen de loodlijn en de lijn door de as van de slingerhamer, waarbij de slingerhamer werd losgelaten, kleiner is, de spreiding tussen herhalingen toeneemt. Verder noemt hij nog een publicatie van HANNEMAN [60] waaruit zou blijken, dat de uiterst geringe spreiding van de herhalingen het mogelijk maakt, ook kleine veranderingen in de slagbuigvastheid aan te tonen.

[58] Deze korte afstand van de steunpunten is een groot nadeel. De slingerhamer moet immers het proeflichaam juist midden tussen de steunpunten treffen. Bij de door ons gebruikte slingerhamer van LOUIS SCHOPPER Leipzig was deze afstand der steunpunten regelbaar van 40 tot 70 mm. De beste resultaten werden met de grootste afstand verkregen; zie ook sub c. Deze laatste afstand is overigens ook de meest gebruikte afstand.

[59] De ware slagbuigvastheid volgens BARTSCH (zie sub c) werd hier dus evenmin bepaald.

[60] W. HANNEMAN: Die Einwirkung des Kalkes auf die mechanischen Eigenschaften der Bodenkolloide. Diss. Berlin 1941 (aanhaling naar JACOBS). De betreffende dissertatie heb ik niet ter inzage kunnen krijgen.

Ten slotte mogen hier nog de beide publicaties van RUSSELL[61] besproken worden, waarvan reeds eerder melding werd gemaakt. Deze publicaties zijn niet zozeer van belang voor de bepaling van de natuurkundige grootheden van de grond dan wel voor de verklaring van de consistentie van gedroogde grondpasta's. Hier laten wij zijn onderzoekingen in verband met het soortelijk gewicht van de grond als zijnde hier van minder belang vrijwel onbesproken. We beperken ons tot de opmerking, dat het soortelijk gewicht van kleideeltjes, bepaald in niet- en wel-polaire vloeistoffen, verschillend is. Het varieert dus al naar gelang van de eigenschap van de gebruikte vloeistof bij de bepaling daarvan. Deze vergroting van het soortelijk gewicht of dus de vermindering van het soortelijk volume ($= \frac{1}{s.g.}$) is bij dezelfde vloeistof verder ongeveer evenredig met het aantal uitwisselbare kationen en met de gemiddelde dichtheid van de oppervlakte-lading ($= \frac{\text{tot. lading}}{\pi\ r^2}$ waarvan r de straal is van het ion in het kristalrooster). Deze verkleining van het soortelijk volume is verder het grootste bij $Mg^{\cdot\cdot}$ en wordt kleiner in de reeks: $Mg^{\cdot\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, $H^{\cdot}$, $Ba^{\cdot\cdot}$, $Na^{\cdot}$ en $K^{\cdot}$. Ofschoon deze vermindering van het soortelijk volume afhangt van de gebruikte vloeistof, bestaat er geen eenvoudig verband met de moleculaire samenstelling van deze vloeistof. Deze resultaten wijzen dus op een meer of minder sterke wisselwerking tussen de kleideeltjes en deze vloeistoffen.

Maakt men nu pasta's van klei en verschillende vloeistoffen en verwijdert men deze vloeistof eruit door verdamping, dan worden al of geen kluiten gevormd. Hierbij bleek het volgende:

Kluiten worden alleen gevormd, indien de gronddeeltjes een behoorlijke uitwisselingscapaciteit bezitten; zij ontstaan niet (of zijn althans dan zeer zacht) bij kaolien-achtige kleisoorten ook al zijn alle deeltjes kleiner dan $\pm$ 2 μ. Verder vormen alleen voldoend kleine deeltjes kluiten; deeltjes groter dan 1 à 2 μ vormen geen kluiten hoe groot de uitwisselingscapaciteit ook is. De grovere kleimineralen en natuurlijk ook de zandfracties zijn niet essentieel voor de aggregaatvorming, maar schijnen alleen te dienen als een middel om de gevormde aggregaten meer open en mechanisch zachter te houden. Verder treedt kluitvorming alleen op, indien vloeistoffen, die voor de bereiding der pasta's worden gebruikt, een dipoolmoment bezitten of dus heteropolair zijn. Bijv. methyl-, aethyl- en amyl-alcohol geven kluiten; benzol en CCl_4 echter niet of zijn althans zeer zacht.

De hardheid van de kluiten blijkt af te hangen van de grootte van de kleideeltjes, van de uitwisselbare kationen en van de bouw van de moleculen van de bevochtigingsvloeistof. Zachte kluiten ontstaan met grove kleideeltjes (onafh. uitwisselingscapaciteit), met grote kationen als bijv. phenylbenzyldimethylammoniumion, verder met nitrobenzol of amylalcohol, ook al zijn de kleideeltjes en de kationen klein (met methyl- en aethylalcohol ontstaan harde kluiten). Zo geven alleen kleideeltjes

[61] Zie de in noot 3 genoemde literatuur.

kleiner dan $\pm 2\,\mu$ harde kluiten; zachte kluiten worden verkregen met kleideeltjes van $\pm 2\,\mu$ ook al is de uitwisselingscapaciteit groot. Ook een tamelijk klein uitwisselbaar kation is nodig om harde kluiten te geven, waarom met phenylbenzyldimethylammoniumion als uitwisselbare kation dan ook zachte kluiten werden verkregen. De aliphatische alcoholen geven een illustratie van de invloed van de structuur van de moleculen op de hardheid van de kluiten. Harde kluiten kunnen, zoals reeds is opgemerkt, worden gemaakt door uit te gaan van kleisuspensies in methyl- of aethylalcohol, terwijl zachte kluiten ontstaan, indien wordt uitgegaan van suspensies in amylalcohol. Toch hebben al deze alcoholen ongeveer hetzelfde electrische moment. Het verschil in gedrag moet veroorzaakt zijn door de verschillende afstand van de positieve en negatieve uiteinden in de moleculen van deze vloeistoffen. Worden deze kluiten weer bevochtigd, dan blijken zij soms stabiel te zijn; soms vallen zij ook weer gemakkelijk uiteen. Het proces van de kluitvorming kan dus reversibel of irreversibel zijn. Na-kleikluiten zijn instabiel in water, maar stabiel in droge amylalcohol; $Ca^{''}$-kleikluiten zijn stabiel in water, maar onstabiel in droge amylalcohol. De stabiliteit hangt dus zowel van de vloeistof als van de uitwisselbare kationen af. Ten slotte bleken de kluiten kleiner en zachter te zijn, indien onder overigens dezelfde omstandigheden werd uitgegaan van een kleipasta, die een electrolyt bevat, dan wanneer werd uitgegaan van een electrolytvrije kleipasta.

RUSSELL geeft van de bovenstaande feiten ook een verklaring door een theorie te ontwikkelen over het ontstaan van deze kluiten of feitelijk over de samenhang van deze deeltjes, waarvoor echter naar de beide genoemde publicaties wordt verwezen.

c. De drukvastheid (DV)

Alvorens meer in bijzonderheden na te gaan, hoe de drukvastheid gemeten werd, is het wellicht van belang eens aan te halen wat over deze grootheid staat opgemerkt in „Chemisch Technische Untersuchungsmethoden" van LUNGE—BERL [62].

Onder drukvastheid wordt hier verstaan de druk in kg, die bij een langzaam toenemende stootvrije druk per cm^2 belast oppervlak nodig is om een kubus van bepaalde afmetingen stuk te drukken. Deze afmetingen zijn voor aardewerk en porcelein anders dan voor portlandcement. Een constante toeneming van de druk per tijdseenheid is daarbij van belang. Aan deze modellen moet, door deze zeer nauwkeurig af te slijpen, de zuivere kubusvorm gegeven worden, aangezien anders vaak zijdelingse afsplintering optreedt en onjuiste resultaten worden verkregen. De kubusjes van Portlandcement worden gemaakt door de massa in een genormaliseerde vorm te brengen, waarna deze massa er dan met het hamerapparaat van BÖHM ingeslagen wordt. Verder moeten nauwkeurig vastgelegde voorschriften bij de vervaardiging van deze kubusjes evenals bij de bepaling van de drukvastheid zelf worden gevolgd. Het heeft geen

[62] LUNGE—BERL, Chemisch Technische Untersuchungsmethoden, 7de druk, deel II, 756 (aardewerk en porcelein) resp. 904 (portlandcement), 1922.

zin deze voorschriften hier verder aan te geven, aangezien deze voor luchtgedroogde proeflichamen uit grond toch geheel anders zouden moeten zijn. Een enkel voorschrift moge hier echter genoemd worden, nl. dat voor de menging van de portlandcement met water en zand een bepaalde mengmachine moet worden gebruikt, die op haar beurt weer aan bepaalde eisen moet voldoen [63].

Ten slotte kan nog worden opgemerkt, dat in de genoemde literatuur niets rechtstreeks vermeld staat over de invloed van de grootte van de kubus op de drukvastheid; wel wordt de drukvastheid per cm² belast oppervlak omgerekend.

SOMMERFELD [64] wil de drukvastheid bepalen met behulp van cylinders van 15 mm doorsnede en 15 mm hoogte, waarbij van een beginbelasting wordt gebruik gemaakt en waarvan vervolgens na 1 en 10 seconden na iedere verhoging van de druk de samendrukking wordt gemeten. Onder drukvastheid zou men dan de druk kunnen verstaan om een samendrukking van bijv. 0.5 mm te verkrijgen.

De Material-Prüfungsausschusz der Deutschen Keramischen Gesellschaft [64a] geeft nog enige oudere literatuur, waarvoor naar het betreffende artikel verwezen wordt.

Hierin wordt opgemerkt, dat de drukvastheid een statische methode van onderzoek is. Als proeflichamen werden cylinders met een doorsnede van 16 mm en een hoogte van 50 mm aanbevolen. De doorsnede en de hoogten van deze cylinders moeten steeds gelijk zijn. De bepaling van de drukvastheid kan met iedere drukpers, waarbij deze druk voldoend nauwkeurig kan worden bepaald, worden uitgevoerd. De druktoename per tijdseenheid moet zo constant mogelijk zijn. Als maat voor de drukvastheid geldt de druk bij de breuk, uitgedrukt in kg per cm² drukvlak als het gemiddelde van verscheidene bepalingen.

Vatten we alle literatuurgegevens over dit onderwerp samen en laten we de in het boek van SOMMERFELD genoemde methode om de drukvastheid te bepalen buiten beschouwing, dan blijkt, dat men vaak kubusjes soms ook cylinders van de te onderzoeken stof belast tot breuk optreedt. Verder blijken aan de metingen van deze grootheid tal van moeilijkheden verbonden te zijn; zo bijv. bij gronden o.a. de invloed van de krimp.

Bij onze bepalingen werden verschillende modellen van de grondpasta gemaakt. Het bleek echter reeds spoedig, dat het maken van zuivere kubusjes zeer moeilijk was; ook indien op de reeds eerder aangegeven wijze gebruik werd gemaakt van gipsmodellen (feitelijk dus van gipsnegatieven). Verder bleek, dat om goede resultaten te verkrijgen het boven- en ondervlak zuiver parallel en volkomen glad moeten zijn, terwijl ook de stempel, waarmede de druk op het proeflichaam wordt overgebracht (zie hieronder), overal zuiver tegen het bovenvlak moet

[63] Een machine, die de hier gebruikte pasta van grond of materiaal afkomstig van gronden met water steeds op dezelfde wijze zou kneden, zou zeer waarschijnlijk ook voor dit onderzoek van waarde zijn geweest. Aangezien een dergelijke kneedmachine niet ter beschikking was, werd hiervan afgezien.

[64] A. SOMMERFELD, Plastische Massen, Berlin 1934.

[64a] *Ber. der Deutschen Keramischen Gesellsch. 17*, (1927), 45.

aansluiten (drukoverbrenging via een kogel). Ofschoon het met zeer veel moeite wel mogelijk was dergelijke kubusjes te maken, was de daarvoor benodigde tijd veel te lang om tot de toepassing van kubussen als proeflichamen over te kunnen gaan. Veel sneller waren halve bollen te maken, waarvan het bovenste gedeelte evenwijdig het grondvlak was weggenomen. Hiervoor werden weer koperen modellen vervaardigd en daarvan op de reeds aangegeven wijze gipsnegatieven gemaakt. Aangezien hierin geen scherpe hoeken voorkomen, waren met behulp van deze gipsmodellen zeer fraai gevormde grondmodellen van de aangegeven vorm te verkrijgen. Een groot bezwaar bleef de noodzakelijkheid, dat boven- en ondervlak van de proeflichamen precies planparallel moeten zijn, terwijl de stempel, waarmede de druk op het proeflichaam aangebracht wordt, weer precies tegen het bovenvlak moet aansluiten. Ofschoon dit laatste wel gelukte, bleef de voorbereiding voor de meting van één proeflichaam te langdurig om deze proeflichamen te kunnen toepassen. Daarom werd ten slotte overgegaan tot het gebruik van halve bollen, waarmede goede resultaten werden verkregen, terwijl het maken van deze proeflichamen weinig moeite kostte en modellen van een zeer fraaie vorm verkregen werden.

Alvorens meer in bijzonderheden mede te delen, hoe deze proeflichamen verkregen werden en welke afmetingen zij hadden, wil ik opmerken, dat tijdens het belasten de stempel de bovenkant van de halve bol iets samendrukt. Uit de aard der zaak is dit vlakje evenwijdig met het grondvlak; de resultaten van deze metingen krijgen daardoor echter alleen een vergelijkende waarde [65], hetgeen voor dit onderzoek geen bezwaar oplevert. Verder was ook de invloed van de krimp voorlopig althans, niet na te gaan, aangezien PURI [66], die ook halve bolvormige proeflichamen gebruikte, hierover verder geen onderzoekingen heeft verricht. Zoals echter zal worden aangetoond, is het mogelijk gebleken deze correcties achteraf aan te brengen, doordat steeds metingen met drie halfbolvormige lichamen plaatsvonden en daaruit de invloed van de grootte van het proeflichaam (en dus ook voor de krimp) was af te leiden, waardoor dit nadeel vervalt. Ter voorkoming van misverstand kan in dit verband worden opgemerkt, dat door deze correctie evenmin absolute waarden verkregen worden; men denke slechts aan het vlakje, dat door de stempel aan de halve bollen wordt gedrukt, alvorens deze breken. Hier moge verder worden opgemerkt, dat ook de methode van PURI werd geprobeerd om deze halve bollen te maken. Het bleek echter spoedig, dat voor de hier gebruikte gronden het niet mogelijk was op die manier goed gevormde proeflichamen te verkrijgen. Deze methode bleek in ieder opzicht achter te staan bij de hier toegepaste methode, waarbij juist

[65] Mogelijk is ook bij het gebruik van kubusjes of cylinders de omrekening van de druk bij plaatsvindende breuk op de eenheid van belaste oppervlakte misleidend, in zoverre de evenredigheid van de benodigde druk met dit belast oppervlak niet vaststaat; gegevens hierover zijn mij althans niet bekend. Verder zal ook bij het gebruik van kubusjes of cylinders een zekere samendrukking optreden; men zie bijv. de in noot 14 genoemde literatuur van JACOB.

[66] Zie de in noot 12 genoemde literatuur.

uiterst fraai gevormde modellen konden worden vervaardigd, waarom de methode van PURI dan ook niet verder werd gevolgd noch verder werd onderzocht.

De koperen halve bollen, waarmede de gipsnegatieven werden gemaakt hadden een middellijn van 3.5, 2.5, 2.0 en 1.5 cm. Het grootste model werd echter spoedig niet meer gebruikt, aangezien reeds zeer spoedig bleek, dat voor de meer slib bevattende massa's drukken van 200 kg vaak onvoldoende waren om breuk te veroorzaken en met het gebruikte apparaat geen grotere drukken konden worden toegepast.

Van de resterende drie koperen modellen werden telkens op de reeds aangegeven wijze (zie sub a van deze paragraaf) in één blok gips van 5 x 8 x 8 cm negatieven gemaakt, waarbij ieder gipsblok telkens een negatief van drie halve bollen van resp. 2.5, 2.0 en 1.5 cm doorsnede bevatte. Door tien van deze blokken te vervaardigen, konden ineens drie series halve bollen elk van 10 stuks worden gemaakt. Over het maken van de grondpasta en van de grondmodellen zelf, evenals over het drogen daarvan, zijn reeds de nodige opmerkingen in sub a van deze paragraaf gemaakt, waarnaar verwezen kan worden. We volstaan hier met op te merken, dat de halfbolvormige modellen van grond of dergelijk materiaal de dag na het persen van de uitgangspasta in de halfbolvormige uithollingen in de gipsblokken, uit deze holten werden genomen, waarbij geen moeilijkheden werden ondervonden, behalve soms bij zeer weinig slib bevattende mengsels (zie overigens sub a van deze paragraaf).
Daarna werden deze halve bollen op een gipsplaat ± 24 uur aan de lucht voorgedroogd en vervolgens gedurende minstens 3 dagen hetzij op 40° C, hetzij op 70° C, of hetzij op 100° C in een electrische droogstoof nagedroogd.

Alvorens de meting uit te voeren werd de onderkant van de halve bollen met middelfijn schuurpapier glad geschuurd. Alle halve bollen werden dan gewogen en weer in de droogstof teruggelegd, waarna van deze halve bollen één voor één de drukvastheid werd bepaald. Eerst werd echter van iedere halve bol de doorsnede en de grootste dikte loodrecht daarop gemeten, aangezien door het afschuren de vorm niet meer een zuivere halve bol bleef.

De halve bollen gevormd in de halfbolvormige uithollingen in de bovengenoemde blokken gips met een doorsnede van resp. 2.5, 2.0 en 1.5 cm zullen in het vervolg resp. de A-, de B- en de C-halvebollen worden genoemd.

Het *apparaat,* waarmede de metingen zijn verricht, bestaat in principe (zie figuur 1 en foto 1) uit een brugbalans met schaal en wijzer (W), waardoor het gewicht van het, op de weegplaat (A) geplaatste voorwerp resp. de, op deze weegplaat uitgeoefende druk wordt aangewezen. Hierop is nog een zeer licht bewegelijke extra wijzer (W^1) aangebracht, die door de eerstgenoemde wijzer wordt medegenomen en die blijft staan, indien de eerstgenoemde wijzer na de breuk van het proeflichaam terugspringt. Met behulp hiervan is dus de uitgeoefende druk af te lezen. De schaal is tot op 0.1 kg ingedeeld: de nauwkeurigheid van de balans is groter. Voor dit doel kan met het aangeven van de toegepaste druk tot

Foto 1 Apparaat voor de bepaling van de drukvastheid.

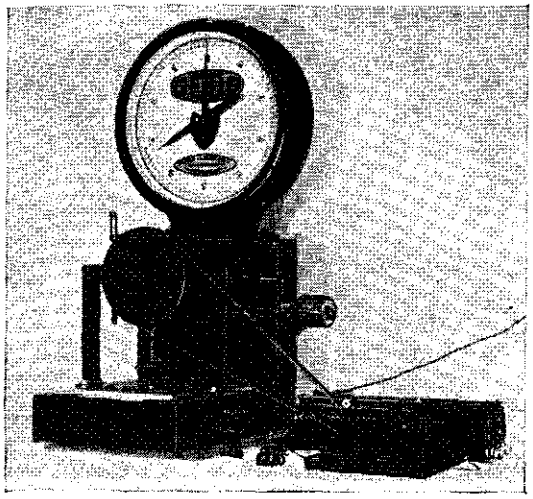


Photo 1 Apparatus for the determination of the modulus of rupture by pressure.

op 0.1 kg nauwkeurig worden volstaan. Op deze balans is verder nog een verschuifbaar gewicht (G) aangebracht, waardoor de nulstreep op de schaal of 0 of 100 kg aangeeft en waardoor drukken tot 100 resp. 200 kg bepaald kunnen worden. Zoals figuur 1 verder aangeeft, is over de weegplaat van de balans een sterke stalen brug (B) gebouwd, waaraan een gestel (C) bevestigd is. Hierin zijn kogellagers D opgenomen, waar doorheen de as van een wormwiel loopt. Deze as is aan een zijde verlengd, waarop een ronde schijf, ingedeeld in 200 schaaldelen (E) is aangebracht en een wiel (F) is bevestigd. Hierop is een houten schijf met om de rand een snoerrieminkeping gemonteerd. De bovengenoemde ronde schijf loopt langs een vast punt (H), zodat de stand van genoemd wiel nauwkeurig is af te lezen. Met het wormwiel (J) verbonden en verder in het gestel opgenomen, is een verticale stalen staaf (K) voorzien van een vlakke schroefdraad. Deze staaf is voorzien van een zijdelingse sleuf, waardoor een vast op de brug bevestigd geleistuk (L) loopt. Hierdoor kan deze staaf bij draaiing van het wormwiel zich langzaam omhoog of naar beneden bewegen, echter niet ronddraaien. Ofschoon hier niet van

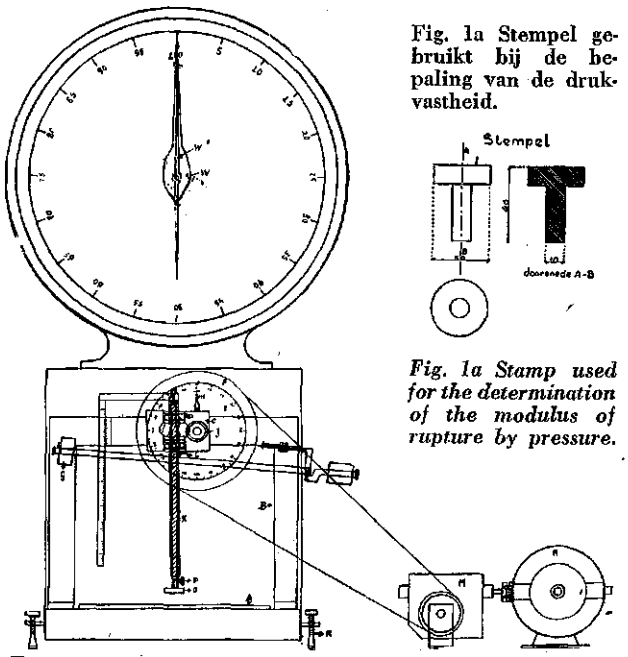


Fig. 1 Apparaat voor de bepaling van de drukvastheid.
Fig. 1 Apparatus for the determination of the modulus of rupture by pressure.

Fig. 1a Stempel gebruikt bij de bepaling van de drukvastheid.

Fig. 1a Stamp used for the determination of the modulus of rupture by pressure.

belang (wel echter voor de hardheidsbepaling volgens BRINELL zie aldaar), kan worden opgemerkt, dat de spoed van de schroefdraad op de bovengenoemde verticale staaf (K) zeer gelijkmatig is. Wordt het wiel en dus ook de ronde schijf met schaalverdeling éénmaal rondgedraaid (dus, over 200 schaaldelen) dan daalt of rijst, al naar gelang van de richting van de draaiing van het wiel, de ijzeren staaf over ruim 0.2 mm. Onderaan deze staaf kan een stempel (O), zie figuur 1 en 1a met een stelschroefje (P) worden vastgezet. Verder kan nog worden opgemerkt, dat zelfs bij een belasting van de weegplaat van 200 kg deze weegplaat toch nog slechts over ongeveer 2 mm daalt. Het onderstel van de balans rust verder op één vast punt en 2 stelschroeven (R); (zie figuur), waardoor de wijzer op de gewichtsschaal op de nulstreep kan worden ingesteld [67].

De houten schijf op het bovengenoemde wiel is verder met een lederen snoer verbonden met een schijf op de as van een vertragingsbak (M), die op haar beurt met behulp van een losse koppeling met de as van een electromotor (N) is verbonden. Deze electromotor is voorzien van een voorschakelweerstand, waardoor het mogelijk is de omwentelingssnelheid van het wiel (F) constant op één omwenteling per 2 minuten te houden. Hierdoor wordt bereikt, dat de druktoename per tijdseenheid vrijwel constant is, hetgeen noodzakelijk bleek te zijn om reproduceerbare cijfers voor de drukvastheid te verkrijgen, waarop ook meerdere malen in de literatuur de aandacht is gevestigd.

Voor de bepaling van de drukvastheid werd een glad gepolijste hard koperen schijf van ± 5 mm dikte en 8 cm doorsnede midden onder de stempel op de platvorm van de balans gelegd en de stelschroeven onder het onderstel van de balans zo gedraaid, dat de gewichtswijzer op de nulstreep stond. Midden op de koperen schijf en midden onder de stempel werd nu de te onderzoeken halve bol gelegd en de stempel zo ver naar beneden gedraaid tot de onderkant van de stempel juist de bovenkant van de halve bol raakte. De motor en de vertragingsbak hadden reeds enige tijd gelopen, waarbij de schijf op de as van de vertragingsbak van deze as was losgekoppeld. Deze schijf werd nu vastgezet, waarna met een stophorloge de omwentelingssnelheid van het grote wiel (F) op het eigenlijke apparaat op 1 omwenteling per 2 minuten werd ingesteld. Deze snelheid werd zo nu en dan en evenzo bij de volgende bepalingen gecontroleerd, waarbij de omwentelingssnelheid van de electromotor zo nodig met de voorschakelweerstand werd bijgeregeld.

De stempel drukt nu eerst een plat vlakje aan de halve bol, zodat eerst na enige tijd de gewichtswijzer gelijkmatig begint te bewegen, waarbij de losse wijzer dus wordt meegenomen. Zodra de halve bol breekt slaat de gewichtswijzer terug, terwijl de losse wijzer blijft staan met behulp waarvan de benodigde druk voor het stukdrukken van de halve bol kan worden afgelezen. Deze laatste druk in kg zal in het vervolg de „ongecorrigeerde drukvastheid" worden genoemd. De afzonderlijke brokstukjes van de gebroken halve bollen werden weer in de droogstof bij

[67] Het betreffende apparaat, afgezien van de houten schijf was op onze aanwijzingen gemaakt door de Weegwerktuigenfabriek N.V. „Gedo" te Amsterdam.

de betreffende temperatuur (40°, 70° of 100° C) bewaard. Na afloop van alle metingen van de betreffende serie werd hierin het vochtgehalte door drogen (bij 105° C) in een droogstoof bepaald.

Om na te gaan, in hoeverre de toeneming van de druk per tijdseenheid dezelfde bleef, werd de gemiddelde toename van de druk bepaald, waarbij van een bepaalde begindruk werd uitgegaan. Hierbij liep de motor dus zo snel, dat het wiel (F) éénmaal per 2 minuten ronddraaide. De metingen begonnen dan op het moment, dat de druk 10, 15, 20 enz. kg bedroeg. De resultaten van deze verkregen metingen zijn in tabel 6 aangegeven.

TABEL 6

Gebruikt materiaal		Toeneming van de druk per 2 minuten bij een omwenteling van het grote wiel (F) per minuut
MENGSEL bestaande uit 80% van de fractie < 16 μ van de voorbewerkte rivierkleigrond (No. 17752) en uit 20 % zandfractie (= mengsel van de zandfractie van deze grond en de fractie 208—295 μ). Zowel de kleigrond als de fractie 208—295 μ bevatten alleen uitwisselbare H-ionen	vanaf 10 kg	13.4 kg
	„ 15 „	14.0 „
	„ 20 „	14.0 „
	„ 30 „	14.6 „
	„ 50 „	15.8 „
	„ 60 „	14.8 „
	Gem.	*14.4 kg*
MENGSEL bestaande uit 40 % voorbewerkte leemgrond (No. 17753) en uit 60 % zandfractie (= mengsel van de zandfractie van deze grond en de fractie 16—43 μ). Zowel de leemgrond als de fractie 16—43 μ bevatten alleen uitwisselbare H-ionen	vanaf 10 kg	12.8 kg
	„ 15 „	13.6 „
	„ 25 „	13.8 „
	„ 30 „	14.0 „
	„ 35 „	13.6 „
	„ 40 „	14.0 „
	„ 45 „	14.6 „
	Gem.	*13.8 kg*
MENGSEL bestaande uit 70 % voorbewerkte leemgrond (No. 17753) en 30 % zandfractie (= mengsel van de zandfractie van de grond en de fractie 16—43 μ). Zowel de leemgrond als de fractie 16—43 μ bevatten alleen uitwisselbare H-ionen	vanaf 10 kg	12.4 kg
	„ 15 „	13.2 „
	„ 25 „	14.2 „
	„ 30 „	14.3 „
	„ 40 „	14.7 „
	„ 50 „	14.8 „
	„ 60 „	14.7 „
	Gem.	*14.0 kg*
Verschillende mengsels; alle bevatten alleen uitwisselbare H-ionen	vanaf 10 kg	12.8 kg
	„ 10 „	12.8 „
	„ 10 „	11.7 „
	„ 10 „	12.1 „
	„ 10 „	13.2 „
	„ 10 „	12.1 „
	„ 10 „	13.8 „
	Gem.	*12.6 kg*
Used material		*Increase of the pressure per two minutes with one rotation of the big wheel (F) per minute*

Uit tabel 6 volgt, dat inderdaad de druktoeneming van 10 kg af vrijwel constant is, zij het dan ook, dat de druktoeneming per minuut vanaf 10—15 à 20 kg iets lager is dan vanaf hogere drukken. Dit verschil is van geen belang. Ook een mogelijk gering verschil in de toeneming van de druk voor mengsels van een verschillende samenstelling is te verwaarlozen gering. Beneden 10 kg zal de toeneming van de druk langzamer zijn; vooral voor drukken onder 5 kg. Van veel belang is dit niet, aangezien zelden kleinere (ongecorrigeerde) drukvastheden dan 10 kg gemeten zijn, terwijl, voor zoverre dit nog het geval is, de iets geringere toeneming van de druk per tijdseenheid op de uitkomst weinig invloed zal uitoefenen in verband met de kleinheid van deze drukvastheid.

Als voorbeeld van een serie metingen (dus van 10 A-, 10 B- en 10 C-bollen) zijn in tabel 7 de volledige resultaten van een serie metingen van een mengsel bestaande voor 40 % uit de fractie $< 16\ \mu$ van de voorbewerkte rivierkleigrond (No. 17752) en voor 60 % uit de zandfractie van deze kleigrond en de fractie 208—295 μ weergegeven (zowel de rivierkleigrond als de fractie 208—295 μ waren geëlectrodialyseerd en bevatten dus alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen). De temperatuur waarbij in de droogstoof gedroogd werd, bedroeg in dit geval 40° C.

Nu zal in het algemeen, naarmate de gebruikte massa een groter gehalte aan de fractie $< 16\ \mu$ bevat, de krimp na drogen groter zijn. Dit wil zeggen, dat na drogen (en afschuren) bijvoorbeeld de A-halve bollen bestaande uit verschillend materiaal een verschillende doorsnede en een verschillende dikte zullen hebben. Om de invloed van deze krimp te bepalen, werd eerst nagegaan hoe in al het beschikbare materiaal de verhouding van de drukvastheid van A-, B- en C-halve bollen was. Deze verhouding bleek bij benadering overeen te komen met de verhouding van het quadraat van de stralen van deze bollen, waarbij de krimp voorlopig buiten beschouwing werd gelaten. Voor een nauwkeurige bestudering van deze kwestie moesten natuurlijk daarna de afmetingen van deze bollen na drogen en afschuren in rekening worden gebracht. Daartoe werden van alle gemeten series (in totaal werden omstreeks 3700 afzonderlijke metingen daarvoor beschouwd) de ongecorrigeerde drukvastheden van zowel de A-, de B- als de C-bollen gedeeld door resp. r^2 en rh, waarbij r dus de straal van het grondvlak en h de maximale dikte na droging en na afschuring voorstelt. Van te voren was immers niet zeker te zeggen, welke afmetingen hier van belang zijn, zij het dan ook, dat de oppervlakte van het grondvlak hier waarschijnlijk van het meeste belang is [69]. In tabel 8 zijn alleen de gemiddelden van de voornaamste hoofdonderzoekingen vermeld,waarin tevens het aantal volledige series (dus telkens bestaande uit 10 A-, 10 B- en 10 C-halve bollen), die daarbij zijn onderzocht, zijn aangegeven. Het eerstgenoemde hoofdonderzoek heeft betrekking gehad op zowel de bestudering van de invloed van het slibgehalte als van de grofheid van de zandfractie op de

[69] Aangezien van halve bollen was uitgegaan, waren na droging en afschuring r en h een weinig verschillend. Als regel was r iets groter dan h.

TABEL 7

A-halve bollen Gemiddeld gewicht van één halve bol na droging en na afschuring 5.54 gram				B-halve bollen Gemiddeld gewicht van één halve bol na droging en na afschuring 2.79 gram				C-halve bollen Gemiddeld gewicht van één halve bol na droging en na afschuring 1.28 gram			
No.	Hoogte in cm	Doorsnede in cm	Ongecorr. Drukvastheid in kg	No.	Hoogte in cm	Doorsnede in cm	Ongecorr. Drukvastheid in kg	No.	Hoogte in cm	Doorsnede in cm	Ongecorr. Drukvastheid in kg
1	1.08	2.33	24.0	1	0.78	1.98	15.7	1	0.61	1.40	8.9
2	1.12	2.38	29.0	2	0.80	1.88	17.8	2	0.62	1.40	8.8
3	1.12	2.32	25.0	3	0.82	1.89	19.0	3	0.65	1.44	10.0
4	1.12	2.35	28.3	4	0.81	1.88	15.6	4	0.65	1.43	10.2
5	1.07	2.36	27.4	5	0.81	1.90	15.7	5	0.67	1.43	10.4
6	1.00	2.30	26.8	6	0.80	1.89	16.9	6	0.67	1.45	7.7
7	1.07	2.35	26.5	7	0.80	1.87	14.0	7	0.71	1.45	11.9
8	1.04	2.33	26.6	8	0.83	1.89	17.3	8	0.62	1.40	10.4
9	1.08	2.36	26.6	9	0.80	1.88	15.3	9	0.66	1.43	9.1
10	1.04	2.34	23.7	10	0.84	1.90	18.1	10	0.68	1.47	12.9
Gem. *Average*	1.074	2.342	*26.4*	Gem. *Average*	0.809	1.896	*16.5*	Gem. *Average*	0.654	1.427	*10.0*
Number	*Height in cm*	*Diameter in cm*	*Uncorrected modulus of rupture by pressure in kg*	*Number*	*Height in cm*	*Diameter in cm*	*Uncorrected modulus of rupture by pressure in kg*	*Number*	*Height in cm*	*Diameter in cm*	*Uncorrected modulus of rupture by pressure in kg*
A-half balls Mean weight of one half ball after drying and polishing 5.54 gram				*B-half balls Mean weight of one half ball after drying and polishing 2.79 gram*				*C-half balls Mean weight of one half ball after drying and polishing 1.28 gram*			
Middelbare fout van het gem. Standard deviation of the mean[68] 0.54 = 2.0 %				Middelbare fout van het gem. Standard deviation of the mean[68] 0.48 = 3.0 %				Middelbare fout van het gem. Standard deviation of the mean[68] 0.49 = 4.9 %			

[68] Berekend volgens de bekende formule: m.f. van het gemiddelde $= \sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{n(n-1)}}$.

drukvastheid. Hierbij werden telkens mengsels gemaakt van de voorbewerkte rivierkleigrond (No. B 17752) resp. van de voorbewerkte leemgrond (No. B 17753) en van de zandfractie van 16—43 μ resp. van 208—295 μ, waarbij opklimmende slibgehalten werden verkregen. Het tweede onderzoek had betrekking op de invloed van de temperatuur van drogen op de drukvastheid en werd met mengsels van de hiervoor genoemde rivierklei- en leemgrond en de fractie van 16—43 μ en van 208—295 μ uitgevoerd, waarbij het slibgehalte 30 en 60 % bedroeg. Een derde onderzoek was meer in het bijzonder gewijd aan de bestudering van de invloed van de fijnheid (U-cijfers) van de zandfractie, waarvoor dusdanige mengsels van de hiervoor genoemde rivierkleigrond en diverse zandfracties werden gemaakt, dat het slibgehalte steeds 20 % bedroeg, daarentegen het U-cijfer van de zandfractie regelmatig opklom. Al deze mengsels bevatten alleen uitwisselbare H'-ionen en uit de aard der zaak geen humus of $CaCO_3$.

Uit tabel 8 blijkt, dat als de ongecorrigeerde drukvastheid gedeeld wordt door r^2 (r = straal grondvlak na droging en afschuring van het grondvlak) of door rh (h = grootste dikte van de halve bol loodrecht het grondvlak na droging en afschuring) gemiddeld genomen practisch gelijke waarden overblijven. Een bepaalde verandering via de grootste naar de kleinste halve bollen treedt niet op, met uitzondering van het onder 1a genoemde onderzoek. De gemiddelde waarden van alle onderzoekingen zijn dan ook voor de A-, B- en C-halve bollen vrijwel gelijk, hetgeen nog meer het geval is, indien het onder 1a genoemde onderzoek buiten beschouwing wordt gelaten.

Gezien de kleine verschillen tussen r en h is het niet te verwonderen, dat niet met zekerheid is uit te maken, of de ongecorrigeerde drukvastheid nu evenredig is met r^2 dan wel met rh, zij het dan ook, dat de onderlinge verschillen van de ongecorrigeerde drukvastheden gedeeld door r^2 gemiddeld genomen iets kleiner zijn dan wanneer deze drukvastheden door rh worden gedeeld. Om deze reden en in — verband met het feit, dat bij vermenigvuldiging van de ongecorrigeerde — drukvastheid met resp. $\frac{(1.25)^2}{r^2}$ (A-halve bollen), $\frac{(1.00)^2}{r^2}$ (B-halve bollen) en $\frac{(0.75)^2}{r^2}$ (C-halve bollen), deze de betekenis krijgt van de drukvastheid van een halve bol met een middellijn van resp. 2.50 cm, 2.00 cm en 1.50 cm, werd hieraan de voorkeur gegeven. Ten gevolge van deze correctie wordt dus tevens automatisch op de krimp gecorrigeerd. Het is natuurlijk ook mogelijk alle drukvastheden te herleiden op die van halve bollen van een middellijn van bijv. 2 cm. Aangezien deze correctie vooral voor de A- en C-halve bollen belangrijk is, werd deze liever vermeden.

Onder de „gecorrigeerde drukvastheid" zal dan ook de druk in kg verstaan worden, die nodig is om bij de aangegeven bepalingswijze een halve bol met een doorsnede van resp. precies 2.5 cm (A-bollen), 2.0 cm (B-bollen) en 1.5 cm (C-bollen) stuk te drukken.

De in het volgende hoofdstuk besproken drukvastheden zijn dus, tenzij uitdrukkelijk anders wordt aangegeven, alle op de bovengenoemde wijze gecorrigeerd.

TABEL 8

Onderzoek	Aantal complete series [70]	A-halve bollen		B-halve bollen		C-halve bollen	
		Ongecorr. drukvastheid gedeeld door r^2	rh	Ongecorr. drukvastheid gedeeld door r^2	rh	Ongecorr. drukvastheid gedeeld door r^2	rh
INVLOED SLIBGEHALTE I		*(Influence claycontent)*					
Rivierkleigrond + fractie 16— 43 μ a	21	48.4	51.3	51.9	56.4	56.2	60.4
„ + „ 208—295 μ b	19	31.6	33.9	30.2	32.6	32.8	34.8
Leemgrond + „ 16— 43 μ c	17	50.2	53.8	52.1	57.2	51.7	55.9
„ + „ 208—295 μ d	18	28.5	30.6	29.1	32 0	27.4	29.7
INVLOED TEMPERATUUR DROGEN II		*(Influence temperature of drying)*					
Rivierkleigrond 30 of 60 % slib; met fractie 16—43 μ of 208—295 μ a	12	43.2	45.6	43.2	45.9	45.7	48.7
Leemgrond 30 of 60 % slib; met fractie 16—43 μ of 208—295 μ b	12	49.7	52.6	52.6	57.1	50.5	54.7
INVLOED FIJNHEID (U-CIJFER) ZANDFRACTIE III		*(Influence fineness (U-figure) sandfraction)*					
Rivierkleigrond met diverse zandsubfracties; slibgehalte steeds 20 %	23	19.4	21.2	19.2	21.3	19.3	21.6
Gemiddeld *(average)*		*38.7*	*41.3*	*39.8*	*43.2*	*40.5*	*43.7*
Gemiddeld zonder Ia *(Average, without Ia)*		*37.1*	*39.6*	*37.7*	*41.0*	*37.9*	*40.9*
Research	*Number of complete series* [70]	*Uncorrected modulus of rupture by pressure divided by*		*Uncorrected modulus of rupture by pressure divided by*		*Uncorrected modulus of rupture by pressure divided by*	
		A-half balls		*B-half balls*		*C-half balls*	

[70] Aangezien iedere complete serie bestaat uit 30 halve bollen (10 A-, 10 B- en 10 C-halve bollen) en voor de in deze tabel genoemde onderzoekingen 122 series werden onderzocht, werden dus 30 x 122 = 3660 bepalingen van de drukvastheid verricht.

Tenslotte moet hier nog de foutengrens van de bepaling worden besproken. Alvorens hierop in te gaan, moge nog eens op het volgende worden gewezen:

Bij dit onderzoek, waarvan het de bedoeling is na te gaan door welke factoren het physisch gedrag (consistentie) van gronden wordt bepaald, is het noodzakelijk hetzelfde materiaal telkens onder gewijzigde omstandigheden opnieuw te onderzoeken. Om deze reden hebben we dan ook te maken met twee soorten van fouten. De eerste soort wordt vastgelegd door de middelbare fout van het gemiddelde van één serie [71] of dus van telkens 10 bepalingen. De tweede soort fout wordt vastgelegd door de middelbare fout van het gemiddelde van alle verrichte series, waarbij dus telkens nà de bepaling de grondmodellen worden fijngestampt, gezeefd door een 2 mm zeef en opnieuw met water gekneed tot een pasta, waarvan weer nieuwe modellen worden gemaakt.

De middelbare fout van het gemiddelde van één serie bepalingen is berekend met behulp van de formule:

$$\text{m.f. van het gemiddelde van één serie} = \sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{n(n-1)}} \qquad (1)$$

waarin Δ het verschil tussen de drukvastheid van iedere afzonderlijke bepaling en van de gemiddelde drukvastheid van de serie aangeeft en n het aantal bepalingen (dus als regel 10) is.

De middelbare fout van het gemiddelde van alle verrichte series is berekend met behulp van dezelfde formule:

$$\text{m.f. van het gemiddelde van alle series} = \sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{n(n-1)}} \qquad (2)$$

waarin n nu het totaal aantal bepalingen is (bij b.v. 3 series van resp. 10, 10 en 9 dus 29). Δ is nu het verschil tussen de drukvastheid van iedere afzonderlijke bepaling en van de gemiddelde drukvastheid van alle series.

Aangezien nu gebleken is, dat de gemiddelden van twee series meer kunnen verschillen dan zelfs 3 x de middelbare fout van het gemiddelde van iedere serie afzonderlijk en ditzelfde ook bij de andere natuurkundige grootheden het geval is, treden bij herhalingen van seriemetingen mede andere foutenbronnen op als bij iedere serie afzonderlijk aanwezig zijn. Zoals reeds in sub a van deze paragraaf is opgemerkt, ontstaan deze fouten voor een belangrijk gedeelte door oncontroleerbare verschillen, die tijdens het kneden van de pasta ontstaan. Vermoedelijk zullen beter kloppende bepalingen bij serieherhalingen verkregen worden door de te kneden pasta in 5 of 10 porties te verdelen en deze afzonderlijk met dezelfde hoeveelheid water te kneden; hierover bestaan echter nog te weinig gegevens. Aangezien deze foutenbron niet specifiek is voor de drukvastheid, maar ook bij de bepaling van alle andere natuurkundige grootheden optreedt, kan deze beter in hoofdstuk III besproken worden. Hieronder volgt dan ook alleen een beschouwing over de middelbare fouten van het gemiddelde van één serie.

[71] Onder een serie wordt hier verstaan de gewoonlijk 10 herhalingen van hetzij A-, B- of C-halve bollen, die gelijktijdig, hetzij uit één pasta, hetzij uit 5 of 10 afzonderlijk geknede pasta's zijn gemaakt en waarvan direct na elkaar de drukvastheid wordt bepaald.

TABEL 9

Onderzoek	Aantal enkelvoudige series [72]	Middelbare fout van het gemiddelde van één serie in procenten van dat gemiddelde			
		A-halve bollen	B-halve bollen	C-halve bollen	Gemiddelde van de A-, B- en C-halve bollen [73]
INVLOED SLIBGEHALTE I			*(Influence claycontent)*		
Rivierkleigrond + fractie 16— 43 μ a	66	3.8	4.0	4.1	4.0
„ + „ 208—295 μ b	56	3.4	3.5	3.7	3.5
Leemgrond + „ 16— 43 μ c	56	3.5	3.5	4.3	3.7
„ + „ 208—295 μ d	58	3.6	3.7	4.3	3.9
INVLOED TEMPERATUUR DROGEN II			*(Influence temperature of drying)*		
Rivierkleigrond 30 en 60 % slib; met fractie 16—43 μ of 208—295 μ.					
Droogtemperatuur 40° C a	12	2.9	3.6	3.8	3.4
„ 70° C b	12	3.1	3.6	3.2	3.4
„ 100° C c	13	3.6	3.4	3.4	3.5
Gem. [73]		*3.2*	*3.5*	*3.5*	*3.4*
Leemgrond 30 en 60 % slib; met fractie 16—43 μ of 208—295 μ.					
Droogtemperatuur 40° C d	12	3.6	2.9	4.0	3.5
„ 70° C e	12	3.1	4.7	3.9	3.9
„ 100° C f	12	3.1	2.7	2.9	2.9
Gem.		*3.3*	*3.4*	*3.6*	*3.4*
INVLOED FIJNHEID (U-CIJFER) ZANDFRACTIE III			*(Influence fineness (U-figure) sandfraction)*		
Rivierkleigrond met diverse zandfracties; slibgehalte steeds 20 %					
Droogtemperatuur 40° C	93	2.5	2.5	2.9	2.6
Gemiddelde van alle series [73]	*402*	*3.3*	*3.4*	*3.7*	*3.5*
Mean of all series					
Research	*Number of singular series* [72]	*A-half balls*	*B-half balls*	*C-half balls*	*Mean of A-, B- and C-half balls* [73]
		Standard deviation of the mean of one series in percents of that mean.			

Opmerking: Het aantal sèries A-, B- en C-halve bollen bedroeg resp. 139, 133 en 130.
Note: The number of series A-, B- and C-half balls was resp. 139, 133 and 130.

[72] Zie noot 71.

[73] Hierbij is rekening gehouden met het aantal enkelvoudige series van de A-, B- en C-bollen.

De middelbare fouten van het gemiddelde van één serie zijn weer in de algemene tabellen opgenomen, waarnaar verwezen kan worden. Hieronder volgen in tabel 9 eerst de gemiddelde middelbare fouten van het gemiddelde van de zelfde onderzoekingen als in ander verband zijn genoemd in tabel 8. De series A-, B-, en C-halve bollen zijn ook nu afzonderlijk gehouden: hetzelfde is echter nu ook geschied ten opzichte van de verschillende temperaturen, waarbij de modellen werden nagedroogd.

Uit tabel 9 volgt, dat het gemiddelde van meerdere middelbare fouten van het gemiddelde van één serie weinig uiteenloopt. Voor A-halve bollen bewegen deze middelbare fouten van het gemiddelde zich tussen 2.9 en 3.8 %, voor de B-halve bollen tussen 2.9 en 4.7 % en voor de C-halve bollen tussen 2.9 en 4.0 %. Het gemiddelde van alle middelbare fouten van het gemiddelde is voor de A-, B- en C-halve bollen resp. 3.3; 3.4 en 3.7%. Voor A- en B-halve bollen is deze middelbare fout van het gemiddelde gemiddeld genomen dus weinig verschillend; voor de C-halve bollen is deze fout gemiddeld genomen iets groter; waarmede bij het trekken van conclusies dus rekening moet worden gehouden.

Verder blijkt uit tabel 9, dat deze fout gemiddeld genomen niet groot is. Belangrijk is verder, dat, wat de middelbare fout van het gemiddelde betreft, het er weinig toe doet of de modellen op 40° C, 70° C dan wel op 100° C worden nagedroogd.

Van belang is het verder nog eens na te gaan, hoe de grootte van de middelbare fouten van het gemiddelde van één serie uitgedrukt in procenten van de niet-gecorrigeerde drukvastheid varieert, waarbij ook nu aan de indeling in de hoofdonderzoekingen I, II, en III is vastgehouden. Aangezien hierbij geen invloed van de droogtemperatuur is waar te nemen, zijn alleen de gemiddelde cijfers van de, in tabel 9 aangegeven, hoofdonderzoekingen I, II en III in tabel 10 vermeld.

Bij tabel 10 is nu het volgende op te merken. De maximale middelbare fout van het gemiddelde van één serie heeft 7.0 % bedragen. Slechts 12 maal van de in totaal 402 onderzochte series ligt deze fout tussen 6.0 en 7.0 %. Dit aantal is zo gering, dat voor alle verdere onderzoekingen, uitgezonderd dus uiteraard de reeds verrichte onderzoekingen onder I, II en III in tabel 9 en 10 genoemd, alle series, waarvan de middelbare fout van het gemiddelde groter is dan 5.9 %, geschrapt zullen worden en dus zullen worden herhaald. De C-halve bollen (dus van het kleinste formaat) hebben het grootste aantal gevallen geleverd met middelbare fouten van het gemiddelde van één serie van meer dan 6.0 %. In het algemeen is de verdeling van de middelbare fouten van het gemiddelde van één serie over de grenzen 0—0.9; 1.0—1.9; 2.0—2.9; 3.0—3.9; 4.0—4.9; 5.0—5.9 en 6.0—6.9 voor de A- en B-halve bollen weinig verschillend, hetgeen ook volgt uit de gemiddelden van de middelbare fouten van het gemiddelde, zoals deze in tabel 9 zijn aangegeven. Voor de C-halve bollen is deze verdeling iets ongunstiger, hetgeen ook uit de gemiddelden van de middelbare fouten van het gemiddelde in tabel 9 blijkt. Verder blijkt, dat zowel de verdeling van deze middelbare fouten van het gemiddelde (tabel 10) als gemiddelden van deze middelbare

TABEL 10

Onderzoek	Aantal series	De middelbare fout van het gemiddelde van één serie bedraagt in % gemiddeld: 0—0.9		1.0—1.9		2.0—2.9		3.0—3.9		4.0—4.9		5.0—5.9		6.0—7.0	
		aantal	%	aantal	%	aantal	%	aantal	%	aantal	%	aantal	%	aantal	%
I A-halve bollen	83	0	0	4	5	16	19	34	41	22	27	6	7	1	1
I B-halve bollen	78	0	0	3	4	16	21	28	36	20	26	9	12	2	3
I C-halve bollen	75	0	0	1	1	9	12	30	40	17	23	10	13	8	11
II A-halve bollen	25	0	0	1	4	8	32	11	44	5	20	0	0	0	0
II B-halve bollen	24	0	0	2	8	6	25	8	33	3	13	4	17	1	4
II C-halve bollen	24	0	0	0	0	4	17	13	54	7	29	0	0	0	0
III A-halve bollen	31	0	0	10	32	13	42	6	19	1	3	1	3	0	0
III B-halve bollen	31	2	7	6	19	15	48	5	16	2	7	1	3	0	0
III C-halve bollen	31	0	0	3	10	18	58	4	13	6	19	0	0	0	0
Gem. I, II en III A-halve bollen	139	0	0	15	11	37	27	51	36	28	20	7	5	1	1
Gem. I, II en III B-halve bollen	133	2	1	12	9	37	28	41	31	25	19	14	11	3	2
Gem. I, II en III C-halve bollen	130	0	0	4	3	31	24	47	36	30	23	10	8	8	6
Research	*Number of series*	*Number*	*%*	*Number*	*%*	*Number*	*%*	*Number*	*%*	*Number*	*%*	*Number*	*%*	*Number*	*%*
		Standard deviation of the mean of one series in % on an average													

TABEL 11

Onderzoek II Temperatuur drogen 70° C	Aantal series	A		B		C		Gemiddelde A, B en C	
		m.f. v/h gem.		m.f. v/h gem.		m.f. v/h gem.		m.f. v/h gem.	
Materiaal		ongecorr.	gecorr.	ongecorr.	gecorr.	ongecorr.	gecorr.	ongecorr.	gecorr.
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 μ en 208—295 μ	12	3.1	3.5	3.6	3.5	3.2	3.0	3.4	3.3
Leemgrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 μ en 208—295 μ	12	3.1	3.3	4.7	4.7	3.9	3.9	3.9	4.0
Gemiddeld *(Mean)*	24	3.1	3.4	4 2	4.1	3.6	3.5	3.7	3.7
Material		*Uncorrected*	*Corrected*	*Uncorrected*	*Corrected*	*Uncorrected*	*Corrected*	*Uncorrected*	*Corrected*
Research II *Temperature of drying 70° C*	*Number of series*	*Standard deviation of the mean*		*Standard deviation of the mean*		*Standard deviation of the mean*		*Standard deviation of the mean*	
		A		*B*		*C*		*mean of A, B and C*	

fouten van het gemiddelde (tabel 9) voor de hoofdonderzoekingen I, II en III weinig verschillend zijn geweest. Dit is een opmerkelijk ofschoon te verwachten feit, aangezien voor de hoofdonderzoekingen I en III de volledige series, dus 10 A-, 10 B- en 10 C-halve bollen, uit één pasta gemaakt zijn, daarentegen voor hoofdonderzoek II uit 10 of 5 afzonderlijk geknede pasta's, waarvan dus telkens hetzij 1 hetzij telkens 2 A-, B- en C-halve bol(len) is (zijn) gevormd. Deze maatregel heeft dus geen invloed op de middelbare fout van het gemiddelde van één serie gehad.

Nu zal men zich wellicht afvragen, dat, aangezien de drukvastheid van de A-, B- en C-halve bollen op deze wijze voor de krimp gecorrigeerd zullen worden, dat de ongecorrigeerde drukvastheden van deze series op de aangegeven wijze op de drukvastheden van halve bollen met resp. een middellijn van precies 1.5; 2.0 en 2.5 cm zullen worden omgerekend, feitelijk de middelbare fouten van het gemiddelde van één serie van deze gecorrigeerde drukvastheid belangrijker zijn dan van de ongecorrigeerde drukvastheden. Dit is natuurlijk ook het geval en zal dan ook voor de verdere onderzoekingen geschieden. Gezien de kleinheid van deze correctie blijven deze middelbare fouten echter practisch dezelfde, waarom dan ook niet nogmaals van alle onderzochte series deze middelbare fouten van de gemiddelden van één serie werden uitgerekend. De te trekken conclusies worden daardoor toch niet veranderd. Om dit verder aan te tonen zijn in tabel 11 de middelbare fouten van de gemiddelden van één serie aangegeven van het onder II genoemd onderzoek, waarbij de temperatuur tijdens het drogen van de halve bollen in de stoof 70° C heeft bedragen en waarbij dus zowel van de wel- als van de niet-gecorrigeerde drukvastheden is uitgegaan.

Tenslotte is het van belang na te gaan, in hoeverre de middelbare fout van het gemiddelde van één serie afhangt van de grootte van de drukvastheid. Aangezien deze middelbare fouten van de A-, B- en C-bollen weinig verschillend zijn, werd dit voor alle series tegelijk, dus in totaal van 402 series, nagegaan. Uit diagram 1 blijkt nu, dat de absolute middelbare fout, d.w.z. uitgedrukt in kg, duidelijk toeneemt met de grootte van de drukvastheid, zoals ook wel te verwachten was. De relatieve middelbare fout, d.w.z. uitgedrukt in % van de gemiddelde drukvastheid van de betreffende series, hangt niet van de grootte van de drukvastheid af, hetgeen trouwens ook reeds uit tabel 9 blijkt. De gemiddelde middelbare fouten van het gemiddelde van één serie zijn voor de hoofdonderzoekingen I, II en III vrijwel gelijk; dit is echter voor het gemiddelde slibgehalte en daarmede voor de gemiddelde drukvastheden [74] geenszins het geval.

d. De buigvastheid (BV)

1. Literatuuroverzicht

Onder de buigvastheid verstaat men het quotient van het buigmoment M en het weerstandsmoment W in kg/cm^2 van een staaf van het te

[74] Zoals in hoofstuk III verder behandeld zal worden, neemt namelijk de drukvastheid met een toenemend slibgehalte toe.

DIAGRAM 1 Verband tussen de absolute, middelbare fout van het gemiddelde van één serie en de drukvastheid.

Absolute middelbare fout van het gemiddelde

Absolute standard deviation of the mean

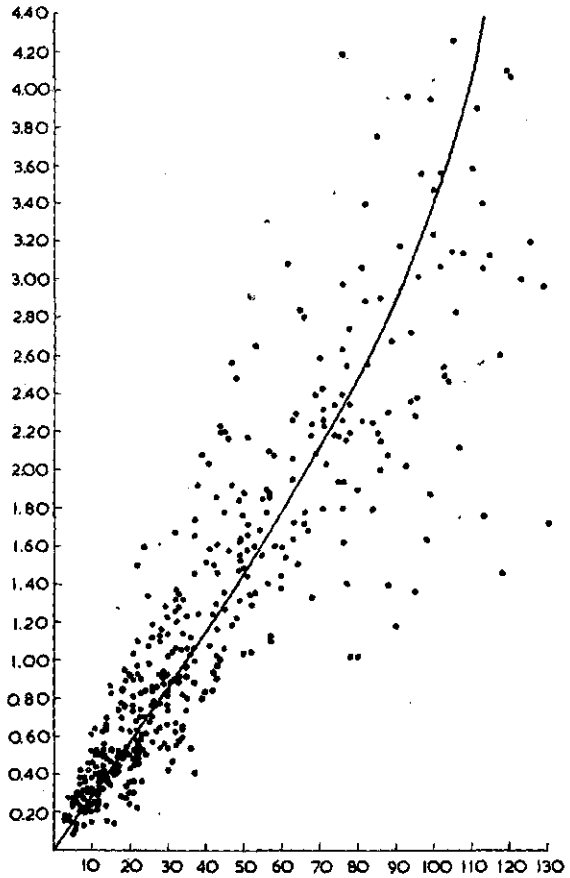


DIAGRAM 1 *Connection between the absolute standard deviation of the mean of one series and the modulus of rupture by pressure.*

onderzoeken materiaal, die op 2 steunpunten op de onderlinge afstand van 1 cm liggend in het midden daartussen wordt belast met een gewicht van P kg, waarbij breuk optreedt.

Is het breukvlak een rechthoek met de breedte b cm en de dikte h cm dan is het buigmoment M gelijk aan:

$$M = \frac{Pl}{4}, \qquad (3$$

en het weerstandsmoment W gelijk aan:

$$W = \frac{bh^2}{6} \tag{4}$$

zodat de buigvastheid BV gelijk is aan:

$$BV = \frac{Pl}{4} \cdot \frac{6}{bh^2} = \frac{3\,Pl}{2\,bh^2}\ kg/cm^2 \tag{5}$$

Uit de berekening van de buigvastheid volgt, dat automatisch rekening gehouden wordt met de eventuele krimp, aangezien de afmetingen van het breukvlak, dus na de droging van de staaf bestaande uit het te onderzoeken materiaal, wordt bepaald.

Deze grootheid wordt veelvuldig gemeten en behoort dan ook zeker mede tot de best onderzochte natuurkundige grootheden. LUNGE—BERL [75] deelt hierover het volgende onder „Tonwaren und Porzellan" (blz. 756 e.v.) mede:

De doorsnede van de gebruikte staven is rechthoekig. Als apparaat om de buigvastheid te bepalen wordt het apparaat van MICHAËLIS genoemd, waarbij dan een inspaninrichting gebruikt moet worden als door MICHAËLIS is aangegeven. Ook andere apparaten zijn mogelijk. Ook voor onderzoekingen van cement (zie blz. 904 e.v.) wordt het bovengenoemde apparaat van MICHAËLIS genoemd.

SOMMERFELD [76] merkt hierbij op, dat een stootvrije belasting en een goede drukmeting nodig zijn, terwijl de druk gelijkmatig met de tijd moet toenemen.

Der Material-Prüfungsausschusz der Deutschen Keramischen Gesellschaft [76a] schrijft hierover o.a. het volgende:

De drukvastheid is een statische bepaling. Als proeflichamen worden ronde staven van 16 mm doorsnede en 500 mm lengte aanbevolen. De afstand van de messen, waarop de staaf rust, bedraagt 400 mm. De staaf wordt in het midden stootvrij belast (door middel van een mes op de staaf overgebracht), tot zij breekt. Hierin is verder nog enige oudere literatuur aangegeven, waarvoor naar deze publicatie verwezen mag worden.

Belangrijke onderzoekingen over deze grootheid zijn verricht, door KOHL [77] en verder ook door BARTSCH [78] en in geringere omvang door SALMANG en KIND [79].

[75] Zie de in noot 62 genoemde literatuur.

[76] Zie de in noot 64 genoemde literatuur.

[76a] l.c. noot 64a, blz. 48.

[77] H. KOHL. Die Biegefestigkeit getrockneter Tone als Masz ihres Binde-Vermögens; *Ber. Deutschen Keramischen Gesellsch. 7*, 19, 1928. Verder van dezelfde schrijver: Zur Trockenfestigkeit der Tone, zelfde tijdschrift *11*, 325, 1930.

[78] O. BARTSCH. Ueber die Biegefestigkeit ungebrannter Keramischer Körper; *Keramische Rundsch. 35*, 121, 1927.

[79] H. SALMANG en J. KIND; Ueber Beziehungen verschiedener physikalischer, chemischer und technischer Eigenschaften von Tonen; *Ber. Deutschen Keramischen Gesellsch. 15*, 331, 1934.

KOHL merkt in zijn eerste publicatie op, dat de buigvastheid naast de trek- en drukvastheid de vastheid en het bindend vermogen van de te onderzoeken stof aangeeft. Uit een uitvoerig onderzoek van BLEINIGER en HOWAT [80] bleek, dat de buigvastheid vergeleken met andere physische grootheden de kleinste foutengrenzen gaf en bovendien karakteristieke gegevens leverde, voor zoverre het tenminste kleigronden en dergelijk materiaal betrof, waarom door KOHL dan ook aan deze grootheid de voorkeur werd gegeven, te meer aangezien volgens eigen onderzoek de slagbuigvastheid slechts kleine verschillen tussen de onderzochte gronden aangaf.

De staven, die KOHL gebruikte, werden in (negatieve) gipsmodellen gemaakt en wel hetzij uit pasta op analoge wijze als dit door mij werd gedaan, hetzij uit een dikke suspensie, die in het gipsmodel werd gegoten.

De doorsnede van de door hem gebruikte staven is trapeziumvormig. De lange zijde daarvan is in ongekrompen toestand 40 mm, de korte zijde 25 mm, de hoogte 12.5 mm, terwijl de lengte rond 260 mm bedroeg.

In het midden bevatten deze staven inkepingen, waardoor de doorsnede ter plaatse juist een rechthoek van 12.5 bij 25 mm was. Voorzoverre de staven werden gegoten uit een suspensie, werden op de (negatieve) gipsmodellen gipsramen geplaatst, die dus de suspensie opvingen; de overtollige massa werd na voldoende indrogen met een staaldraad afgesneden.

Voor zoverre werd uitgegaan van kleipasta, waarschuwt hij er voor deze pasta niet in kleine stukjes in de vorm te drukken. De juiste methode is de staaf eerst met de hand uit een goed geknede massa zonder verdere verdraaiing of scheurvorming voor te vormen en deze in de vorm te drukken. Deze staven bleven hierin dan bij kamertemperatuur liggen, tot deze de hardheid van leer hadden gekregen en geheel los in de vorm lagen. Deze staven werden dan uit de vorm genomen en tussen gipsplaten gedurende 7 tot 10 dagen bij kamertemperatuur aan de lucht gedroogd. Alleen bij kleigronden, waarbij de buigvastheid door sneller drogen geen verandering ondergaat, werd in de droogstoof bij 50—80° C tot constantheid van gewicht nagedroogd. Hij beroept zich hierbij op de onderzoekingen van KERR en MONTGOMERY [81]. De laatste onderzoekers kwamen daarbij tot het resultaat, dat de beste resultaten verkregen werden door de staven ± 7 dagen bij kamertemperatuur te drogen en vervolgens bij 75° C in een droogstoof tot de gewichtconstantheid en tenslotte tot 110° C eveneens tot constante gewicht na te drogen.

KOHL merkt echter op, dat vele vette kleigronden een sterke verhoging van de buigvastheid in het laatste stadium van het droogproces te zien geven. Na drogen bij 150°, 200° C, enz. werden steeds grotere vastheden verkregen. Er schijnen echter, zo deelt hij mede, boven 200° C in humusrijke kleigronden processen op te treden, die men wellicht door een verlijming van de deeltjes door organische stoffen verklaren kan en

[80] A. v. BLEINIGER en W. T. HOWAT. *Trans. Am. Cer. Soc. XVI*, 5273—5282, 1914.
[81] C. H. KERR and R. J. MONTGOMERY; *Trans. Am. Cer. Soc. XVI*, 345—353, 1914; zie ook: *Sprechsaal* 1926, blz. 42.

derhalve met het eigenlijke droogproces niets meer te maken hebben. Bij kaolien treedt overigens geen grotere vastheid door nadrogen bij 110° C op en bij andere kleigronden slechts een geringe verhoging. Aangezien verder de foutengrens bij stijgende droogtemperatuur toenam, werd nadrogen van de staven op 110° C door hem dan ook afgewezen. In het algemeen werden dus de staven gedurende 7 tot 10 dagen tussen gipsplaten aan de lucht gedroogd tot (practisch) een constant gewicht werd bereikt. Bij vettere kleigronden werd wel bij hogere temperaturen nagedroogd. Hierbij werden de luchtdroge staven in een koude droogstoof gelegd, die dan verwarmd werd. Het aantal herhalingen moet minstens 6 of beter 10 bedragen. Resultaten verkregen met staven, die structuurfouten op het breukvlak vertonen of waarbij de staaf niet tussen de inkepingen brak, werden bij het berekenen van gemiddelden weggelaten.

De metingen werden met een toestel uitgevoerd, dat in een verbeterde vorm ook voor zijn latere onderzoekingen diende en dat ook vrijwel onveranderd door mij werd gebruikt en verder hieronder besproken zal worden. Hierbij werden de staven gelegd op de scherpe zijde van 2 messen met een gelijkzijdige driehoek als doorsnede op een onderlinge afstand van 20 cm. Midden daartussen rustte dan op de bovenkant eveneens de scherpe zijde van een mes met een gelijkzijdige driehoek als doorsnede. Dit laatste mes is opgenomen in een raam om de staaf heen, waaraan een bus wordt gehangen, die belast wordt. Voor het verkrijgen van goede resultaten is het noodzakelijk, dat deze staven door afschaven en polijsten zo worden bijgewerkt, dat alle 3 messen over de volle breedte van de staaf goed vlak tegen deze staven aanliggen.

In de bus onderaan het bovengenoemde raam liet hij hetzij water hetzij hagel vloeien tot breuk optrad, waarbij er voor gezorgd werd, dat automatisch de water- of hageltoevoer stopte, zodra breuk optrad. Na de breuk, die bijna zonder uitzondering bij de inkepingen in de staaf plaats vond, werd de doorsnede van dit breukvlak nauwkeurig bepaald en met behulp van de formule 5 de buigvastheid „BV" berekend.

Over de verkregen resultaten kan nog worden medegedeeld, dat gegoten staven een veel grotere buigvastheid (soms 2 x zo groot) bezaten dan staven uit geknede pasta gemaakt. De dichtheid van gegoten staven was echter ook groter dan van de, uit pasta gemaakte, staven. Kleine toevoegingen van vermageringsmiddelen aan vette kleigronden bleken verder geen invloed te hebben op de buigvastheid.

Over de tweede publicatie van KOHL kan het volgende worden opgemerkt:

Het apparaat, waarmede de bepalingen verricht werden, werd nog iets verbeterd. Zoals reeds werd opgemerkt, werd dit apparaat ook door mij gebruikt. Het zal verder hieronder beschreven worden, waarnaar verwezen kan worden. Ook nu werden in het algemeen staven met een trapeziumvormige doorsnede en met inkepingen in het midden toegepast.

Ook in deze publicatie maakt KOHL nogmaals attent op het feit, dat van andere zijde vastgehouden wordt aan het nadrogen van de staven op 110° tot 120° C. De „Materialprüfungsausschusz der Deutschen Kera-

mischen Gesellschaft"[82] beveelt namelijk aan de proefstaven zo snel mogelijk uit de vorm te nemen, op een vlakke onderlaag onder voortdurend omdraaien aan de lucht te laten drogen en tenslotte bij 100 à 120° C na te drogen. Ook BARTSCH[83] acht nadrogen tot 110° C gewenst.

Het maken van de proefstaven werd op analoge wijze verricht als bij het vorige onderzoek, waarover reeds de nodige opmerkingen zijn gemaakt. Wel merkt hij op, dat de meest gelijkblijvende resultaten verkregen worden, indien bij de bereiding wordt uitgegaan van een dunvloeibare suspensie[84]. De foutengrens van 830 bepalingen bleek dan gemiddeld ± 2.4 % te zijn[85]. Werd daarentegen uitgegaan van kleigronden, die eerst verscheiden dagen onder water werden bewaard (KOHL spreekt van „mehrtägiges Sumpfen") en dan zorgvuldig werden doorgekneed, dan werden foutengrenzen van ± 4.5 % gevonden. Werden deze kleigronden in een dunvloeibare suspensie gebracht, gezeefd en ingedikt op gipsplaten dan werd een foutengrens van ongeveer 3.2 % bereikt. Verder werd aangetoond, dat door de massa te laten liggen hogere buigvastheden werden verkregen.

Interessant zijn verder de onderzoekingen, waarbij staven met en zonder inkepingen, die uit het zelfde materiaal op dezelfde wijze waren gemaakt, werden gebruikt. Hierbij bleek, dat van telkens 20 staven de foutengrenzen van staven met inkepingen slechts 2.4 % bedroegen, daarentegen voor gladde staven 6.4 %. Bovendien braken de laatste staven zeer onregelmatig, daarentegen de staven met inkepingen juist bij deze inkepingen, zodat het breukvlak een rechthoek vormde (zie ook de eerste publicatie van KOHL). Aan staven met inkepingen werd dan ook de voorkeur gegeven.

Verder werden ook kleinere staven gebruikt van 80 mm lengte en een breukdoorsnede van 8 x 4 mm. Ook nu werden gladde staven en staven met inkepingen onderzocht. De foutengrenzen waren voor de gladde staven 10.1 % en voor de staven met inkepingen 6.3 %. Ook hier geven de laatstgenoemde staven de kleinste foutengrenzen. Aangezien echter de grotere staven veel kleinere foutengrenzen gaven, werd hieraan vastgehouden.

Om de invloed van de wijze van drogen nog verder na te gaan, werden van 3 verschillende materialen telkens 150 staven gemaakt. Deze werden dan tussen gipsplaten gedroogd, waarbij in verloop van tijd telkens een serie werd gemeten, waarvan het vochtgehalte in verpoederde brokstukken van deze staven na de meting werd bepaald. Na 3 of 4 dagen bleek de buigvastheid vrijwel dezelfde te zijn als na 5—7 dagen aan de lucht drogen, ook al liep het vochtgehalte daarbij van 3 tot 2 à 1 % terug. Deze

[82] Untersuchungs- und Prüfungsmethoden Keramischen Rohstoffe und Erzeugnisse, *Ber. Deutschen Keramischen Gesellsch. 8*, 100, 1927.

[83] Zie de in noot 78 genoemde literatuur.

[84] Helaas werd niet aangegeven, hoe hieruit de proefstaven precies werden gemaakt.

[85] Vermoedelijk zal hier de m.f. van het gemiddelde van 10 afzonderlijke bepalingen bedoeld zijn. Het is echter mogelijk, dat hiermede de m.f. van het gemiddelde van alle 830 bepalingen wordt bedoeld.

buigvastheid bleef onveranderd, indien de staven na de vorming 1 dag in een droogkamer bij 30—40° C droogden en daarna nog gedurende 2 of 3 dagen bij kamertemperatuur werden nagedroogd. Hieruit leidt KOHL af, dat deze voordroging geoorloofd is.

Werden de luchtdroge staven echter slechts 2 uur nagedroogd bij 50° C, dan trad een duidelijke verhoging van de buigvastheid op. Bij verhoging van de droogtemperatuur nam de buigvastheid voortdurend toe en zal deze ook bij een droogtemperatuur boven 250° C nog verder toenemen. In alle gevallen, waarbij deze staven in een oven werden nagedroogd, werden de staven in een koude oven gelegd, die daarna werd verhit, waarbij deze temperatuur 3° C per minuut werd verhoogd, totdat de verlangde temperatuur werd bereikt. In verband met het feit, dat reeds van 50° C af de buigvastheid steeds bij een stijgende temperatuur toenam, vormt een droogtemperatuur van 110° C volgens hem slechts een willekeurig punt op de steilste arm van de curve, die het verband tussen het vochtgehalte en de buigvastheid aangeeft. Geringe variaties in deze temperatuur of in de duur, waarover de staven nagedroogd worden, kunnen grote veranderingen in de buigvastheid geven, waarom hij er dan ook de voorkeur aangeeft om de staven alleen bij kamertemperatuur aan de lucht te drogen.

Verder deed hij ook proefnemingen, waarbij de staven zowel aan de lucht werden gedroogd en onderzocht als waarbij de staven gedurende 2 uur bij verschillende temperaturen werden nagedroogd en gemeten resp. daarna weer in een vochtige omgeving werden gebracht, waardoor zij weer vocht konden opnemen. Hierbij bleek, dat door de nadroging tot meer dan 40° C de buigvastheid, zoals ook reeds bij andere onderzoekingen was gebleken, toenam. Werden na de droging de staven in een vochtige omgeving geplaatst, dan werd dezelfde buigvastheid verkregen als wanneer deze staven alleen bij kamertemperatuur in deze ruimte waren gedroogd, tenzij de droogtemperatuur 80° C of hoger was geweest, waarbij dan lagere waarden werden verkregen. De oorzaak daarvan ligt volgens KOHL in een irreversibele verandering van de kolloidale bestanddelen en wel vooral in de veranderingen, die de humus- en kiezelzuurkolloiden door deze verhitting ondergaan. In elk geval wordt naar zijn mening iets anders gemeten dan bij de aan de lucht gedroogde staven. Een verhitting boven 80° C behoort dan ook niet meer tot het droog-, maar tot het bakproces. Bovendien bleek deze verandering voor verschillende materialen niet dezelfde te zijn, terwijl de foutengrens gemiddeld genomen na drogen bij hogere temperatuur (bijv. 110° C) groter was dan na drogen aan de lucht, waarom ook om deze reden aan drogen van de staven aan de lucht volgens KOHL de voorkeur dient te worden gegeven [86].

[86] Ofschoon hierop zal worden teruggekomen, moge hier reeds worden opgemerkt, dat eigen onderzoekingen deze proefnemingen niet hebben bevestigd. Integendeel bleek practisch noch de middelbare fout van het gemiddelde noch de buigvastheid (ditzelfde geldt overigens voor alle bepaalde physische constanten) te veranderen, indien de staven werden nagedroogd bij 40°, 70° of 100° C of althans waren de toenemingen van de bepaalde physische constanten gering.

BARTSCH [87] gebruikte bij zijn waarnemingen een ander apparaat dan KOHL. De druk op het midden van de proefstaaf wordt nu door een mes uitgeoefend, dat zich aan de onderzijde van een balansarm bevindt, waarvan het steunpunt en het lastpunt aan weerszijden liggen. In het lastpunt hangt een emmer, waarin hagel vloeit tot de staaf breekt, waarbij dan weer automatisch de toevloeiing stop wordt gezet. De afstand van de steunpunten is in dit toestel 10 cm; de gebruikte staven zijn glad (zonder inkepingen) en hebben afmetingen van 150 x 20 x 15 mm.

De proefstaven werden gemaakt uit een goed gerijpte massa, die zorgvuldig gekneed was. De massa werd dan voorgevormd en door afsnijden van overtollige gedeelten in de juiste vorm gebracht. Deze staven werden eerst aan de lucht gedroogd; daarna 2 uur bij 70° C, vervolgens langzaam verhit tot 110° C en tenslotte in een exsiccator afgekoeld.

BARTSCH vond, dat na drogen op 110° C de buigvastheid veel groter was dan van de bij kamertemperatuur aan de lucht gedroogde staven. Verder bleek het vochtgehalte bij het vormen der proeflichamen van invloed te zijn. Een groter hoeveelheid water dan voor het vormen nodig was, deed de buigvastheid afnemen. De fout van één bepaling bleek 20 % te zijn, waarom dan ook 10 bepalingen werden verricht, waarvan het gemiddelde werd genomen. Verder zou de tijd, dat de massa blijft liggen (een soort rijpingsproces dus), van invloed op de buigvastheid zijn. Uit proefnemingen bleek dit inderdaad het geval te zijn, zij het dan ook, dat een dag of 10 laten liggen in elk geval voldoende was en langer liggen geen invloed meer uitoefende.

Ook de ligduur van de gevormde staven in gedroogde toestand zou een invloed op de buigvastheid hebben en wel zou de buigvastheid na minstens 8 dagen liggen (langer laten liggen had geen invloed) ± 16 % hoger zijn dan na 1 dag liggen. De proeflichamen werden daarbij eerst aan de lucht gedroogd, daarna langzaam op 70° C verhit, 2 uur bij deze temperatuur gehouden, vervolgens langzaam op 110° C verhit en weer 2 uur op deze temperatuur gedroogd en tenslotte in een exsiccator afgekoeld [88].

Tenslotte geeft BARTSCH aan, dat voor verschillende kleisoorten geen samenhang bleek te bestaan tussen de buigvastheid en het slibgehalte, het gloeiverlies, de hygroscopiciteit, het poriënvolume, de inkrimping na drogen en het watergehalte nodig om de klei goed kneedbaar te maken.

SALMANG en KIND [89] bepaalden de buigvastheid volgens de methode

[87] Zie de in noot 78 genoemde literatuur.

[88] Deze bepalingen lijken mij weinig waardevol, aangezien het droogproces na 2 uur verhitting op 110° C vermoedelijk nog niet ten einde is. Het vochtgehalte van de grond meer binnen de staven en aan de oppervlakte kan verschillend zijn, zodat gedurende het laten liggen van deze staven wel eens niets anders zou kunnen geschieden dan dat het vochtgehalte meer overal gelijk wordt, waarvan een iets hogere buigvastheid het gevolg kan zijn.

[89] Zie de in noot 79 genoemde literatuur.

KOHL [90]. De staven werden een week lang tussen gipsmodellen gedroogd en na 3 weken op de buigvastheid onderzocht. De afstand van de steunpunten, waarop de staven kwamen te liggen, bedroeg 20 cm. Bij de berekening van het gemiddelde werden scheef getrokken staven of waarbij de breuk niet bij de inkepingen in deze staven plaats vond, niet in aanmerking genomen.

Zij onderzochten mengsels van klei en zand. Dit zand bevatte slechts 1 % aan deeltjes kleiner dan 60 μ. Uit homogene mengsels van 90 % klei en 10 % zand; 80 % klei en 20 % zand; 70 % klei en 30 % zand enz. werden proefstaven gemaakt en de buigvastheid daarvan bepaald. Hierbij bleek, dat soms de buigvastheid met een toenemend zandgehalte voortdurend afnam; soms nam de buigvastheid ook eerst toe (tot 10 % zand) om daarna weer meer of minder langzaam te dalen.

2. *Beschrijving van de wijze, waarop de staven werden gemaakt en de buigvastheid werd gemeten*

In sub a van deze paragraaf werd reeds in grote lijnen aangegeven, op welke wijze de proeflichamen werden gemaakt. Hier kan nog worden opgemerkt, dat de zorgvuldig geknede massa, tenslotte werd uitgerold tot een ronde staaf. Hiervan werd een stuk van voldoende lengte afgesneden en met de vlakke hand in de (negatieve) gipsmodellen geperst, waarbij er zoveel mogelijk zorg voor werd gedragen, dat zich geen luchtholten vormden en dat de betreffende staaf noch tijdens het vormen noch tijdens het inpersen in de gipsvormen werd getordeerd. De overtollige grond werd nu op de reeds beschreven wijze verwijderd evenals de bovenkant van de staven op de reeds beschreven wijze werd gladgemaakt. De volgende dag werden de staven voorzichtig uit het gipsmodel genomen, zo nodig iets bijgewerkt met een paletmes en daarna gedurende ongeveer 2 dagen aan de lucht verder gedroogd. Daarna werden de staven gedurende minstens 7 dagen bij 70° C in de droogstoof nagedroogd, waardoor gewichtsconstantheid werd bereikt. In enkele gevallen werden deze staven bij 40° resp. bij 100° C gedroogd. Zij blijven dan resp minstens 7 en 4 dagen in de stoof liggen alvorens gemeten te worden. Daarna werden de staven, nadat zij eerst gezamenlijk (zonder afkoeling) waren gewogen en in de stoof waren teruggelegd, één voor één uit de stoof genomen, bijgevijld op de punten, waar de messen tegen de staven moeten aansluiten en direct daarop gemeten. Afkoeling van de staven vond niet plaats, terwijl de staven voor de meting dag en nacht op de aangegeven temperatuur bleven. Dit laatste werd gedaan, aangezien bleek, dat na afkoeling — zij het dan ook aan de lucht — kleinere buigvastheden werden bepaald dan wanneer zij direct uit de stoof gemeten werden; vermoedelijk doordat tijdens de afkoeling weer vocht werd opgenomen, waardoor plaatselijk kleine scheurtjes optraden. Men vergete niet, dat gedroogde klei hygroscopisch is. Van de gebroken staven werd tenslotte het vochtgehalte op gewone wijze bij 105° C bepaald.

Bij het bovenstaande kan nog het volgende worden opgemerkt:

[90] Zie de hiervóór besproken publicatie van KOHL; zie ook noot 77.

Oorspronkelijk werd een droogtemperatuur van 40° C aangehouden, aangezien uit de onderzoekingen van KOHL [91] bleek, dat een dergelijke droogtemperatuur zonder invloed was op de buigvastheid en het drogen zelf (nl. tot gewichtconstantheid) daardoor wordt versneld. Toen later bleek, dat bij drogen tot constant gewicht het voor de buigvastheid en trouwens ook voor alle andere bepaalde physische constanten practisch niets uitmaakt of de droogtemperatuur 40, 70 dan wel 100° C bedraagt [92], werd een droogtemperatuur van 70° C aangehouden. Hierdoor wordt het resterende vochtgehalte namelijk constanter, hetgeen veroorzaakt wordt door het feit, dat het relatieve vochtgehalte in het vertrek, waarin de droogstoven stonden opgesteld (en dat, zoals uit waarnemingen bleek, belangrijk kan schommelen) een des te kleiner invloed op het resterend vochtgehalte uitoefent, naarmate de droogtemperatuur hoger is.

Eerst werd nog geprobeerd het materiaal, waaruit de staven gemaakt werden, in een tamelijk dik vloeibare suspensie te brengen en hieruit door gieten op de manier, zoals door KOHL [93] is aangegeven, de staven te maken. Dit is mij niet mogen gelukken, aangezien het niet te voorkomen bleek, dat zich tijdens het indrogen scheuren in de massa vormden. Vervolgens werd geprobeerd deze tamelijk dik vloeibare suspensie op gipsplaten zo sterk in te dikken, dat een goed kneedbare massa werd verkregen. Ofschoon dit natuurlijk mogelijk was, is deze methode zeer tijdrovend, terwijl het vochtgehalte van de massa, waaruit de staven (en natuurlijk ook de andere modellen voor de bepaling van de andere physische constanten) werden gemaakt, niet constant is te houden. Aangezien bleek, dat het vochtgehalte van de pasta, waaruit de staven werden gevormd, wel degelijk van invloed is op de verkregen resultaten, werd de methode gevolgd, zoals deze hiervóór en in sub a van deze paragraaf is aangegeven. Een voordeel van de hier gevolgde methode is wellicht verder, dat telkens de gebruikte modellen weer worden fijngestampt en gezeefd en dit materiaal weer kan dienen voor duplo en eventueel triplo-bepalingen ook al mogen daardoor de uiteindelijke foutengrenzen iets stijgen. Hierdoor worden werkelijke materiaalconstanten verkregen, hetgeen niet gezegd kan worden van vele metingen, waarbij telkens van vers materiaal wordt uitgegaan [94].

De staven, waarmede de metingen werden verricht hadden een trapeziumvormige dwarsdoorsnede. De evenwijdige zijden (l′ en l″) daarvan waren 40 en 25 mm, terwijl de dikte (h) 12.5 mm bedroeg. Ook de doorsnede evenwijdig de lengte-as was trapeziumvormig. De zijden (l_1' en l_1'') daarvan waren of 250 en 270 mm (in het vervolg „lange staven"

[91] Zie de in noot 77 aangehaalde literatuur.

[92] Deze resultaten zijn dus (zoals reeds werd opgemerkt) tegengesteld aan die van KOHL en BARTSCH. De oorzaak daarvan kan liggen in het feit, dat door mij gedroogd werd tot een constant gewicht werd bereikt en de gebruikte materialen alle met H_2O_2 en HCl waren voorbewerkt, d.w.z. geen humus (practisch geen humus) en $CaCO_3$ meer bezaten.

[93] l.c. noot 77.

[94] Dit geldt natuurlijk niet voor de fabriekscontrôle van bepaalde, reeds geknede massa's.

genoemd) of 150 en 170 mm (in het vervolg „korte staven" genoemd). Voor de „korte" en „lange" staven waren dus de afmetingen l', l'' en h dezelfde. In het midden bevatten deze staven rechthoekige inkepingen, waardoor ter plaatse de doorsnede der staven een rechthoek was en wel in ongekrompen toestand van 25 bij 12.5 mm. Later werden ook nog staven gemaakt met l_1'- en l_1''-waarden van resp. 150 en 170 mm, maar met afmetingen van l', l'' en h van resp. 40, 25 en 10 mm en van resp. van 25, 15 en 12.5 mm. In de bijgaande figuren 2a en 2b is ter verduidelijking een model van een korte staaf aangegeven.

Fig. 2a Afmetingen van de staven gebruikt bij de bepaling van de buigvastheid.

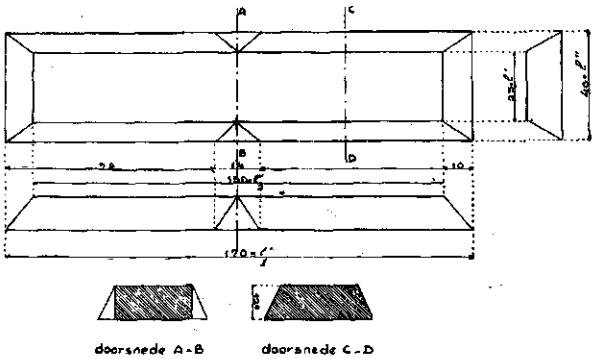


Fig. 2a Dimensions of the bars used for the determination of the modulus of rupture by bend.

Fig. 2b Perspectieftekening van de staaf gebruikt bij de bepaling van de buigvastheid.

Fig. 2b Perspective drawing of the bar used for the determination of the modulus of rupture by bend.

Aangezien hierdoor onderzoekingen konden worden verricht, waarbij alle factoren in formule 3 voor de berekening van de buigvastheid verschillend waren, kon de juistheid van deze formule worden getoetst, waaruit dus tevens is af te leiden, in hoeverre deze buigvastheid nog van de afmetingen van de staven afhangt, of dus in hoeverre deze grootheid nog een empirische grootheid is [95].

Hierbij kan worden opgemerkt, dat ook l in formule 3 verschillend is, aangezien de steunpunten zich bij de onderzoekingen van de lange en de korte staven op een verschillende afstand bevonden.

Zoals reeds werd opgemerkt, werd het door KOHL gebruikte apparaat toegepast. De enige verbetering, die werd aangebracht, was, dat de messen, waarop de staven steunden, zowel op een onderlinge afstand van 12.0 cm als van 20.0 cm konden worden geplaatst. In figuur 3 is dit apparaat nader aangegeven, terwijl op foto 2 behalve het gebruikte apparaat ook de diverse gebruikte staven (nl. de koperen modellen) te zien zijn.

Uit figuur 3 en foto 2 blijkt verder, dat het apparaat bestaat uit een zwaar ijzeren grondplaat A, die met een drietal stelschroeven B horizontaal is te stellen en daardoor tevens stevig staat. Op de grondplaat A

[95] Aangezien echter de druk, die op de staaf wordt uitgeoefend, in mijn geval 215 gram per seconde toeneemt en het niet onwaarschijnlijk is, dat de buigvastheid ook van de snelheid van deze toeneming van de druk afhangt, gelden de hier bepaalde drukvastheden alleen voor deze snelheid van de druktoeneming. Ook werden geen staven met een ronde doorsnede onderzocht.

is een stevig gestel B bevestigd. Hierop kunnen op de plaatsen C (20 cm onderlinge afstand) en D (12 cm) stevige zuiltjes E worden vastgeschroefd, waarop de driekantige messen F zo zijn bevestigd, dat de snijkant loodrecht het gestel B staat. Hiertoe is aan de zuiltjes nog een staafje bevestigd, die juist past in een tweede opening in de horizontale staaf H van het gestel B, waardoor het voorgaande wordt bereikt. De messen F hebben een gelijkzijdig, driehoekvormige doorsnede. In het midden van de horizontale staaf H van het gestel bevindt zich een grote ronde opening I, waardoor een ronde stang J van een geringere doorsnede als dit gat I gaat, zodat deze de randen van dit gat nergens raakt. Deze stang draagt aan zijn onderkant een haak, waaraan door middel van het juk K de emmer L hangt. Aan haar bovenzijde is zij bevestigd aan een vierkant raam M van voldoende grote afmetingen, waardoorheen de te onderzoeken staaf N op de messen F rust. In dat vierkante raam is aan de bovenzijde het mes O (eveneens met een gelijkzijdige, driehoekige doorsnede) bevestigd. Aan de bovenzijde van dit raam M is een soepele draad P

Foto 2 Apparaat voor de bepaling van de buigvastheid.

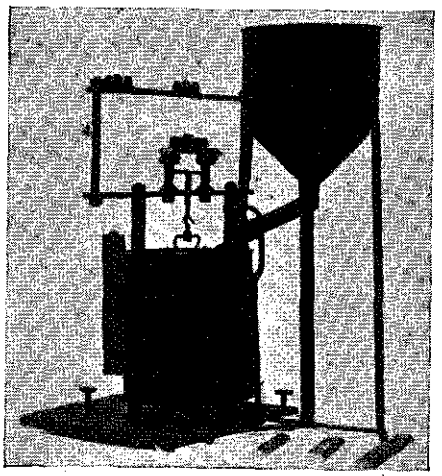


Photo 2 Apparatus for the determination of the modulus of rupture by bend.

Fig. 3 Apparaat voor de bepaling van de buigvastheid.

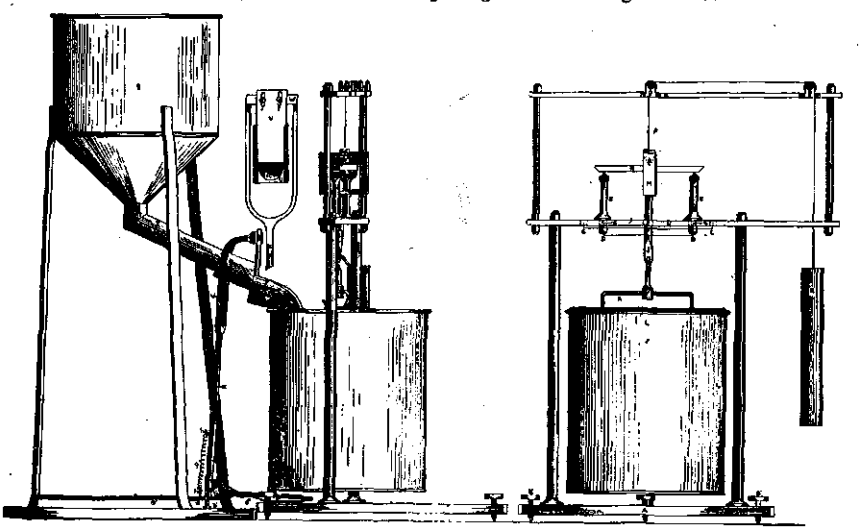


Fig. 3 Apparatus for the determination of the modulus of rupture by bend.

vastgemaakt, die over 2 katrolletjes Q loopt, waarvan de assen in kogellagers lopen. Aan de andere zijde van deze draad hangt het gewicht R, dat vrijwel gelijk (iets kleiner) is aan het gewicht van het raam M, het daaraan hangende juk en emmer. Bij het begin van de bepaling rust het mes met een druk kleiner dan 20 gram op de bovenzijde van de te onderzoeken staaf. De gevoeligheid van de beweging van de emmer omhoog en naar beneden is bij een gelijkheid van het gewicht R en het gewicht van raam, juk en emmer samen ongeveer 50 tot 75 gram. Door deze gewichten iets verschillend te nemen is de gevoeligheid vergroot tot minder dan 20 gram, welke gevoeligheid in elk geval meer dan groot genoeg is.

Tijdens de meting vloeien hagelkorrels in de emmer L uit een apparaat, dat eveneens in figuur 3 (zie ook fig. 8) is aangegeven en dat, ofschoon wellicht aan velen wel bekend, hieronder beschreven zal worden. Dit apparaat bestaat uit een bus S, die naar onderen trechtervormig toeloopt en uitloopt in een schuin naar beneden lopende buis. Aan de buis zijn 3 staafijzeren poten gelast, die van onderen door een kruisstuk zijn verbonden. Loodrecht op deze buis is een plaat U gesoldeerd met een ronde opening ter plaatse van de uitmonding van buis T. Deze plaat U heeft naar buiten kleine omgeslagen randjes, waarin een stalen plaatje V kan bewegen, dat op zijn beurt bevestigd is aan een beugel W, die verder naar onderen uitloopt in een ronde stalen staaf X. De plaat V is met de schroefjes Y op de beugel W vastgeschroefd, terwijl de openingen in dit plaatje langwerpig zijn, waardoor het op verschillende hoogten kan worden vastgezet. Hierdoor komt, als de beugel W over een bepaalde hoogte wordt opgetrokken, slechts een bepaald gedeelte van de doorsnede van de toevoerbuis T open, waardoor de hageltoevoer dus op een bepaald gewicht per seconde kan worden ingesteld. De staaf X, die over de laatste 2 cm dunner is afgedraaid, gaat door een opening Z in een verlengstuk a′ van een van de verbindingsstukken, die de 3 poten, waarop het apparaat rust, onderling verbinden. Vrijwel geheel onder aan de staaf is een pen b′ door deze staaf gestoken, waarvan de lengte zo groot is, dat deze bij optrekken van de staaf niet meer door de opening Z kan, waardoor de beugel en staaf dus slechts over een bepaalde hoogte kunnen worden opgetrokken. Door middel van een scharnier c′ aan het uiteinde van het verlengstuk a′ kan verder een staaf d′ van de, in figuur 3 aangegeven vorm bewegen. Aan deze staaf d′ is aan de onderzijde de veer e′ bevestigd. In de staaf X is verder de inkeping f′ aangebracht. Wordt nu de staaf opgetrokken, dan zal de staaf niet geheel terugvallen, aangezien de staaf d′ door middel van de inkeping f′ dit belet. Hierdoor wordt het plaatje over een bepaalde hoogte opgetild, waardoor een bepaald gedeelte van de doorsnede van buis T vrijkomt en dus een bepaald gewicht aan hagelkorrels per seconde hier doorheen kan vloeien. Dit apparaat wordt nu zo geplaatst, dat de staaf d′ zich juist onder het midden van de emmer L bevindt. Breekt de te onderzoeken staaf, dan valt de emmer L op de staaf d′, waardoor het uiteinde uit de inkeping in de staaf X wordt getrokken, en deze staaf dan naar beneden valt, daartoe nog geholpen door een

veer g', die aan de haakjes h' is bevestigd. Hierdoor wordt het plaatje V naar beneden getrokken, waardoor de opening van de buis T wordt afgesloten en dus de hageltoevoer stopt.

De plaat V is met de schroefjes Y nu zo aan de beugel W bevestigd, dat, als het apparaat in werking is, rond 200 gram hagel per seconde uit de vrijgekomen opening van de buis T vloeit. Om nu na te gaan, in hoeverre deze uitvloeiingssnelheid van de hagelkorrels nog van de hoeveelheid korrels in de bus S aanwezig afhangt, werd zowel van 10000 als van 15000 gram hagelkorrels in de bus S, in de trechtervormige vernauwing daarvan en in de buis T uitgegaan. Nagegaan werd nu telkens hoeveel gram hagelkorrels [96] na 5, na 10, na .... enz. seconden uit het apparaat waren gevloeid, waarbij na elke meting natuurlijk alle hagels weer in de bus S terug worden gebracht. De verkregen resultaten zijn in tabel 12 weergegeven.

TABEL 12

Tijd van uitvloeiing in seconden	Uitgevloeide hoeveelheid korrels in grammen [1]		Tijd van uitvloeiing in seconden	Uitgevloeide hoeveelheid korrels in grammen [2]	
	Totaal	Gemiddelde per seconde		Totaal	Gemiddelde per seconde
Uitgegaan werd van 10000 g			Uitgegaan werd van 15000 g		
5	985.6	197.1	5	1026.9	205.4
10	2009.0	200.9	10	2009.7	200.9
15	2939.0	196.0	15	2934.3	195.6
20	3974.7	198.7	20	3950.6	197.5
25	4969.3	198.8	25	4998.2	199.9
30	5945.0	198.2	30	5952.3	198.4
35	6886.0	196.7	35	6941.0	198.3
40	7932.4	198.3	40	7956.5	198.9
45	8924.0	198.3	45	8942.0	198.7
51	10000.0	196.0	50	9962.0	199.7
			55	10986.0	199.9
			60	11986.7	199.8
			65	12964.0	199.3
			70	13990.1	199.8
			75	15000.0	197.4
Time of flowing out in seconds	*Total*	*average per second*	*Time of flowing out in seconds*	*Total*	*average per second*
	Quantity of pellets flowed out in grams			*Quantity of pellets flowed out in grams*	

Opmerking: Aangezien soms zeer hoge buigvastheden voorkomen, was de beschikbare hoeveelheid hagel van één doorsnede onvoldoende. Hierom moest deze hagel gemengd worden met iets grovere hagel, aangezien van dezelfde doorsnede niet meer in de handel aanwezig was. De druktoeneming werd daardoor verhoogd tot 215 gram per seconde.

[96] Het gewicht van 1000 hagelkorrels bedraagt 113.9 gram.

Uit tabel 12 blijkt, dat de uitvloeisnelheid onafhankelijk is van de hoeveelheid hagelkorrels, die bij het begin van de uitvloeiing in het apparaat aanwezig is, terwijl gedurende deze uitvloeiing deze uitvloeisnelheid constant blijft. Deze uitvloeisnelheid is op rond 200 gram per seconde te stellen, waarmede dus ook de druk op de te onderzoeken staaf toeneemt. Later werd deze toeneming verhoogd tot 215 gr per seconde. Een invloed van deze toeneming werd niet waargenomen.

De meting van de buigvastheid werd nu als volgt verricht:

Nadat het gewicht van de gedroogde staaf evenals de afmetingen daarvan was bepaald, werd deze aan weerszijden aan de bovenkant en in het midden aan de onderkant bijgevijld, zodat de messen goed tegen de staaf aansloten. Ook de inkepingen werden zo nodig iets uitgevijld. De staaf werd dan omgekeerd (de breedste zijde boven) midden op de messen geplaatst, zodat het mes in het raam M juist midden op de staaf tussen de inkepingen rustte. De beugel W van het hageluitvloeiapparaat werd nu omhoog getrokken, waardoor dus de hagel in de emmer L vloeide tot de staaf brak, waardoor automatisch de hageltoevoer werd stopgezet. De afmetingen van het breukvlak van de staaf werden nu gemeten evenals het gewicht van de zich in de emmer L bevindende hagelkorrels. Nadat alle staven van de betreffende serie waren onderzocht, werd van de gebroken staven hier en daar een weinig afgebroken, waarin dan het vochtgehalte werd bepaald (bij 105° C).

Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat ofschoon de staaf wel meestal tussen de inkepingen brak, dit toch niet altijd het geval was. Aangezien dit laatste nog relatief vrij veel voorkwam, werden de metingen afkomstig van deze staven niet geschrapt, tenzij zij geheel uitlopende waarden gaven, of het breukvlak onregelmatig was. Zie in dit verband ook de in sub a van 2 van dit hoofdstuk gemaakte opmerking. In deze laatste gevallen werd natuurlijk, voorzoverre de verkregen resultaten niet werden geschrapt, het werkelijke breukvlak bij de berekening van de buigvastheid in rekening gebracht.

Op blz. 68 en 69 zijn in tabel 13 en 14 de volledige resultaten van de metingen van een serie korte en lange staven als voorbeeld medegedeeld.

Bij de tabellen 13 en 14 op blz. 68 en 69 kan nog worden opgemerkt, dat als het breukvlak goed genoemd wordt, de staaf juist bij de inkepingen gebroken is. Het breukvlak is dan een rechthoek. Indien dit niet het geval was, werd dit vermeld als: „iets naast", „geheel naast" enz.

De buigvastheid wordt berekend met behulp van de formule 5. Zoals reeds werd opgemerkt, leek het mij gewenst deze formule te controleren. De keuze voor het gebruik van korte en lange staven staat echter ook in verband met de bepaling van de foutengrens. Gezien de betrekkelijk geringe hoeveelheden materiaal, die beschikbaar waren en de veel grotere hoeveelheden daarvan, die voor de lange staven nodig zijn, heeft het gebruik van korte staven voordelen. Volgens KOHL[97] echter hadden korte staven een grotere foutengrens dan lange staven, waarom hij aan de lange

[97] l.c. noot 78.

TABEL 13 60 % fractie < 16 μ van de rivierkleigrond + zandfractie 208—295 μ, + de zandfractie van de rivierkleigr. Korte Staven; gewicht van één gedroogde staaf gemiddeld 97.6 gram. Droogtemperatuur 40° C. Vochtgehalte droge staven 2.46 %.

No.	Uiterlijk	Lengte l_1' en l_1'' in cm	Breedte l' en l'' in cm	Dikte h in cm	Druk (P) bij breken in grammen	Breukvlak			Buigvastheid in kg/cm²
						Uiterlijk	Breedte b in cm	Dikte h in cm	
I	goed	15.5 13.7	3.65 2,41	1.21	7664	goed	2.64	1.18	39.1
II	goed	15.6 13.7	3.65 2,40	1.21	9222	goed	2.62	1.18	45.5
III	goed	15.6 13.7	3.66 2.43	1.23	9384	goed	2.64	1.19	45.2
IV	goed	15.7 13.7	3.66 2.42	1.23	8333	goed	2.56	1.19	41.4
V	goed	15.6 13.7	3.65 2.43	1.21	8117	goed 2 luchtgaatjes	2.77	1.18	37.9
VI	goed	15.5 13.7	3,68 2.44	1.21	8011	goed	2.65	1.20	37.8
VII	goed	15.7 13.7	3 64 2.45	1.21	8219	goed	2.61	1.13	44.4
VIII	goed	15.6 13.7	3.60 2.45	1.21	7478	iets scheef	2.82	1.15	36.1
IX	goed	15.5 13.7	3.64 2.40	1.20	8565	goed	2.57	1.17	43 8
Number	*Appearance*	*Length l_1' and l_1'' in cm*	*Width l' and l'' in cm*	*Thickness h in cm*	*Pressure (P) of rupture in grams*	*Appearance*	*Width b in cm*	*Thickness h in cm*	*Modulus of rupture by bend in kg/cm²*
						Plane of rupture			

Gemiddelde buigvastheid 41.2. Middelbare fout van het gemiddelde 1.20 of 2.9 % van het gemiddelde. *(Average modulus of rupture by bend 41.2. Standard deviation of the mean 1.20 or 2.9 % of the mean).*

Opmerking: De afstand van de scherpe kanten van de messen, waarop de staaf rust, bedraagt 12.0 cm. *(Note: The distance of the knife-edges, on which the bar rests, is 12.0 cm).*

TABEL 14 50 % fractie < 16 μ van de leemgrond + fractie 16—43 μ + de zandfractie van de leemgrond. Lange Staven; gewicht van één gedroogde staaf gemiddeld 166.5 gram. Droogtemperatuur 40° C. Vochtgehalte droge staven 1.44 %.

No.	Uiterlijk	Lengten l_1' en l_1'' *in cm*	Breedten l' en l'' *in cm*	Dikte h *in cm*	Druk P bij breken in grammen	Breukvlak			Buigvastheid in kg/cm²
						Uiterlijk	Breedte b *in cm*	Dikte h *in cm*	
I	goed	25.0 23.2	3.62 2.40	1.20	6402	goed	2.50	1.14	59.1
II	goed	24.8 23.1	3.63 2.40	1.19	5433	goed	2.54	1.14	49.4
III	goed	25.0 23.1	3.62 2.42	1.19	5990	goed (luchtholte)	2.55	1.15	53.3
IV	goed	25.0 23.1	3.63 2.40	1.20	6355	iets naast	2.65	1.14	55.4
V	goed	25.1 23.2	3.66 2.41	1.20	6733	goed	2.57	1.16	58.4
Number	*Appearance*	*Length l_1' and l_1'' in cm*	*Width l' and l'' in cm*	*Thickness h in cm*	*Pressure (P) of rupture in grams*	*Appearance*	*Width b in cm*	*Thickness h in cm*	*Modulus of rupture by bend in kg/cm²*
						Plane of rupture			

Gemiddelde buigvastheid 58.4. Middelbare fout van het gemiddelde 1.77 of 3.2 % van het gemiddelde. *(Mean modulus of rupture by bend 41.2. Standard deviation of the mean 1.77 or 3.2% of the mean).*

Opmerking: De afstand van de scherpe kanten van de messen is 20.0 cm. *(Note: The distance of the knife-edges is 20.0 cm).*

TABEL 15

Onderzoek	Korte staven			Lange staven		
	Aantal series	Aantal staven per serie	Buigvastheid in kg/cm²	Aantal series	Aantal staven per serie	Buigvastheid in kg/cm²
INVLOED SLIBGEHALTE I			*(Influence claycontent)*			
Rivierkleigrond + fractie 16—43 μ	19	8.3	44.2	25	4.4	44.2
Rivierkleigrond + fractie 208—295 μ	17	7.8	32.1	22	4.4	33.8
Leemgrond + fractie 16—43 μ	18	7.9	46.3	20	4.8	51.0
Leemgrond + fractie 208—295 μ	16	7.1	35 9	20	4.5	34.0
	Gem.	*7.9*	*39.6*	Gem.	*4.6*	*40.8*
INVLOED TEMPERATUUR DROGEN II			*(Influence temperature of drying)*			
Rivierkleigrond 30 of 60% slib; met fractie 16—43 μ en 208—295 μ	14	7.0	83.0	14	6.5	83.2
Leemgrond 30 of 60 % slib; met fractie 16—43 μ en 208—295 μ.	12	7.8	49.3	12	7.0	49.3
	Gem. *(average)*	*7.4*	*66.2*	Gem. *(average)*	6.7	*66.3*
Research	*Number of series*	*Number of bars per series*	*Modulus of rupture by bend in kg/cm²*	*Number of series*	*Number of bars per series*	*Modulus of rupture by bend in kg/cm²*
	Short (usual) bars			*Long bars*		

staven, die met de door mij gebruikte lange staven overeenkomen, de voorkeur gaf.

Het leek mij gewenst dit nader te onderzoeken, mede in verband met het feit, dat het aantal staven in verband met de beschikbare hoeveelheid grond, die per serie onderzocht kon worden, bij het gebruik van lange staven in elk geval kleiner zou moeten zijn dan bij het gebruik van korte staven. Korte en lange staven werden daarom dan ook beide gebruikt bij het reeds eerder genoemde onderzoek naar de invloed van het slibgehalte en van de droogtemperatuur. De beide andere modellen werden later alleen voor de contrôle van formule 5 onderzocht en dan ook slechts zo vaak gebruikt als voor het vaststellen van de gegevens nodig was.

In tabel 15 zijn nu de gemiddelde waarden van beide genoemde hoofdonderzoekingen aangegeven.

Bij tabel 15 kan worden opgemerkt, dat in verband met het verschillend aantal series, die van hetzelfde materiaal zijn onderzocht, eerst de gemiddelde buigvastheid voor hetzelfde materiaal is berekend en daarvan het eindgemiddelde.

Uit tabel 15 volgt, dat gemiddeld genomen bij de bepaling van de buigvastheid voor de lange en de korte staven dezelfde waarden zijn verkregen. Wellicht is het interessant hieraan toe te voegen, dat voor onderzoek I de resultaten van 545 korte en 392 lange staven in rekening zijn gebracht en voor onderzoek II 192 korte en 175 lange staven. Aangezien in deze gevallen de afstand van de scherpe kanten van de messen, waarop de staven rustten zeer verschillend was, nl. voor de lange en korte staven resp. 20.0 en 12.0 cm, geeft formule 5 de invloed van deze afstand (l) dus op de juiste wijze weer.

In tabel 16 zijn nu bij enkele onderzoekingen 3 soorten staven vergeleken, nl. de reeds eerder genoemde korte staven (normale staven), verder staven, die alleen van de korte staven verschillen, doordat zij dunner zijn (platte staven) resp., doordat zij smaller (smalle staven) zijn. Hierbij werden steeds 1 staaf van elke soort uit één afzonderlijk geknede massa gevormd, terwijl van iedere staaf 10 stuks werden gevormd. Deze staven werden dan op de reeds vroeger aangegeven wijze aan de lucht voorgedroogd en nagedroogd in een droogstoof bij 70° C.

Neemt men de belangrijk verschillende doorsneden van de breukvlakken in aanmerking, dan blijkt uit tabel 16, dat de afmetingen van deze doorsneden (d.w.z. de breedte en de dikte daarvan) geen invloed op de buigvastheid uitoefenen. De onderlinge verschillen zijn zeer gering en bovendien onregelmatig. Uit het voorgaande volgt dan ook, dat de buigvastheid onafhankelijk is van de afmetingen van de staaf en tevens dat formule 5 de samenhang tussen de buigvastheid en de afstand van de steunpunten, de breedte en hoogte van het breukvlak juist weergeeft. Door de afmetingen van het breukvlak van de gedroogde staven in de formule voor de berekening van de buigvastheid in te voeren, wordt dus tevens de krimp op de juiste wijze in rekening gebracht. Deze grootheid is dus bijna een absolute grootheid: alleen de eventuele afhankelijkheid van de snelheid van de druktoeneming op de staaf maakt deze

TABEL 16

Onderzochte grond	Aantal series	Aantal staven per serie	Buigvastheid in kg/cm²	Middelbare fout van het gemiddelde in %
Rivierkleigrond + fractie 16—43 μ; 30 % slib				
Normale staven	1	10	46.4	3.9
Platte staven	1	10	44.3	4.1
Smalle staven	1	10	43.3	4.6
Rivierkleigrond + fractie 208—295 μ; 30 % slib				
Normale staven	1	10	27.8	2.4
Platte staven	1	10	29.0	2.5
Smalle staven	1	10	27.7	2.4
Leemgrond + fractie 16—43 μ; 30 % slib				
Normale staven	1	10	32.3	2.5
Platte staven	1	10	33.6	2.9
Smalle staven	1	10	34.3	1.8
Leemgrond + fractie 208—295 μ; 60 % slib				
Normale staven	1	10	82.4	3.2
Platte staven	1	10	78.5	1.1
Smalle staven	1	10	80.5	2.5
Gemiddeld:				
Normale staven	4	10	47.2	3.0
Platte staven	4	10	46.3	2.7
Smalle staven	4	10	46.5	2.8
Tested soil	*Number of series*	*Number of bars per series*	*Modulus of rupture by bend in kg/cm²*	*Standard deviation of the mean in %*

Opmerking: De afmetingen van de breukvlakken van de normale staven zijn zonder krimp: h 12.5 mm; b 25 mm; van de platte staven h 10 mm; b 25 mm; en van de smalle staven h 12.5 mm; b 15 mm. De lengte der staven was dezelfde; de afstand der steunpunten steeds 12.0 cm. Alle gebruikte grond- en zandfractiemengsels bevatten naast H'-ionen alleen Ca''-ionen in uitwisselbare vorm (pH 6.5 à 7.0). De staven werden steeds op 70° C gedroogd.

Note: The dimensions of the planes of rupture of the usual bars are without shrinkage: h 12.5 mm; b 25 mm; of the flat bars h 10 mm; b 25 mm; and of the narrow bars h 12.5 mm; b 15 mm. The lengths of the bars are the same; the distances of the knife-edges are always 12.0 cm. All the used mixtures of soil- and sandfractions contain except H'-ions only exchangeable Ca''-ions (pH 6.5 à 7.0). The bars are always dried at 70° C.

TABEL 17

Onderzoek	Aantal enkelvoudige series	Korte staven		Lange staven	
		Gemiddeld aantal staven per serie	M.f. van het gemiddelde van één serie in % van dat gemiddelde	Gemiddeld aantal staven per serie	M.f. van het gemiddelde van één serie in % van dat gemiddelde
INVLOED SLIBGEHALTE I		*(Influence claycontent)*			
Droogtemperatuur 40° C					
Rivierkleigrond + fractie 16— 43 μ a	51	8.4	3.6	4.6	4.4
„ + „ 208—295 μ b	41	7.9	3.0	4.4	4.1
Leemgrond + „ 16— 43 μ c	38	7.9	2.9	4.8	3.7
„ + „ 208—295 μ d	38	7.1	2.8	4.5	4.1
	Gem.	*7.9*	*3.1*	*4.6*	*4.1*
INVLOED TEMPERATUUR DROGEN II		*(Influence temperature of drying)*			
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib; met fractie 16—43 μ of 208—295 μ.					
Droogtemperatuur 40° C	8	8.5	2.3	7	3.4
Idem 70° C	12	6.8	4.9	6.7	3 5
Idem 100° C	8	5.8	3.1	5.8	4.6
	Gem.	*7.0*	*3.6*	*6.5*	*3.8*
Leemgrond met 30 en 60 % slib; met fractie 16—43 μ of 208—295 μ.					
Droogtemperatuur 40° C	8	8 8	3.5	7.5	2.6
Idem 70° C	8	7.8	3.7	7 0	3.5
Idem 100° C	8	7.0	4.9	6 5	5.2
	Gem.	*7.8*	*4.0*	*7.0*	*3.8*
INVLOED KATIONEN IV		*(Influence cations)*			
Droogtemperatuur 70° C. $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden					
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib; met fractie 16—43 μ en 208—295 μ.	10	9.5	2.9		
Leemgrond met 30 en 60 % slib; met fractie 16—43 μ en 208—295 μ.	11	9.5	2.8		
Research	*Number of singular series*	*Mean number of bars per series*	*Standard deviation of the mean of one series in % of that mean*	*Mean number of bars per series*	*Standard deviation of the mean of one series in % of that mean*
		Short usual bars		*Long bars*	

Opmerking: Het *materiaal* van onderzoek I en II bevatte alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen, onderzoek IV $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen + $H^{\cdot}$-ionen (pH ± 6.5 à 7). Onder „enkelvoudige serie" wordt één serie lange *of* korte staven verstaan.

Note: The material of research I and II only contained exchangeable $H^{\cdot}$-ions, research IV $Ca^{\cdot\cdot}$-ions and $H^{\cdot}$-ions (pH ± 6.5 à 7). By „singular series" we understand one series of long or short bars.

TABEL 18

Onderzoek	Aantal series	De middelbare fout van het gemiddelde van één serie bedraagt in % gemiddeld:													
		0-0.9		1.0-1.9		2.0-2.9		3.0-3.9		4.0-4.9		5.0-5.6		6.0 en hoger	
		aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %
I korte staven 40° C	77	0	0	15	19	32	42	14	18	11	14	2	3	3	4
I lange staven 40° C	91	3	3	5	6	23	25	16	18	22	24	9	10	13	14
II korte staven 40° C	8	0	0	1	12	3	38	2	25	2	25	0	0	0	0
II lange staven 40° C	8	6	0	1	12	2	25	5	63	0	0	0	0	0	0
II korte staven 70° C	10	0	0	0	0	1	10	3	30	3	30	2	20	1	10
II lange staven 70° C	10	0	0	0	0	4	40	4	40	1	10	1	10	0	0
II korte staven 100° C	8	0	0	0	0	3	38	1	12	1	12	2	25	1	13
II lange staven 100° C	8	0	0	0	0	0	0	2	25	2	25	3	38	1	12
IV korte staven 70° C	21	0	0	4	19	7	33	7	33	2	10	1	5	0	0
Research	*Number of series*	*Number*	in %	*Number*	in %	*Number*	in %	*Number*	in %	*Number*	in %	*Number*	in %	*Number*	in %
		0-0.9		1.0-1.9		2.0-2.9		3.0-3.9		4.0-4.9		5.0-5.6		6.0 en hoger	
		The standard deviation of the mean of one series in % on an average:													

grootheid nog tot een empirische grootheid, tenzij deze afhankelijkheid verwaarloosd kan worden, hetgeen niet waarschijnlijk lijkt en overigens niet verder werd nagegaan.

Ook hier willen we tot slot de foutengrens van de bepaling behandelen. Hierbij zullen we ons evenals bij de drukvastheid weer beperken tot het nagaan van de middelbare fouten van het gemiddelde van één serie, welke fouten ook nu weer met behulp van formule 1 zijn berekend.

In tabel 17 zijn de middelbare fouten van dezelfde hoofdonderzoekingen medegedeeld, als ook bij de beschouwing van de middelbare fouten van de drukvastheid in aanmerking zijn genomen, met uitzondering van het onderzoek naar invloed van de fijnheid van de zandfractie (U-cijfer), aangezien deze invloed niet met behulp van de buigvastheid werd nagegaan. In deze tabel zijn ook enkele resultaten van een onderzoek opgenomen, waarbij de invloed van de kationen werd nagegaan. Voor dit laatste onderzoek werden geen lange staven meer gebruikt.

De onderzoekingen met de lange en de korte staven zijn afzonderlijk gehouden. Uit tabel 17 blijkt, dat het aantal staven per serie bij de korte staven groter was dan bij de lange staven, hetgeen verband houdt met de beschikbare hoeveelheid materiaal. Bij een vergelijking van de foutengrenzen van de bepaling verkregen met korte en met lange staven dient men daarmede rekening te houden. Voor dit onderzoek is dit verschil in aantal staven per serie van minder belang, aangezien de hoeveelheid materiaal toch niet voldoende is om 10 lange staven naast de modellen voor de bepaling van alle andere physische grootheden te maken, hetgeen wel het geval is als korte staven worden gebruikt, zodat het aantal korte staven van dit onderzoek altijd groter zal zijn dan het aantal lange staven zou kunnen bedragen.

Uit tabel 17 blijkt, dat de foutengrens van de bepaling met de korte staven voor onderzoek I kleiner is dan die met de lange staven, hetgeen ongetwijfeld mede verband houdt met het geringere aantal lange staven per serie. Voor het onderzoek II is gemiddeld genomen de foutengrens even groot, terwijl het aantal staven per serie voor de lange staven iets kleiner is dan voor de korte staven; dit verschil is echter slechts klein. Voor de verschillende droogtemperaturen blijkt voor 40° C voor korte en lange staven de middelbare fout van het gemiddelde resp. 2.9 en 3.0 % te zijn; voor 70° C resp. 4.4 en 3.5 % en voor 100° C resp. 4.0 en 4.9 %. Uit het bovenstaande volgt dan ook wel, dat de korte staven in geen geval een grotere en waarschijnlijk ongeveer eenzelfde middelbare fout zullen geven als de lange staven, zodat aan het gebruik van korte staven in dit opzicht geen bezwaren zijn verbonden. Aangezien de korte staven het voordeel hebben, dat hiervoor per staaf veel minder materiaal nodig is, werd dan ook aan het gebruik van korte staven de voorkeur gegeven.

Verder blijkt uit het bovenstaande, dat de middelbare fout van het gemiddelde voor een droogtemperatuur van 40° C het kleinste is (gem. 3.0 %), voor 70° C iets groter is (gem. 4.0 %) en voor 100° C het grootste (gem. 4.5 %). Wat de middelbare fout betreft, zou voor deze natuurkundige grootheid de voorkeur gegeven moeten worden aan een droogtemperatuur van 40° C.

Het aantal onderzochte series is echter te klein om dit met zekerheid vast te stellen, aangezien voor onderzoek I (droogtemperatuur 40° C) gemiddeld genomen wel is waar ook (voor de korte staven althans) een foutengrens van omstreeks 3.0 % is gevonden; voor onderzoek IV (droogtemperatuur 70° C) werd echter eveneens een foutengrens van dezelfde grootte-orde bepaald. Wat de m.f. betreft bestaat er dus geen voorkeur tussen een droogtemperatuur van 40° C of 70° C. Zie hiervoor ook hoofdstuk II. 1. Bij deze tabel kan verder nog worden opgemerkt, dat voor onderzoek I rond 1850, voor onderzoek II rond 750 staven en voor onderzoek IV rond 200 staven zijn onderzocht. Dit aantal is voor het gehele onderzoek I iets groter geweest dan in tabel 15 is aangegeven, aangezien soms nieuwe mengmonsters zijn gemaakt en deze voor het in tabel 15 vermelde overzicht uit de aard der zaak onbruikbaar zijn.

Verder is nagegaan, hoe de grootte van de middelbare fouten varieert, waarbij we ook nu aan de hoofdonderzoekingen I, II en IV zullen vasthouden. Hierbij zullen van het onderzoek II de middelbare fouten van het gemiddelde verkregen bij de bepalingen van staven, die resp. bij 40°, 70° en 100° C gedroogd waren, afzonderlijk worden gehouden.

In tabel 18 is het aantal en het percentage aangegeven van de middelbare fouten van het gemiddelde binnen de aangegeven grenzen.

Uit tabel 18 blijkt, dat voor onderzoek I bij de lange staven nog een belangrijk aantal series voorkomen met middelbare fouten groter dan 5.0 % van het gemiddelde, hetgeen samenhangt met het relatief geringe aantal onderzochte staven per serie. Ziet men daarvan af dan blijkt het aantal series met middelbare fouten van het gemiddelde groter dan 4.9 % van het gemiddelde zo gering in aantal te zijn, dat sedert dan ook de eis gesteld is, dat deze fout kleiner dan 5.0 % moet zijn. Is deze fout groter dan wordt de serie geschrapt en herhaald.

Voor onderzoek II (invloed droogtemperatuur) blijkt uit tabel 18, dat het percentage van het totaal onderzochte aantal series, waarbij middelbare fouten van meer dan 5.0 % zijn waargenomen, voor de bij 40° C gedroogde staven 0 % is, daarentegen voor de bij 70° C gedroogde staven gemiddeld 20 % en voor de bij 100° C gedroogde staven gemiddeld 44 %. Uit tabel 18 blijkt echter ook, dat het aantal onderzochte series te gering is om de invloed van de droogtemperatuur op de middelbare fout van het gemiddelde van één serie met zekerheid vast te stellen.

Tenslotte is in diagram 2 het verband nagegaan, dat er tussen de absolute m.f. van het gemiddelde van één serie van alle onderzochte series en de buigvastheid bestaat.

Uit diagram 2 blijkt, dat zoals te verwachten was, er ook nu een verband tussen de absolute m.f. en de buigvastheid bestaat. Ook nu neemt de absolute m.f. met de buigvastheid toe.

e. De slagbuigvastheid (SBV)

1. Literatuuroverzicht

Zien we van de benaming „ware" en „schijnbare" slagbuigvastheid zoals deze door BARTSCH (zie verder hieronder) zijn ingevoerd af, dan

DIAGRAM 2 Verband tussen de absolute, middelbare fout van het gemiddelde van één serie en de brugvastheid.

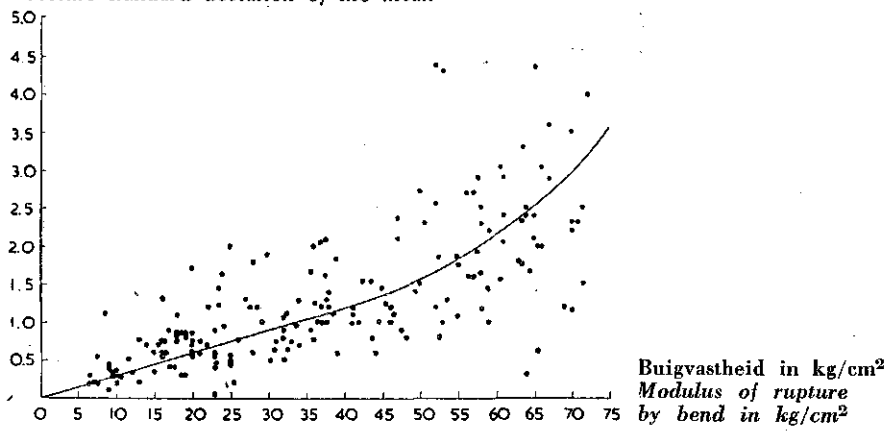


DIAGRAM 2 *Connection between the absolute standard deviation of the mean of one series and the modulus of rupture by bend.*

wordt onder slagbuigvastheid[98] algemeen de arbeid verstaan, die een slingerhamer moet verrichten om de te onderzoeken staaf bij zijdelings in het midden treffen te breken.

LUNGE—BERL[99] merkt hierover onder „Tonwaren und Porzellan" (blz. 756 e.v.) nog het volgende op:

De doorsnede van de onderzochte staven dient rechthoekig te zijn, als vrije lengte wordt 120 mm aangenomen en als doorsnede 1 cm². De slagbuigvastheid wordt gemeten met een slingerhamer; bijv. die van L. SCHOPPER, Leipzig met 10 kgcm arbeidsvermogen.

Onder „Portland cement" (blz. 904 e.v.) wordt nog opgemerkt, dat de slingerhamer op een bepaalde hoogte (160° uit de verticale of ruststand) wordt losgelaten. De te onderzoeken staaf ligt juist op het laagste punt van deze slingerhamer, waar dus het arbeidsvermogen van beweging maximaal is. Na het doorslaan van de staaf stijgt de slingerhamer weer en neemt daarbij een wijzer mede, die over een schaalverdeling loopt. Uit de stijghoogte kan dan met behulp van een tabel worden afgeleid, welk deel van het maximaal arbeidsvermogen van de slingerhamer na het doorslaan van de staaf nog over is. Deze laatste hoeveelheid afgetrokken van het maximale arbeidsvermogen van de slingerhamer geeft dan de slagbuigvastheid in kgcm aan.

Onder specifieke slagbuigvastheid[100] wordt dan de slagbuigvast-

98 Dit is de „schijnbare" slagbuigvastheid volgens BARTSCH.

99 l.c. noot 62.

100 Dit wekt de indruk, alsof de slagbuigvastheid evenredig met de doorsnede van de gebruikte staaf is, hetgeen echter zonder meer geenszins het geval is.

heid per cm^2 verstaan. Van deze onderzoekingen werden staven gebruikt van 10 cm lengte en 5 cm^2 doorsnede. Het apparaat moet daarbij horizontaal zijn opgesteld, evenals de as van de slingerhamer. Bij een vrijhangende en stilhangende slingerhamer en bij raking van de sleepwijzer, moet deze laatste op nul staan. Laat men de slingerhamer los, terwijl deze geen staaf treft, die doorgeslagen moet worden, dan moet de sleepwijzer stijgen tot het maximale arbeidsvermogen van de slingerhamer (gewoonlijk dus tot 10 kgcm).

SOMMERFELT [101] geeft geen bijzondere opmerkingen over deze grootheid. De „Material-Prüfungsausschusz der Deutschen Keramischen Gesellschaft" [102] deelt hierover nog het volgende mede:

De slagbuigvastheid is een dynamische bepaling en dient ter bepaling van de weerstand tegen een stootsgewijze druk. Als proefstaven worden staven van 120 mm lengte en 16 mm doorsnede gebruikt. Voor de bepaling van de slagbuigvastheid wordt een slingerhamer van 10 kgcm arbeidsvermogen aanbevolen. De slagbuigvastheid wordt uitgedrukt in kgcm per cm^2 doorsnede, waarbij het gemiddelde van verscheidene bepalingen wordt genomen [103]. Hierin wordt tevens enkele oudere literatuur aangegeven, waarvoor naar de betreffende publicatie verwezen wordt.

Belangrijke onderzoekingen over deze grootheid zijn verricht door BARTSCH [104]. Hieruit kan het volgende worden ontnomen:

Bij de bepaling van de slagbuigvastheid wordt algemeen aangenomen, dat het totale door het proeflichaam opgenomen arbeidsvermogen voor de breuk van dit lichaam heeft gediend. Dit kan echter geenszins het geval zijn, aangezien een deel in kinetische energie omgezet wordt, hetgeen blijkt uit de weggeslingerde brokstukken van de proefstaven. De tot nu toe gebruikte methoden bepalen dan ook niet de ware slagbuigvastheid, maar de schijnbare, die dus de som is van de ware slagbuigvastheid (arbeid nodig voor breuk) en van de in kinetische energie omgezette arbeid. BARTSCH heeft zich dan ook tot doel gesteld de ware slagbuigvastheid, dus de arbeid, die nodig is om alleen de breuk te veroorzaken, te bepalen. De arbeid, die door de steunpunten wordt opgenomen, waartegen de staaf rust, wordt daarbij verwaarloosd.

De ware slagbuigvastheid kan op 2 manieren bepaald worden, nl. door:
1. Er voor zorg te dragen, dat geen slagarbeid omgezet wordt in kinetische energie of door:
2. het gedeelte van de slagbuigarbeid te bepalen, die in kinetische energie wordt omgezet.

Bij het volgen van de onder sub 1 genoemde methode moet de valhoogte van de slingerhamer zodanig zijn, dat juist geen brokstukken van

101 l.c. noot 64.
102 l.c. noot 64a, blz. 49.
103 Zie in dit verband ook noot 100.
104 OTTO BARTSCH. Ueber wahre und scheinbare Schlagbiegefestigkeit. *Ber. Deutschen Keramischen Gesellsch. 17*, 280, 1936; zie ook van dezelfde schrijver in hetzelfde tijdschrift *18*, 465, 1937; Ueber der Schlagbiegefestigkeit von Keramischen Massen und Gläsern und ihre Beziehung zur Temperaturwechselbeständigkeit von Schamottenmassen.

de gebroken staaf weggeslingerd worden. Deze critische valhoogte werd experimenteel bepaald door de valhoogte telkens een weinig te verlagen tot het gewenste punt bereikt werd.

De onderzoekingen werden uitgevoerd met een slingerhamer („Pendelhammer") van SCHOPPER met 10 kgcm maximaal arbeidsvermogen, die echter van een apparaat voorzien was, waardoor de valhoogte van de slingerhamer willekeurig kon worden gekozen. Hij bepaalde nu eerst bij een verschillende valhoek van de slingerhamer (maximaal is de valhoek 160°) de schijnbare slagbuigvastheid, d.w.z. dus het verschil van de energie behorende bij de valhoek en bij de maximale stijghoek van de hamer, nadat de staaf doorgeslagen is. Bij iedere valhoek werden 10 proefstaven gebruikt, waarvan het gemiddelde werd genomen. De staven waren 100 mm lang en hadden een vierkante doorsnede van 20 bij 20 mm. Zij bestonden uit chamottemassa's. De staven waren bij 1400° C gebakken.

Uit dit onderzoek bleek, dat deze schijnbare slagbuigvastheid des te groter is, naarmate de valhoek van de slingerhamer groter is. Naarmate de valhoek dus groter is, neemt het gedeelte van de energie, dat in de kinetische energie van de weggeslingerde brokstukken wordt opgenomen, toe. Verder bleek hieruit, dat de kleinste valhoek van de slingerhamer, waarbij dus juist de staaf gebroken wordt, echter geen energie meer in kinetische energie van weggeslingerde brokstukken wordt omgezet, belangrijk lager is dan 160°. Verder bleek de ware slagbuigvastheid belangrijk kleiner te zijn (bij de onderzochte massa's nl. 2.5 à 3.5 maal kleiner) dan de ware slagbuigvastheid. Een in het algemeen liniair verband bleek te bestaan, indien men in een diagram de door de proeflichamen opgenomen energie (schijnbare slagbuigvastheid) uitzette tegen de totale aanwezige energie bij de betreffende valhoek van de slingerhamer. Hieruit bleek tevens, dat een grote spreiding van de resultaten optrad, indien de slingerhamer na de breuk van 10 tot 40° boven zijn diepste stand uitsteeg. Verder bleek, dat de hellingshoek, van de over het algemeen rechte lijnen in bovengenoemd diagram bepaald werd door het gewicht van de proeflichamen, hetgeen bleek uit een onderzoek met in het midden in tweeën gedeelde staven, waarvan de ware slagbuigvastheid nul is en waarbij de nulpunten op de lijnen in bovengenoemd diagram liggen.

BARTSCH wijst er verder op, dat het een ongewenste omstandigheid is, dat de ware slagbuigvastheid een klein deel uitmaakt van de schijnbare slagbuigvastheid. De verschillen in de schijnbare slagbuigvastheid tussen verschillende producten, die vaak reeds klein zijn, worden daardoor nog meer verkleind. Men kan daardoor de schijnbare slagbuigvastheid in evengrote proefstaven van verschillend materiaal en van verschillend gewicht, of van dezelfde massa, maar van verschillende doorsnede of lengte niet vergelijken. Dit geldt ook voor het geval men de schijnbare slagbuigvastheid omrekent op 1 cm^2 doorsnede. De tot heden gebruikte z.g. specifieke slagbuigvastheid (nl. per cm^2) is dan ook in het geheel geen specifieke eigenschap; zij moet daarvoor eerst gecorrigeerd worden.

Zolang de bovengenoemde correctie nog niet bekend is, blijft er volgens BARTSCH niets anders over dan de ware slagbuigvastheid rechtstreeks te bepalen, doordat men de valhoek van de slingerhamer van nul af beginnend zolang laat toenemen, totdat de proeflichamen juist breken, zonderdat de slingerhamer over zijn nulpunt doorslingert. Een groot nadeel van deze methode is het groot aantal proefstaven, dat nodig is om een bruikbaar gemiddelde te verkrijgen, aangezien een en hetzelfde proeflichaam niet aan opeenvolgende proefnemingen met een opklimmenden valhoek van de slingerhamer onderworpen mag worden. Men moet dan ook de valhoek zien te bepalen, waarbij het proeflichaam met één slag gebroken wordt en waarbij de slingerhamer niet meer dan 1 à 2° over zijn nulpunt heen slingert. Door eenzelfde staaf meerdere slagen te geven, kan de slagbuigvastheid van de staaf immers worden verkleind. Practisch komt dit hierop neer, dat men aan enige staven, door hierop telkens de slingerhamer met een steeds toenemende valhoek te laten vallen, de benodigde valhoek ongeveer bepaalt; vervolgens tracht men met 5 proeflichamen in trappen van 1° verschil in de valhoek in de buurt van de ruw bepaalde valhoek de juiste valhoek te bepalen, waarbij iedere staaf slechts éénmaal wordt gebruikt, tot men minstens 10 bruikbare waarden heeft verkregen, waaruit de gemiddelde benodigde energie of dus de ware slagbuigvastheid is af te leiden. Voor een dergelijk onderzoek zijn 40 tot 80 proefstaven nodig. Dit aantal is nog iets te verkleinen door toe te laten, dat na het doorslaan van de proefstaaf de slinger tot 10° boven zijn laagste stand mag uitstijgen. De nauwkeurigheid van de bepaling van de ware slagbuigvastheid bleek ± 9 % te zijn; van de schijnbare slagbuigvastheid is deze fout ± 5 % (Het is niet duidelijk of hiermede de gemiddelde fout van alle bepalingen dan wel de middelbare fout is bedoeld).

De betrekkelijk grote fout van deze bepaling schuilt niet in afleesfouten, maar in verschillen in de slagbuigvastheid van staaf tot staaf. De grotere nauwkeurigheid van de schijnbare slagbuigvastheid is volgens BARTSCH slechts schijnbaar, doordat de schijnbare slagbuigvastheid in getallenwaarde groter is dan de ware slagbuigvastheid en de fout in procenten uitgedrukt dus kleiner is [105].

Bij een zeer dichte porceleinachtige massa werd verder nagegaan of meer dan 1 slag op het proeflichaam de slagbuigvastheid beïnvloedt. Hieruit bleek, dat bij deze massa meerdere slagen (maximaal werden 5 slagen toegebracht) toelaatbaar zijn, zonder dat een belangrijke afwijking van de bij één slag bepaalde waarde van de ware slagbuigvastheid werd verkregen.

Van 50 onderzochte staven gaven 10 stijghoeken van de slingerhamer van meer dan 10°, die dus onbruikbaar zijn; 22 staven braken bij de eerste slag, terwijl de stijghoek van de slingerhamer na het doorslaan van de staaf kleiner was dan 10°. De gemiddelde specifieke ware slag-

[105] Dit argument is alleen juist, indien de absolute fout van de bepaling dezelfde is. Verder moet dan aan het gedeelte van de energie, dat in kinetische energie wordt omgezet, een kleine fout verbonden zijn, hetgeen niet waarschijnlijk lijkt. De oorzaak van dit verschil in de foutengrens is dan ook waarschijnlijk een andere dan BARTSCH aangeeft.

buigvastheid daarvan was 0.691 kgcm/cm^2 (fout 4.92 %). Van de overige 18 staven, die slechts na enkele malen met een steeds stijgende valhoek braken, was de gemiddelde specifieke ware slagbuigvastheid 0.743 kgcm/cm^2. De hogere waarde is verklaarbaar, aangezien deze staven immers meerdere slagen moesten ontvangen voor zij braken. Waarschijnlijk zou de specifieke ware slagbuigvastheid van deze staven nog iets groter zijn bepaald, indien de valhoek direct zo was gekozen, dat één slag voldoende was geweest om de staaf te breken [106]. Het gemiddelde van alle staven bedraagt 0.713 en de gemiddelde afwijking daarvan 7.43 % van het gemiddelde (de middelbare fout van het gemiddelde van deze 40 bepalingen is volgens mijn berekening 0.011 of ± 1.5 % van het gemiddelde). De maximale afwijking van dit gemiddelde bedroeg 0.176 kgcm/cm^2 of 19.8 % van het gemiddelde.

Bij andere onderzoekingen bleek verder, dat een zeer groot aantal slagen met de slingerhamer (meer dan 5 slagen) de vastheid van het materiaal wel beïnvloedt, waarop niet verder kan worden ingegaan. De juiste methode van onderzoek is dan ook volgens BARTSCH, dat series van 5 staven met een stijgende valhoek, echter ieder slechts 1 slag ontvangend, worden onderzocht, terwijl pas daarna van iedere serie uitgaand het aantal slagen en de valhoek wordt verhoogd. Is het gebruikte materiaal echter minder homogeen als de hiervoor genoemde porceleinachtige massa — bijv. bij chamottemateriaal —, dan moet men met de boven beschreven methode voorzichtig zijn.

Tenslotte bleek, dat van de 3 onderzochte materialen de ware slagbuigvastheden onderling veel meer uiteenliepen dan de schijnbare, hetgeen dus een tweede belangrijk voordeel van de ware buigvastheid boven de schijnbare buigvastheid betekent.

Ofschoon de ware slagbuigvastheid volgens de boven aangegeven methode bepaald kan worden, is de practische uitvoering daarvan bezwaarlijk door het grote aantal benodigde proefstaven. De snelheid van de tot nu toe gevolgde methode (nl. voor de bepaling van de schijnbare slagbuigvastheid) is echter aan te houden, indien het gelukt uit de schijnbare slagbuigvastheid door het aanbrengen van een correctie de ware slagbuigvastheid af te leiden, aangezien de een of andere samenhang tussen de ware en de schijnbare slagbuigvastheid moet bestaan. Indien men dat deel van het gebruikte arbeidsvermogen, dat in kinetische energie wordt omgezet (= de aan te brengen correctie) aftrekt van de totale energie, die voor het doorslaan van het proeflichaam wordt verbruikt, dan moet de ware slagbuigvastheid overblijven. *Indien men proeflichamen van steeds hetzelfde gewicht en dezelfde vorm zou gebruiken, dan zou het voldoende zijn langs experimentele*

[106] Het is jammer, dat niet is nagegaan, hoeveel slagen bij steeds dezelfde valhoek nodig zijn om de staaf te breken in verband met de grootte van deze valhoek. Men kan verwachten, dat dit aantal afneemt, naarmate deze valhoek dichter bij de valhoek komt, waarbij deze staaf met één slag wordt gebroken en de slingerhamer hoogstens 10° weer door zijn nulpunt heenslingert. Hierdoor ware m.i. beter te overzien geweest, welke invloed meerdere slagen op de slagbuigvastheid van dezelfde proefstaaf uitoefenen.

weg slechts eenmaal bovengenoemde correctie te bepalen, waarmede de schijnbare slagbuigvastheid moet worden verminderd om de ware slagbuigvastheid te verkrijgen[107]. Voor keramisch materiaal is dit niet mogelijk, aangezien het gewicht van de proefstaven te veel uiteenloopt ook al is de vorm steeds dezelfde. Daarom werd dan ook door BARTSCH onderzocht, welke invloed het gewicht en de vorm hebben op deze correctie (dus op dit in kinetische energie omgezet deel van het totale arbeidsvermogen nodig om de staaf te breken).

In de eerste plaats werd geprobeerd deze correctie te bepalen door uit te gaan van proeflichamen, waarbij de ware slagbuigvastheid nul is; bijv. door uit te gaan van staven, die juist in het midden in 2 gelijke stukken zijn verdeeld. Deze 2 stukken werden daarbij zo op de steunen van het apparaat gelegd, dat het scheidingsvlak tussen de beide stukken nauwkeurig voor de slagkant van de slingerhamer lag, zodat beide helften door de slingerhamer werden getroffen. Door op de gewone wijze de schijnbare slagbuigvastheid te bepalen, werd hierdoor dus het in kinetische energie omgezette arbeidsvermogen gemeten. Om te vermijden, dat deze beide tegenelkaar gelegde helften van de onderzochte staven niet te vroeg van de steunen van het apparaat vielen, werden de beide staafhelften vlak bij het scheidingsvlak ondersteund door een 2-maal rechthoekig omgebogen, U-vormige draad, waarvan de benen omhoog gericht waren, zodat de slingerhamer hierdoor ongehinderd kan passeren. Bij de geringste stoot valt deze draadvorm om, zodat de beide staaf-helften daardoor ongehinderd weggeslingerd kunnen worden.

Voor de bovengenoemde proefnemingen werden staafhelften met een lengte van 50 mm en met een vierkante doorsnede van 20 x 20 mm gebruikt; terwijl het gewicht door verschillend zwaar materiaal te gebruiken (hout, chamotte, ijzer, lood) werd veranderd.

Uit de proefnemingen bleek, dat er een bepaald verband tussen het gewicht van de staaf en de opgenomen kinetische energie bestaat. In een diagram, waarvan op de x-as het gewicht van de proeflichamen en op de y-as de schijnbare buigvastheid (hier gelijk aan het in kinetische energie omgezette arbeidsvermogen) zijn afgezet, wordt dit verband aangegeven door een bij het begin steil verlopende lijn, die naar grotere proeflichaamgewichten vlakker wordt. Bij de gewichten, die dergelijke staven van keramische producten hebben — nl. 40—80 gram[108] — is deze lijn zeer steil. Aangezien het grootste gedeelte (60—80 %) van de totaal verbruikte energie voor het doorslaan van de proeflichamen in kinetische energie wordt omgezet, moet de invloed van het gewicht van de proeflichamen op de schijnbare slagbuigvastheid dus groot zijn.

Aangezien de bovenbedoelde kinetische energie ook rechtstreeks was bepaald, nl. als een verschil tussen de schijnbare en de ware slagbuigvastheid, was dus een vergelijking tussen beide methoden mogelijk,

[107] Hierbij neemt BARTSCH dus aan, dat deze correctie niet afhangt van de grootte van de slagbuigvastheid zelf, hetgeen m.i. a priori zeker niet geoorloofd is en gecontroleerd zou moeten worden.

[108] Het gewicht van dergelijke staven uit grondmateriaal ligt eveneens tussen deze grenzen.

waarbij bleek, dat de overeenstemming althans bij deze eerste bepalingen zeer goed was.

Ondanks de bovengenoemde goede overeenkomst bleek echter de correctie van de schijnbare slagbuigvastheid, waardoor dus de ware slagbuigvastheid wordt verkregen, moeilijker te zijn, dan eerst gedacht werd. Verdere proefnemingen brachten namelijk aan het licht, dat deze correctie, of dus het in kinetische energie omgezette arbeidsvermogen, behalve van het gewicht van de proeflichamen ook afhankelijk was van de vorm van de proeflichamen. Voor dit onderzoek dienden staven van hetzelfde materiaal met doorsneden van 20 x 20, 15 x 15 en 10 x 10 mm. Er werden namelijk bij toepassing van de bovengenoemde methode met de halve staven 3 lijnen verkregen, die het verband tussen de in kinetische energie omgezette hoeveelheid arbeidsvermogen (hier dus gelijk aan de schijnbare slagbuigvastheid, aangezien de ware slagbuigvastheid nul was) en het gewicht van de proeflichamen aangaven. Voor staven van hetzelfde gewicht bleek nu het, in kinetische energie omgezette, arbeidsvermogen met een groter worden van de doorsnede van deze proeflichamen groter te worden. Verder bleek ook de lengte van de staven dit nog te beïnvloeden, zij het dan ook, dat de spreiding van de verkregen resultaten zo groot was, dat niet meer met zekerheid was uit te maken in welke richting deze laatste invloed gaat.

Uit onderzoekingen echter met staven van verschillend gewicht en formaat, waarbij zowel de schijnbare als ware slagbuigvastheid evenals het verschil daarvan experimenteel bepaald waren als waarbij de correctie van de schijnbare slagbuigvastheid was afgeleid uit de reeds medegedeelde resultaten van de proefnemingen met de halve staven van verschillend gewicht en verschillende vorm, bleek, dat de gecorrigeerde specifieke schijnbare slagbuigvastheid of dus de ware specifieke slagbuigvastheden (gesteld althans dat de correctie juist is aangebracht) evenals trouwens de specifieke schijnbare slagbuigvastheid voor de staven van verschillend gewicht en van verschillende vorm niet constant waren (zie tabel 19). Hieruit volgt dus, dat bij het gebruik van de halve staven een ander gedeelte van het arbeidsvermogen in kinetische energie wordt omgezet dan dat bij hele staven het geval is. Wel kan uit de waarnemingen van BARTSCH worden afgeleid, dat voor beide materialen, waarmede onderzoekingen werden verricht de *experimenteel* bepaalde, ware specifieke slagbuigvastheid een binnen zeer enge foutengrenzen constante grootheid is. *De ware slagbuigvastheid is dus volgens deze onderzoekingen recht evenredig met de doorsnede van de gebruikte staven, zodat hiervan met recht de specifieke slagbuigvastheid, d.w.z. per cm² doorsnede, berekend mag worden* [109].

Helaas hebben latere onderzoekingen dit resultaat niet bevestigd (zie hieronder).

BARTSCH komt dan ook tot de conclusie, dat voor een nauwkeurige

[109] In verband met eigen onderzoekingen moge hier nog worden opgemerkt, dat de bovenbedoelde door BARTSCH verkregen resultaten in tabel 19 zijn medegedeeld, waarnaar verwezen mag worden.

TABEL 19

(Overgenomen uit een publicatie van BARTSCH)
(Copy from a publication of BARTSCH*)*

Proefstaven		Schijnbare slagbuigvastheid		Ware slagbuigvastheid			Correctie van de schijnbare slagbuigvastheid voor het gewicht en de vorm van de staven	Experimenteel bepaald verschil tussen de schijnbare en ware slagbuigvastheid in kgcm
				Bepaald		Uit schijnbare slagbuigvastheid		
Vorm in cm	Gewicht in grammen	kgcm	kgcm/cm²	kgcm	*kgcm/cm²*	kgcm/cm²		
Materiaal A								
1.03 x 1.03 x 10.0	22.8	1.35	1.38	0.55	0.518	0.56	0.76	0.80
1.58 x 1.58 x 10.0	53.4	3.34	1.34	1.30	0.521	0.59	1.85	2.04
1.58 x 1.58 x 12.0	64.2	3.41	1.37	1.29	0.517	0.51	2.15	2.12
2.03 x 2.03 x 10.0	88.4	5.09	1.24	2.14	0.519	0.47	3.15	2.95
2.02 x 2.02 x 12.0	104.9	5.43	1.32	2.14	0.524	0.44	3.62	3.29
Materiaal B								
1.03 x 1.03 x 10.0	23.4	1.30	1.22	0.51	0.481	0.50	0.77	0.79
1.59 x 1.59 x 10.0	54.4	3.17	1.25	1.22	0.482	0.52	1.87	1.95
1.59 x 1.59 x 12.0	64.4	3.36	1.34	1.10	0.475	0.48	2.16	2.16
2.02 x 2.02 x 10.0	88.5	5.16	1.25	1.99	0.487	0.48	3.17	3.17
2.04 x 2.04 x 12.0	106.4	5.33	1.22	2.03	0.488	0.41	3.65	3.30
Shape in cm	*Weight in grams*	*kgcm*	*kgcm/cm²*	*kgcm*	*Determined kgcm/cm²*	*Calculated from the apparent modulus of rupture by smash kgcm/cm²*	*Correction of the apparent modulus of rupture by smash for the weight and shape of the bars*	*Experimently determined difference between the apparent and the real modulus of rupture by smash in kgcm*
Test bars		*Apparent modulus of rupture by smash*		*Real modulus of rupture by smash*				

bepaling van de correctie de enige mogelijkheid hierin bestaat om behalve de schijnbare ook de ware slagbuigvastheid voor staven van een verschillend gewicht en een verschillende vorm experimenteel te bepalen. De verschillen tussen de schijnbare en ware slagbuigvastheid geven dan de verlangde correctie in verband met het gewicht en de vorm van de staven aan. Het is noodzakelijk, dat daarvoor minstens metingen aan een 10-tal series worden gedaan om hierover op een voldoend nauwkeurige wijze te worden ingelicht. BARTSCH noemt de 2 series bepalingen, die daarvoor door hem werden verricht, onvoldoende.

Ofschoon bovendien niet staat aangegeven, hoever de steunpunten van het slingerhamerapparaat, waarop de staven komen te liggen, uit elkaar liggen, zijn deze gegevens toch voor de voor mij verrichte onderzoekingen van belang, aangezien hieruit in elk geval een zeer behoorlijke indruk is te verkrijgen van de mate, waarin deze correcties voor de door mij gebruikte staven maximaal verschillen. De tabel 6 uit de publicatie van BARTSCH moge hier dan ook nog eens in een iets andere vorm als tabel 19 volgen.

In een volgend artikel [110] merkt BARTSCH op, dat bij ongebrande „Hafenmasse" [111] de ware slagbuigvastheid nog slechts 10 % van de schijnbare slagbuigvastheid bedraagt. Aangezien de schijnbare slagbuigvastheid in tegenstelling met de ware slagbuigvastheid snel te bepalen is en indien het formaat en het gewicht der staven steeds dezelfde zijn, geeft de schijnbare slagbuigvastheid waarden, die althans onderling goed te vergelijken zijn. Het bleek niet mogelijk, de ware slagbuigvastheid uit de schijnbare met behulp van een correctie voor het staafgewicht en voor de staafvorm af te leiden. Nieuwe onderzoekingen hadden namelijk aangetoond, dat de *ware* slagbuigvastheid per cm^2 breukvlak met een toenemend breukvlak toeneemt. De slagbuigvastheid bleek niet evenredig te zijn met het oppervlak van het breukvlak maar met ongeveer het kwadraat daarvan. Afgezien daarvan schijnt de aan te brengen correctie ook nog af te hangen van de elasticiteit van het materiaal, waaruit de proeflichamen bestaan.

Bij het bovenstaande kan worden opgemerkt, dat deze laatste resultaten in het geheel niet overeenkomen met de eerder door deze onderzoeker verkregen resultaten (zie tabel 19 van deze publicatie). Hieruit kan immers worden afgeleid, dat de ware, specifieke slagbuigvastheid (per cm^2 doorsnede) constant is, ook al verschilden de doorsneden van de staven zeer aanmerkelijk. Uit deze resultaten blijkt juist, dat de ware slagbuigvastheid wel rechtevenredig en zeker niet evenredig met het kwadraat van de doorsnede van de staven is. Tenslotte is het opmerkelijk, dat BARTSCH in zijn tweede publicatie desondanks de specifieke slagbuigvastheid blijft berekenen, door de gemeten slagbuigvastheid te delen door de doorsnede. Hierin zit een tegenstrijdigheid. Helaas staat het nu tevens niet meer vast, dat door de specifieke slagbuigvastheid per cm^2 te berekenen (door de gemeten slagbuigvastheid te delen door het

[110] l.c. noot 104.
[111] Dit materiaal wijkt echter tamelijk van grondmateriaal af.

oppervlak van het breukvlak) de krimp van de staven na het drogen goed in rekening wordt gebracht. Om na te gaan in hoeverre dit toch toelaatbaar is werden dan ook door ons bovendien bepalingen gedaan met staven met afmetingen van in ongekrompen toestand 22 x 22 x 100; 21 x 21 x 100 en 19 x 19 x 100 mm. Hierop zal echter hieronder worden teruggekomen.

Ondanks het feit, dat door het aanbrengen van een correctie de schijnbare niet in de ware buigvastheid is om te zetten, geeft BARTSCH toch een tabel, die deze correcties ongeveer aangeeft. Hiervoor geeft hij voor proefstaven van 19 tot 21 mm doorsnede en 100 tot 105 mm lengte correcties, die voor 52 gram proeflichaamgewicht 2.03 en voor 70 gram gewicht 2.75 kgcm bedragen en die daartussenin evenredig met het gewicht veranderen.

Het in deze tweede publicatie genoemd apparaat had een opening tussen de steunen, waarop de proefstaven komen te liggen, van 7.5 cm.

In het artikel van JACOB [112] worden ook bepalingen van de slagbuigvastheid besproken, zij het dan ook, dat de resultaten daarin niet worden medegedeeld. Hierover werden reeds in sub b van deze paragraaf de nodige opmerkingen gemaakt, waarnaar verwezen kan worden.

2. *Beschrijving van de wijze, waarop de staven werden gemaakt en de slagbuigvastheid werd gemeten*

Alvorens nader in te gaan op de wijze, waarop de proefstaven werden gemaakt, kan worden opgemerkt, dat het gewenst zou zijn de ware slagbuigvastheid volgens BARTSCH te bepalen. Gezien echter het feit, dat dit zeer tijdrovend is en de ware slagbuigvastheid niet met behulp van een correctie, afgeleid uit de hiervoor besproken onderzoekingen van BARTSCH, uit de schijnbare slagbuigvastheid is te berekenen, moeten we ons wel beperken tot de bepaling van de schijnbare slagbuigvastheid. Uit de, in sub 1 besproken, publicaties van BARTSCH volgt echter, dat tegen de bepaling van de schijnbare slagbuigvastheid des te minder bezwaren zijn — ook wanneer men verschillende materialen wil vergelijken —, naarmate het gewicht en de vorm meer gelijk zijn. Voor onze onderzoekingen werden dan ook steeds staven gebruikt van (in ongekrompen toestand) 10.0 x 2.00 x 2.00 cm. Verschillen in de vorm zijn alleen mogelijk, voor zoverre de krimp verschillend is. Uit de aard der zaak zijn deze verschillen relatief gering, terwijl, aangezien slechts materiaal afkomstig uit gronden werd gebruikt, ook de verschillen in de onderlinge gewichten gering zijn.

Uit de door ons verrichte bepalingen blijkt, dat de grootste maten van de gedroogde staven 100 x 1.97 x 1.94 cm zijn en de kleinste maten 90 x 1.77 x 1.77, terwijl de gewichten der gedroogde staven uiteenlopen van 70 tot 52 gram. Houden we nu *geen* rekening met de vorm der staven, hetgeen niet juist is, dan kan uit tabel 19 worden afgeleid, dat de bedoelde correcties van de uitersten van de beide gewichten van de

[112] l.c. noot 14.

staven hoogstens omstreeks 0.67 zullen kunnen verschillen. Dit verschil is zeker te groot. Uit figuur 3 van de eerste publicatie van BARTSCH [113] kan worden afgeleid, dat onverschillig of de vorm van de staaf van 10 x 2.0 x 2.0 of 10 x 1.5 x 1.5 is, die correcties maximaal 0.56 uiteen zullen lopen. De correcties zelf zullen vermoedelijk niet kleiner zijn dan uiterlijk 1.90 en niet groter dan omstreeks 2.54 kgcm [114]. Aangezien de doorsnede van de gedroogde staven van omstreeks 3.1 tot 4.0 cm^2 uiteenloopt, waarbij de kleinste doorsnede natuurlijk behoort bij de kleinste en de grootste doorsnede bij de grootste correctie, zullen dus de specifieke schijnbare buigvastheden (per cm^2) dus zo ongeveer om redenen, die in verband staan met het gewicht en de vorm van de staven, maximaal kunnen verschillen $\left(\frac{2.54}{4.0} - \frac{1.90}{3.1}\right)$ = rond 0.02 kgcm/cm^2, ware het niet, dat bedoeld maximaal gewicht voorkwam bij een doorsnede van 1.97 x 1.94 cm. Hierdoor kunnen deze verschillen in dit geval $\left(\frac{2.54}{3.8} - \frac{1.90}{3.1}\right) = \pm$ 0.06 kgcm/cm^2 uit elkaar liggen. Dergelijke verschillen zijn echter zeer zeldzaam en komen alleen in het hoofdonderzoek I (invloed slibgehalte) voor. Bij gebruik van de, in de 2de publicatie van BARTSCH gegeven correcties (zie aan het slot van sub 1), die ook ongeveer voor staven van deze afmetingen gelden, zijn deze grenzen op dezelfde wijze berekend 0.03 of uiterlijk 0.06 kgcm/cm^2. De laatste verschillen komen echter zeer zelden voor (alleen in hoofdonderzoek I). Nu bestaat de mogelijkheid, dat BARTSCH een opening tussen de twee steunen van 7.5 en niet van 7.0 cm heeft gebruikt, zoals dit bij onze onderzoekingen het geval is geweest. Hieruit volgt dus, dat, indien de verkregen verschillen in de specifieke slagbuigvastheid groter zijn dan omstreeks 0.02 à soms 0.05 kgcm/cm^2, deze verschillen in elk geval niet meer in verband staan met een verschillende vorm of een verschillend gewicht van deze staven, maar (afgezien van de foutengrenzen) met het materiaal, waarvan de staven gemaakt zijn, of (bij staven van hetzelfde materiaal) met de droogtemperatuur, enz. Aangezien de onderlinge verschillen in de slagbuigvastheid tussen de staven van de bedoelde uiterste afmetingen en gewichten altijd veel groter zijn dan 0.02 of resp. 0.05 kgcm/cm^2, staat om die reden de invloed van de te bestuderen invloed vast. Men vergete immers niet, dat de verschillen in de correctie van staven met geringere verschillen in slibgehalten zeker kleiner dan 0.01 kgcm/cm^2 en meestal nog kleiner zijn.

Uit het bovenstaande volgt tevens, dat in ons geval het hoofdbezwaar

113 l.c. noot 104.

114 Uit de experimenteel bepaalde correcties (zie tabel 19) is af te leiden, dat zonder rekening te houden met de vorm de correcties van staven voor 52 en 70 gram resp. 1.78 en 2.45 kgcm zijn. Uit de methode voor de bepaling van deze correctie met de halve-staven methode kan uit de onderzoekingen van BARTSCH worden afgeleid, dat voor staven van 10 x 2.0 x 2.0 en voor gewichten van deze staven van 52 en 70 gram deze correcties 2.00 resp. 2.56 kgcm bedragen. Voor staven van 10 x 1.5 x 1.5 cm met gewichten van 52 en 70 gram 1.78 en 2.34 kgcm. Voor de in dit onderzoek gebruikte staven van omstreeks 9.0 x 1.77 x 1.77 en 10.0 x 1.97 x 1.94 van 52 en 70 gram kan derhalve deze correctie minimaal en maximaal op omstreeks 1.90 en 2.54 kgcm worden gesteld.

TABEL 20

No. bepaling	Oorspronkelijke doorsnede in cm					
	1.90 x 1.90			2.00 x 2.00		
	Materiaal	Spec. slag-buigvastheid	m.f. v/h gem. in % gem.	Materiaal	Spec. slag-buigvastheid	m.f. v/h gem in % gem.
1	—	—	—	R 30 % 16— 43	0.82	1.1
2	—	—	—	R 30 % 16— 43	*0.81*	1.1
3	—	—	—	R 30 % 208—295	0.78	0.7
4	—	—	—	R 30 % 208—295	(0.77)	0.7
5	—	—	—	L 30 % 16— 43	0.89	0.8
6	R 30 % 208—295	0.81	0.6	R 30 % 208—295	0.80 0.76	1.3 0.1
7	L 60 % 208—295	1.04	2.0	L 60 % 208—295	1.05	2.0
8	L 30 % 208—295	0.79	0.2	L 30 % 208—295	0.80	0.5
9	R 30 % 16— 43	0.80	0.3	R 30 % 16— 43	0.77 0.79	0.8 0.6
10	L 30 % 16— 43	0.86	0.6	L 30 % 16— 43	0.89	0.6
	2.10 x 2.10			2.20 x 2.20		
1	—	—	—	R 30 % 16— 43	2.02	0.9
2	R 30 % 16— 43	0.90	2.0	—	—	—
3	—	—	—	R 30 % 208—295	1.60	2.5
4	R 30 % 208—295	(1.19)	*7.3*			
5	L 30 % 16— 43	0.91	1.4			
6	R 30 % 208—295	0.80	3.4			
8	L 30 % 208—295	0.84	3.0			
9	R 30 % 16— 43	0.79	1.6			
Number determination	*Material*	*Specific modulus of rupture by smash in kgcm/cm²*	*Standard deviation of the mean in % of the mean*	*Material*	*Specific modulus of rupture by smash in kgcm/cm²*	*Standard deviation of the mean in % of the mean*
	1.90 x 1.90			*2.00 x 2.00*		
	Original diameter in cm					

De gemiddelden van hetzelfde materiaal zijn: doorsneden 1.90 x 1.90 en 2.00 x 2.00, gem. resp. 0.86 en 0.86; doorsneden 2.00 x 2.00 en 2.10 x 2.10, gem. resp. 0.81 en 0.85 (dit verschil wordt practisch veroorzaakt door één iets afwijkend cijfer, dat met dit overeenkomstige cijfer verkregen met staven van 2.00 x 2.00 cm door haakjes is omgeven); doorsneden 2.00 x 2.00 en 2.20 x 2.20, gem. resp. 0.80 en 1.81.

Opmerking: Al het materiaal was tot een pH 6.5 verzadigd met $Ca(OH)_2$. R = rivierkleigrond; L = leemgrond. 30 %, 60 % enz. geeft het slibgehalte aan en 16—43, 208—295 de afmetingen van de zandfractie in μ's, waarmede deze rivierklei- en leemgrond gemengd worden om de aangegeven slibgehalten te bereiken.

The means of the same material are: diameters 1.90 x 1.90 and 2.00 x 2.00, mean resp. 0.86 and 0.86; diameters 2.00 x 2.00 and 2.10 x 2.10, mean resp. 0.81 and 0.85 (this difference is practically caused by one different figure; in the table in brackets as the corresponding figure determined with the bars of 2.00 x 2.00 cm); diameters 2.00 x 2.00 and 2.20 x 2.20, mean resp. 0.80 and 1.81.

Note: All the material is saturated till a pH 6.5 with $Ca(OH)_2$. R = riverclaysoil; L = Loamsoil. 30 %, 60 % etc. indicate the claycontent and 16—43, 208—295 the dimensions of the sandfraction in μ's, mixed with the riverclay or loamsoil to get the claycontents indicated.

tegen het gebruik van de specifieke schijnbare slagbuigvastheid wegvalt. Hieruit volgt verder, dat voor alle gebruikte materialen de specifieke schijnbare slagbuigvastheid met een, op meestal binnen ongeveer 0.02 kgcm/cm^2, constant bedrag (correctie per cm^2) moet worden verminderd om de ware slagbuigvastheid te verkrijgen. Het feit, dat deze correctie niet bekend is en dus de ware specifieke slagbuigvastheden niet te berekenen zijn, vormt voor dit onderzoek dan ook, naar het mij voorkomt, geen enkel bezwaar meer. Hierop zal niet worden teruggekomen.

De krimp wordt verder bij de berekening van de specifieke buigvastheid automatisch in rekening gebracht. Volledigheidshalve echter werd de invloed van de doorsnede van de balkjes op de specifieke slagbuigvastheid nagegaan. Hiertoe werden van hetzelfde materiaal en meestal van dezelfde pasta balkjes gemaakt, waarvan de oorspronkelijke lengte steeds 10.0 cm bedroeg, maar waarvan de oorspronkelijke doorsnede (voor de krimp) resp. 1.90 x 1.90; 2.00 x 2.00 (normaal model); 2.10 x 2.10 en 2.20 x 2.20 cm was. Na het drogen was tengevolge van de krimp de doorsnede uiteraard verschillend. Laten we de balkjes met een oorspronkelijke doorsnede van 2.20 x 2.20 cm buiten beschouwing, dan blijkt het gewicht van de (bij 70° gedroogde) balkjes te variëren tussen 54 en 77 gram en de doorsneden tussen 2.02 x 2.00 en 1.73 x 1.71 cm. Bij alle andere, verrichte onderzoekingen, waarbij dus van staven van normaal model werd uitgegaan, lagen de uiterste doorsneden (1.99 x 1.99 en 1.77 x 1.77) en de uiterste gewichten (70 en 52 gram) practisch gesproken tussen de bovengenoemde afmetingen en gewichten in.

In tabel 20 zijn de resultaten van de verrichte onderzoekingen aangegeven. Hierbij werden meestal 16 tot 18 balkjes onderzocht. Uit tabel 20 blijkt, dat de balkjes met oorspronkelijke doorsneden van 2.20 x 2.20 cm afwijkende resultaten geven. Voor de andere balkjes werden binnen de foutengrenzen dezelfde specifieke slagbuigvastheden verkregen met uitzondering van één geval, waarbij de oorspronkelijke doorsnede 2.10 x 2.10 cm was. Deze laatste bepaling is echter minder betrouwbaar; men zie de grote middelbare fout van het gemiddelde, waardoor deze bepaling (en de overeenkomstige met afmetingen van 2.00 x 2.00 cm) bij de berekening van het gemiddelde beter buiten beschouwing kunnen worden gelaten (in tabel 20 met haakjes omgeven). Dit neemt niet weg, dat mede in verband met het feit, dat staven met oorspronkelijke doorsneden van 2.20 x 2.20 cm afwijkend specifieke slagbuigvastheden geven, blijkbaar de grenzen (althans de bovenste grens; na krimp 2.00 x 2.00) ook zo ongeveer bereikt zijn, waarbinnen de specifieke buigvastheden onafhankelijk zijn van het gewicht en de doorsneden van de staven, hetgeen voor ons doel echter voldoende is.

Samenvattend kan dus geconstateerd worden, dat bij grondmateriaal en uitgaande van staven met oorspronkelijke afmetingen van 10.0 x 2.00 x 2.00 cm de specifieke slagbuigvastheid practisch onafhankelijk is van het gewicht van de staven en de doorsnede van de staven na droging, zodat de krimp geen invloed meer heeft op de specifieke slagbuigvastheid.

Betreffende het maken van de staven kan worden opgemerkt, dat over het kneden van het te onderzoeken materiaal in sub a van deze paragraaf reeds de nodige opmerkingen zijn gemaakt, waarnaar kan worden verwezen. De gipsmodellen bestonden uit een gipsplaat van 20 mm dikte met 2 langwerpige, rechthoekige openingen met doorsneden van 20 x 100 mm. Deze gipsmodellen werden op vlakke gipsplaten gelegd. In de ontstane negatieve vorm van de staven (20 x 20 x 100 mm) werd nu de geknede massa op de gewone wijze geperst, het overtollige gedeelte verwijderd en de staven aan weerszijden met een natgemaakt paletmes gladgemaakt. De volgende dag werden de staven uit de vormen genomen, minstens 3 à 4 dagen aan de lucht gedroogd en vervolgens gedurende minstens 7 dagen bij 40°, gedurende minstens 6 dagen bij 70° of gedurende minstens 4 dagen bij 100°C in een droogstof nagedroogd.

Gewoonlijk werden 10 staven gemaakt. De gedroogde staven werden gewogen, weer in de stoof teruggelegd en daarna één voor één gemeten. De brokstukken werden na de meting direct weer in de stoof teruggelegd. In een gedeelte daarvan werd het resterende vochtgehalte (bij 105°C) bepaald. De slagbuigvastheid werd omgerekend per cm^2 doorsnede en is uitgedrukt in $kgcm/cm^2$ [115]. Van deze specifieke slagbuigvastheid werd de middelbare fout van het gemiddelde met behulp van formule 1 berekend. Opgemerkt kan worden, dat de staven zo tegen

TABEL 21

No. Staven	Lengte in cm	Doorsnede in cm	Slagbuigvastheid in kgcm	Specifieke Slagbuigvastheid in $kgcm/cm^2$
1	9.40	1.87 x 1.87	2.98	0.85
2	9.45	1.86 x 1.88	2.85	0.82
3	9.44	1.88 x 1.87	2.76	0.79
4	9.47	1.88 x 1.90	2.85	0.80
5	9.44	1.86 x 1.89	2.82	0.80
6	9.47	1.88 x 1.87	2.90	0.82
7	9.43	1.88 x 1.89	2.85	0.80
8	9.42	1.88 x 1.90	2.72	0.76
9	9.44	1.88 x 1.87	2.78	0.79
10	9.46	1.87 x 1.87	2.88	0.82
No. bar	*Length in cm*	*Diameter in cm*	*Modulus of rupture by smash in kgcm*	*Specific modulus of rupture by smash in $kgcm/cm^2$*

Gemiddelde slagbuigvastheid 2.84 kgcm; gemiddelde specifieke slagbuigvastheid 0.81 $kgcm/cm^2$. Middelbare fout van het gemiddelde van de specifieke slagbuigvastheid 0.0078 $kgcm/cm^2$ of 1.0 %.

Mean modulus of rupture by smash 2.84 kgcm; mean specific modulus of rupture by smash 0.81 $kgcm/cm^2$. Standard deviation of the mean of the specific modulus of rupture by smash 0.0078 $kgcm/cm^2$ or 1.0 %.

[115] In de terminologie van BARTSCH (zie hiervóór) is dit dus de schijnbare specifieke slagbuigvastheid.

en op de steunen van het apparaat werden gelegd, dat de bovenkant van de staven in de gipsvormen ook nu boven- of onderkant is.

In tabel 21 zijn als voorbeeld de resultaten van een volledige serie aangegeven. Het materiaal bestond uit een mengsel van 50% van de fractie $< 16\ \mu$ van de rivierkleigrond + de zandfractie van deze grond en de fractie 208-295 μ. Al deze fracties bevatten geen humus of $CaCO_3$ en alleen uitwisselbare H-ionen. Het vochtgehalte van de bij 40°C in de stoof nagedroogde staven was 1.71%. Het gewicht van 10 gedroogde staven bedroeg 629.9 gram.

Ofschoon reeds werd opgemerkt, dat de hier bepaalde specifieke slagbuigvastheid in ons geval practisch niet meer afhangt van de afmetingen (vooral van de doorsnede), blijft de specifieke slagbuigvastheid (ook de ware specifieke slagbuigvastheid) een empirische grootheid. Zo hangt de slagbuigvastheid af van de afstand (opening) tussen de steunen op het apparaat, waarop de te onderzoeken staven worden gelegd. Om hierover althans een indruk te verkrijgen werden bij een tweetal materialen de specifieke slagbuigvastheid bepaald, indien de opening tussen deze steunen 4.0, 5.0, 6.0 en 7.0 cm bedroeg. Voor ieder geval werden 10 staven onderzocht. Alle 40 staven werden tegelijkertijd gemaakt uit 10 porties afzonderlijk gekneed materiaal. De staven werden bij 70°C gedroogd. De resultaten van deze metingen zijn in tabel 22 medegedeeld.

TABEL 22 Specifieke slagbuigvastheid in kgcm/cm² bij verschillende openingen tussen de steunen

Materiaal *	Breedte van de opening tussen de steunen in cm			
	4.0	5.0	6.0	7.0
60 % fractie < 16 μ van de leemgrond + de zandfractie van deze grond + fractie 16—43 μ	2.90	1.80	1.26	1.28
60 % fractie < 16 μ van de rivierkleigrond + zandfractie van deze grond + fractie 16—43 μ	3.06	1.88	0.96	0.89
* Dit *materiaal* bevat geen humus of $CaCO_3$ meer en verder alleen H-ionen, behalve het materiaal, dat voor onderzoek IV diende en dat tot een pH van ± 6.5 met $Ca(OH)_2$ verzadigd was				
Material *	*Width of the interstice between the supports in cm*			

TABLE 22 *Specific modulus of rupture by smash determined with different interstices between the supports.*

* *Humus and $CaCO_3$ is removed. Only H-ions are present, except the material used for research IV, which is saturated with $Ca(OH)_2$ to a pH ± 6.5.*

Uit tabel 22 blijkt, dat het weinig uitmaakt, of de opening tussen de steunen van het apparaat 6 dan wel 7 cm is, zodat een opening van 7 cm goed gekozen is, aangezien een geringe fout in de vaststelling van deze opening geen waarneembare invloed uitoefent. Wordt deze afstand kleiner dan 6.0 cm dan neemt de specifieke buigvastheid snel toe.

Het apparaat, waarmede de metingen werden verricht, was een slingerhamer-apparaat van L.SCHOPPER met een arbeidsvermogen van 10 kgcm. Foto 3 geeft een afbeelding van dit apparaat. Ter verduidelijking van deze foto moge het volgende worden opgemerkt:

Foto 3 Apparaat voor de bepaling van de slagbuigvastheid.

Photo 3 Apparatus for the determination of the modulus of rupture by smash.

Op een zware grondplaat is een zwaar gestel bevestigd. Hieraan is de slingerhamer door middel van een as, die in een kogellager loopt, vastgemaakt. Aan het gestel zijn verder de twee steunen bevestigd, die door middel van schroeven op verschillende onderlinge afstanden zijn in te stellen. Boven aan de verbindingsstaaf van het gestel is een haak gemonteerd, welke dus om de verbindingsstang als as draaibaar is. Bedoelde haak houdt de hamer in zijn hoogste stand vast. Met een knop kan de haak worden teruggetrokken, waardoor de slingerhamer valt. Bij zijn hoogste stand vormt de as van deze hamer een hoek van 160° met zijn laagste (loodrechte) stand. Aan de ene kant is op het gestel een halfcirkelvormige band bevestigd, waarop door middel van een schaalverdeling direct is aangegeven, hoeveel kgcm arbeidsvermogen voor het doorslaan van de staaf in totaal is opgenomen. Over deze schaal loopt een wijzer, die door het staafje, die op de as van de slingerhamer gemonteerd is, wordt medegenomen, zodra de slingerhamer na het doorslaan van de staaf weer omhooggaat. Deze wijzer blijft dan natuurlijk staan, als de slingerhamer na zijn hoogste stand te hebben bereikt weer terugslingert. De schaalverdeling op de halfcirkelvormige band is verder zo gemaakt, dat hierbij de weerstand, die de slingerhamer zelf ondervindt door de beweging van zijn as in de kogellager, verder de weerstand in de lucht en de weerstand van de wijzer, reeds in deze schaalverdeling zijn verwerkt. Ligt dan ook geen staaf op de steunen, dan moet de slingerhamer de wijzer medenemen tot de nulstreep, aangezien hierbij geen arbeidsvermogen wordt verbruikt om een staaf door te slaan. Op de grondplaat is tenslotte nog een waterpas bevestigd om deze horizontaal te stellen, waarmede tevens de as

TABEL 23

Onderzoek	Aantal series	Gemiddeld aantal staven per serie	Middelbare fout van het gemiddelde van één serie in procenten van dat gemiddelde
INVLOED SLIBGEHALTE I *(Influence of the claycontent)* (droogtemperatuur 40° C)			
Rivierkleigrond + fractie 16— 43 μ a	19	9.5	1.7
„ + „ 208—295 μ b	18	9.8	1.4
Leemgrond + „ 16— 43 μ c	21	9.8	1.5
„ + „ 208—295 μ d	17	9.5	1.4
Gemiddeld	*75* (totaal)		*1.5*
INVLOED TEMPERATUUR DROGEN II *(Influence of the temperature of drying)*			
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ.			
Droogtemperatuur 40° C	4	10	1.1
„ 70° C	5	10	1.8
„ 100° C	5	9.6	1.5
Leemgrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ.			
Droogtemperatuur 40° C	6	9.8	1.4
„ 70° C	5	10	1.4
„ 100° C	6	8.8	1.4
Gemiddeld	*26* (totaal)		*1.4*
INVLOED KATIONEN [1] IV *(Influence of the cations)*			
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ. Droogtemperatuur 70° C $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden.	23	13.0	1.3
Leemgrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ. Droogtemperatuur 70° C $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden.	17	12.5	1.3

Research	*Number of series*	*Average number of bars per series*	*Standard deviation of the mean of one series in % of the mean*

Opmerking: De gebruikte materialen bevatten geen $CaCO_3$ of humus meer en alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen, behalve voor onderzoek IV, waarbij het gebruikte materiaal tot pH 6.5 à 7.0 met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen verzadigd was.

[1] De bepalingen voor de bestudering van de invloed van de dikte van de balkjes zijn hierbij inbegrepen; een bepaling met staafjes van 2.1 x 2.1 cm doorsnede en met een m.f. van het gemiddelde van 7.3 % is hier weggelaten (zie tabel 20 en de daarbij behorende tekst).

Note: Humus and $CaCO_3$ is removed. Only $H^{\cdot}$-ions are present, except the material used for the research IV, which is saturated with $Ca(OH)_2$ to a pH 6.5 à 7.0.

[1] *The determinations for the study of the crossection of the bars are not included; a determination with bars with a crossection of 2.1 x 2.1 cm and with a standard deviation of the mean of 7.3 % is omitted (see table 20).*

TABEL 24

Onderzoek	Aantal series	De middelbare fout van het gemiddelde van één serie bedraagt in % gemiddeld									
		0—0.9		1.0—1.9		2.0—2.9		3.0—3.9		4.0—4.9	
		aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %
I Droogtemperatuur 40° C	75	21	28	35	47	13	17	5	7	1	1
II „ 40, 70 of 100° C	31	4	13	20	64	7	23	0	0	0	0
IV „ 70° C	40	18	45	11	28	6	15	5	12	0	0
Research	*Number of series*	Number	in %	Number	in %	Number	in %	Number	in %	Number	in %
		0—0.9		1.0—1.9		2.0—2.9		3.0—3.9		4.0—4.9	
		Standard deviation of the mean of one series in % on an average									

van de slingerhamer en de bovenkant van de steunen horizontaal liggen.

Bij de uitvoering van de bepaling werd telkens staaf voor staaf uit de droogstoof genomen. Nadat de lengte en de doorsnede waren bepaald, werd de staaf zo op de steunen gelegd, dat de bovenkant tijdens de vorming der staven, hetzij weer de bovenkant, hetzij de onderkant vormde. De slingerhamer werd nu door terugtrekken van de knop vrijgemaakt, waarna na doorslaan van de staaf met behulp van de wijzer op de halfcirkelvormige band de voor het doorslaan van de staaf benodigde hoeveelheid arbeidsvermogen werd afgelezen. De brokstukken werden in de droogstof teruggelegd, waarin na afloop van de metingen van alle staven van de betreffende serie het vochtgehalte op de reeds aangegeven wijze werd bepaald.

Beschouwen we tenslotte nog de middelbare fout van het gemiddelde van één serie in procenten van dit gemiddelde, dan kan hierover het volgende worden opgemerkt.

In tabel 23 zijn evenals voor de buigvastheid voor de hoofdonderzoekingen I, II en IV weer de gemiddelde middelbare fouten van het gemiddelde in procenten van dat gemiddelde aangegeven.

Uit tabel 23 blijkt, dat gemiddeld genomen de middelbare fout van het gemiddelde in procenten van dat gemiddelde omstreeks 1.5 % bedraagt. Deze fout is niet alleen op zich zelf beschouwd klein, maar is ook klein in verhouding tot de middelbare fouten, die bij de bepaling van andere physische constanten werden gevonden. Verder volgt uit tabel 23, dat de droogtemperatuur geen invloed heeft op de middelbare fout, zodat het, wat de droogtemperatuur betreft, dus onverschillig is, tot welke temperatuur de proefstaven worden gedroogd. (Zie hiervoor ook hoofdstuk III, I).

DIAGRAM 3. Verband tussen de absolute, middelbare fout van het gemiddelde van één serie en de specifieke slagbuigvastheid.

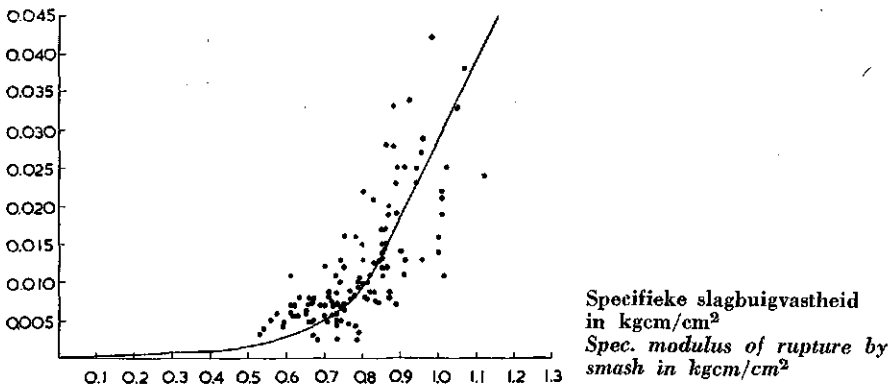


DIAGRAM 3. *Connection between the absolute standard deviation of the mean of one series and the specific modulus of rupture by smash.*

In tabel 24 is nu verder aangegeven, hoe de middelbare fouten van het gemiddelde van een serie uiteen kunnen lopen. Uit tabel 24 blijkt, dat slechts zelden de bedoelde middelbare fout groter is dan 3.0%. Voor de verdere onderzoekingen zijn dan ook de resultaten van de series met middelbare fouten van 3.0 % en hoger geschrapt. Deze series zijn alle herhaald.

Tenslotte werd nog nagegaan in hoeverre de grootte van de middelbare fout in verband staat met de grootte van de slagbuigvastheid. Uit diagram 3 blijkt, dat de absolute middelbare fout van het gemiddelde een samenhang vertoont met de slagbuigvastheid. Ook bij deze grootheid neemt de absolute middelbare fout van het gemiddelde met de slagbuigvastheid toe.

f. De trekvastheid (TV)

Onder trekvastheid verstaat men het aantal kg trekkracht per cm^2 belaste doorsnede, dat nodig is om het beschouwde lichaam uit elkaar te trekken.

LUNGE-BERL [116] schrijft hierover onder „Tonwaren und Porzellan" (blz. 756 e.v.) het volgende:

Het is noodzakelijk, dat de trekkracht gelijkmatig met de tijd toeneemt. Het aanbevolen apparaat voor de meting daarvan is dat van MICHAELIS. De toeneming van de trekkracht wordt verkregen door in de emmer aan de balansarm van het apparaat per sec. 100 gram hagelkorrels te doen vloeien; de trekkracht neemt dan $50 \times 100 = 5000$ gram per seconde toe. Gedurende de bepaling moet buiging of torsie van het 8-vormige proeflichaam vermeden worden. Buiging of torsie treedt gemakkelijk bij onsymmetrisch ingespannen proeflichamen op, of bij die, waarin spanning optreedt of die krom of scheef getrokken zijn. Het maken van goede proeflichamen is dan ook moeilijk en moet met grote zorgvuldigheid geschieden. Het voor- en achtervlak moeten goed parallel, het trekvlak nauwkeurig rechthoekig en de aangrijpingsvlakken der klauwen loodrecht op het reeds genoemde voor- en achtervlak zijn, terwijl linker- en rechterhelft nauwkeurig symmetrisch moeten worden geslepen.

Onder „Portland" (blz. 904 e.v.) wordt bovendien nog opgemerkt, dat de middelbare fout 6% bedraagt; overigens worden overeenkomstige opmerkingen gemaakt als onder „Tonwaren und Porzellan".

SOMMERFELD [117] merkt hierover slechts op, dat de trekkrachtbepalingen aan staven van $10 \times 15 \times 120$ mm grote foutengrenzen gaven in verband met moeilijkheden bij het inspannen (in verband met deformaties) enz.

De „Material-Prüfungsausschusz der Deutschen Keramischen Gesellschaft" [118] deelt hierover mede, dat de trekvastheid een statische bepaling is. Als proeflichamen dienen lichamen van de bekende 8-vorm.

[116] l.c. noot 62.
[117] l.c. noot 64.
[118] l.c. noot 64a, blz. 46.

Voor het verkrijgen van een gelijkmatige verdeling van de druk moeten de aangrijpingsvlakken van de klauwen en het proeflichaam tussen koperplaatjes worden gelegd. Als maat van de trekvastheid wordt de spanning bij de breuk in kg per cm^2 breukvlak aangegeven als een gemiddelde van meerdere bepalingen. Hierin is verder nog enige oudere literatuur aangegeven, waarvoor naar het betreffende artikel verwezen wordt.

TILL [118a] heeft voor gronden de trekvastheid bepaald. Hij gebruikte de trekvastheid als hulpmiddel bij de bodemkartering en nomenclatuur. Uitgegaan werd van een pasta, waarvan het vochtgehalte overeenkwam met dat van de vloeigrens volgens ATTERBERG; daarna werden eenvoudig 3 volume-delen luchtdroge grond (minimaal volume door kloppen verkregen) met 1 volumedeel water gekneed. Het vochtgehalte, van de, op de laatste wijze verkregen, pasta, was ongeveer gelijk aan de vloeigrens volgens ATTERBERG.

Als vorm werd de bekende achtvorm gebruikt, zij het wellicht niet de normaal gebruikelijke. De pasta werd gemaakt door in een porseleinen schaal de grond en het water met een spatel te mengen en daarna in een koperen vorm te smeren, waarna het oppervlak werd glad gestreken. Na één week aan de lucht drogen, werd de buigvastheid gemeten. Voor het toestel, waarmede gemeten werd, wordt naar de oorspronkelijke publicaties verwezen. Opgemerkt kan worden, dat geen zorg werd gedragen, dat de toeneming van de trekkracht per tijdseenheid constant was, terwijl deze toeneming bij verschillende bepalingen waarschijnlijk verschillend is geweest.

Bepalen we ons tot wat hier het belangrijkste is, dan kan worden opgemerkt, dat uit cijfers in de eerste publicatie vermeld, blijkt, dat er weinig verschil is in de trekvastheid, bepaald met luchtdroge dan wel bij 103°C gedroogde modellen. Ditzelfde geldt ook voor de drukvastheid, die eveneens gemeten werd. In de tweede publicatie werd echter opgemerkt, dat uit latere onderzoekingen is gebleken, dat bij zware gronden toch grote verschillen tussen de buigvastheid bepaald met behulp van luchtdroge en bij 103°C gedroogde modellen optreden, hetgeen eveneens geldt voor de drukvastheid.

Het vochtgehalte van de pasta bleek zeer weinig invloed te hebben, aangezien slechts geringe verschillen werden verkregen met pasta's die vochtgehalten hadden gelijk aan de vloeigrens.

De door mij verrichte bepalingen werden uitgevoerd met het bekende apparaat van MICHAELIS [119]. De proeflichamen werden gemaakt in gipsvormen. Deze laatste werden verkregen door uit te gaan van een koperen vorm, die zo gemaakt was, dat deze precies paste in de vormen, zoals deze ons bij het betreffende apparaat waren geleverd. Figuur 4a geeft de doorsneden van deze vorm op de juiste grootte aan; figuur 4b is een perspectief tekening daarvan. De dikte van het koperen model was

118a A. TILL: *Fortschritte der Landwirtsch. 6*, 738, 1931 en *8*, 361, 1933.

119 Bedoelde apparaat ontvingen wij met de bijbehorende vormen (waarschijnlijk voor de bereiding van de 8-vormige proeflichamen uit cement) ter leen van PROF. DR C. J. VAN NIEUWENBURG.

ongeveer 22¼ mm. Met behulp van deze vorm werden dan gipsplaten gemaakt van dezelfde dikte als het koperen model, zodat in deze gipsplaat de 8-vormige opening juist het gewenste model had. Tijdens het maken van de proeflichamen werd een vlakke gipsplaat onder de eerstgenoemde gipsplaat gelegd. De op de gewone wijze geknede massa werd in de aldus ontstane vorm geperst, de overtollige massa op de gewone wijze verwijderd en de boven- en onderkant van de vormen glad gemaakt (zie verder sub a van deze paragraaf). Na 1 dag werden de proeflichamen

Fig. 4a Afmetingen van model gebruikt bij de bepaling van de trekvastheid.

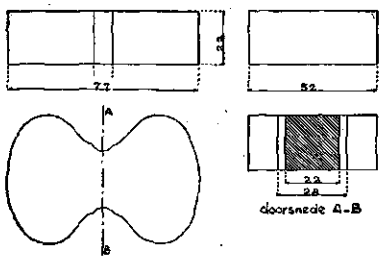


Fig. 4b Perspectief tekening van het model gebruikt bij de bepaling van de trekvastheid.

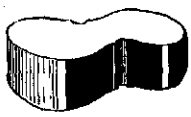


Fig. 4a Dimensions of the model used for the determination of the modulus of rupture bij tear.

Fig. 4b Perspective drawing of the model used for the determination of the modulus of rupture by tear.

uit de gipsvormen genomen. Zij bleven dan 3 à 4 dagen aan de lucht liggen en werden vervolgens in de stoof gedurende minstens 7 dagen bij 40° C, minstens 6 dagen bij 70° C en minstens 4 dagen bij 100° C nagedroogd. Zij werden dan één voor één uit de stoof genomen, in het trekvastheidapparaat geklemd en op de trekvastheid onderzocht. Na de breuk werden de afmetingen van het breukvlak gemeten en de trekkracht per cm² breukvlak omgerekend. De brokstukken werden weer in de stoof gelegd, waarin op de gewone wijze het vochtgehalte werd bepaald.

Een moeilijkheid voor de bepaling van de trekvastheid van gronden of van materiaal afkomstig uit gronden vormde de krimp. Niet alleen wordt daardoor de doorsnede kleiner, maar ook het inspannen in de klauwen van het trekvastheidapparaat leverde moeilijkheden. Deze laatste werden overwonnen door op de 4 uiteinden van de klauwen losse koperen schoentjes te maken, die gemakkelijk verwijderd en opgezet kunnen worden en die aan de binnenkant iets bol zijn evenals de binnenkant van de klauw-uiteinden zelf. Hierdoor werd verkregen, dat ook de sterkst gekrompen modellen weer over 't algemeen braken in de vernauwing (breukvlak practisch een vierkant). Voor zoverre deze vormen iets scheef sprongen werden de verkregen trekvastheden niet geschrapt; de doorsnede van het werkelijke breukvlak werd dan in rekening gebracht. Van sterk scheef getrokken modellen werden de gemeten trekvastheden geschrapt. In het algemeen bestond een serie uit 6 tot 8 stuks. Meestal gaf de bepaling van deze grootheid verder geen moeilijkheden.

Door de berekening van de trekvastheid per cm^2 breukvlak — men kan deze grootheid zo men wil de specifieke trekvastheid noemen — wordt de krimp tevens in rekening gebracht. De vraag is echter, in hoeverre het toelaatbaar is de trekvastheid per cm^2 breukvlak te berekenen. Het is immers a priori niet aan te nemen, dat deze trekvastheid evenredig is met de doorsnede van het breukvlak. Om dit na te gaan werd een

TABEL 25

Materiaal	Klein of normaal model	Aantal exemplaren per serie	Specifieke trekvastheid in kg/cm^2	M.f. v.h. gemiddelde in % van dit gemiddelde
Rivierklei 30 % slib, 16— 43 μ $Ca(OH)_2$ 70° C	klein	18	17.0	1.8
" " " " "	normaal	15	16.3	2.1
60 % slib, 16— 43 μ $Ca(OH)_2$ 70° C	klein	15	30 0	1.2
" " " " "	normaal	15	27.0	3.9
60 % slib, 208—295 μ $Ca(OH)_2$ 70° C	klein	18	13.4	2.8
" " " " "	normaal	12	11.6	2.4
Leemgrond 60 % slib, 16—43 μ $Ca(OH)_2$ 70° C	klein	13	*38.2*	2.7
" " " " "	normaal	17	*33.3*	2.0
" " " " "	klein	11	34 3	3.1
" " " " "	normaal	7	31.6	3.4
Gemiddeld *(Mean)*	klein	15	26.6	2.3
" "	normaal	13	24.0	2.8
Material	*Small or usual model*	*Number of the models used per series*	*Specific modulus of rupture by tear in kg/cm^2*	*Standard deviation of the mean in % of the mean*

Opmerking 1 Bij een herhaling met de leemgrond (60 %; fractie 16—43 μ, $Ca(OH)_2$) blijkt het verschil tussen de specifieke trekvastheid van kleine en normale modellen veel kleiner te zijn dan bij de cursief gedrukte. Bovendien werd bij een derde herhaling met kleine krakelingen 31.8 kg/cm^2 bepaald. Laten we de cursief gedrukte cijfers buiten beschouwing, dan zijn de gemiddelde specifieke trekvastheden voor de kleine en normale modellen resp. 23.7 en 21.6 kg/cm^2 of dus nog iets minder verschillend.

2 Het gebruikte materiaal bestaat uit mengsels van een rivierklei- of leemgrond met de zandfracties 16—43 of 208—295 μ, totdat het aangegeven slibgehalte werd bereikt. De mengsels werden tot een pH 6.5 à 7.0 verzadigd met $Ca(OH)_2$ en bij 70° C gedroogd.

Note 1 The difference between the specific modulus of rupture by tear of small and usual models of the loamsoil (60 %; fraction 16—43 μ, $Ca(OH)_2$) is in an other case much smaller than the values italic printed in the table. At a third repetition 31.8 kg/cm^2 with the small models is determined. Irrespective of the italic printed figures, the mean specific modulus of rupture by tear is for the small and usual models resp. 23.7 and 21.6 kg/cm^2 or still somewhat less different.

2 The material used consists of mixtures of riverclay or loamsoil and the sandfraction 16—43 or 208—295 μ, till the claycontent is 30 or 60 %. The mixtures are saturated with $Ca(OH)_2$ to pH 6.5 à 7.0. The temperature of drying is 70° C.

Foto 4 Apparaat voor de bepaling van de trekvastheid.

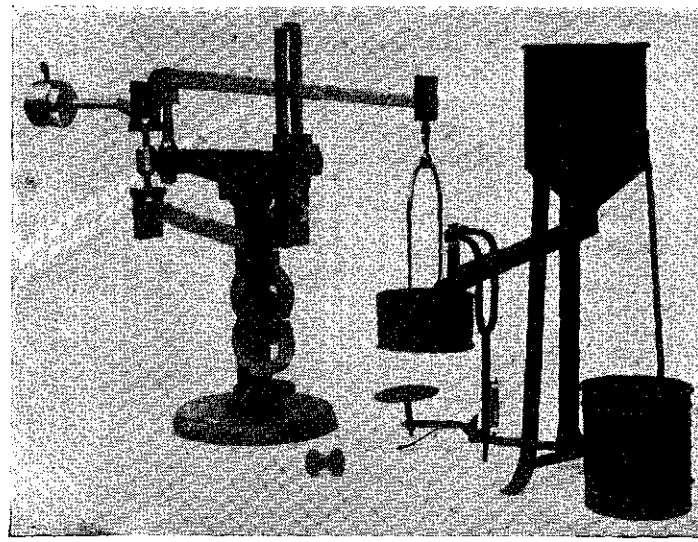


Photo 4 Apparatus for the determination of the modulus of rupture by tear.

tweede koperen 8-vorm gemaakt van juist $^2/_3$ van de grootte van de andere 8-vorm. Hiervan werden ook weer de nodige gipsmodellen gemaakt. Van een 4-tal mengsels werden nu van beide 8-vormen een 10-tal exemplaren gemaakt. Hiervoor werd het mengsel in 10 porties afzonderlijk gekneed; uit iedere portie werd dan telkens één exemplaar van elke vorm gemaakt. Deze werden bij 70° C in de droogstoof nagedroogd. Het klemmen in de klauwen van het apparaat geschiedde ook nu met behulp van koperen schoentjes; zie hiervóór. De resultaten van de metingen zijn medegedeeld in tabel 25. Hieruit blijkt het volgende:

De specifieke trekvastheid is bij de kleine modellen iets groter dan bij de normale modellen. Een evenredigheid tussen de trekvastheid en de oppervlakte van het breukvlak tussen de grenzen van de hier gebruikte modellen (van omstreeks 14 x 14 tot 22 x 22 mm) bestaat dus slechts gedeeltelijk. Aangezien echter de grenzen van de doorsnede van het breukvlak bij de verschillende materialen, waarvan hier werd uitgegaan, tengevolge van de ongelijke krimp slechts schommelen tussen omstreeks 20 x 20 en 22 x 22 mm, mogen we hiervoor zeker aannemen, dat binnen deze grenzen deze evenredigheid met meer dan voldoende nauwkeurigheid bestaat. Dit laatste wil zeggen, dat door de berekening van de specifieke trekvastheid de krimp op een meer dan voldoende nauwkeurige wijze in rekening wordt gebracht.

Zoals reeds werd opgemerkt, werden de metingen verricht met het apparaat van MICHAËLIS. In foto 4 is dit apparaat met de beide koperen modellen weergegeven; in figuur 5 is dit apparaat schematisch aangegeven. Het eigenlijke apparaat voor de trekvastheid bestaat uit een

Fig. 5 Apparaat voor de bepaling van de trekvastheid.

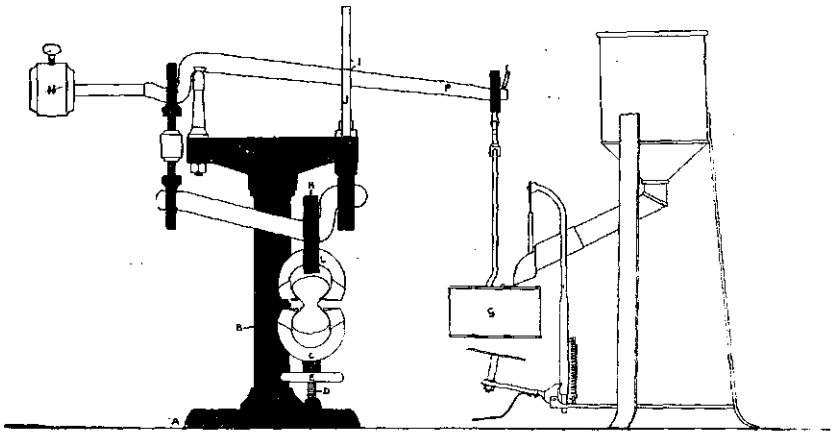


Fig. 5 Apparatus for the determination of the modulus of rupture by tear.

zware grondplaat A, waarop gestel B is bevestigd. Hierop is eveneens de ene hoefijzervormige klauw C door middel van een staaf D met schroef gemonteerd. De klauw C is hierop los bewegelijk, terwijl met het wiel E deze klauw omhoog of omlaag geschroefd kan worden. Aan het gestel B is een systeem van balansarmen vastgemaakt op een wijze als in figuur 5 is aangegeven. Aan het ene einde van de balansarm F hangt de emmer G, terwijl het contra-gewicht H zo wordt ingesteld, dat de bovenkant van de balansarm F juist op dezelfde hoogte staat als een streepje I op de dubbel rechthoekig omgebogen staaf J, indien zich in de emmer G geen hagelkorrels bevinden. Aan het vierkant raam K hangt dan verder de tweede hoefijzervormige klauw L. De verhouding van de verschillende balansarmen is verder zodanig, dat het gewicht van de, in de emmer G gebrachte, hagelkorrels een 50-voudige trekkracht uitoefent op de klauw L. Voor de toevoeging van hagel in de emmer G werd verder een dergelijk hageltoevloeiapparaat — zij het dan ook in een kleinere uitvoering — gebruikt als ook voor de bepaling van de buigvastheid is gebezigd, waarvoor naar sub d en figuur 3 en 5 wordt verwezen.

Zoals reeds uit de aangehaalde literatuur blijkt en ook voor de hand ligt, moet de trekkracht regelmatig met de tijd toenemen. De uitvloeisnelheid van het hageltoevloei-apparaat werd daarom op dezelfde wijze nagegaan als in sub d is besproken voor een dergelijk apparaat, dat gebruikt is bij de bepaling van de buigvastheid. In tabel 26 zijn de resultaten daarvan medegedeeld.

Uit tabel 26 volgt, dat de uitloopsnelheid onafhankelijk van de hoeveelheid hagelkorrels, die zich in het apparaat bevindt, is. In dit geval is echter eerst na 10 seconden de uitstroomsnelheid vrijwel constant geworden. Terwijl de gemeten totale trekvastheid zich tussen 30 en 120 kg beweegt, ligt de uitvloeisnelheid dus tussen uiterlijk rond 133 en 150

TABEL 26

Uitgegaan werd van 3000 gram hagel			Uitgegaan werd van 6000 gram hagel		
Tijd in seconden nà begin uitvloeien	Uitgevloeide hoeveelheid in grammen		Tijd in seconden nà begin uitvloeien	Uitgevloeide hoeveelheid in grammen	
	Totaal	Per seconde		Totaal	Per seconde
5	669	133.8	5	659	132.8
10	1453	145.3	10	1428	142.8
15	2227	148.5	15	2203	147.0
20	2990	149.5	20	2892	144.6
Time of flowing out in seconds	*Total*	*Average per second*	*Time of flowing out in seconds*	*Total*	*Average per second*
	Quantity of pellets of shot flowed out in grams			*Quantity of pellets of shot flowed out in grams*	
Started from 3000 grams of pellets of shot			*Started from 6000 grams of pellets of shot*		

De hagelkorrels waren een mengsel van korrels van twee verschillende doorsneden; zie in dit verband ook de opmerking onder aan tabel 12.

The pellets of shot are a mixture of pellets with two diameters; see note table 12.

gram per seconde in. De trekkracht neemt dus per seconde in verloop van tijd toe van $50 \times 133 = 6650$ gram tot $50 \times 150 = 7500$ gram per seconde. Geheel constant is deze toeneming van de trekkracht per seconde dus niet. Hierbij kan echter worden opgemerkt, dat alleen de weinig slibbevattende mengsels van onderzoek I breken bij een snelheidstoename van de trekkracht van 6650 gram per seconde. Voor alle andere bepalingen is deze 7250—7500 gram per seconde.

Voor de uitvoering van de bepaling werd een proeflichaam uit de stoof genomen en met of zonder hulp van de koperen schoentjes in de klauwen van het trekapparaat gespannen. Hierbij werd de onderste klauw door middel van het wiel E zover naar beneden getrokken tot de bovenkant van de balansarm F juist gelijk is aan de streep I op de dubbel rechthoekig omgebogen staaf J. Daarna werd de beugel N van het hageltoevloei-apparaat omhooggetrokken, welke toevoer automatisch stopt, zodra de 8-vorm breekt. De hoeveelheid hagelkorrels in de emmer G werd dan gewogen. Dit gewicht vermenigvuldigd met 50 geeft de totaal uitgeoefende trekkracht. Van de 2 stukken, waarin de 8-vorm gebroken is, werden dan de afmetingen van het breukvlak bepaald en de oppervlakte daarvan in cm^2 uitgedrukt. Dit laatste oppervlak gedeeld op de totale trekkracht geeft de specifieke trekkracht (= trekkracht per cm^2 breukvlak) aan. De brokstukken van de 8-vorm werden vervolgens weer in de droogstof teruggelegd. Na afloop van de metingen van een serie proeflichamen werd in deze brokstukken het vochtgehalte (bij 105°C) bepaald.

TABEL 27

No. Proeflichaam	Uiterlijk breukvlak	Afmetingen breukvlak in cm	Trekvastheid in kg	
			Totaal in kg	Specifieke trekvastheid in kg/cm²
1	goed	21.9 x 21.0	68.415	14.9
2	goed	21.8 x 21.4	59.645	12.8
3	goed	21.7 x 21.5	62.250	13.3
4	vrij goed	22.2 x 21.3	61.500	13.0
5	iets scheef	21.5 x 21.6	62.025	13.4
6	goed	21.9 x 21.2	62.570	13.5
7	vrij goed	22.7 x 20.9	60.695	12.8
Number test model	*Appearance plane of rupture*	*Dimensions plane of rupture in cm*	*Total in kg*	*Specific modulus of rupture by tear in kg/cm²*
			Modulus of rupture by tear	

Gemiddelde specifieke trekvastheid 13.4 kg/cm². Middelbare fout van het gemiddelde 0.27 of 2.0 %.

Opmerking: Het breukvlak wordt goed genoemd, als de 8-vorm juist bij zijn kleinste doorsnede gebroken is en het breukvlak een plat vlak is; vrij goed, als dit nog ongeveer het geval is, enz.

Mean specific modulus of rupture by tear 13.4 kg/cm². Standard deviation of the mean 0.27 or 2.0 %.

Note: The plane of rupture is called good, if the 8-form is broken at its smallest crossection and the plane of rupture is a flat plane; quite good if this is still nearly the case, etc.

Als voorbeeld zijn hieronder de volledige resultaten van 1 serie bepalingen in tabel 27 medegedeeld. Het materiaal bestond uit 30% fractie $< 16\ \mu$ van de leemgrond + de zandfractie van deze leemgrond + de fractie 16—43 μ. Droogtemperatuur is 40° C; resterend vochtgehalte 0.59 %.

Tenslotte zullen we ook nu weer de foutengrens van de bepaling nagaan. Hierbij zullen we ons evenals bij de drukvastheid weer beperken tot het nagaan van de middelbare fouten van het gemiddelde van een serie, welke fouten ook nu weer met behulp van formule 1 zijn berekend.

In tabel 28 zijn de middelbare fouten van het gemiddelde van dezelfde hoofdonderzoekingen medegedeeld, als ook bij de beschouwing van de buigvastheid en slagbuigvastheid in aanmerking zijn genomen.

Uit tabel 28 volgt, dat gemiddeld genomen voor onderzoek I, waarvan ongeveer 640 proeflichamen werden onderzocht, de gemiddelde middelbare fout van het gemiddelde van één serie 4.1% van dit gemiddelde is. Voor onderzoek II zien we deze middelbare fout iets toenemen met de droogtemperatuur; bij iedere temperatuur werden omstreeks 50 à 60 proeflichamen onderzocht.

Op grond van deze laatste onderzoekingen zou men dus — wat de foutengrens betreft — aan een droogtemperatuur van 40° C of 70° C de voorkeur willen geven, ware het niet, dat het aantal onderzochte series

TABEL 28

Onderzoek	Aantal series	Gemiddeld aantal modellen per serie	M.f. van het gemiddelde van één serie in % van dat gemiddelde
INVLOED SLIBGEHALTE I *(Influence claycontent)* (droogtemp. 40° C)			
Rivierkleigrond + fractie 16— 43 μ a	21	5.8	4.3
„ + „ 208—295 μ b	22	6.2	3.9
Leemgrond + „ 16— 43 μ c	26	6.4	4.2
„ + „ 208—295 μ d	21	6.6	3.9
Gem.	90		4.1
INVLOED TEMPERATUUR DROGEN II *(Influence temperature of drying)* Rivierkleigrond resp. Leemgrond met 30 % en 60 % slib en de fractie 16—43 μ en 208—295 μ.			
Droogtemperatuur 40° C	8	6.1	4.2
„ 70° C	10	6.7	4.4
„ 100° C	8	5.9	4.6
INVLOED KATIONEN IV *(Influence cations)* (droogtemp. 70° C)			
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib en de fractie 16—43 en 208—295 μ.	8	6.9	3.1
Leemgrond met 30 en 60 % slib en de fractie 16—43 en 208—295 μ.	8	6.5	4.0

Research	*Number of series*	*Average number of models per series*	*Standard deviation of the mean of one series in % of the mean*

Opmerking: Het materiaal voor onderzoek I en II bevatte alleen uitwisselbare H'-ionen; onderzoek IV Ca''- en H'-ionen (pH 6.5 à 7.0). Humus en $CaCO_3$ werden van te voren verwijderd.

Note: The material for research I and II contain only exchangeable H'-ions; research IV Ca''- and H'-ions (pH 6.5 à 7.0). Humus and $CaCO_3$ are removed.

voor dit doel gering is (zie ook tabel 28). Het blijkt echter, dat voor onderzoek IV eveneens een foutengrens van 3 à 4 % is gevonden. Aangezien het drogen van de modellen bij 70°C dit voordeel heeft, dat het resterende vochtgehalte constanter wordt, werd hieraan de voorkeur gegeven. Zie in dit verband ook hoofdstuk III, 1.

In tabel 29 is tenslotte voor de onderzoekingen I, II en IV nog eens aangegeven, hoe de middelbare fouten varieren. Hierbij zijn de variaties van de middelbare fouten bepaald bij series, die bij 40°C resp. 70°C resp. bij 100°C waren gedroogd, afzonderlijk gehouden.

Uit tabel 29 volgt, dat het aantal series, waarbij de fout gelijk aan

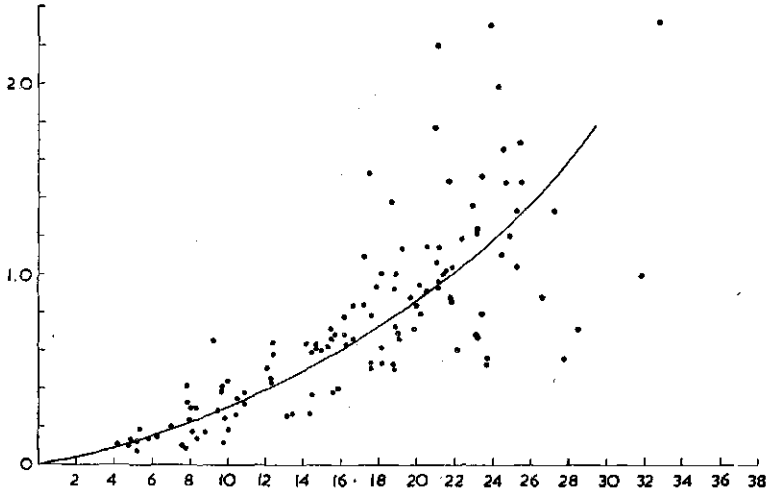
TABEL 29

Onderzoek	Aantal series	De middelbare fout van het gemiddelde van één serie bedraagt in % gemiddeld															
		1.0—1.9		2.0—2.9		3.0—3.9		4.0—4.9		5.0—5.9		6.0—6.9		7.0—7.9		8.0 en groter	
		aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %
I Droogtemp. 40° C	90	10	11	18	20	13	14	25	27	14	16	5	6	1	1	4	4
II „ 40° C	8	0	0	2	25	2	25	1	12½	3	37½	0	0	0	0	0	0
II „ 70° C	10	0	0	3	30	3	30	2	20	0	0	1	10	1	10	0	0
II „ 100° C	8	0	0	1	12½	3	37½	0	0	3	37½	1	12½	0	0	0	0
IV „ 70° C	16	1	6	5	31	4	25	4	25	1	6	1	6	0	0	0	0
Research	*Number of series*	*number*	*in %*	*number*	*in %*	*number*	*in %*	*number*	*in %*	*number*	*in %*	*number*	*in %*	*number*	*in %*	*number*	*in %*
		1.0—1.9		*2.0—2.9*		*3.0—3.9*		*4.0—4.9*		*5.0—5.9*		*6.0—6.9*		*7.0—7.9*		*8.0 and higher*	
		Standard deviation of the mean of one series in % on an average															

of groter was dan 6.0% betrekkelijk gering is. Bij de volgende onderzoekingen werden dan ook de resultaten van alle series met middelbare fouten gelijk aan of groter dan 5.9% geschrapt en de bepalingen herhaald.

Tenslotte is ook nu weer nagegaan in hoeverre de middelbare fout afhangt van de specifieke trekvastheid. Uit diagram 4 blijkt, dat ook nu de absolute fout toeneemt met de trekvastheid.

DIAGRAM 4. Verband tussen de absolute, middelbare fout van het gemiddelde van één serie en de specifieke trekvastheid.
Absolute middelbare fout van het gemiddelde
Absolute standard deviation of the mean



Specifieke Trekvastheid in kg/cm²
Spec. modulus of rupture by tear in kg/cm²

DIAGRAM 4. *Connection between the absolute standard deviation of the mean of one series and the spec. modulus of rupture by tear.*

g. De hardheid volgens BRINELL (H_b).

Hieronder verstaat men het quotient van de, door middel van een kogel op het te onderzoeken materiaal, uitgeoefende druk gedeeld door het oppervlak A van de bij die (constante) druk in het materiaal ontstane kogelindruk. Deze grootheid wordt meestal in kg/mm² soms ook in kg/cm² uitgedrukt.

Is P de op de kogel uitgeoefende druk in kilogrammen, is D de doorsnede van de kogel in mm en d de doorsnede van de cirkelvormige rand van de kogelindruk in mm, dan is het oppervlak van de kogelindruk $\frac{1}{2}\pi D\{D-\sqrt{(D^2-d^2)}\}$ zodat de hardheid (H_b) gelijk is aan:

$$H_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{1}{2}\pi D\{D-\sqrt{(D^2-d^2)}\}} \qquad (6)$$

De bovenbedoelde doorsnede van de cirkelvormige rand van de kogelindruk is moeilijk nauwkeurig te meten. Dit is beter te doen van de diepte, tot waar de kogel is ingedrukt. Noemen we deze diepte h, dan is, daar bedoeld oppervlak van de kogelindruk gelijk is aan π Dh, dus ook:

$$H_b = \frac{P}{\pi Dh} \qquad (7)$$

De hardheid volgens BRINELL is een welbekende methode voor onderzoekingen van metalen; vooral van staal. Voor gronden of dergelijk materiaal is zij slechts weinig onderzocht. LUNGE en BERL [120] maakt noch onder „Tonwaren und Porzellan" noch onder „Portlandzement" melding van deze grootheid. SOMMERFELD [121] maakt hiervan wel melding en beveelt een kogeldoorsnede van 5 mm aan. Ook „de Material-Prüfungsausschusz der Deutschen Keramischen Gesellschaft [122] deelt over deze grootheid niets mede. Bepalingen van deze grootheid voor gronden of daarmede te vergelijken materiaal zijn voor zover ons bekend alleen verricht door HAINES [123] en PURI [124]. In sub a van deze paragraaf zijn hierover reeds de nodige opmerkingen gemaakt, waarnaar verwezen kan worden. Hier kan, wat het onderzoek van HAINES betreft, volstaan worden met er aan te herinneren, dat HAINES geen metingen heeft kunnen verrichten bij gronden, die minder dan 10 % vocht bevatten.

PURI gebruikte een stalen kogel met een doorsnede van 8 mm. De monsters werden gemaakt uit pasta met een vochtgehalte van dat van het z.g. „sticky point". Deze pasta werd dan gebracht in een koperen ring van 1.8 cm hoogte en 3.5 cm doorsnede. Na drogen aan de lucht konden zij tengevolge van de krimp gemakkelijk uit de ringen worden genomen. Wat de meting zelf betreft, kan worden opgemerkt, dat hierbij niet vermeld wordt, in hoeverre de indrukking van de kogel in bovengenoemde cylinder aan het eind van de meting tot staan is gekomen. Vermoedelijk zal dit bij de aflezing nog niet het geval zijn geweest. Mede in verband met onze eigen ervaringen lijken deze metingen van PURI dan ook weinig nauwkeurig.

Wat de bereiding van de pasta voor de door ons gebruikte modellen betreft, kan worden verwezen naar sub a van deze paragraaf. Deze pasta werd dan door rollen met de hand tot kleine bollen vervormd, die in een koperen ring van 3.5 cm doorsnede en 2.0 cm hoogte werd gedrukt. De verwijdering van de overtollige grond en het gladmaken van de onder- en bovenkant geschiedde op de gewone wijze. Oorspronkelijk werden deze cylinders grond met behulp van een houten stamper uit de ring gedrukt, later bleven deze koperen ringen op een gipsplaat 1 à 2 dagen aan de lucht drogen [125], waarna de grondcylinders er uit genomen werden en gedurende minstens 7 dagen in de stoof bij 40°C of minstens 6 dagen bij 70°C of minstens 4 dagen bij 100°C werden ge-

120 l.c. noot 62.
121 l.c. noot 64.
122 l.c. noot 64a.
123 l.c. noot 48.
124 l.c. noot 12.
125 De modellen kregen op deze wijze een mooiere vorm.

droogd, afhankelijk dus van de toegepaste droogtemperatuur. Voor het begin van de metingen werden de boven- en onderkanten van meestal 6 cylinders *glad geschuurd* met middelfijn schuurpapier, gewogen en dan weer in de droogstof teruggelegd.

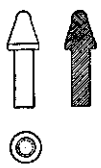


Fig. 6 Staaf met kraag en met kogelvormig uiteinde, gebruikt voor de bepaling van de hardheid volgens BRINELL.

Fig. 6 Bar with shoulder and with spherical end, used for the determination of the hardness of BRINELL.

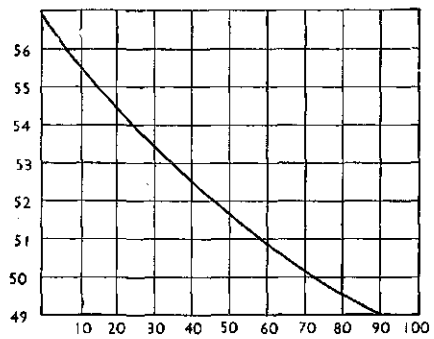
De metingen werden uitgevoerd met hetzelfde toestel als waarmede de drukvastheid (zie sub c) werd bepaald, alleen was de stempel nu vervangen door een in figuur 6 aangegeven staaf met kraag, waarvan het uiteinde uit een halve bol bestond met een middellijn van gewoonlijk 8 mm; soms ook van 6 mm. Bedoelde staaf was gemaakt uit zilverstaal. Deze staaf wordt met de schroef P vastgezet. Verder staat de houten schijf op het wiel F (zie figuur 1) niet meer door middel van een snoer in verbinding met een schijf op de as van de vertragingsbak M, zoals dit bij de bepaling van de drukvastheid het geval was, aangezien dit wiel voor deze bepaling met de hand wordt rondgedraaid.

Reeds bij de bepaling van de drukvastheid (zie sub c) is opgemerkt, dat door een belasting op de weegplaat A (zie figuur 1) deze iets daalt. Aangezien de hardheidsbepaling hierop neerkomt, dat de diepte van de indringing van de kogel in het te onderzoeken model wordt gemeten, was het van belang nauwkeurig vast te stellen, hoeveel deze weegplaat A daalt ten opzichte van de stand zonder belasting (= wijzer W op O-streep van de schaalverdeling). Deze daling werd nu aldus bepaald, dat de stempel voor de drukvastheidsbepaling door middel van schroef P aan de staaf K vastgemaakt werd. Op de weegplaat A lag nu een ijzeren schijf ter dikte van $\pm$ 2 cm. Met behulp van de stelschroeven R werd de wijzer W op de nulstreep van de betreffende schaal ingesteld. Door draaiing van het wiel F werd nu de stempel zover naar onderen gedraaid tot deze de ijzeren schijf juist raakt. Nu werd het wiel F zo ver gedraaid, dat de druk op de weegplaat 7,5 kg was, waarbij na 10 minuten wachten werd genoteerd, hoeveel schaaldelen van de schaal E het wiel F gedraaid was. Daarna werd het wiel verder gedraaid tot de druk 12,5 kg was, waarna weer na 10 minuten wachten werd nagegaan hoeveel schaaldelen het wiel F verder was gedraaid, enz. Hierdoor was dus bekend hoeveel schaaldelen bij iedere beginbelasting het wiel gedraaid moest worden om deze druk 5 kg te verhogen. Nu werd in een diagram, waarbij op de x-as de belasting in kg was aangegeven en op de y-as het aantal schaaldelen, waarover het wiel gedraaid moest worden om deze druk 5 kg te verhogen, de experimenteel bepaalde waarden aangegeven en de aldus verkregen punten door een vloeiende lijn verbonden [126].

[126] Om de druk van 7.5 tot 12.5 kg te verhogen (gemiddeld 10 kg) moest het wiel F bijv. 55.5 schaaldelen worden gedraaid, van 12.5 tot 17.5 kg (gemiddeld 15 kg) 54.8 schaaldelen, van 17.5 tot 22.5 kg (gemiddeld 20 kg) 54.2 schaaldelen, enz. Voor gemiddeld 10, 15, 20 enz. kg was dus dit aantal schaaldelen, resp. 55.5, 54.8, 54.2 enz.

De verkregen curve is aangegeven in diagram 5. Hieruit blijkt dus, dat dit aantal schaaldelen iets terugloopt, naarmate de beginbelasting hoger is. De afwijking van de experimenteel bepaalde waarden en die uit diagram 5 afgeleid, blijkt hoogstens 1½ schaaldeel per 5 kg drukvermeerdering te zijn. Uit diagram 5 werd weer een tabel afgeleid, waarin per 1 kg opklimmende druk (van 10 tot 90 kg) de daling van de weegplaat per 5 kg drukvermeerdering is aangegeven. Deze tabel is niet in deze publicatie opgenomen. Deze bepalingen werden later nog eens herhaald, waarbij een iets andere lijn in bovenbedoeld diagram en iets andere cijfers voor deze tabel werden verkregen. De afwijking bedraagt niet meer dan 1½ schaaldeel per 5 kg drukvermeerdering.

DIAGRAM 5. Aantal schaaleenheden per 5 kg drukverhoging.
Number of scale-units per 5 kg increase of pressure.



Verder is in sub c reeds opgemerkt, dat de vlakke schroefdraad op de staaf K zeer gelijkmatig is. Om de gang van deze schroef te bepalen was op deze stang en gedeeltelijk op de brug B nog een nonius S aangebracht, waardoor een verschuiving van de staaf K tot op 1/30 mm nauwkeurig was af te lezen. Uitgaande van een bepaalde beginstand — de onderkant van de stempel bevond zich op ± 5 cm boven de weegplaat — werd de nonius afgelezen en daarna telkens opnieuw, nadat het wiel 100 x was rondgedraaid. Hieruit was de daling van deze staaf per één volledige omwenteling van het wiel (dus over 200 schaaldelen) bekend. Deze daling bleek zeer constant te zijn en na 2 jaar geregeld gebruik nog precies gelijk te zijn gebleven, nl. 0,2114 mm, of per schaaldeel dus ± 0,001 mm. Wat de gang in de schroefdraad betreft, kan dus de indringingsdiepte van de stalen kogel in het proeflichaam met een meer dan voldoend grote nauwkeurigheid worden bepaald. In verband met de weliswaar geringe dode gang van de schroefdraad werd het wiel K tijdens de meting steeds in dezelfde richting gedraaid.

Wat de meting van de hardheid zelf betreft, werd de grondcylinder in een losse koperen ring a ingesloten, die door middel van de schroef b meer of minder wijd kon worden gemaakt (zie figuur 7 a en b). Tussen grondcylinder en koperen ring werd een strookje vloeibladpapier gebracht, waarna de schroef b stevig werd aangedraaid. Het geheel —

dus grondcylinder + koperen ring — werd op een glad gepolijste hardkoperen schijf van ± 5 mm dikte en 8 cm doorsnede gelegd. Door de stelschroeven R (zie figuur 1) werd de wijzer W weer op de nulstreep van de schaalverdeling ingesteld. De staaf K werd nu zover naar beneden gedraaid, tot de onderkant van de kogel de bovenkant van het proeflichaam juist raakte. Eerst is nu geprobeerd de hardheid aldus te bepalen, dat het wiel F zo ver gedraaid werd tot een druk van 10 kg werd afgelezen. Het bleek echter, dat deze druk niet constant bleef maar terugliep, doordat de kogel steeds verder in het proeflichaam doordrong, zodat het wiel F steeds verder moest worden gedraaid om de druk op 10 kg constant te houden. Ook na 30 minuten was nog geen constante druk verkregen. Hetzelfde was het geval als een druk van 20 kg op de kogel werd uitgeoefend, enz. Betere resultaten werden verkregen door het wiel na een begindruk telkens één maal rond te draaien (over 200 schaaldelen) en daarna na 10 minuten de (eind)druk af te lezen. Deze druk was dan weliswaar nog niet constant, maar deze veranderde dan althans nog slechts weinig. Een tweede moeilijkheid bleek te bestaan in het feit, dat door de toeneming van de druk de indringing (h) van de kogel in het proeflichaam niet rechtevenredig met deze druk toenam, zoals dat bij constante hardheid (H_b) blijkens de formule $H_b = \frac{P}{\pi D} \cdot \frac{1}{h}$ het geval zou moeten zijn. Het bleek namelijk, dat deze indringing per kg uitgeoefende druk eerst veel groter en pas vanaf een zekere druk constant was. Daarom werd de bepaling tenslotte als volgt uitgevoerd.

Fig. 7a Afmetingen van de ring, gebruikt om het cylindertje grond in te klemmen, dat voor de bepaling van de hardheid volgens BRINELL wordt benut.

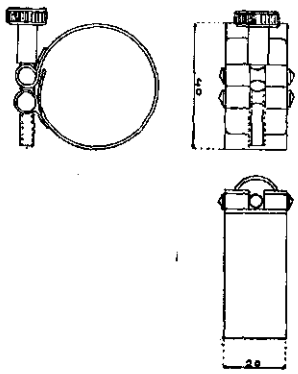


Fig. 7a Dimensions of the ring, used for fixing the small cylinder of soil and employed for the determination of the hardness according to BRINELL.

Fig. 7b Perspectief tekening van de ring gebruikt bij de bepaling van de hardheid volgens BRINELL.

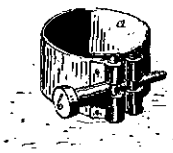


Fig. 7b Perspective drawing of the ring used for the determination of the hardness according to BRINELL.

De staaf K wordt zoveel naar beneden gedraaid, dat de druk, die de onderkant van de kogel op het proeflichaam uitoefent 7.5 kg bedraagt. Het wiel wordt nu telkens zoveel bijgedraaid, dat gedurende 10 minuten deze druk 7.5 kg blijft, waarna de stand van het wiel met behulp van het vaste punt H op de schaalverdeling op de schijf E wordt afgelezen. Het wiel F wordt nu 200 schaaldelen (= 1 x) rondgedraaid en na 10 minuten de druk op de proefcylinder met behulp van de wijzer W op de gewichtenschaalindeling afgelezen, vervolgens wordt het wiel F weer

200 schaaldelen (= 1 x) rondgedraaid, waarna na 10 minuten weer de uitgeoefende druk wordt afgelezen, enz. tot de proefcylinder breekt. De gebroken stukken werden dan weer in de stoof teruggebracht en hierin het vochtgehalte (bij 105°C) bepaald. Een volledige bepaling ziet er dus als volgt uit:

Stand van het wiel na 10 minuten bij 7.5 kg; schaaldeel No. 115.

							Verschil
Wiel	0 x rond	(0	schaaldelen), na	10	minuten	7.5 kg	
„	1 x rond	(200	„), „	10	„	15.1 „	7.6
„	2 x rond	(400	„), „	10	„	24.2 „	9.1
„	3 x rond	(600	„), „	10	„	34.1 „	9.9
„	4 x rond	(800	„), „	10	„	44.5 „	10.4
„	5 x rond	(1000	„), „	10	„	55.3 „	10.8
„	6 x rond	(1200	„), „	10	„	66.4 „	11.1
„	7 x rond	(1400	„), „	10	„	77.6 „	11.2
Daarna gesprongen							

Om hieruit de hardheid te kunnen berekenen moeten we dus de indringingsdiepte van de kogel bepalen of, wat op hetzelfde neerkomt, de indringingsdiepte per 1 kg belasting.

Van 7.5 tot 15.1 kg is het wiel F 1 x rondgedraaid (over 200 schaaldelen). De weegplaat A (figuur 1) is daarbij ook gedaald. De gemiddelde druk op deze weegplaat was $\frac{7.5 + 15.1}{2} = \frac{22.6}{2} = 11.3$ kg. Uit diagram 5 [127] leiden we af, dat bij 5 kg drukvermeerdering bij deze druk de weegplaat 55.2 schaaldelen daalt. Aangezien de drukvermeerdering $15.1 - 7.5 = 7.6$ bedraagt, is dus de weegplaat $\frac{7.6}{5} \times 55.2 = 83.9$ schaaldelen gedaald. De kogel is dus bij vermeerdering van de druk van 7.5 op 15.1 kg $200 - 83.9 = 116.1$ schaaldelen in het proeflichaam gedrukt of per kg drukvermeerdering dus $\frac{116.1}{7.6} = 15.3$ schaaldeel. Op dezelfde wijze kunnen ook de andere cijfers worden berekend (zie tabel 30).

Uit tabel 30 blijkt, dat de indringing per kg stijgende belasting eerst sterk en daarna hoe langer hoe langzamer met de begindruk afneemt. Feitelijk wil dit zeggen, dat formule 7 niet geldig is, zij het dan ook, dat bij vele andere gevallen, vanaf een bepaalde begindruk, de indringing van de kogel per kg toenemende belasting vrijwel constant is of schommelt om een constante waarde. Door ons tot deze laatste bepalingen te beperken, krijgen we althans een waarde, die slechts binnen redelijke grenzen nog afhangt van de druk. In diagram 6 zijn nog eens van de hiervóór aangegeven bepaling de druk op de kogel en de totale indringing uitgedrukt in schaaldelen aangegeven. Uit dit diagram blijkt, dat de laatste 4 punten practisch op een rechte lijn liggen. De gemiddelde indrukking per kg verhoogde belasting is dan 8.4. In tabel 29 is deze op 8.8 gesteld, doordat van de laatste 5 waarnemingen is uitgegaan. Voor deze laatste 5 waarnemingen loopt de indrukking per kg uiteen van 9.8 tot 8.2 schaaldeel. Verder blijkt uit tabel 29, dat voor deze waar-

[127] Voor een gedeelte van de bepalingen werd ook een iets andere kromme gebruikt; zie hiervóór.

TABEL 30

Aantal schaaldelen, dat het wiel F is rondgedraaid	Einddruk na 10 minuten in kg	Daling van de weegplaat in schaaldelen	Totale indringing van de kogel in het proeflichaam	Indringing van de kogel per kg drukvermeerdering
0	7.5			
200	15.1	$\frac{7.6}{5}$ x 55.2 = 83.9	116.1	15.3
400	24.2	$\frac{9.1}{5}$ x 53.6 = 97.6	102.4	11.3
600	34.1	$\frac{9.9}{5}$ x 51.9 = 102.8	97.2	9.8
800	44.5	$\frac{10.4}{5}$ x 50.5 = 105.0	95.0	9.1
1000	55.3	$\frac{10.8}{5}$ x 49.4 = 106.7	93.3	8.6
1200	66.4	$\frac{11.1}{5}$ x 48.7 = 108.1	91.9	8.3
1400	77.6	$\frac{11.2}{5}$ x 48.3 = 108.2	91.8	8.2
		Gemiddeld laatste 5 bepalingen *Average of the last 5 determinations*		*8.8*
Number of scale units, the wheel F is rotated	*Pressure after 10 minutes in kg*	*Descent of the weigh-plate in scale-units*	*Total penetration of the ball in the test cilinder*	*Penetration of the ball by increasing pressure with 1 kg*

neming de indringing per kg verhoogde belasting niet constant is, hetgeen in diagram 6 voor de laatste 4 waarnemingen niet meer tot uiting komt.

Voor de berekening van de hardheid bedenken we, dat volgens formule 7: $H_b = \frac{P}{\pi D} \cdot \frac{1}{h}$ kg/mm².

$P = 1$ kg; $h = \frac{\text{aantal schaaldelen}}{100}$ x 0.1057 mm, aangezien 100 schaaldelen overeenkomen met 0.1057 mm. Verder is D = doorsnede kogel; in dit geval 8 mm. Hieruit volgt:

$$H_b = \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{1}{\frac{\text{aantal schaaldelen}}{100} \cdot 0.1057} = \frac{37.64}{\text{aantal schaaldelen}} \text{ kg/mm}^2.$$

In bovengenoemd geval is dus $H_b = \frac{37.64}{8.8} = 4.28$ kg/mm².

Deze hardheid is feitelijk een gemiddelde van 5 hardheidscijfers, waarvan de uitersten zijn $\frac{37.64}{9.8} = 3.84$ en $\frac{37.64}{8.2} = 4.59$ kg/mm² zijn.

DIAGRAM 6. De aandacht wordt er op gevestigd, dat het indringen van de kogel is nagegaan vanaf de stand van de kogel bij een druk van 7.5 kg.

Het indringen van de kogel in schaaleenheden

Penetration of the ball in scale-units

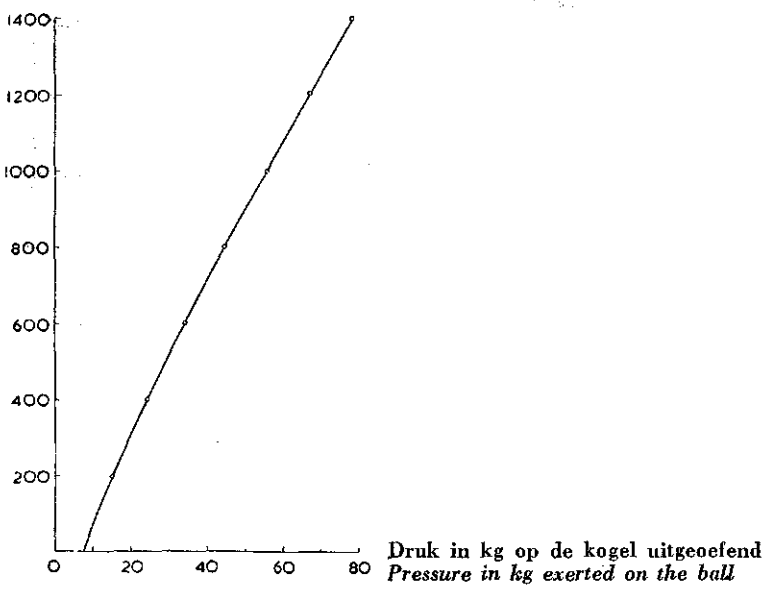


DIAGRAM 6. *Attention is asked for the fact, that the penetration is indicated from the position of the ball at a pressure of 7.5 kg.*

Wellicht zal men zich afvragen, waarom het gemiddelde van de laatste 5 waarnemingen werd genomen en waarom niet van de 3 laatste. Dit werd gedaan, aangezien bij verschillende andere bepalingen van deze serie de gemiddelde opklimming per kg drukvermeerdering (voor de berekening van de gemiddelde hardheid van het betreffende proeflichaam) in rekening werd gebracht, nadat het wiel 2 x (400 schaaldelen) was rondgedraaid (zie hieronder). Bij andere proefcylinders was deze indringing dan meestal reeds practisch constant. Dit neemt niet weg, dat de keuze van de waarden, die voor de berekening van het gemiddelde in aanmerking worden genomen, niet vrij te pleiten is van willekeur, ook al wordt deze door de bovengenoemde maatregel zoveel mogelijk vermeden.

Hieronder volgen nu de resultaten van een volledige serie; de betekenis en de volgorde der cijfers is dezelfde als van tabel 30. De resultaten van het proeflichaam No. 1 zijn ook reeds in tabel 30 medegedeeld.

MATERIAAL: Mengsel van 40 % fractie < 16 μ van de leemgrond + de zandfractie van deze leemgrond + fractie 16—43 μ. Het mengsel bevat geen $CaCO_3$ en humus en alleen uitwisselbare H'-ionen. Droogtemperatuur 40° C.

I. AFMETINGEN PROEFCYLINDER: hoogte 1.79 en doorsnede 3.25 cm.
Na 10 minuten bij 7.5 kg druk; stand wiel bij schaaldeel 115.

200	15.1			
400	24.2			
600	34.1	$\frac{9.9}{5} \times 51.9 = 102.9$	97.2	9.8
800	44.5	$\frac{10.4}{5} \times 50.5 = 105.0$	95.0	9.1
1000	55.3	$\frac{10.8}{5} \times 49.4 = 106.7$	93.3	8.6
1200	66.5	$\frac{11.1}{5} \times 48.7 = 108.1$	91.9	8.3
1400	77.6	$\frac{11.2}{5} \times 48.3 = 108.2$	91.8	8.2
1600	gebroken	Gem.		8.8 $H_b = \frac{37.64}{8.8} = 4.28$

II. AFMETINGEN PROEFCYLINDER: hoogte 1.86 en doorsnede 3.27 cm.
Na 10 minuten bij 7.5 kg druk; stand wiel bij schaaldeel 180.

200	15.9			
400	25.6			
600	35.7	$\frac{10.1}{5} \times 51.6 = 104.2$	95.8	9.5
800	46.2	$\frac{10.5}{5} \times 50.3 = 105.6$	94.4	9.0
1000	56.7	$\frac{10.5}{5} \times 49.3 = 103.5$	96.5	9.2
1200	67.2	$\frac{10.5}{5} \times 48.7 = 102.3$	97.7	9.3
1400	77.4	$\frac{10.2}{5} \times 48.3 = 98.5$	101.5	10.0
1600	gebroken	Gem.		9.4 $H_b = \frac{37.64}{9.4} = 4.00$

III. AFMETINGEN PROEFCYLINDER: hoogte 1.80 en doorsnede 3.27 cm.
Na 10 minuten bij 7.5 kg druk; stand wiel bij schaaldeel 150.

200	16.2			
400	25.8			
600	36.0	$\frac{10.2}{5} \times 51.6 = 105.3$	94.7	9.3
800	46.6	$\frac{10.6}{5} \times 50.3 = 106.6$	93.4	8.8
1000	57.2	$\frac{10.6}{5} \times 49.3 = 104.5$	95.5	9.0
1200	gebroken	Gem.		9.0 $H_b = \frac{37.64}{9.0} = 4.18$

IV. AFMETINGEN PROEFCYLINDER: hoogte 1.74 en doorsnede 3.25 cm.
Na 10 minuten bij 7.5 kg druk; stand wiel bij schaaldeel 0.

200	16.8			
400	26.6			
600	36.9	$\frac{10.3}{5} \times 51.5 = 106.1$	93.9	9.1
800	37.3	$\frac{10.4}{5} \times 50.8 = 105.7$	94.3	9.1
1000	58.0	$\frac{10.7}{5} \times 49.6 = 106.1$	93.9	8.8
1200	69.0	$\frac{11.0}{5} \times 48.6 = 106.9$	93.1	8.5
1400	gebroken	Gem.		8.9 $H_b = \frac{37.64}{8.9} = 4.23$

V. AFMETINGEN PROEFCYLINDER: hoogte 1.80 en doorsnede 3.27 cm.
Na 10 minuten bij 7.5 kg druk; stand wiel bij schaaldeel 148.

200	15.4			
400	24.6			
600	34.6	$\frac{10.0}{5} \times 51.8 = 103.6$	96.4	9.6
800	44.8	$\frac{10.2}{5} \times 50.4 = 102.8$	97.2	9.5
1000	55.2	$\frac{10.4}{5} \times 49.4 = 102.8$	97.2	9.3
1200	65.9	$\frac{10.7}{5} \times 48.7 = 104.2$	95.8	9.0
1400	76.7	$\frac{10.8}{5} \times 48.4 = 104.5$	95.5	8.8
1600	gebroken	Gem.		9.2 $H_b = \frac{37.64}{9.2} = 4.09$

VI. AFMETINGEN PROEFCYLINDER: hoogte 1.80 en doorsnede 3.25 cm.
Na 10 minuten bij 7.5 kg druk; stand wiel bij schaaldeel 192.

200	16.3			
400	25.7			
600	35.7	$\frac{10.0}{5} \times 51.6 = 103.2$	96.8	9.7
800	45.6	$\frac{9.9}{5} \times 50.4 = 99.8$	100.2	10.1
1000	55.8	$\frac{10.2}{2} \times 49.3 = 100.6$	99.4	9.7
1200	66.2	$\frac{10.4}{5} \times 48.7 = 101.3$	98.7	9.5
1400	gebroken	Gem.		9.8 $H_b = \frac{37.64}{9.8} = 3.84$

VII. AFMETINGEN PROEFCYLINDER: hoogte 1.78 en doorsnede 3.25 cm.
Na 10 minuten bij 7.5 kg druk; stand wiel bij schaaldeel 41.

200	16.8			
400	26.6			
600	36.9	$\frac{10.3}{5} \times 51.5 = 106.1$	93.9	9.1
800	47.4	$\frac{10.5}{5} \times 50.2 = 105.4$	94.6	9.0
1000	58.1	$\frac{10.7}{5} \times 49.2 = 105.3$	94.7	8.9
1200	69.3	$\frac{11.2}{5} \times 48.6 = 108.9$	91.1	8.1
		Gem.		8.8

$H_b = \frac{37.64}{8.8} = 4.28$

GEMIDDELDE HARDHEID van alle 7 proefcylinders 4.13 kg/mm²
Middelbare fout van het gemiddelde 0.062 of 1.5 % van het gemiddelde

Uit het bovenstaande volgt, dat bij sommige proeflichamen de indringing van de kogel per 1 kg drukverhoging practisch constant is. Dit neemt niet weg, dat er in het algemeen een neiging bestaat, dat deze indringing met een toenemende belasting, zij het ook slechts weinig, afneemt. Bedenken we nu verder, dat na de aangegeven wachttijd (10 minuten) nog niet bereikt is, dat de indringing van de kogel volledig tot staan is gekomen, dan volgt hier wel uit, dat deze hardheidsbepaling volgens BRINELL een sterk empirische bepaling is. Bij proeflichamen van een zachter materiaal brak het proeflichaam soms bij draaiing van het wiel over 600 tot 800 schaaldelen, waardoor de vergelijkbaarheid van deze cijfers van materiaal tot materiaal kan verminderen. Soms is het zelfs nodig het wiel slechts 100 inplaats van 200 schaaldelen per keer rond te draaien, aangezien anders te weinig waarnemingen worden verkregen. A priori kan men dan ook zeggen, dat deze grootheid fijnere verschillen niet zal vermogen aan te tonen, tenzij deze grootheid sterk van materiaal tot materiaal uiteen mocht lopen, hetgeen niet het geval is.

Een tweede bezwaar van deze grootheid is de langdurigheid van de bepaling. Voor de hoofdonderzoekingen I, II, III en IV is echter ook de hardheid bepaald om het verband tussen de andere, bepaalde natuurkundige grootheden en de hardheid na te gaan. Het was immers van belang te onderzoeken of wellicht door de hardheid volgens BRINELL weer iets geheel anders wordt gemeten dan door de andere physische constanten, hetgeen het geval zou zijn geweest, indien er geen verband tussen de hardheid en deze andere grootheden zou bestaan. Toen echter bleek, dat dit verband wel bestaat en de bepaling van de hardheid dus niets nieuws leert, werd voor latere onderzoekingen deze grootheid niet meer gemeten.

Verder was het nu van belang na te gaan, in hoeverre de hardheid (volgens de bovenaangegeven methode bepaald) afhing van de doorsnede van de kogel. Daarom werden van hetzelfde materiaal soms gelijktijdig, soms na elkaar een dubbel aantal proefcylinders op de gewone wijze gemaakt. Van de ene helft daarvan werd de hardheid bepaald door

TABEL 31

Onderzocht materiaal	Aantal series	Gemiddeld aantal proef-cylinders per serie	Doorsnede kogel in mm	H_b
60 % fractie < 16 μ van de rivierkleigrond + de zandfractie daarvan + fractie 16—43 μ (H^+-grond).	1	5	8	6.43
	1	5	6	6.91
Zelfde grond nog eens herhaald.	1	5	8	6.79
	1	5	6	7.04
60 % fractie < 16 μ van de leemgrond + de zandfractie daarvan + fractie 16—43 μ (H^+-grond).	1	6	8	6.43
	1	4	6	5.76
60 % fractie < 16 μ van de rivierkleigrond + de zandfractie daarvan + fractie 208—295 μ (Ca^{++}-grond).	1	5	8	5.96
	1	5	6	6.40
Gemiddeld	4	5.3	8	6.40
	4	4.8	6	6.53
Used material	*Number of series*	*Average number of testcylinder per series*	*Diameter ball in mm*	H_b

Opmerking: De gronden bevatten geen humus of $CaCO_3$ en als uitwisselbare ionen alleen H^+- of H^+- en Ca^{++}-ionen (pH 6.5 à 7.0). Dit is in de tabel aangegeven.
Note: Humus and $CaCO_3$ are removed. The mixtures contain only exchangeable H^+- or H^+- and Ca^{++}-ions (pH 6.5 à 7.0). This fact is indicated in the table.

gebruik te maken van een kogel van 8 mm doorsnede en van de andere helft door gebruik te maken van een kogel van 6 mm doorsnede. De verkregen resultaten zijn in tabel 31 medegedeeld. De droogtemperatuur bedroeg steeds 70 °C.

Uit tabel 31 volgt, dat meesttijds de hardheid, bepaald met een kogel met een doorsnede van 6 mm, iets groter is dan de hardheid, bepaald met een kogel met een doorsnede van 8 mm. Het verschil is in elk geval niet groot. Ofschoon het aantal onderzochte series te gering is om met zekerheid een uitspraak te kunnen doen, lijkt het toch wel waarschijnlijk, dat binnen de toegepaste kogeldoorsneden de hardheid (vrijwel) onafhankelijk is van de kogeldoorsnede, zoals formule 6 of 7 dit verlangt. Men vergete immers niet, dat de verschillen, verkregen met hetzelfde materiaal en met kogels van 6 of 8 mm, van dezelfde grootte-orde zijn, als die verkregen bij herhalingen en met kogels van dezelfde doorsnede (hier 8 mm).

Tenslotte zullen we ook van deze physische constante de grootte van de middelbare fout van het gemiddelde van één serie onderzoeken en wel voor alle 4 reeds vaker genoemde hoofdonderzoekingen, aange-

TABEL 32

Onderzoek	Aantal series	Gemiddeld aantal proef-lichamen per serie	M.f. van het gemiddelde van één serie in procenten van dat gemiddelde
INVLOED SLIBGEHALTE I *(Influence claycontent)* (droogtemperatuur 40° C)			
Rivierkleigrond + fractie 16— 43 μ a	19	6.4	2.9
„ + „ 208—295 μ b	16	6.4	3.5
Leemgrond + „ 16— 43 μ c	16	6.5	2 8
„ + „ 208—295 μ d	16	6.3	4.1
Gemiddeld	67 (totaal)		*3.3*
INVLOED TEMPERATUUR DROGEN II *(Influence temperature of drying)*			
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ.			
Droogtemperatuur 40° C	4	6.0	3 8
„ 70° C	4	6.0	2.1
„ 100° C	4	6.0	3.6
Leemgrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ.			
Droogtemperatuur 40° C	4	5.8	4.3
„ 70° C	4	6.0	3.0
„ 100° C	4	5.5	3.4
Gemiddeld	24 (totaal)		*3.4*
INVLOED FIJNHEID (U-CIJFER) ZANDFRACTIE III *(Influence (U-figure) fineness sandfraction)*			
Rivierkleigrond met diverse zandfracties; slibgehalte steeds 20 %. Droogtemperatuur 40° C.	25	5.8	2.8
INVLOED KATIONEN IV *(Influence cations)*			
Rivierkleigrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ. Droogtemperatuur 70° C. $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden.	10	5.0	4.7
Leemgrond met 30 en 60 % slib met fractie 16—43 en 208—295 μ. Droogtemperatuur 70° C. $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden.	8	4.9	3.0
Research	*Number of series*	*Average number of test-cylinders per series*	*Standard deviation of the mean of one series in % of the mean*

Opmerking: De gebruikte materialen bevatten geen $CaCO_3$ of humus meer en alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen, behalve voor onderzoek IV, waarbij het gebruikte materiaal tot pH 6.5 à 7.0 met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen verzadigd was.

Note: Humus and $CaCO_3$ are removed. The mixtures contain only exchangeable $H^{\cdot}$- or (research IV) $H^{\cdot}$- and $Ca^{\cdot\cdot}$-ions (pH 6.5 à 7.0).

zien de invloed van de fijnheid van de zandfractie (U-cijfer) ook door de hardheid getracht is na te gaan. Deze middelbare fouten zijn in tabel 32 voor de reeds vaker genoemde hoofdonderzoekingen aangegeven.

Uit tabel 32 blijkt, dat gemiddeld genomen de middelbare fout van het gemiddelde van één serie ongeveer 3% bedraagt. Een invloed van de droogtemperatuur op deze foutengrens is niet vast te stellen. Verder blijkt uit onderzoek I, dat de gemiddelde foutengrens wat groter is voor grondmengsels met een grofzandige dan met een fijnzandige zandfractie. Een en ander houdt verband met het ruwe oppervlak van de proefcylinders bestaande uit materiaal met een grofzandige zandfractie en niet te hoge slibgehalten. Voor de mengsels met een gering slibgehalte is de hardheid soms moeilijk te bepalen, doordat de cylinders spoedig breken; dit geldt voor de mengsels met een grofzandige zandfractie in meerdere mate dan voor de mengsels met een fijnzandige zandfractie.

Verder is in tabel 33 de variatie van de middelbare fout van het gemiddelde van één serie aangegeven. Hierbij werden de resultaten van de onderzoekingen, verricht bij verschillende droogtemperaturen, niet afzonderlijk gehouden.

Uit tabel 33 blijkt, dat de middelbare fout van het gemiddelde slechts

DIAGRAM 7. Verband tussen de absolute, middelbare fout van het gemiddelde van één serie en de specifieke hardheid.

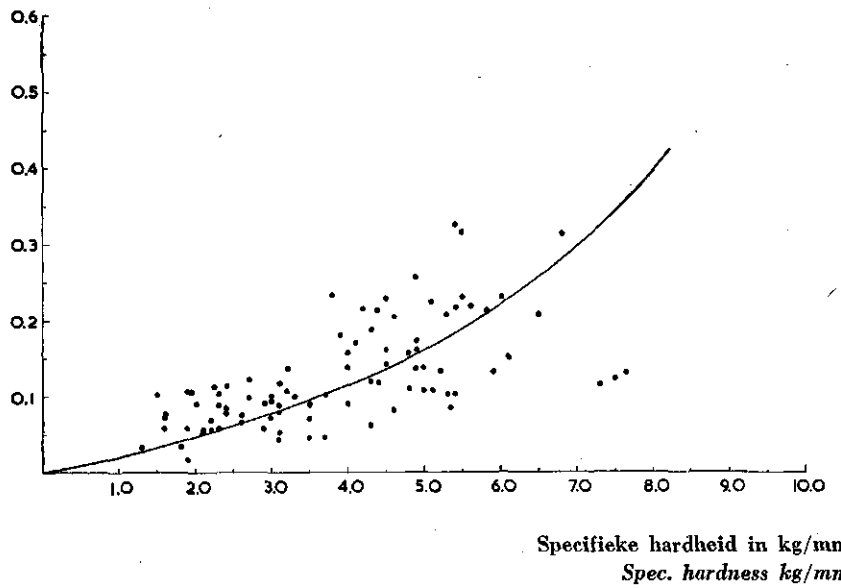


DIAGRAM 7. *Connection between the absolute standard deviation of the mean of one series and the specific hardness.*

TABEL 33

Onderzoek	Aantal series	De middelbare fout van het gemiddelde van één serie bedraagt in % gemiddeld:													
		0—0.9		1.0—1.9		2.0—2.9		3.0—3.9		4.0—4.9		5.0—5.9		6.0 en groter	
		aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %	aantal	in %
I Droogtemp. 40° C	67	0	0	8	12	25	37	15	22	10	15	6	9	3	5
II „ 40, 70, 100° C	24	0	0	4	17	6	25	5	21	6	25	3	12	0	0
III „ 40° C	25	4	4	9	36	4	16	5	20	4	16	2	8	0	0
IV „ 70° C	18	0	0	3	17	4	22	2	11	4	22	3	17	2	11
Research	*Number of series*	*Number*	*in %*	*Number*	*in %*	*Number*	*in %*	*Number*	*in %*	*Number*	*in %*	*Number*	*in %*	*Number*	*in %*
		0—0.9		*1.0—1.9*		*2.0—2.9*		*3.0—3.9*		*4.0—4.9*		*5.0—5.9*		*6.0 and higher*	
		Standard deviation of the mean of one series in % on an average													

zelden gelijk aan of groter is dan 6.0%. Ook het aantal gevallen, waarbij de fout 5.0% of meer is, is relatief gering. Voor zoverre deze bepaling dan ook voor latere onderzoekingen nog zal worden verricht, zullen de resultaten van al die series geschrapt worden en zullen de series worden herhaald, waarvan de middelbare fout van het gemiddelde 5.0% of meer is.

Tenslotte is nog nagegaan, in hoeverre de middelbare fout afhangt van de grootte van de bepaalde hardheid. Uit diagram 7 blijkt, dat ook nu weer de absolute fout toeneemt met de hardheid.

h. De krimp; het poriënvolume tijdens de bepaling

Oorspronkelijk werd geprobeerd de krimp en tevens het poriënvolume van de proeflichamen te bepalen door het volume van de proeflichamen na de droging te berekenen uit de waargenomen afmetingen van de gebruikte proeflichamen. Het bleek echter reeds spoedig, dat de proeflichamen daartoe meestal niet eenvoudig genoeg van vorm of van een voldoend gladde uitvoering waren. Bij duplobepalingen treden namelijk zulke grote verschillen op, dat de waarde van de bepaling illusorisch werd of althans de nauwkeurigheid onvoldoende was. De krimp en tevens het poriënvolume van de onderzochte grondmonsters werden dan ook bovendien op een hieronder verder te beschrijven methode bepaald. Hierbij moet echter worden aangenomen, dat het poriënvolume en de krimp, die op deze wijze zijn bepaald, gelijk zijn aan het poriënvolume en de krimp van de diverse, gebruikte modellen voor de bepaling van de onderzochte physische constanten. Aangezien uit de, bij het onderzoek naar de hardheid en de slagbuigvastheid, gebruikte cylinders resp. staven met een vierkante doorsnede mogelijk nog tamelijk goede cijfers voor dit poriënvolume (van de slagbuigvastheid althans) zijn te verkrijgen, is het van belang deze cijfers te vergelijken met die, welke volgens de hieronder beschreven methode zijn bepaald. Hierdoor verkrijgt men bovendien een indruk van de toelaatbaarheid van de veronderstelling, dat deze krimp en dit poriënvolume ook voor alle proeflichamen gelden.

Voor de bepaling van de krimp en van het poriënvolume werden zuivere cylinders (in het vervolg „Krimpmodellen" genoemd) gemaakt van een oorspronkelijke doorsnede van 5.00 cm en een dikte van 2.00 cm. Deze cylinders werden weer vervaardigd uit pasta, die op de gewone wijze was gemaakt (zie sub a van deze paragraaf). Alle cylinders werden daarbij uit dezelfde pasta vervaardigd; dus niet uit afzonderlijk geknede pasta's. Uitgaande van een koperen cylinder met een doorsnede van 5.00 cm en een hoogte van 2.00 cm werden weer gipsmodellen gemaakt, waarbij deze cylinders juist ronde openingen vormden in 2 cm dikke gipsplaten. Om de grondcylinders een mooie vorm te geven, was in de gipsplaat nog een cirkelvormige koperen ring van 2.00 cm dikte en van ongeveer 7½ cm doorsnede opgenomen, welke ring op een plek was doorgezaagd, aangezien het anders onmogelijk was de koperen cylinders weer uit de gipsplaat te verwijderen.

Tijdens het maken van de modellen werd de gipsplaat met de ronde opening op een andere, vlakke gipsplaat gelegd. In de aldus ontstane opening werd een gedeelte van de pasta gedrukt, die daarvoor eerst tot een bol was gerold. De overtollige grond werd op de gewone wijze verwijderd, hetgeen ook het geval was met het gladmaken van de boven- en onderkant van de cylinder. Dit laatste was daarom zo goed mogelijk, doordat het mes daarbij steeds kon steunen op de bovenkant van de koperen ring, waardoor de grondcylinders tevens overal juist 2 cm dik werden.

De gipsplaten met de grondcylinders er nog in bleven dan 1 à 2 dagen aan de lucht liggen, waarna de grondcylinders reeds voldoende waren opgedroogd en gekrompen, zodat zij gemakkelijk uit de gipsmodellen loslieten. Zij bleven daarna nog een 4 à 5 dagen aan de lucht op een glasplaat liggen. Tenslotte werden zij gedurende 7 dagen in een droogstoof bij 70°C gedroogd.

Voor de bepaling van de krimp en van het poriënvolume werden nu de cylinders één voor één uit de stoof genomen en gewogen, waarna de afmetingen daarvan met een schuifmaat werden gemeten. Daarna werden deze cylinders weer in de stoof teruggelegd. Zodra alle 4 cylinders — iedere serie bestond uit 4 bepalingen — gewogen en de afmetingen daarvan bepaald waren, werd het resterende vochtgehalte hierin op de gewone wijze bepaald. Aangezien het soortelijk gewicht bekend is — deze werd berekend uit het soortelijk gewicht van de bestanddelen en het percentage daarvan in het mengsel — is dus ook het poriënvolume hieruit te berekenen. Op analoge wijze geschiedt dit door middel van de modellen gebruikt bij de bepaling van de hardheid en de slagbuigvastheid. De krimp (= volumeverandering) werd uitgedrukt in procenten van het oorspronkelijke volume. Het poriënvolume werd uitgedrukt in volumeprocenten van het volume van het grondmodel nà drogen.

In tabel 34 zijn zowel de krimp als het poriënvolume droog aangegeven, zoals deze uit de krimpmodellen en met behulp van de modellen voor de bepaling van de hardheid en van de slagbuigvastheid zijn bepaald. Hierbij werd zoveel mogelijk van gemiddelde cijfers gebruik gemaakt.

Uit tabel 34 volgt, dat de cijfers verkregen met behulp van de hardheidmodellen onjuist of althans te onnauwkeurig zijn. Dit laatste was te verwachten, aangezien de zijkanten van deze modellen bij de bereiding daarvan niet glad werden afgewerkt, daar dit voor de bepaling van de hardheid niet nodig was. Deze cijfers kunnen dan ook verder buiten beschouwing blijven. De met behulp van de krimp- en slagbuigvastheidmodellen verkregen resultaten zijn daarentegen weinig verschillend ondanks soms een verschillende droogtemperatuur, zodat met behulp van deze modellen de krimp en het poriënvolume na drogen en natuurlijk ook in de oorspronkelijke natte toestand berekend kunnen worden. Afzonderlijke bepalingen van deze grootheden met behulp van krimpmodellen werden dan ook niet verder verricht.

Ofschoon een bespreking van de verkregen resultaten meer in het

TABEL 34

Onderzoek		Krimp bepaald met behulp van:			Poriënvolume droog bepaald met behulp van:		
		Krimp-modellen	Hardheid-modellen	Slagbuig-vastheid-modellen	Krimp-modellen	Hardheid-modellen	Slagbuig-vastheid-modellen
I	INVLOED SLIBGEHALTE *(Influence claycontent)*						
Rivierklei en leemgrond, fractie 16—43 μ							
	15 % slib	4.4	16.1	5.1	37.3	40.9	39.5
Idem	20 % *(clay)*	6.8	17.6	6.3	34.9	37.3	38.0
„	30 %	10.2	20.1	11.2	32.5	34.9	34.8
„	40 %	17.2	24.2	16.3	30.3	32.2	32.0
„	50 %	20.7	27.0	19.8	30.1	32.2	31.1
„	60 %	23.0	25.6	25.1	29.3	31.0	31.7
„	70 %	27.7	32.2	25.6	30.9	32.6	32.5
II „	80 %	29.0	36.0	28.2	31.1	33.6	33.3
Rivierklei en leemgrond, fractie 208—295 μ							
	15 % slib	2.1	9.0	0.9	34.4	36.8	35.7
Idem	20 % *(clay)*	3.4	10.5	3.9	30.9	32.0	33.3
„	30 %	7.8	17.8	8.3	30.0	31.7	31.2
„	40 %	14.0	21.5	12.9	29.8	32.8	30.9
„	50 %	16.9	24.0	17.3	28.7	32.3	30.8
„	60 %	20.4	28.2	20.6	29.6	31.5	30.1
„	70 %	26.5	33.0	24.3	31.2	32.2	31.2
„	80 %	30.0	35.9	27.6	31.4	31.1	32.7
III	INVLOED U-IJFER						
rivierkleigrond met 20 % slib en met verschillende U-cijfers van de zandfractie *(Influence U-figure riverclaysoil with 20 % clay and with different U-figures of the sandfraction)*	U— 50	5.3	14.5	—	29.9	34.1	—
	U— 70	6.0	15.3	—	30.3	32.5	—
	U— 90	5.8	12.6	—	31.6	34.4	—
	U—110	5.3	9.7	—	33.1	36.8	—
	U—130	6.3	10.0	—	33.6	36.4	—
	U—150	6.8	9.2	—	33.5	37.3	—
	U—170	8.3	12.3	—	36.5	36.3	—
	U—190	7.7	9.7	—	37.9	40.1	—
	U—210	9.0	13.4	—	37.4	37.0	—
	U—230	7.8	10.3	—	35.1	38.0	—
	U—270	7.3	12.2	—	35.5	38.1	—
	U—310	7.1	12.7	—	36.0	38.2	—
IV	INVLOED KATIONEN *(Influence cations)*						
Rivierkleigrond en leemgrond							
	30 % slib; 16— 43 μ	13.8	18.0	13.3	30.0	32.6	31.9
Idem	60 % „ 16— 43 μ	27.2	32.4	24.6	28.6	25.3	29.7
„	30 % „ 208—295 μ	10.7	18.0	9.9	28.6	29.7	30.3
„	60 % „ 208—295 μ	25.4	28.5	26.8	27.2	26.9	26.3
Research		*Shrinkage models*	*Hardness models*	*Rupture by smash models*	*Shrinkage models*	*Hardness models*	*Rupture by smash models*
		Shrinkage determined with the aid of:			*Dry pore space determined with the aid of:*		

Opmerking 1 De gebruikte materialen bevatten geen $CaCO_3$ en humus meer en alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen, behalve voor onderzoek IV, waarbij het gebruikte materiaal tot pH 6.5 à 7.0 met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen verzadigd was.

2 Voor onderzoek I en III was de droogtemperatuur voor de hardheid- en slagbuigvastheidmodellen 40° C; in alle andere gevallen 70° C.

Note 1 Humus and $CaCO_3$ are removed. The mixtures contain only exchangeable $H^{\cdot}$-ions, except Research IV (saturated with $Ca^{\cdot\cdot}$-ions to pH 6.5 à 7.0).

2 The temperature of drying was always 70° C (except research I and III (hardness- and rupture by smash models; temperature of drying 40° C).

volgende hoofdstuk thuishoort, moge hier toch het volgende worden opgemerkt:

De krimp neemt toe met toenemend slibgehalte. Bij hetzelfde slibgehalte is de krimp bij de grovere zandfractie kleiner dan bij de fijnere zandfractie. Dit laatste blijkt uit alle waarnemingen, zij het ook, dat bij hoge slibgehalten dit verschil minder duidelijk wordt. Ook voor de rivierkleigrond met slechts 20% slib en met een verschillend fijne zandfractie blijkt dit, zij het dan ook dat vanaf $U = \pm 170$ geen invloed meer van een nog fijnere zandfractie (groter U-cijfer) is te bespeuren. Betreffende het poriënvolume in gedroogde toestand volgt uit de verkregen cijfers, dat dit poriënvolume vanaf het laagste slibgehalte eerst afneemt om bij de hoogste slibgehalten weer een geringe neiging te vertonen om weer iets toe te nemen. Een invloed van de fijnheid van de zandfractie is, afgezien van de laagste slibgehalten bij onderzoek I, waar het poriënvolume bij een grovere zandfractie lager is dan bij een fijnere zandfractie, niet aan te tonen. Uit onderzoek III volgt, dat bij een opklimmend U-cijfer van de zandfractie (en bij 20% slib) dit poriënvolume met een toenemend U-cijfer toeneemt tot een U-cijfer van omstreeks 190 en daarna weer iets schijnt af te nemen. Tenslotte is van belang hier op te merken, dat de verkregen resultaten met de krimp- en slagbuigvastheidmodellen parallel lopen, waaruit nog eens volgt, dat de krimp en dit poriënvolume ook uit de modellen van de slagbuigvastheid berekend mag worden, hetgeen sindsdien dan ook is geschied. Zie hierover ook hoofdstuk III.

i. *De vloeigrens volgens* ATTERBERG

Tenslotte is in een aantal gevallen ook de vloeigrens volgens ATTERBERG bepaald. De bedoeling daarvan was niet in de eerste plaats de waarde van deze grootheden als zodanig na te gaan voor de karakterisering van een grond dan wel om te controleren in hoeverre deze vloeigrens van ATTERBERG samenhangt met het vochtgehalte van de grondpasta, zoals deze voor de bereiding van de modellen werd gebruikt. Het juiste vochtgehalte, dat deze pasta's moeten hebben, wordt namelijk tijdens het maken daarvan beoordeeld. Bij herhalingen kan men wel zorgen, dat de pasta's hetzelfde vochtgehalte hebben, de vaststelling van dit benodigde vochtgehalte op zichzelf beschouwd is echter subjectief, d.w.z. hangt zeker iets af van de persoon, die de modellen maakt. Aangezien in het volgende hoofdstuk zal blijken, dat dit vochtgehalte van de pasta een duidelijk waarneembare invloed op de verkregen resultaten uitoefent, zou het van belang zijn over een methode te beschikken, waardoor dit benodigde vochtgehalte zou kunnen worden vastgesteld. Om deze reden werden dan ook bij een gedeelte van de verrichte onderzoekingen tevens de vloeigrens volgens ATTERBERG bepaald. De bepaling daarvan geschiedde aldus:

In een porceleinen schaaltje werden enige schepjes grond gebracht en met gedestilleerd water bevochtigd, totdat de grond na gemengd te zijn bij kloppen tegen het schaaltje ineenvloeide. Nu werd telkens iets

TABEL 35

Slibgehalte	Vloeigrens volgens ATTERBERG				Vochtgehalte van de grondpasta
	1ste	2de	3de	Gem.	
Rivierklei (16—43 μ)					
15	22.7	20.3		21.5	25.3
20	23.2	19.3		21.3	25.8
30	26.0	21.3	23.0	23.4	26.6
40	28.5	28.1		28.3	29.8
50	32.7	32.2		32.5	33.1
60	38.3	40.0		39.2	37.8
70	44.4	41.4	43.4	43.1	38.9
80	52.4	52.5		52.0	45.9
Rivierklei (208—295 μ)					
15	15.5	13.2		14.4	16.3
20	16.0	14.0		15.0	18.4
30	22 1	17.8	20.2	20.0	20.9
40	25.4	24.6		25.0	25.3
50	29.4	27.9		28.7	28.5
60	35.2	36.7		36.0	33.5
70	40.9	40.1		40.5	38.7
80	44.7	46.2		45.5	44.8
Leemgrond (16—43 μ) [127]					
15	19.6	20.6		20.1	25.3
20	20.7	19.0		19.9	24.2
30	20.2	18.5	23.2	20.6	24.5
40	24.8	26.9		25.9	26.0
50	27.9	29.9		28.9	29.2
60	34.5	35 1	35.1	34.8	33.5
70	39.8	37.3		38.6	36.3
80	45.9	43.7		44.8	38.0
Leemgrond (208—295 μ)					
15	11.6	13.5		12.6	17.6
20	13.3	12.1		12.7	17.0
30	16.9	17.9		17.4	19.3
40	21.7	19.7		20.7	20.7
50	27.0	29.4		28.2	25.5
60	32.7	33.8		33.3	28.4
70	34.4	37.7		36.6	34.0
80	41.4	39.7		40.6	37.4
Claycontent	*1st*	*2nd*	*3rd*	*Average*	*Moisture content of the soilpaste*
	Upper plastic limit of ATTERBERG				

De hier gebruikte mengsels bevatten alleen uitwisselbare H'-ionen.
The used mixtures contain only exchangeable H'-ions.

luchtdroge grond op deze grondpasta gestrooid, de gehele massa goed dooreengemengd en vlak gemaakt, waarna in de massa met een niet te slap paletmes een sleufje gemaakt werd. Na kloppen met de vlakke hand

[127] Men denke erom, dat de werkelijke slibgehalten resp. 9,1, 14, 18, 27, 36, 46, 55, 64 en 73 % zijn. Eenvoudigheidshalve zijn steeds de in tabel 35 aangegeven slibgehalten aangehouden, ofschoon dit dus niet juist is.

tegen het schaaltje, mag dit sleufje niet dichtvallen of dichtvloeien. Zolang dit geschiedde werd telkens droge grond bijgevoegd enz., tot deze grens (= vloeigrens) is bereikt. Van de dan aanwezige pasta werd dan op de gewone wijze het vochtgehalte bepaald, welk vochtgehalte de vloeigrens aangeeft.

In de eerste plaats moet worden opgemerkt, dat het beter ware geweest, indien de vloeigrens volgens ATTERBERG bepaald ware geworden met behulp van de door CASAGRANDE [128] aangegeven methode, die ook door HUIZINGA [129] wordt toegepast.

Deze laatste methode is namelijk niet of althans veel minder subjectief dan de hier gevolgde methode, die echter, zoals uit jarenlange ervaring is gebleken, goed reproduceerbare cijfers geeft.

Uit tabel 35 blijkt, dat het vochtgehalte van de grondpasta, zoals deze voor het maken van de grondmodellen is gebruikt, bij de lagere slibgehalten hoger en bij de hogere slibgehalten lager is dan de vloeigrens volgens ATTERBERG. Ofschoon dit bij de 4 onderzochte mengsels niet gelijk is, kan men toch wel zeggen, dat het verschil meestal slechts gering is bij slibgehalten vanaf omstreeks 30 à 40% slib tot 50 à 60% slib. Het verschil in gedrag bij de 4 onderzochte mengsels is echter groot genoeg om hoogstens bij slechts een zeer beperkt slibgehalte de vloeigrens volgens ATTERBERG te kunnen benutten om het benodigde vochtgehalte van de grondpasta aan te geven. Hier geschiedt dit dan ook op het gevoel. Ofschoon, zoals zal blijken, het vochtgehalte van de pasta de met de gedroogde modellen verkregen resultaten beïnvloedt, behoeft dit voor de duplobepalingen geen bezwaar te vormen, aangezien er voor gezorgd kan worden, dat de pasta, waarvan bij de herhaling de modellen worden gemaakt, hetzelfde vochtgehalte heeft. Voor een onderlinge vergelijking (bijv. mengsels met opklimmende slibgehalten) worden dus die resultaten vergeleken, die verkregen zijn met modellen, die gemaakt zijn met die pasta, die het beste voor het maken daarvan geschikt is. Weliswaar is dit vochtgehalte bij herhalingen weinig verschillend, d.w.z. dat door de pasta opnieuw te maken een pasta met een weinig verschillend vochtgehalte wordt verkregen (zie tabel 38a); een en ander neemt niet weg, dat de vaststelling, wanneer de pasta het meest geschikt is voor het bereiden van de modellen, een subjctief element bevat. Beschikte men over methoden om het plastisch gedrag van pasta's uit grond en water vast te stellen, dan zou ongetwijfeld een geheel objectieve methode aangegeven kunnen worden om dit meest geschikte vochtgehalte vast te stellen. Over een dergelijke methode beschikten wij niet, terwijl het evenmin eenvoudig geacht moet worden een dergelijke methode uit te werken. Bij een onderlinge vergelijking van de verkregen resultaten moet er dan ook feitelijk om gedacht worden, dat het vochtgehalte van de pasta, die het meest geschikt is om de modellen te maken, op een subjectieve wijze, d.w.z. op het oog en het gevoel, is bepaald. Ook

[128] A. CASAGRANDE, Public Roads *13*, 121—130 en 136, 1932; zie A Review of geology *14*, blz. 80. Overgenomen uit: Bibliography of Soil sciences, fertilizers and general agronomy, Imperial Bureau of Soil Science, Harpenden, 1935, blz. 94.

[129] T. K. HUIZINGA; Grondmechanica, Amsterdam 1942, blz. 20.

indien echter een objectieve methode bestond, zou deze echter vermoedelijk tot resultaat hebben, dat ongeveer dezelfde vochtgehalten voor het bereiden van de geschikte pasta's zouden worden aangewezen. De hier aangevoerde kwestie is vermoedelijk dan ook alleen van theoretisch belang en zal dan ook niet meer besproken worden.

Opmerkelijk is het tenslotte nog, dat zowel de vloeigrens volgens ATTERBERG als de vochtgehalten van de grondpasta's, zoals deze voor het maken van de modellen gebruikt werden, duidelijk hoger zijn bij een fijnzandige dan bij een meer grofzandige zandfractie. De fijnheid van de zandfractie heeft hierop dus een duidelijke invloed. Verder blijkt, dat beide voornoemde vochtgehalten afhangen van het slibgehalte en wel hiermede steeds toenemen.

Gezien het feit, dat de vloeigrens volgens ATTERBERG niet het juiste vochtgehalte van de pasta, die voor het maken van de grondmodellen wordt gebruikt, vermag aan te geven (afgezien van gronden zonder humus en $CaCO_3$ binnen bepaalde slibgrenzen) en de betekenis en het nut van deze goedheid op zijn minst problematisch zijn, werd er van afgezien deze grootheid ook voor de verdere onderzoekingen te bepalen.

j. *Samenvatting*

Vatten we de verkregen resultaten nog eens kort samen, dan is gebleken dat de verschillende physische grootheden zich behoorlijk laten bepalen. Aangezien, zoals in hoofdstuk III zal blijken, de verkregen resultaten voor alle grootheden parallel lopen en dus op de duur zeker met de bepaling van slechts enkele grootheden kan worden volstaan, is het van belang de bepaalde grootheden met hun voor- en nadelen nader te vergelijken. Dit is geschied in tabel 36.

Uiteraard is het bij de bestudering van verschillende invloeden voordelig, indien de bepaalde grootheden daardoor sterk veranderen. In dit opzicht bieden zowel de hardheid als de slagbuigvastheid weinig voordelen, aangezien de kleinste en grootste waarden, die bij alle verrichte onderzoekingen bepaald werden, weinig uiteenlopen. De hardheid heeft daarbij nog als extra nadeel, dat de bepalingsduur lang is. Deze grootheid is dan ook minder geschikt en werd voor latere onderzoekingen dan ook niet meer gebruikt, hetgeen temeer geoorloofd is, aangezien de verkregen resultaten parallel lopen met de resultaten verkregen met de andere methoden. De slagbuigvastheid heeft de kleinste m.f. van het gemiddelde, zowel voor één serie als voor alle bepaalde series, en de korte bepalingsduur voor. Deze grootheid werd dan ook steeds bepaald. Bovendien kan met behulp van de slagbuigvastheidmodellen de krimp en het natte en droge poriënvolume bepaald worden.

De trekvastheid, drukvastheid en buigvastheid hebben ongeveer dezelfde bepalingsduur, dezelfde m.f. van het gemiddelde en ongeveer dezelfde maximaal toelaatbare middelbare fouten. Voor de bepaling van de trekvastheid is de grootste hoeveelheid grond nodig, terwijl de grenzen, waartussen deze grootheid zich beweegt, kleiner is dan van de drukvastheid en buigvastheid. Bovendien is de trekvastheid meer empi-

TABEL 36

METHODE	In hoeverre is de methode afhankelijk van het model of van het betreffende apparaat	Tijd in uren benodigd voor de bepaling van 1 serie	Aantal bepalingen per serie	Maximaal toelaatbare m.f. van het gem. van één serie
HARDHEID	Vrijwel niet afhankelijk van doorsnede kogel. De verkregen resultaten worden echter geheel bepaald door de gevolgde meetmethode. Gebruikte model geen invloed	4—8	6	4.9
SLAGBUIGVASTHEID	Afhankelijk van de vorm van het gebruikte model en vermoedelijk van het gebruikte apparaat. Verkregen resultaten zijn voor de invloed van de krimp te corrigeren	½	10	2.9
TREKVASTHEID	Afhankelijk van de vorm van het gebruikte model; mogelijk afhankelijk van de snelheidstoeneming van de trekkracht en van het gebruikte apparaat. Verkregen resultaten zijn voor de invloed van de krimp te corrigeren	¾ à 1	6 à 7	5.9
DRUKVASTHEID	Afhankelijk van de vorm van het model; bij gebruik van halve bollen echter onafhankelijk van de doorsnede daarvan. Onafhankelijk van het gebruikte apparaat; vermoedelijk afhankelijk van de snelheid van de druktoeneming. Verkregen resultaten zijn voor de invloed van de krimp te corrigeren	¾ à 1 per serie A-, B- of C-halve bollen	10	5.9
BUIGVASTHEID	In platte staafvorm onafhankelijk de afmetingen daarvan. Onafhankelijk van het gebruikte apparaat; mogelijk afhankelijk van de snelheid van de druktoeneming. Verkregen resultaten zijn voor de invloed van de krimp te corrigeren	¾ à 1	7 à 8	4.9
Method	*In how far is the used method dependent on the model or the used apparatus*	*Time required for the determination of one series in hours*	*Number of determinations per series*	*Maximal permitted standard deviation of the mean of one series*

Maximaal toelaatbare m.f. van het gem. van alle onderzochte series van hetzelfde grond-mengsel	Uiterste grenzen, waartussen de bepaalde grootheid zich beweegt	Aantal grammen droge grond benodigd voor 1 serie		
5.0	0— ± 6	± 125—225	*Nearly independent of diameter ball. The obtained results however are all determined by the method followed. Used model has no influence*	*Hardness*
2.0	± 0.5— ± 1.0	± 500—650	*Dependent on the shape of the used model and probably on the used apparatus. Obtained results are to be corrected with a view to the shrinkage*	*Modulus of rupture by smash*
3.0	0— ± 25	± 1000	*Dependent on the shape of the used model; possibly dependent on the increase of velocity of the tearforce and of the used apparatus. Obtained results are to be corrected with a view to the shrinkage*	*Modulus of rupture by tear*
3.5 (A-, B- en C-halve bollen)	0— ± 125 (A-bollen)	± 50—60 (A-bollen)	*Dependent on the shape of the model; if half balls are used however, independent of the diameter of these balls. Independent on the used apparatus; probably dependent on the increase of velocity of the pressure. Obtained results are to be corrected with a view to the shrinkage*	*Modulus of rupture by pressure*
3.5 korte en lange staven	0— ± 80 (korte staven)	± 500—750 (korte staven)	*In flat barform independent on the dimensions of the bars. Independent on the used apparatus; possibly dependent on the increase of velocity of the pressure. Obtained results are to be corrected with a view to the shrinkage*	*Modulus of rupture by bend*
Maximal permitted standard deviation of the mean of all series of the same soil mixture	*Extreme limits between the determined value changes*	*Number of grams of dry soil-mixture required for one series*		

risch dan de beide andere grootheden. Ofschoon voor alle onderzoekingen deze grootheid nog werd bepaald, is het duidelijk, dat de drukvastheid en de buigvastheid de meeste voordelen bieden. De grenzen, waartussen deze grootheden zich bewegen zijn voor beide laatste grootheden groot en weinig verschillend. Het voordeel van de drukvastheid is de geringe hoeveelheid benodigde grond; de buigvastheid is echter hoogstens slechts zeer weinig empirisch, aangezien de vorm van de staven geen invloed heeft; (cylindervormige staven zijn echter door ons niet onderzocht; volgens KOHL (zie noot 77) is de m.f. daarvan veel groter en de breuk onregelmatig). Een invloed van de snelheid van de toeneming van de druk op de drukvastheid bestaat waarschijnlijk wel. Dit is niet verder onderzocht, aangezien deze snelheidstoeneming van de druk gemakkelijk constant is te houden. Dit laatste geldt ook voor de trekvastheid.

Samengevat is dus gebleken, dat de drukvastheid en de buigvastheid de meeste aanbeveling verdienen. Indien dus weinig grootheden bepaald kunnen worden, verdient één van deze grootheden, indien althans niet beide bepaald kunnen worden, de voorkeur. Voor de drukvastheid zijn het beste halve bollen in een oorspronkelijke doorsnede van 2.5 en 2.0 cm te gebruiken. Alleen indien zeer weinig slib aanwezig is, kan een halve bol van een iets grotere doorsnede worden gebruikt, waarbij dan omrekening op een halve bol met een doorsnede van 2½ cm moet plaats vinden. Deze grootheden zijn ook het meest geschikt om kleine onderlinge verschillen aan te tonen. Moet ook de krimp, het natte en droge poriënvolume bepaald worden, dan verdient ook de bepaling van de slagbuigvastheid aanbeveling. Aangezien hierdoor tevens nog een physische grootheid bepaald wordt, hetgeen niet het geval is, indien deze uit afzonderlijke (krimp-) modellen worden afgeleid. In de laatste tijd bepaalden wij echter deze grootheden met behulp van kleine, zuiver cylindrische vormen, hetgeen nog eenvoudiger bleek te zijn en bovendien zeer weinig pasta vraagt. Is dit laatste niet nodig, maar is toch de bepaling van een derde grootheid gewenst, dan verdient de trekvastheid de meeste aanbeveling.

III. BESPREKING VAN DE VERKREGEN RESULTATEN

In dit hoofdstuk zullen de verkregen resultaten besproken worden, voorzoverre deze niet reeds zijn behandeld bij de bespreking van de bepaling van de physische constanten (hoofdstuk II). Eerst zullen we beginnen met de bespreking van enkele onderzoekingen, die meer de meetmethodiek betreffen, zij het dan ook, dat deze meer in verband staan met alle bepaalde physische constanten in gedroogde gronden of mengsels van grondmateriaal *.

*) Behalve bij het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen, zijn volledige gegevens gedeponeerd bij de bibliotheken van de Landbouwhogeschool te Wageningen, de Technische Hogeschool te Delft, het Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening en de Organisatie T.N.O., beide te 's-Gravenhage.

1. De invloed van de droogtemperatuur; de invloed van het in gedroogde toestand resterende vochtgehalte

a. *De invloed van de droogtemperatuur*

Om de invloed na te gaan, die de temperatuur tijdens het drogen van de aan de lucht voorgedroogde modellen op de physische eigenschappen van gronden heeft, werden een 8-tal mengsels onderzocht, nl. een zeer zware rivierkleigrond, waaraan zoveel van de fractie 16—43 μ resp. 208—295 μ was bijgevoegd tot het slibgehalte 30 en 60% bedroeg en een zeer zware leemgrond (wellicht beekbezinking), waaraan zoveel van de fractie 16—43 μ resp. 208—295 μ was bijgevoegd tot het slibgehalte eveneens 30 en 60% bedroeg. Gezien de zeer hoge slibgehalten van de gebruikte rivierklei- en leemgrond (zie hoofdstuk II, § 1) bestaat de zandfractie (16—2000 μ) van de bovenvermelde mengsels practisch uit de fractie 16—43 μ resp. 208—295 μ. De mengsels zijn zorgvuldig geelectrodialiseerd en bevatten dus alleen uitwisselbare H^+-ionen. De eventueel oorspronkelijk in de rivierklei- of leemgrond aanwezige humus en $CaCO_3$ waren van te voren verwijderd (zie hoofdstuk II, punt 1).

Van alle mengsels werden op de, in hoofdstuk II, aangegeven wijze de drukvastheid, buigvastheid, slagbuigvastheid, trekvastheid en hardheid bepaald. De krimp, het poriënvolume tijdens de bepaling (dus in gedroogde toestand) en het poriënvolume in de pasta werden met behulp van de slagbuigvastheidmodellen berekend. De droogtemperatuur van de droogstof, waarin de, aan de lucht voorgedroogde, modellen werden nagedroogd, bedroeg resp. 40°, 70° en 100°C. De modellen bleven hierin zolang liggen tot constantheid van gewicht was bereikt [130] (zie ook hoofdstuk II). Tenslotte werd nog het vochtgehalte in de aldus gedroogde modellen bepaald (drogen bij 105 à 110°C).

De meeste onderzoekingen werden in enkelvoud, slechts enkele in duplo verricht.

In tabel 37 is een overzicht gegeven van de gemiddelde waarden. Hiervoor werden, indien duplobepalingen waren verricht, eerst de gemiddelden berekend en met behulp van deze cijfers en de enkelvoudig bepaalde cijfers het gemiddelde voor dezelfde klei- of leemgrond uitgerekend. Dat wil zeggen, dat de gemiddelden werden berekend van de rivierkleigrond met 30 en 60% slib en met de fractie 16—43 μ en 208—295 μ resp. van de leemgrond met 30 en 60% slib en met de fractie 16—43 μ en 208—295 μ.

Uit tabel 37 volgt, dat bij de slagbuigvastheid en de trekvastheid geen invloed van de temperatuur van het drogen is vast te stellen. Bij de hardheid is er een duidelijke toeneming bij overgang van de temperatuur van het drogen van 40° op 70° C waar te nemen; tussen een droog-

[130] Het resterend vochtgehalte hangt behalve van het onderzochte mengsel en de temperatuur tijdens het drogen ook van het relatieve vochtgehalte van de lucht in de stoof af, welk relatief vochtgehalte nogal varieerde, waardoor bij herhalingen verschillende vochtgehalten in de, bij dezelfde temperatuur gedroogde, modellen optraden.

TABEL 37

Physische constante		Rivierkleigrond			Leemgrond		
		40°C	70°C	100°C	40°C	70°C	100°C
Drukvastheid (1) (*Modulus of rupture by pressure*)	A	65.9	64.2	65.3	72.5	79.9	80.7
	B	41.6	45.0	42.9	48.9	52.7	56.2
	C	27.2	27.5	25.9	25.7	29.0	30.7
Buigvastheid (2) (*Modulus of rupture by bend*)	K	37.8	43.1	43.6	46.2	50.5	51.3
	L	38.4	43.8	42.6	46.0	49.2	52.8
Slagbuigvastheid (*Modulus of rupture by smash*)		0.78	0.79	0.76	0.82	0.83	0.82
Trekvastheid (*Modulus of rupture by tear*)		14.5	14.8	14.9	17.1	16.7	16.1
Hardheid (*Hardness*)		4.0	5.0	5.1	3.9	4.8	4.9
Single value		*Riverclaysoil*			*Loamsoil*		

1 De resultaten verkregen met de z.g. A-, B- en C-halve bollen zijn afzonderlijk vermeld.

2 De resultaten verkregen met de z.g. Korte en Lange staven zijn afzonderlijk vermeld.

1 The results obtained with the so-called A-, B- and C-half balls are mentioned seperately.

2 The results obtained with the so-called short (usual) and long bars are mentioned seperately.

temperatuur van 70° en 100°C is daarentegen geen verschil te zien. De drukvastheid geeft een onregelmatig beeld. Voor de leemgrond is er bij de A-, B- en C-bollen een duidelijke toeneming bij overgang van de droogtemperatuur van 40° op 70°C, terwijl de resultaten verkregen bij een droogtemperatuur van 70° en 100°C over het algemeen weinig verschillend zijn. Voor de A- en C-bollen van de rivierkleigrond zijn bij de droogtemperaturen van 40°, 70° en 100°C dezelfde resultaten verkregen of is tenminste geen invloed van de droogtemperaturen (40°—100°C) vast te stellen. Voor de B-bollen is een toeneming bij de overgang van de temperatuur van het drogen van 40° op 70°C waargenomen, echter een vrijwel evengrote daling bij de overgang van de droogtemperatuur van 70° op 100°C. Bij de buigvastheid is bij beide gronden een duidelijke toeneming gevonden bij de overgang van de droogtemperatuur van 40° op 70°C, terwijl een verdere verhoging van de droogtemperatuur over het algemeen weinig invloed uitoefent.

Vatten we de bovengenoemde resultaten samen, dan blijkt, dat soms een duidelijke, ofschoon kleine, toeneming optreedt bij een verhoging van de droogtemperatuur van 40° op 70° C, terwijl een verdere verhoging van de droogtemperatuur tot 100° C geen of slechts een geringe invloed uitoefent. Deze temperatuursinvloed is in elk geval gering. Soms is ook in het geheel geen invloed waargenomen. Aangezien bovendien bij een droogtemperatuur van 70°C de droging sneller plaatsvindt dan

DIAGRAM 8a. Invloed temperatuur op het drogen (Hardheid)

Specifieke hardheid in kg/mm²
Spec. Hardness in kg/mm²

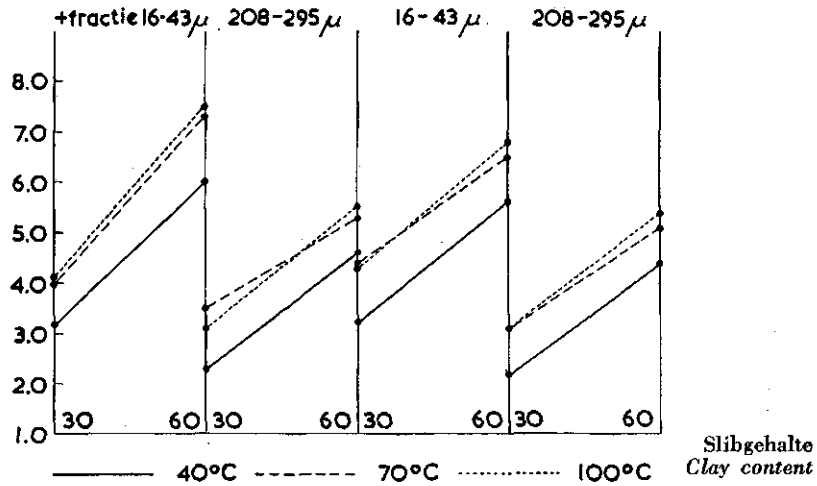


DIAGRAM 8a. *Influence temperature of drying (Hardness).*

DIAGRAM 8b. Invloed temperatuur op het drogen (Slagbuigvastheid)

Specifieke slagbuigvastheid in kg/cm²
Specific Modulus of rupture by smash in kg/cm²

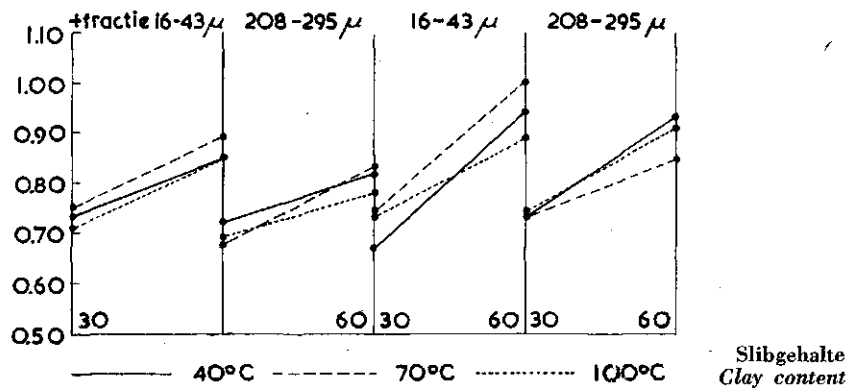


DIAGRAM 8b. *Influence temperature of drying (Modulus of rupture by smash).*

DIAGRAM 8c1. Invloed temperatuur op het drogen (Buigvastheid; lange staven).

Buigvastheid in kg/cm²
Modulus of rupture by bend kg/cm²

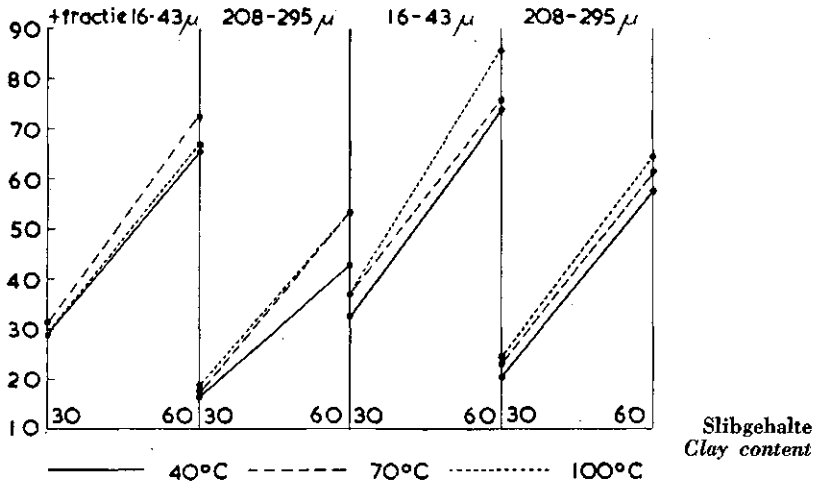


DIAGRAM 8c1. *Influence temperature of drying (Modulus of rupture by bend; long bars).*

DIAGRAM 8c2. Invloed temperatuur op het drogen (Buigvastheid; korte staven).

Buigvastheid in kg/cm²
Modulus of rupture by bend kg/cm²

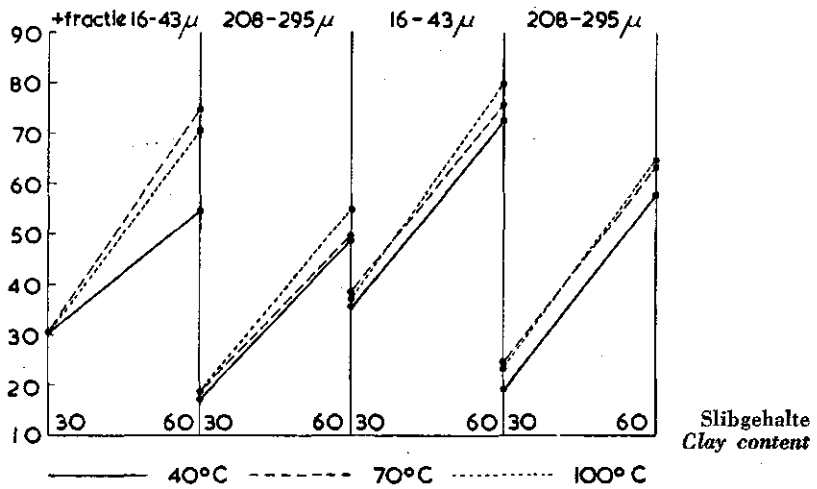


DIAGRAM 8c2. *Influence temperature of drying (Modulus of rupture by bend; short bars).*

DIAGRAM 8d. Invloed temperatuur op het drogen (Trekvastheid).

Specifieke Trekvastheid in kg/cm²
Specific Modulus of rupture by tear in kg/cm²

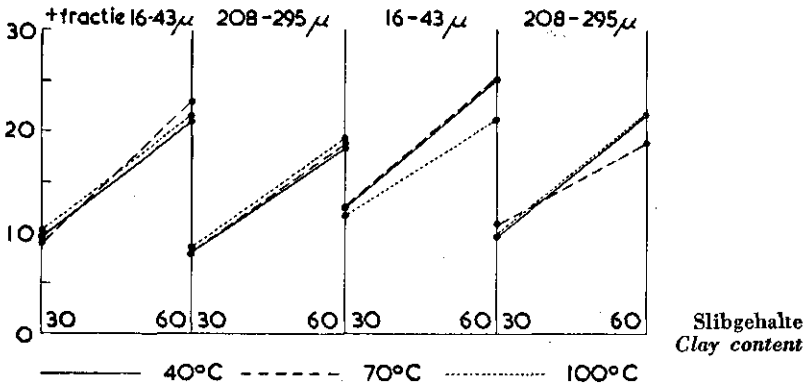


DIAGRAM 8d. *Influence temperature of drying (Modulus of rupture by tear).*

DIAGRAM 8e1. Invloed temperatuur op het drogen (Drukvastheid, A-halve bollen).

Drukvastheid in kg
Modulus of rupture by pressure in kg

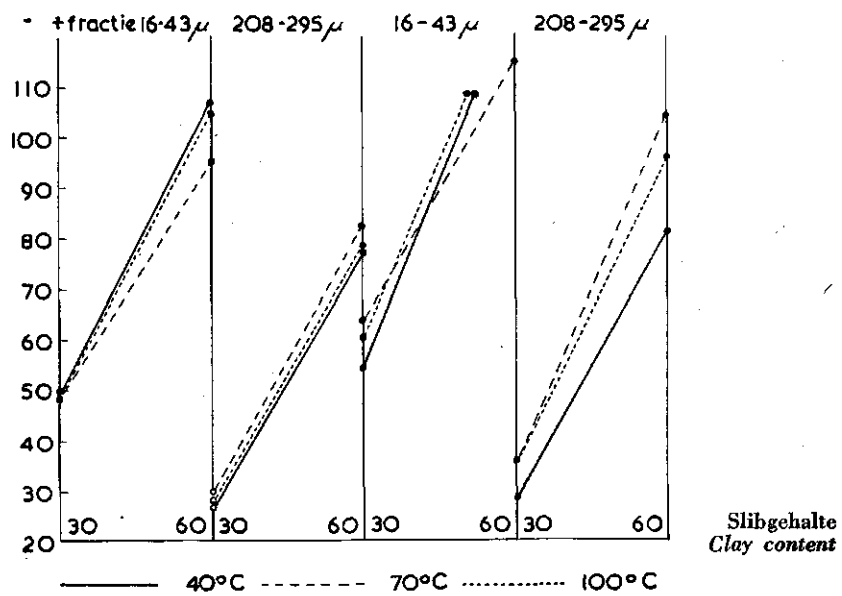


DIAGRAM 8e1. *Influence temperature of drying (Modulus of rupture by pressure, A-half balls).*

DIAGRAM 8e2. Invloed temperatuur op het drogen (Drukvastheid, B-halve hollen)

Drukvastheid in kg
Modulus of rupture by pressure in kg

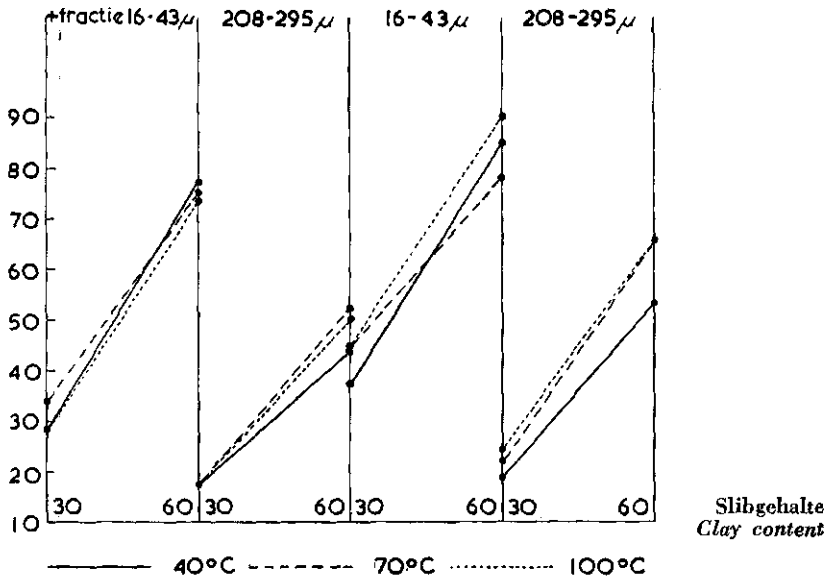


DIAGRAM 8e2. *Influence temperature of drying (Modulus of rupture by pressure; B-half balls).*

bij 40°C en bovendien deze droging minder afhankelijk is van het relatieve vochtgehalte van de lucht in de stoof (en in de omringende kamer) werd aan een droogtemperatuur van 70° C de voorkeur gegeven, temeer aangezien de m.f. van het gemiddelde (zie hoofdstuk II) daardoor niet toeneemt.

Bovenvermelde conclusies zijn echter getrokken uit gemiddelden van meerdere waarnemingen. Het is van belang na te gaan hoe de afzonderlijke waarnemingen zich in dit opzicht gedragen. Deze zijn daarom vermeld in de diagrammen 8 a, b, c_1, c_2, d, e_1, e_2 en e_3. Hierin is op de x-as het slibgehalte en op de y-as resp. de hardheid, slagbuigvastheid enz. aangegeven. De waarnemingen bij 30 en 60% slib zijn telkens door lijnen verbonden, die voor de droogtemperatuur van 40°, 70° en 100°C verschillend zijn aangegeven, waarvoor verder naar deze diagrammen wordt verwezen.

Uit deze diagrammen volgt, dat er tussen een droogtemperatuur van 70° en 100°C in elk geval geen verschil bestaat. Voor de afzonderlijke physische constanten blijkt het volgende:

DIAGRAM 8e3. Invloed temperatuur op het drogen (Drukvastheid; C-halve bollen)

Drukvastheid in kg
Modulus of rupture by pressure in kg

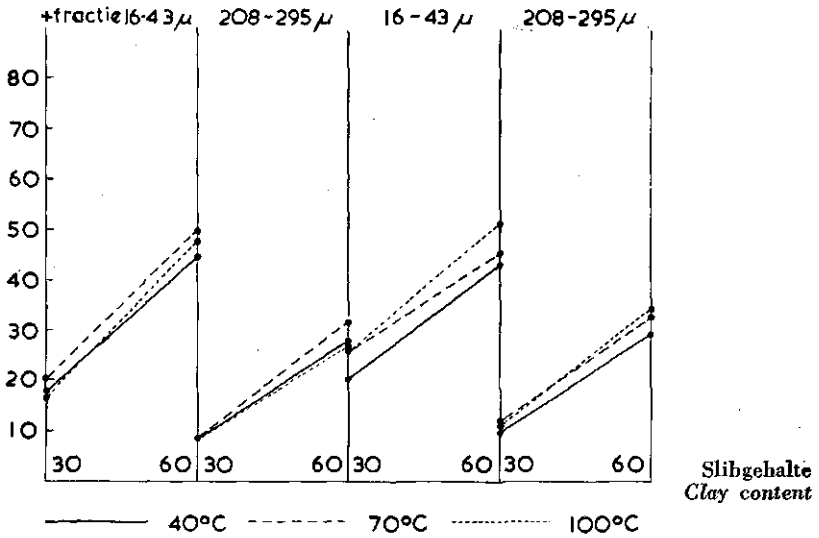


DIAGRAM 8e3. *Influence temperature of drying (Modulus of rupture by pressure C-half balls).*

Hardheid:	Een duidelijke toeneming bij een verhoging van de droogtemperatuur van 40° op 70° C; geen verschil tussen 70° en 100° C.
Slagbuigvastheid:	Geen invloed van de droogtemperatuur (40—100° C).
Trekvastheid:	Geen invloed van de droogtemperatuur (40—100° C).
Buigvastheid:	Bij de rivierkleigrond kan hoogtens gezegd worden, dat bij een droogtemperatuur van 40° C iets lagere resultaten verkregen worden dan bij 70° C en 100° C, waarbij de resultaten onregelmatig zijn. Bij de leemgrond is de buigvastheid bij een droogtemperatuur van 40° C iets lager dan bij 70° en 100° C, waartussen weinig verschil bestaat.
Drukvastheid:	Onregelmatige invloed bij de rivierkleigrond. Bij de leemgrond is over het algemeen de drukvastheid bij 40° C lager dan bij 70° en 100° C, waartussen weinig verschil bestaat.

Ook hieruit blijkt, dat er nauwelijks van een invloed van de droogtemperatuur kan worden gesproken. Hoogstens geeft een droogtemperatuur van 40°C bij enkele physische constanten iets lagere waarden dan een droogtemperatuur van 70° en 100°C, waartussen geen verschil optreedt. In verband met het feit ,dat ook de foutengrens van de verschillende droogtemperaturen niet of nauwelijks (100°C) verschillend is, bij 70°C de droging sneller het eindpunt bereikte en dit droogproces minder afhankelijk is van de relatieve vochtigheid van de lucht in de droogstof (en in het laboratorium), werd aan een droogtemperatuur van 70°C de voorkeur gegeven.

De bovenverkregen resultaten zijn in tegenspraak met die van KOHL [131], die zelfs een zeer duidelijke invloed van de droogtemperatuur vaststelde. Men denke er echter aan, dat de door ons onderzochte gronden of mengsels van grondmateriaal geen humus en geen $CaCO_3$ bevatten (d.w.z. voorbehandeld waren met H_2O_2 en HCl), hetgeen bij de door KOHL gebruikte gronden (althans wat de humus betreft) wel het geval was.

b. *De invloed van het resterende vochtgehalte na de droging*

Uit het feit, dat hoogstens een zwakke invloed van de droogtemperatuur tussen 40° tot 70°C bestaat, terwijl er geen verschil meer aanwezig is tussen de resultaten verkregen bij een droogtemperatuur van 70°—100° C, volgt, dat de invloed van het resterende vochtgehalte — uiteraard zoals deze tussen de grenzen optreedt, die na een droging tot constant gewicht bij 40° tot 100°C aanwezig zijn — ook vrijwel nihil is en dit althans zeker het geval is bij de vochtgehalten, zoals deze na een droogtemperatuur van 70°C en 100°C nog aanwezig zijn. Ook bij duplo- en triplobepalingen blijkt er geen verband te bestaan tussen het resterende vochtgehalte (bepaald na drogen op 105 à 110°C) en de bepaalde physische constanten. Ten bewijze hiervan zal volstaan worden

TABEL 38

Resterend vochtgehalte van de modellen na droging

Physische constante		Rivierkleigrond			Leemgrond		
		40°C	70°C	100°C	40°C	70°C	100°C
Drukvastheid (1) (*Modulus of rupture by pressure*)	A	1.63	0.28	0	1.21	0.33	0.07
	B	1.65	0.36	0	1.23	0.30	0.06
	C	1.71	0.34	0.05	1.34	0.35	0.09
Buigvastheid (2) (*Modulus of rupture by bend*)	K	1.50	0 38	0	1.23	0.26	0.02
	L	1.51	0 39	0.05	1.17	0.25	0 02
Slagbuigvastheid (*Modulus of rupture by smash*)		1.59	0 38	0.02	1.07	0.33	0.03
Trekvastheid (*Modulus of rupture by tear*)		1.64	1.35	0 01	1.12	0.25	0.05
Hardheid (*Hardness*)		1.56	0.30	0.01	1.15	0.26	0.02
Single value		*Riverclaysoil*			*Loamsoil*		

TABLE 38. *Moisture content of the models after drying.*

1 De resultaten verkregen met de z.g. A-, B- en C-halve bollen zijn afzonderlijk vermeld.

2 De resultaten verkregen met de z.g. Korte en Lange Staven zijn afzonderlijk vermeld.

1 The results obtained with the so-called A-, B- and C-half balls are mentioned separately.

2 The results obtained with the so-called short (usual) and long bars are mentioned separately.

131 Zie noot 77.

in tabel 38 de gemiddelde resterende vochtgehalten aan te geven, zoals deze in de gedroogde modellen voor de bepaling van de verschillende physische constanten zijn bepaald (vergelijk tabel 37, waarin de bijbehorende physische constanten zijn aangegeven).

Uit tabel 38 blijkt, dat de resterende, gemiddelde vochtgehalten bij de verschillende droogtemperatuur en in de verschillende modellen weinig verschillend zijn geweest.

Uit het feit, dat een droogtemperatuur van 70 of 100°C geen vaststaande invloed en van 40° of 70°C slechts bij enkele physische constanten een waarneembare invloed uitoefent, waarbij deze invloed meestal nog onregelmatig optreedt, volgt, dat de verandering van het gemiddeld resterend vochtgehalte van 0.30 à 0.40 tot rond 0.00 (uiteraard bij de gebruikte mengsels met 30 tot 60% slib) geen invloed op deze physische constanten heeft en de verandering van een resterend vochtgehalte van 1.40 à 1.70 tot 0.30 à 0.40 somtijds wel somtijds niet een waarneembare invloed op de physische constanten heeft gehad. Bij een droogtemperatuur van 70°C is de invloed van dit resterend vochtgehalte in elk geval te verwaarlozen klein.

Tevens blijkt hieruit, dat het weinig waarschijnlijk is, dat de physische eigenschappen van gronden veroorzaakt worden door de oppervlaktespanning van de, zich in de fijne poriën terugtrekkende, menisken. Ware dit het geval, dan moest er een grotere afhankelijkheid met het resterende vochtgehalte optreden, hetgeen binnen de hier onderzochte grenzen in elk geval niet is waargenomen. Wel bestaat de mogelijkheid, dat dit bij grotere vochtgehalten het geval is. Latere onderzoekingen zullen dit moeten uitmaken.

Samengevat blijkt dus, dat noch aan de constantheid van de droogtemperatuur noch aan het resterend vochtgehalte strenge eisen behoeven te worden gesteld. Indien deze droogtemperatuur op omstreeks 70° C (bijv. 70° ± 2°C) wordt gesteld en de modellen lang genoeg bij deze temperatuur worden gehouden tot constantheid van gewicht is bereikt (voor de benodigde duur daarvan wordt naar hoofdstuk II, punt 2a verwezen) kunnen hierdoor hoogstens fouten van een te verwaarlozen grootte worden gemaakt.

2. De invloed van het vochtgehalte van de pasta, waarmede de modellen werden gemaakt

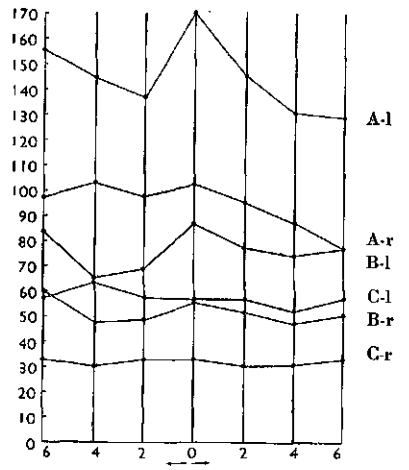
Uiteraard was het ook van belang na te gaan, wat de invloed van het vochtgehalte van de pasta was, waarmede de modellen werden gemaakt. Zoals reeds in hoofdstuk II werd medegedeeld, werd het vochtgehalte van de pasta zo gekozen, dat de meest geschikte consistentie voor het maken van de modellen was verkregen. Ook werd reeds medegedeeld, dat bij herhalingen pasta's van ongeveer dezelfde vochtgehalten werden verkregen, indien zij in de meest geschikte consistentie werden gebracht. Hier werd tevens reeds opgemerkt, dat het in elk geval gewenst is bij herhalingen steeds van een pasta met hetzelfde vochtgehalte uit te gaan als de eerste keer was gebruikt. Om nu na te gaan, welke fouten door

eventueel verschillende vochtgehalten gemaakt kunnen worden, werden de volgende proefnemingen verricht.

Van een tweetal mengsels, nl. rivierklei met 30% slib en leemgrond met 60% slib, waarvan de zandfractie practisch bestaat uit de fractie 16—43 μ, werden eerst de gewone pasta's gemaakt en hierin het vochtgehalte bepaald. Daarna werden pasta's gemaakt met resp. 2, 4 en 6 g water per 100 gram droge grond (bij 105°) meer en minder (+ resp. —) dan de normale pasta bevat. Van al deze pasta's werden daarna gelijktijdig 10 A-, B- en C-bollen gemaakt met behulp waarvan de drukvastheid werd bepaald. De droogtemperatuur bedroeg 70°C, terwijl deze mengsels na electrodialyse met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen tot pH 6.5 à 7.0 verzadigd waren. Bij de beschouwing van de verkregen resultaten dient er rekening mee te worden gehouden, dat de modellen des te moeilijker uit de grondpasta waren te maken, naarmate het vochtgehalte meer van de optimale afwijkt, waardoor tevens de aan de bepaling klevende fouten toenemen. Hier zijn dan ook de bepalingen, verkregen met de pasta's met de normale vochtgehalten en met 2 gram water per 100 gram droge pasta meer of minder van het meeste belang.

DIAGRAM 9.

Drukvastheid in kg
Modulus of rupture by pressure in kg



cc minder dan normaal per 100 gram droge stof
cc less than usual per 100 gr. dry matter

cc meer dan normaal per 100 gram droge stof
cc less than usual per 100 gr. dry matter

In grafiek 9 zijn deze resultaten aangegeven. Hieruit volgt dat bij de rivierkleigrond (lijnen met r) zowel bij de A-, B- als de C-halve bollen aangeduid met A, B of C) met behulp van de normale pasta's hogere drukvastheden werden bepaald dan met behulp van de pasta's, die 2 gram vocht per 100 gram droge grond meer of minder bevatten. Hier gaven de

pasta's met 4 gram water per 100 gram droge stof meer of minder vaak nog iets lagere drukvastheden, terwijl de pasta met 6 gram water meer of minder vaak weer hogere drukvastheden gaven. Bij het maken van de pasta's zal het vochtgehalte per 100 gram droge grond bij herhalingen zeker minder dan 2 gram per 100 gram droge grond verschillen. Grotere afwijkingen van het vochtgehalte van de normale pasta geven kennelijk te droge of te natte pasta's. Uit grafiek 9 blijkt echter, dat ook een verschil van slechts 2 gram per 100 gram droge grond van het vochtgehalte van de normale pasta reeds niet onaanzienlijk lagere waarden kan geven. Zo daalde bij genoemde grond bij 2 gram vocht minder of meer de drukvastheid van 86.4 tot 77.0 resp. 68.3, dit is rond 11 resp. 21 % lager.

Bij de leemgrond is het gedrag van de A-, B- en C-bollen niet dezelfde. Bij de C-bollen is de invloed van 2 gram water per 100 gram droge grond meer of minder niet na te gaan, terwijl bij een nog groter vochtgehalte resp. bij een nog kleiner vochtgehalte de drukvastheid eerst daalt en dan weer stijgt resp. eerst stijgt en dan weer daalt. Wellicht kan men hier de invloed van het vochtgehalte beschouwen als binnen de foutengrenzen te liggen. Bij de A- en B-bollen daalt meestal de drukvastheid bij een toenemend vochtgehalte, zij het bij de A-bollen bij de overgang van 4 tot 6 gram water per 100 gram meer vocht dan ook practisch niets. Met een afnemend vochtgehalte daalt en stijgt de drukvastheid zowel bij de A- als de B-bollen, afgezien van de pasta's die 6 gram vocht minder dan normaal bevat, waarbij bij de A-bollen de drukvastheid stijgt bij de overgang van 4 naar 6 gram vocht minder dan in de normale pasta aanwezig is, terwijl bij de B-bollen deze drukvastheid in dat geval daalt. De invloed van het vochtgehalte van de pasta, waarmede de halve bollen gemaakt werden, is bij deze grond onregelmatig. Een en ander neemt niet weg, dat ook hier belangrijke fouten gemaakt kunnen worden, indien het vochtgehalte van de pasta bij herhalingen niet constant is. Bij de A-bollen bedraagt dit rond 14 resp. 20%, indien het vochtgehalte van de pasta rond 2 gram per 100 gram droge grond meer resp. minder bedraagt.

Ter bepaling van de fout, die gemaakt wordt, indien twee verschillende personen ieder van dezelfde gronden pasta's maken van de meest geschikte consistentie voor de bereiding van de grondmodellen, werden de series rivierklei- en leemgrond met opklimmende slibgehalten onderzocht. Hierbij werden dus de pasta's, nadat deze door de ene analyst waren gebruikt, weer gedroogd, fijn gestampt en daarna door de andere persoon benut. De hierbij verkregen verschillen en het vochtgehalte zijn dus maximaal, aangezien, indien de pasta's tweemaal door dezelfde persoon zouden worden gemaakt, deze verschillen in vochtgehalte van de pasta's waarschijnlijk kleiner zouden zijn geweest. In tabel 38a zijn de verkregen verschillen in het vochtgehalte van deze pasta's in procenten van de bij 105°C gedroogde grond aangegeven.

Uit tabel 38a volgt, dat de verkregen verschillen in vochtgehalten uitgezonderd één geval steeds binnen 2 % (d.i. 2 gram water per 100 gram droge stof) en grotendeels zelfs binnen 1 gram blijven.

Zelfs indien de pasta's door twee verschillende personen gemaakt

TABEL 38a. Verschil in vochtgehalten van pasta's gemaakt door twee personen.

Rivierkleigrond gemengd met	Verschil in vochtgehalte der pasta's in % op droge grond	Leemgrond gemengd met	Verschil in vochtgehalte der pasta's in % op droge grond
fractie 16—43 μ		fractie 16—43 μ	
15% slib *(clay)*	0.2	15% slib *(clay)*	0.9
20% „	1.8	20% „	1.6
30% „	0.0	30% „	0.7
40% „	0.8	40% „	0.9
50% „	1.5	50% „	0.6
60% „	0.7	60% „	1.7
70% „	0.4	70% „	1.4
80% „	2.5	80% „	1.1
fractie 208—295 μ		fractie 208—295 μ	
15% slib *(clay)*	1.0	15% slib *(clay)*	0.1
20% „	0.4	20% „	0.3
30% „	0.2	30% „	0.8
40% „	0.9	40% „	1 4
50% „	0.9	50% „	1.4
60% „	1.4	60% „	1.2
70% „	0.6	70% „	1.7
80% „	0.3	80% „	1.4
Riverclaysoil mixed with	*Difference in moisture-content of the pastes in % in dry material*	*Loamsoil mixed with*	*Difference in moisture-content of the pastes in % on dry material*

TABEL 38a *Difference in moisture-content of pastes prepared by two persons.*

worden zijn de verschillen in de vochtgehalten van de pasta's, die gebruikt worden voor de bereiding van de grondmodellen, zo gering, dat daardoor in het algemeen slechts tamelijk geringe fouten worden gemaakt. Somtijds kunnen echter deze fouten groter zijn, hetgeen vermoedelijk ook wel het geval zal zijn, indien de pasta's door dezelfde analyst worden gemaakt. Het is mogelijk, dat, als de modellen onder een voldoend hoge druk gemaakt worden, deze fouten kleiner en mogelijk zelfs te verwaarlozen klein worden. Dit zal, zodra over de daarvoor benodigde instrumenten beschikt kan worden, nader worden onderzocht. Voorlopig moet echter langs een andere weg bereikt worden, dat deze fouten te verwaarlozen klein zijn.

Uit het bovenstaande volgt dan ook, dat het noodzakelijk is bij herhalingen een pasta voor het maken van de modellen te gebruiken, die op hoogstens enige tienden procenten hetzelfde vochtgehalte bezit als de pasta, die de eerste maal werd gebruikt. Door dit vochtgehalte en het vochtgehalte van de luchtdroge grond resp. van de fijngestampte modellen vlak voor het gebruik te bepalen, is gemakkelijk aan deze voorwaarde te voldoen, waardoor een belangrijke foutenbron wordt vermeden. Bij de hier vermelde onderzoekingen werd hiervan echter nog weinig gebruik gemaakt. Vermoedelijk verdient bovendien machinaal kneden de voorkeur boven het kneden met de handen, waarop echter hieronder zal worden teruggekomen.

3. De invloed van het verouderen van de pasta, waarmede de modellen worden gemaakt

In de literatuur wordt verschillende malen over de invloed, die het verouderen (rijpen) van de pasta op de physische eigenschappen heeft gewezen. Het was uiteraard van belang na te gaan, in hoeverre bij de hier gebruikte gronden en mengsels van grondmateriaal dit verouderen (rijpen) een invloed op de onderzochte physische eigenschappen uitoefent.

Om dit te onderzoeken, werd met de leemgrond met 60% slib en met de fractie 208—295 μ de volgende proef genomen. Deze grond bevatte, zoals steeds, geen humus noch $CaCO_3$, terwijl na de electrodialysatie de grond met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen was verzadigd tot pH 6.5 à 7.

Een zekere hoeveelheid van dit materiaal werd in 10 afzonderlijke porties met water tot een pasta van de juiste consistentie gekneed en tot ballen gerold. Van de ene helft (5 ballen) werden direct 10 A-, B- en C-bollen gemaakt, nl. van iedere bal 2 A-, 2 B- en 2 C-bollen, terwijl de andere helft in vochtige doeken gewikkeld gedurende 14 dagen in een exsiccator boven gedestilleerd water bleef liggen, waarna hieruit op dezelfde wijze 10 A-, B- en C-bollen werden gemaakt. Al deze A-, B- en C-bollen werden op de gewone wijze bij 70°C gedroogd en daarna op de gewone wijze op de drukvastheid onderzocht.

De resulaten zijn in tabel 39 medegedeeld.

Tabel 39

Behandeling van de pasta	Drukvastheid			
	A-bollen	B-bollen	C-bollen	
Normaal	102.8	65.9	38.3	*Usual paste*
Pasta 14 dg. in exsiccator	112.5	76.5	42.4	*14 days in exsiccator*
Preparation of the paste	A-balls	B-balls	C-balls	
	Modulus of rupture by pressure			

Uit tabel 39 blijkt, dat het laten liggen (z.g. rijpen) van de pasta inderdaad een, zij het dan ook geen grote, echter duidelijk aantoonbare invloed op de drukvastheid uitoefent, hetgeen vermoedelijk ook bij de andere physische constanten het geval zal zijn.

De oorzaak van deze invloed is niet duidelijk. Het lijkt mij niet onmogelijk, dat gedurende het laten liggen van de pasta een meer gelijkmatige vochtverdeling optreedt dan gedurende het kneden met de handen mogelijk is. Dit kneden duurt bovendien gewoonlijk niet langer dan omstreeks 15 minuten. Zodra de kneedmachine gereed is gekomen, zal

deze kwestie opnieuw en uitvoerig worden onderzocht. Ook de duur van het kneden zal in dit onderzoek worden betrokken.

Ofschoon over deze invloed van het laten liggen van de gehele pasta nog geen voldoende onderzoekingen zijn verricht, kunnen bij de door ons gevolgde wijze van onderzoek daardoor waarschijnlijk hoogstens slechts kleine fouten zijn gemaakt, aangezien direct na het kneden alle modellen werden gemaakt. Indien later mocht blijken, dat door langduriger en intensiever kneden resp. door de pasta enige tijd te laten liggen betere d.i. nog beter reproduceerbare cijfers dan tot heden worden verkregen, dan zullen de betreffende methoden van onderzoek in die zin worden gewijzigd.

4. De invloed van het slib- en lutumgehalte; de physische constanten van enige afzonderlijke fracties; de reproduceerbaarheid van de verkregen resultaten

a. *De invloed van de slibfractie (fractie < 16 μ).*

Het was te verwachten en trouwens ook reeds uit oudere onderzoekingen bekend, dat het slibgehalte (= gehalte fractie < 16 μ) een invloed op de physische eigenschappen van de grond uitoefent. Aangezien het tevens van belang was na te gaan, wat de invloed van de fijnheid van de zandfractie (= fractie 16—2000 μ) is, werden de volgende mengsels gemaakt, die geen humus meer bevatten en zorgvuldig geëlectrodialyseerd waren (dus alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen bevatten). Hierbij werd gebruik gemaakt van een zeer zware rivierklei- en leemgrond, die met zoveel van de zandfractie 16—43 μ resp. 208—295 μ werden gemengd tot mengsels met de volgende slibgehalten werden verkregen, nl. met 7.5, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 en 80% slib. Helaas werd hierbij bij de mengsels van de leemgrond en de beide fracties 16—43 μ resp. 208—295 μ een fout gemaakt, waardoor de slibgehalten hiervan resp. 6.8; 9.1; 14; 18; 27; 36; 46; 55; 64 en 73% waren.

De bepalingen werden in tweevoud en soms ook in 3- of 4-voud verricht, afhankelijk van de overeenstemming, die met de eerste bepaling werd verkregen. In de tabellen 40 a, b, c en d is een overzicht van de gemiddelde waarden gegeven.

Uit de tabellen 40 volgt, dat, afgezien van het poriënvolume in de droge toestand, de betreffende grootheden toenemen met een toenemend slibgehalte. Bij de hardheid en bij de slagbuigvastheid treden soms onregelmatigheden op. Deze grootheden zijn dan ook minder geschikt om er kleinere verschillen mede aan te tonen. Ook bij de C-bollen voor de drukvastheid-bepaling treedt soms een onregelmatigheid op; ook deze bolletjes geven blijkbaar te kleine waarden om er kleinere verschillen mede aan te tonen. Uit deze tabellen volgt verder, dat alle physische grootheden (voor gedroogde gronden) aan elkaar verwant moeten zijn; hieruit volgt dus ook, dat we met het bepalen van enkele grootheden kunnen volstaan. Uiteraard is het voor

TABEL 40a. Rivierkleigrond + fractie 16—43 μ

Physische constanten	Slibgehalten in procenten										
	7.5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	
Hardheid			2.2	3.2	2.8	3.3	4.2	5.0	5.4	5.3	*Hardness*
Slagbuigvastheid			0.64	0.64	0.72	0.77	0.78	0.89	0.90	0.87	*Modulus of rupture by smash*
Trekvastheid			8.1	9.7	11.6	14.9	18.1	21.3	23.5	22.0	*Modulus of rupture by tear*
Buigvastheid (1) K			13.5	20.0	24.3	34.2	47.7	60.5	71.2	74.8	*Modulus of rupture by bend* (1) K
„ (1) L			16.4	20.0	25.7	38.9	44.2	60.6	62.3	75.7	„ „ „ „ „ (1) L
Drukvastheid (2) A-bollen	8.8	10.1	24.5	33.0	50.0	66.0	85.7	105.8	107.5	122.5	*Modulus of rupture by pressure* (2) *A-balls*
„ (2) B-bollen			17.2	22.7	34.8	46.6	56.2	74.8	75.5	86.2	„ „ „ „ „ (2) *B-balls*
„ (2) C-bollen			10.6	14.2	21.2	26.2	36.4	47.4	43.3	55.1	„ „ „ „ „ (2) *C-balls*
Krimp			5.9	5.4	12.1	15.8	20.2	23.3	25.6	28.4	*Shrinkage*
Poriënvolume (droog)			39.0	38.5	35.1	33.6	32.6	33.7	34.7	35.3	*Porespace (dry)*
Poriënvolume (nat)			42.6	41.8	42.9	44.1	46.2	49.1	51.4	53.6	*Porespace (moist)*
Vloeigrens volgens ATTERBERG			21.5	21.3	23.4	28.3	32.5	39.2	43.1	52.5	*Upper plastic limit of* ATTERBERG
Vochtgehalte pasta (3)			25.3	25.8	26.6	29.8	33.1	37.8	38.9	45.9	*Moisture content paste* (3)
Single values	*Claycontent in %*										

TABLE 40a. *Riverclaysoil + fraction 16—43 μ*

1 De bepalingen met de z.g. Korte (K) en Lange (L) staven zijn afzonderlijk vermeld.
2 De bepalingen met de z.g. A-, B- en C-bollen zijn afzonderlijk vermeld.
3 Vochtgehalten van de pasta's, zoals deze voor het maken van de modellen werden gebruikt.

Opmerking: De cijfers van de krimp (in % oorspronkelijk volume) en van het poriënvolume in de gedroogde resp. in de natte, oorspronkelijke toestand zijn berekend met behulp van de slagbuigvastheidmodellen.

1 The obtained results with the so-called short (usual K) and long (L) bars are mentioned seperately.
2 The obtained results with the so-called A-, B- and C-balls are mentioned seperately.
3 Moisture contents of the pastes used for the preparation of the models.

Note: The values of the shrinkage (in % original volume) and of the porespace in the dried resp. in the moist, original condition are calculated with the aid of the models used for the determination of the modulus of rupture by smash.

TABEL 40b. Rivierkleigrond + fractie 208—295 μ

Physische 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	*Hardness*
Slagbuigvastheid			0.56	0.60	0.64	0.75	0.80	0.82	0.90	0.90	*Modulus of rupture by smash*
Trekvastheid			4.5	5.2	7.7	10 2	14.6	19.1	20.6	20.7	*Modulus of rupture by tear*
Buigvastheid (1) K			6.9	9.2	15.6	25.2	29.5	39.9	56.4	71.2	*Modulus of rupture by bend (1) K*
„ (1) L			7.7	10.0	16.1	21 3	32.7	44.5	63.9	74.1	„ „ „ „ „ (1) L
Drukvastheid (2) A-bollen	4.1	5.1	11.6	14.0	21.2	32.0	50.6	68.6	88.0	109.6	*Modulus of rupture by pressure (2) A-balls*
„ (2) B-bollen			7.1	8.3	13.1	19.2	31.3	43.5	65.1	72.3	„ „ „ „ „ (2) *B-balls*
„ (2) C-bollen			4.2	4.2	7.4	11.0	17.1	25.5	37.0	43.6	„ „ „ „ „ (2) *C-balls*
Krimp			1.3	4.1	8.5	11.9	16.9	21.3	26.0	28.2	*Shrinkage*
Poriënvolume (droog)			35 5	32.6	31.9	31.4	32.1	32.4	33.6	35.2	*Porespace (dry)*
Poriënvolume (nat)			36 3	35.4	37.7	39.5	43.5	46.8	50.8	53 2	*Porespace (moist)*
Vloeigrens volgens ATTERBERG			14 4	15.0	20.0	25.0	28.7	36.0	40.5	45.5	*Upper plastic limit of* ATTERBERG
Vochtgehalte pasta (3)			16.3	18.4	20.9	25.3	28.5	33.5	38.7	44.8	*Moisture content paste* (3)
Single values	*Claycontent in %*										

TABEL 40b. *Riverclaysoil + fraction* 208—295 μ

Opmerking: Zie tabel 40a (1) (2) (3).
Note: See table 40a (1) (2) (3).

de vaststelling van een bepaalde invloed een voordeel althans twee physische constanten te bepalen, waarvan dan, zoals reeds eerder is opgemerkt, het beste de drukvastheid en de buigvastheid kunnen worden gekozen. Gezien de geringe hoeveelheid benodigde grond en de snelheid van de meting kunnen bij de drukvastheid de A- en B-bollen worden onderzocht; bij de buigvastheid moet in verband met de grote hoeveelheid benodigde grond met de korte staven worden volstaan. Bij de hier verder nog volgende onderzoekingen is dit nog niet gedaan, afgezien dan soms van de hardheid, aangezien het van belang was ook bij het nagaan van andere invloeden aan te tonen, dat alle vijf grootheden (nl. de hardheid en de 4 vastheden) aan elkaar verwant zijn, zodat dus na de bepaling van bijv. 2 ervan geen nieuwe gezichtspunten meer geopend worden door de bepaling van de overige drie, tenzij dan om een bepaalde invloed met grotere zekerheid vast te stellen.

Over de vloeigrens en het vochtgehalte van de pasta, waarmede de modellen werden gemaakt, zijn reeds de nodige opmerkingen gemaakt in hoofdstuk II, punt 2i, waarnaar verwezen kan worden. Beide grootheden hangen eveneens met het slibgehalte samen, echter zijn zij niet rechtstreeks met de 5 grootheden te vergelijken, die het physisch gedrag van gedroogde gronden vastleggen.

Het poriënvolume in droge toestand hangt wel enigermate samen met het slibgehalte (men zie ook punt 2i, van hoofdstuk II), in zoverre deze met een toenemend slibgehalte eerst afneemt, dan vrijwel constant wordt om tenslotte een neiging te vertonen weer iets toe te nemen. Een verband tussen dit poriënvolume en de hardheid, slagbuigvastheid, trekvastheid, buigvastheid en drukvastheid is niet aan te tonen. Mocht dit verband nog bestaan, dan is de invloed van dit poriënvolume waarschijnlijk zeer gering [132]. Hierop zal niet worden teruggekomen.

Het poriënvolume in natte toestand, d.w.z. van de pasta's, zoals deze voor het maken van de modellen gebruikt worden, blijkt met een toenemend slibgehalte toe te nemen. Dit is op zichzelf verklaarbaar, aangezien bij een gelijkblijvende samenstelling van dit slib, zoals dit hier het geval is, het adsorptief gebonden water met dit slibgehalte toeneemt. Merkwaardig is, dat dit poriënvolume voor de mengsels met de grofste zandfractie belangrijk kleiner is dan van de mengsels met de fijnste zandfractie. Ook de krimp vertoont in dit opzicht physische verschillen, waarop in § 5 zal worden teruggekomen.

Zoals bekend wordt een grond een zandgrond genoemd, indien het slibgehalte 10% of minder bedraagt (zie het Normaalblad N 209). Het is van belang na te gaan of ook door de physische eigenschappen deze

[132] Dit poriënvolume hangt overigens sterk van de granulaire samenstelling af. Het hier aanwezige verband tussen het slibgehalte en het poriënvolume is daardoor aantoonbaar, dat de slibfractie gelijk en de zandfractie telkens vrijwel gelijk zijn, alleen de percentages van elk wisselen. Ware dit niet het geval, dan zou vermoedelijk geen of een ander, mogelijk zelfs een naar willekeur te kiezen verband, opgetreden zijn. Vergelijk A. H. M. ANDREASEN: Ueber die Beziehung zwischen Kornabstufting und Zwischenraum in Produkten aus losen Körnern, Kolloid Zeitschrift 50, 217, 1930.

TABEL 40c. Leemgrond + fractie 16—43 μ

Physische constanten	Slibgehalten in procenten										
	6.8	9.1	14	18	27	36	46	55	64	73	
Hardheid			2 5	3.0	3.7	4.6	3.7	4.7	5.1	5.5	*Hardness*
Slagbuigvastheid			0.64	0 66	0.71	0.80	0.82	0.82	0.91	0.96	*Modulus of rupture by smash*
Trekvastheid			8.3	9.8	13.3	16.2	17.1	20.0	23.1	25.5	*Modulus of rupture by tear*
Buigvasthéid (1) K			16.0	22.3	30.3	40.5	52.6	62.7	68.0	78.2	*Modulus of rupture by bend* (1) K
„ (1) L			18.6	23.1	34.4	46.0	53.8	66.4	77.4	88.9	„ „ „ „ „ (1) L
Drukvastheid (2) A-bollen	7.2	13.3	32.1	35.6	48.9	81.7	83.0	92.8	117.8	113.4	*Modulus of rupture by pressure* (2) *A-balls*
„ (2) B-bollen			20.7	25.5	39.3	55.7	59.2	63.5	71.9	72.3	„ „ „ „ „ (2) *B-balls*
„ (2) C-bollen			11.0	14.6	21.6	28.3	33.1	31.1	43.3	41.5	„ „ „ „ „ (2) C-balls
Krimp			4.2	7.1	10.3	16.8	19.3	26.8	25.5	28.0	*Shrinkage*
Poriënvolume (droog)			39.9	37.5	34.5	30.3	29.6	29.7	30.3	31.3	*Porespace (dry)*
Poriënvolume (nat)			42 4	42.0	41.2	42.0	43.2	47 4	48.1	50.6	*Porespace (moist)*
Vloeigrens volgens ATTERBERG			20 1	19.9	20.6	25.9	28.9	34 8	38.6	44.8	*Upper plastic limit of* ATTERBERG
Vochtgehalte pasta (3)			24 3	24 2	24.5	26.0	29.2	38.5	36.3	38.9	*Moisture content paste* (3)
Single values	*Claycontent in %*										

TABLE 40c. *Loamsoil + fraction* 16—43 μ

Opmerking: Zie tabel 40a (1) (2) (3)
Note: See table 40a (1) (2) (3)

TABEL 40d. Leemgrond + fractie 208—295 μ

Physische constanten	Slibgehalten in procenten										
	6.8	9.1	14	18	27	36	46	55	64	73	
Hardheid			1.8	2.2	2.0	2.1	2.7	3.3	3.7	4.8	*Hardness*
Slagbuigvastheid			0.58	0.61	0 69	0.69	0.76	0.84	0.89	0.97	*Modulus of rupture by smash*
Trekvastheid			5.2	6.4	8.2	12.2	15.5	17.1	18.8	22.5	*Modulus of rupture by tear*
Buigvastheid (1) K			9.5	10.4	16.8	23.6	40.1	50.1	59.2	77.1	*Modulus of rupture by bend* (1) K
„ (2) L			9.8	13.2	17.6	23.9	35.4	45.2	57.1	73.3	„ „ „ „ „ (1) L
Drukvastheid (2) A-bollen	5.5	6.6	12.9	18.9	22.3	33.5	49.1	60.3	82.3	98.4	*Modulus of rupture by pressure* (2) *A-balls*
„ (2) B-bollen			7.5	10.4	13.6	22.8	29.9	37.8	53.9	72.8	„ „ „ „ „ (2) *B-balls*
„ (2) C-bollen			3.5	5.7	7.3	11.7	14.6	19.6	28.1	39.1	„ „ „ „ „ (2) *C-balls*
Krimp			0.4	3.6	8.0	13.8	17.7	19.8	22.5	27.0	*Shrinkage*
Poriënvolume (droog)			35.8	34.0	30.4	30.4	29.5	27.7	28.7	30.1	*Porespace (dry)*
Poriënvolume (nat)			36.2	36.3	35.9	40.0	42.0	42.0	44.7	48.0	*Porespace (moist)*
Vloeigrens volgens ATTERBERG			12.6	12.7	17.4	20.7	28.2	33.3	36.6	40.6	*Upper plastic limit of* ATTERBERG
Vochtgehalte pasta (3)			17.2	17.0	19.3	20.7	25.5	28.4	34.0	37.4	*Moisture content paste*
Single values	*Claycontent in* %										

TABLE 40d. *Loamsoil + fraction 208—295 μ*

Opmerking: Zie tabel 40a (1) (2) (3)
***Note: See table* 40a (1) (2) (3)**

veronderstelling wordt gebillijkt. Daartoe werden ook mengsels met 7.5 en 10% (rivierklei) resp. 6.8 en 9.1 (leem) op de drukvastheid onderzocht. In verband met de te verwachten kleine drukvastheid en de moeilijke wijze, waarop deze halve bollen uit de gipsmodellen waren te verwijderen (de krimp is zeer gering; zie ook hoofdstuk II), werd volstaan met deze drukvastheid alleen met de A-halve bollen (in de tabellen 40 en in het vervolg kortheidshalve alleen A-bollen genoemd) te bepalen. Uit de tabellen 40 blijkt nu, dat weliswaar een vrij scherpe afneming van de drukvastheid bij omstreeks 10% slib en bij de dalende slibgehalten optreedt. De mengsels met ± 10 en met ± 7.5% slib blijven echter een duidelijk aantoonbare drukvastheid bezitten, hetgeen ook voor de andere physische constanten het geval zal zijn. Hieruit volgt, dat ook om deze reden de bovengenoemde veronderstelling, nl. dat gronden met 10% of minder slib zandgronden zijn, een conventionele is. Een abrupte verandering van de physische eigenschappen heeft bij 10% slib niet plaats.

b. *De invloed van het lutumgehalte (= fractie < 2 μ).*

Ofschoon het voorgaande bewezen heeft, dat het slibgehalte een invloed op de physische eigenschappen van de grond uitoefent, blijft het de vraag, in hoeverre daartoe de gehele slibfractie meewerkt.

Door een gelukkige omstandigheid stelde Dr Ir A. J. Zuur, belang in de bepaling van de drukvastheid [132]a van een aantal gronden uit de N.O.-polder, waarvan het slibgehalte vaak hetzelfde, echter het lutumgehalte (= fractie < 2 μ) verschillend was. Door een tweetal analisten van het Bodemkundig Laboratorium van de N.O.-polder te Kampen werd van een aantal gronden in ons Instituut en met behulp van het, in deze publicatie aangegeven, instrument voor de hier gevolgde methode van onderzoek de drukvastheid van A-bollen bepaald (steeds 10 stuks).

Voor bovengenoemd onderzoek werden twee series gronden gekozen met oplopende lutum- en slibgehalten. Bij de monsters van de ene serie lag de lutum: slibverhouding boven 55% en bij de andere serie lager dan 40%. Deze monsters werden gedroogd, gemalen en herhaaldelijk behandeld met H_2O_2 om deze humusvrij te maken. Bij latere bepalingen van het humusgehalte in de aldus voorbewerkte gronden bleek meestal nog 0.2 tot 1.0% humus aanwezig te zijn; systematische verschillen tussen de twee groepen waren niet aanwezig. Bij drie monsters, die bij het hierna te bespreken onderzoek sterk uit het algemeen verband vallende uitkomsten gaven en daarvoor o.a. voor het onderzoek op humusgehalte waren uitgekozen, bleek het humusgehalte na de oxydatie nog enkele procenten te bedragen [133]. De resultaten verkregen met deze monsters zijn dan ook verder buiten beschouwing gelaten; deze afwijkende mon-

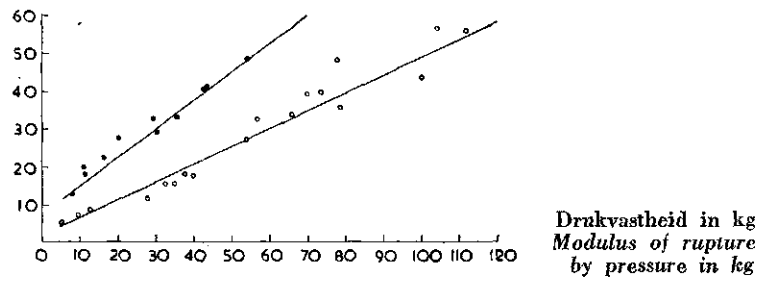
[132]a Ook andere grootheden werden door Dr Ir Zuur bepaald. Deze blijven hier onbesproken. De daarmede verkregen resultaten waren in overeenstemming met die verkregen met de drukvastheid.

[133] Door schrijver is dit uitvoerig onderzocht; zie: S. B. Hoogboudt, Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond No. 9, Versl. Landbouwk. Onderz. 50 (13) A/50 (13) A 671, 1945.

sters waren van origine nog al humeus. De hier te vermelden drukvastheden hebben alle betrekking op monsters met, na de voorbewerking met H_2O_2, minder dan 1.0% humus.

Na de oxydatie met H_2O_2, werden de monsters behandeld met $CaCl_2$ (1 gr Ca per 20 gr grond), om ze alle in ongeveer dezelfde complex-toestand te brengen. Vervolgens werd driemaal een overmaat water toegevoegd en gedecanteerd om het grootste deel van de electrolyten weg te wassen. Tenslotte werden de monsters gedroogd en weer fijngemalen.

DIAGRAM 10a. Verband tussen drukvastheid en slibgehalte.

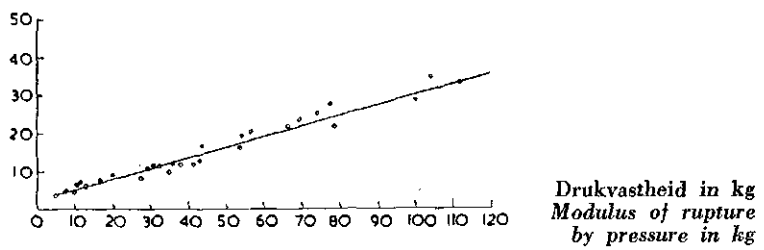


• *low lutum: clay proportion* • lage lutum: slibverhouding
° *high lutum: clay proportion* ° hoge lutum: slibverhouding

clay = *fraction* $< 16\,\mu$ slib = fractie $< 16\,\mu$
lutum = *fraction* $< 2\,\mu$ lutum = fractie $< 2\,\mu$

DIAGRAM 10a. *Connection between modulus of rupture by pressure- and claycontent.*

DIAGRAM 10b. Verband tussen drukvastheid en lutumgehalte.



• *low lutum: clay proportion* • lage lutum: slibverhouding
° *high lutum: clay proportion* ° hoge lutum: slibverhouding

clay = *fraction* $< 16\,\mu$ slib = fractie $< 16\,\mu$
lutum = *fraction* $< 2\,\mu$ lutum = fractie $< 2\,\mu$

DIAGRAM 10b. *Connection between modulus of rupture by pressure- and lutumcontent.*

Bij een in deze monsters ingesteld onderzoek bleek, dat alle monsters nog een ruime hoeveelheid koolzure kalk bevatten; er bestonden echter geen systematische verschillen in het kalkgehalte tussen de hoge en de lage groep.

Voorzover kon worden nagegaan was er vrijwel geen ander verschil tussen de gronden met een hoge en die met een lage lutum: slibverhouding dan dat dit slib in samenstelling verschilde. Wel waren de gronden met een hoge verhouding iets grofzandiger.

De resultaten van dit onderzoek met de slib- en lutumgehalten, de $CaCO_3$-gehalten en enkele humusgehalten (na de oxydatie met H_2O_2) zijn in tabel 41 aangegeven.

In de diagrammen 10a en b zijn resp. het slib- en het lutumgehalte telkens tegen de drukvastheid uitgezet.

Uit deze diagrammen blijkt, dat er een nauw verband tussen het lutumgehalte en de drukvastheid, echter *niet* tussen het slibgehalte en de drukvastheid bestaat. In het laatste geval bestaat dit verband alleen als de verhouding lutum: slib of dus de samenstelling van de slibfractie gelijk blijft, zoals dit ook bij de ons onderzochte series met opklimmende slibgehalten het geval was. Hier is immers steeds dezelfde grond met de fractie 16—43 μ resp. 208—295 μ vermengd tot bepaalde slibgehalten aanwezig waren. De samenstelling van deze slibfractie is in die gevallen uiteraard dezelfde.

Uit het voorgaande volgt schijnbaar tevens, dat de fractie 2—16 μ blijkbaar geen invloed op de drukvastheid en daarmede op de physische eigenschappen van de grond uitoefent. Dit resultaat is zeer merkwaardig, aangezien zoals verder hieronder nog zal blijken, de grofheid van de zandfractie (= fractie 16—2000 μ) wel een invloed uitoefent en het onlogisch is, dat de (grofheid van deze) zandfractie en dus de afzonderlijke subfracties daarvan wel een invloed zouden uitoefenen, echter de fractie 2—16 μ niet.

Om bovengenoemde reden werden dan ook nog eens mengsels onderzocht, waarvan de samenstelling van de lutumfractie (= fractie $< 2\ \mu$), van de fractie 2—16 μ en van de zandfractie (hier 16—74 μ) steeds dezelfde was. De onderlinge verhouding, waarin deze fracties gemengd werden, was echter verschillend. Als lutumfracties werden de fractie $< 2\ \mu$ van de reeds vaker genoemde leemgrond en van de rivierkleigrond en verder van een keileemgrond en een zeekleigrond (Dollardgrond) gebruikt. Deze fracties werden met behulp van de ATTERBERG-methode uit deze gronden, uiteraard na verwijdering van de humus en de $CaCO_3$, afgeslibd en vervolgens geëlectrodialyseerd. Voor de fractie 2—16 μ werd een mengsel gebruikt bestaande voor $^2/_3$ uit de fractie 2—8 μ en $^1/_3$ uit de fractie 8—16 μ. Ook deze fractie werd aan een electrodialyse onderworpen. De fractie 16—74 μ bestond tenslotte uit een mengsel van vele fracties, aangezien juist van de fijnste zandsubfracties niet veel meer aanwezig was, waarom alle beschikbare subfracties maar gemengd werden. Deze fractie 16—74 μ bestaat dan ook uit 24 gram fractie 16—26 μ, 288 gram fractie 26—37 μ, 288 gram fractie 37—50 μ, 200 gram mengsel bestaande voor $^2/_3$ deel uit de fractie 16—43 μ en $^1/_3$ uit de fractie 43—74 μ en 200 gram mengsel bestaande voor $^1/_3$ uit de fractie 16—43 μ

TABEL 41

Monster No. Y	100 gram droge stof van het monster bevat na de voorbewerking van deze monsters met H_2O_2 nog grammen:					Drukvastheid in kg (A-halve bollen) Middellijn bol 2.5 cm
	$CaCO_3$	Humus (elementair)	Lutum	Slib	100 lutum / slib	
1151	11.4		11.3	28.0	40	30.4
1174	13.0		5.0	12.9	39	7.5
1177	11.9		6.8	18.1	38	11.1
1180	11.5		11.2	33.1	34	35.6
1181	12.1	0.1	7.6	22.4	34	16.7
1198	8.3	0.2	6.5	19.6	33	10.6
1412	9.6	0.8	19.3	48.3	40	54.2
1413	9.5	0.4	12.6	40.1	31	42.4
1453	10.0		16.3	40.4	40	43.3
1462	9.8		10.8	32.9	33	29.6
1466	10.1		8.7	27.9	31	20.0
1157	9.9		4.8	7.3	66	9.7
1159	7.8		11.4	18.4	62	37.9
1160	8.7		9.9	15.8	63	35.0
1167	10.1		11.4	18.0	63	40.9
1170	9.6		6.5	9.0	72	12.9
1171	11.1		11.1	15.6	71	32.3
1179	10.0	0.3	15.9	27.2	58	53.8
1190	8.8	0.6	21.8	35.5	61	78.8
1194	10.6		3.9	5.5	71	5.1
1202	8.4		8.1	11.8	69	27.6
1456	9.8	0.3	23.3	39.3	59	69.8
1457	10.1	0.4	21.1	34.0	62	65.6
1460	9.1	0.7	28.4	43.4	65	100.3
1468	7.4	0.7	33.0	55.6	59	111.7
1469	7.5	0.9	34.5	56.2	61	104.0
1471	8.5	0.5	27.3	47.9	57	77.6
1472	10.8		20.2	32.6	62	56.9
1475	9.9		25.1	39.4	64	73.7
Soil sample number Y	*$CaCO_3$*	*Humus*	*Lutum*	*Clay*	*100 lutum / clay*	*Modulus of rupture by pressure in kg (A-half balls) / Diameter 2,5 cm*
	After the preparation of these samples with H_2O_2 100 gram of dry matter of the sample contains grams:					

en $^2/_3$ uit de fractie 43—74 μ. Ook deze fractie 16—74 μ was geëlectrodialyseerd. Van deze 3 hoofdfracties, nl. de fractie $< 2\ \mu$, 2—16 μ en 16—74 μ werden telkens 3 mengsels gemaakt en wel bestaande uit resp. Mengsel I 30% fractie $< 2\ \mu$, 30% fractie 2—16 μ en 40% fractie 16—74 μ; Mengsel II 30 % fractie $< 2\ \mu$ en 70 % fractie 16—74 μ (fractie 2—16 μ ontbreekt) en Mengsel III 60% fractie $< 2\ \mu$ en 40% fractie 16—74 μ (fractie 2—16 μ ontbreekt). Van deze mengsels werd nu de drukvastheid (A- en B-bollen) bepaald (droogtemperatuur 70°C). De resultaten zijn in tabel 41a en b aangegeven.

Uit deze tabellen 41a en b volgt steeds, dat, als de fractie 2—16 μ

TABEL 41a Drukvastheid A-bollen

Mengsel	Samenstelling mengsel: % fractie < 2 μ	% fractie 2-16 μ	% fractie 16-74 μ	Aantal onderzochte modellen per serie	Drukvastheid in kg (gecorr. op 2.5 cm)	Gem. drukvastheid in kg van alle series	M.f. van het gem. van één serie in % van het gem.	M.f. van het gem. van alle series in % van dit gem.
Mengsel I Fractie < 2 μ afkomstig leemgrond	30	30	40	9	105.7		1.7	
	30	30	40	7	93.8	95.2	2.1	2.2
	30	30	40	7	86.0		3.0	
„ II Fractie < 2 μ afkomstig leemgrond	30	—	70	7	68.5		2.3	
	30	—	70	9	56.5	60.6	3.0	2.4
	30	—	70	9	56.7		3.0	
„ III Fractie < 2 μ afkomstig leemgrond	60	—	40	7	129.3	127.8	1.1	1.8
	60	—	40	7	126.4		3.5	
Mengsel I Fractie < 2 μ afkomstig rivierkleigrond	30	30	40	8	81.4		2.4	
	30	30	40	9	69.6	73.2	2.9	2.4
	30	30	40	6	68.7		4.3	
„ II Fractie < 2 μ afkomstig rivierkleigrond	30	—	70	7	40.3		2.7	
	30	—	70	9	43.6	41.4	3.8	1.9
	30	—	70	10	40.2		2.3	
„ III Fractie < 2 μ afkomstig rivierkleigrond	60	—	40	9	96.2	95.0	3.2	2.5
	60	—	40	8	93.9		3.9	
Mengsel I Fractie < 2 μ afkomstig keileemgrond	30	30	40	8	69.2		1.8	
	30	30	40	8	61.8	71.2	2.9	2.8
	30	30	40	9	82.6		2.2	
„ II Fractie < 2 μ afkomstig keileemgrond	30	—	70	9	48.7		3.6	
	30	—	70	10	40.6	47.7	3.6	2.9
	30	—	70	8	53.8		2.9	
„ III Fractie < 2 μ afkomstig keileemgrond	60	—	40	8	113.3	108.0	3.6	2.4
	60	—	40	9	102.6		2.7	
Mengsel I Fractie < 2 μ afkomstig zeekleigrond	30	30	40	8	66.3		4.2	
	30	30	40	7	59.8	61.1	2.8	2.2
	30	30	40	9	57.1		2.0	
„ II Fractie < 2 μ afkomstig zeekleigrond	30	—	70	7	55.5		3.0	
	30	—	70	9	40.6	49.3	1.4	3.4
	30	—	70	7	51.9		4.7	
„ III Fractie < 2 μ afkomstig zeekleigrond	60	—	40	9	92.4	87.7	2.5	2.4
	60	—	40	8	83.0		3.3	

Mixture	Composition of the mixture: % fraction < 2 μ	% fraction 2-16 μ	% fraction 16-74 μ	Number of determined models per series	Modulus of rupture by pressure in kg (corr. on 2.5 cm)	Mean modulus of rupture by pressure in kg of all series	Standard deviation of the mean of one series in % of the mean	Standard deviation of the mean of all series in % of the mean

TABLE 41a. *Modulus of rupture by pressure A-balls*

door de fractie 16—74 μ wordt vervangen (vergelijk Mengsel I en II), de drukvastheid en dus de onderlinge samenhang der deeltjes achteruit gaat. Wordt daarentegen de fractie 2—16 μ vervangen door de fractie $< 2\ \mu$, dan wordt de drukvastheid en dus de onderlinge samenhang der deeltjes groter. Hieruit volgt dus, dat de fractie 2—16 μ *wel* een invloed uitoefent op de physische eigenschappen van de (gedroogde) gronden en wel in dezelfde richting als de fractie $> 16\ \mu$. Bij vervanging van deze fractie 2—16 μ door grover materiaal neemt de onderlinge samenhang af en bij vervanging door fijner materiaal toe.

De resultaten verkregen met de grondmonsters uit de N.O.-polder zijn in dit opzicht dus misleidend geweest. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door systematische verschuivingen in de samenstelling van de fractie $< 2\ \mu$, 2—16 μ en (of) $> 16\ \mu$ of door de overheersing van de invloed van de fractie $< 2\ \mu$.

Tenslotte zou het van belang zijn te weten, welke subfracties van de fractie $< 2\ \mu$ de meeste invloed uitoefenen, of m.a.w. welke invloed de korrelsamenstelling van de fractie $< 2\ \mu$ heeft. Dit is pas dan te onderzoeken, indien van de subfracties van de fractie $< 2\ \mu$ een voldoende hoeveelheid voorhanden is. Een en ander zal moeten worden uitgesteld, totdat de centrifuge aanwezig is, waardoor de bereiding van deze fracties in voldoende hoeveelheden mogelijk wordt.

c. *De drukvastheid van enkele fracties*

Ofschoon, zoals reeds aan het slot van sub b is medegedeeld, een geregeld onderzoek naar de physische eigenschappen van gedroogde fracties en mengsels daarvan nog niet kan plaatsvinden, zijn toch van enkele fracties de drukvastheden bepaald kunnen worden. De resultaten daarvan zijn in tabel 42 medegedeeld. Al deze onderzoekingen werden in enkelvoud verricht.

In vergelijking met de tabellen 40 volgt uit tabel 42, dat de fractie $< 2\ \mu$ van de rivierklei en van de leemgrond lagere en resp. iets hogere drukvastheden bezitten, dan de hoogste drukvastheid, die van deze gronden met 30% slib is waargenomen. Ook de lijn in diagram 10b naar 100% van de fractie $< 2\ \mu$ geëxtrapoleerd, zou een veel en veel hogere drukvastheid doen verwachten dan in werkelijkheid gemeten werd. De verklaring daarvan is vermoedelijk, dat de zuivere fracties $< 2\ \mu$ uiteraard sterk krimpen en zeer bros zijn, zodat tijdens het drogen vermoedelijk scheurtjes ontstaan, waardoor uiteraard de drukvastheid sterk daalt. Ook de relatief lage drukvastheden van de fracties $< 0.1\ \mu$ van deze gronden moeten daaraan vermoedelijk worden toegeschreven.

Zowel bij de keileemgrond, de dollardkleigrond, de rivierkleigrond, als de leemgrond blijkt de fractie $< 2\ \mu$ een veel grotere drukvastheid te hebben dan de fractie 2-8 μ. De fractie 8-16 μ van deze gronden kon helaas niet onderzocht worden, aangezien hiervan te weinig aanwezig was. Hieruit volgt, dat de drukvastheid van een grond blijkbaar hoofdzakelijk door de fractie $< 2\ \mu$ bepaald wordt in overeenstemming met hetgeen in sub b is medegedeeld. Voor de riviekleigrond werd ook de

TABEL 41b Drukvastheid B-bollen

Mengsel	Samenstelling mengsel: % fractie < 2 μ	% fractie 2-16 μ	% fractie 16-74 μ	Aantal onderzochte modellen per serie	Drukvastheid in kg (gecorr. op 2.0 cm)	Gem. drukvastheid in kg van alle series	M.f. van het gem. van één serie in % van het gem.	M.f. van het gem. van alle series in % van dit gem.
Fractie < 2 μ	30	30	40	7	69.3		2.9	
Mengsel I afkomstig leemgrond	30	30	40	9	70.0	66.3	2.0	2.2
	30	30	40	7	59.0		4.0	
Fractie < 2 μ	30	—	70	7	51.6		4.6	
„ II afkomstig leemgrond	30	—	70	9	41.4	45.9	3.7	2.8
	30	—	70	9	44.6		3.1	
Fractie < 2 μ	60	—	40	9	97.5	95.0	1.7	1.6
„ III afkomstig leemgrond	60	—	40	9	92.4		2.6	
Fractie < 2 μ	30	30	40	9	53.9		3.0	
Mengsel I afkomstig rivierkleigrond	30	30	40	8	50.5	48.7	1.5	2.6
	30	30	40	9	41.7		3.3	
Fractie < 2 μ	30	—	70	9	30.9		3.8	
„ II afkomstig rivierkleigrond	30	—	70	9	31.8	31.3	3.2	2.1
	30	—	70	8	31.2		3.9	
Fractie < 2 μ	60	—	40	10	66.0	64.5	2.2	1.6
„ III afkomstig rivierkleigrond	60	—	40	10	63.0		2.0	
Fractie < 2 μ	30	30	40	9	52.3		3.9	
Mengsel I afkomstig keileemgrond	30	30	40	8	57.0	53.8	3.0	2.2
	30	30	40	7	52.0		3.7	
Fractie < 2 μ	30	—	70	6	32.2		4.0	
„ II afkomstig keileemgrond	30	—	70	9	35.7	32.5	3.6	2.9
	30	—	70	10	29 7		4.8	
Fractie < 2 μ	60	—	40	8	88.6	82.4	3,0	2.8
„ III afkomstig keileemgrond	60	—	40	10	76.2		3.1	
Fractie < 2 μ	30	30	40	10	46.7		1.9	
Mengsel I afkomstig zeekleigrond	30	30	40	9	51.5	48.4	3.4	2.1
	30	30	40	7	47.0		5.2	
Fractie < 2 μ	30	—	70	9	31.2		4.3	
„ II afkomstig zeekleigrond	30	—	70	9	33.0	31.3	2.5	2.1
	30	—	70	10	29.8		3.6	
Fractie < 2 μ	60	—	40	10	64.5	64.2	3.4	2.0
„ III afkomstig zeekleigrond	60	—	40	9	64.0		1.8	

Mixture	Composition of the mixture: % *fraction* < 2 μ	% *fraction* 2-16 μ	% *fraction* 16-74 μ	Number of determined models per series	Modulus of rupture by pressure in kg (corr. on 2.0 cm)	Mean modulus of rupture by pressure in kg of all series	Standard deviation of the mean of one series in % of the mean	Standard deviation of the mean of all series in % of the mean

TABLE 41b. *Modulus of rupture by pressure B-balls*

drukvastheid van de fractie 0.25 - 2 μ bepaald, welke drukvastheid slechts 2 x de drukvastheid voor de fractie 2 - 8 μ van deze grond bedroeg. De fractie $<$ 0.1 μ van deze grond, evenals deze fractie van de leemgrond, gaf daarentegen weer een veel grotere drukvastheid. Ofschoon dit uiteraard door een onderzoek van veel grotere omvang nader bevestigd moet worden, lijkt het waarschijnlijk, dat de drukvastheid en daarmede de physische eigenschappen van gedroogde gronden (zonder humus) voornamelijk bepaald worden door het gehalte aan de allerfijnste fracties, zij het dan ook, dat de grovere fracties (zie punt 5) hierop een merkbare invloed kunnen uitoefenen. Zoals echter reeds werd opgemerkt (zie ook het slot van sub b) moeten uitgebreider onderzoekingen dan de bovenmedegedeelde verricht worden om dit nader te bestuderen.

De grootte-orde van de drukvastheid van de fracties 2-8 μ van de keileemgrond, de dollardkleigrond, de rivierkleigrond en de leemgrond, van de kaolien en van de kwarts is gelijk. De absolute waarden daarvan zijn echter verschillend genoeg om de vraag te wettigen, of naast de korrelgrootte wellicht ook de herkomst (minerale samenstelling) en de vorm van de deeltjes op de physische eigenschappen van invloed is [134]. Het is zeker opmerkelijk, dat de drukvastheid van de fractie $<$ 2 μ van de kwarts (in feite dus de fractie rond 0.25—2 μ) na omrekening op dezelfde halve bol (bijv. C-bol) een zoveel kleinere drukvastheid heeft dan de fractie 0.25—2 μ van de rivierkleigrond, zij het dan, dat de granulaire samenstelling van beide fracties niet gelijk behoeft te zijn. Ook de drukvastheid van de fractie $<$ 2 μ van de kaolien (in feite de fractie 0.13—2 μ) is nog iets kleiner dan de fractie 0.25—2 μ van de rivierkleigrond, ofschoon de kaolien-fractie fijner materiaal bevat dan de bovengenoemde fractie van de rivierkleigrond. Uiteraard zijn ook hierover uitgebreider onderzoekingen nodig dan hier verricht zijn om dit nader te onderzoeken.

d. *De reproduceerbaarheid van de verkregen resultaten*

In hoofdstuk II is reeds uitvoerig ingegaan op de reproduceerbaarheid en de daarmede samenhangende middelbare fout van het gemiddelde van één serie van gelijktijdig gemaakte en onderzochte modellen. Hierop zal uiteraard niet worden teruggekomen. Daar werd echter ook reeds de aandacht op het feit gevestigd, dat bij herhalingen fouten optreden, die blijkbaar door andere invloeden worden beheerst dan die binnen iedere serie afzonderlijk optreden. Willen de betreffende physische constanten echter materiaalconstanten zijn, dan is het noodzakelijk, dat met het materiaal, dat na het fijnstampen van de gebruikte modellen verkregen wordt, weer dezelfde constanten binnen toelaatbare foutengrenzen worden verkregen. Beschouwen we in dit opzicht eens de onder-

[134] Ook CORRENS wijst hierop, zie: C. W. CORRENS, Geologische Rundschau, 29, 214, 1938. Hierin merkt hij op: „Denn die Fragen der Herkunft der Tone ihrer Geochemie, unmittelbar praktisch wichtige Frage wie die des Basenaustausches, der Plastizität, der Flockung, der Standfestigkeit u.s.w. werden sich nun dann beantworten lassen, wenn man zunächst die Eigenschaften der einzelnen Minerale in dieser Richtung untersucht und dann das Zusammenspiel der Gemengde".

TABEL 42

Materiaal	Fractie	A-, B- of C-bollen	% vocht	Aantal onderzochte modellen	Drukvastheid in kg	M.f. van het gem. absolnut	M.f. van het gem. In % v.h. gemiddelde
Keileem	$< 2\ \mu$	A	0.90	10	120 2	4.90	4.1
(*Boulder clay*)	,,	B	0.98	9	76.1	4.30	5.7
,,	,,	C	0.94	10	45.4	1.38	3.0
,,	2-8 μ	A	0.32	10	12.7	0.38	3.0
,,	,,	B	0.18	10	8.3	0.61	7.4
,,	,,	C	0.16	10	5 2	0.27	5.2
Dollard kleigrond	$< 2\ \mu$	A	1.23	9	97.1	3.84	4.0
Dollard seeclaysoil	,,	B	1.19	9	59.4	1.95	2.5
,,	,,	C	1 29	10	41.3	1.92	4.6
,,	2-8 μ	A	0.42	10	6.5	0.13	2.0
,,	,,	B	0.45	10	4.0	0.13	3.3
,,	,,	C	0.45	10	2.3	0.10	4.3
Rivierkleigrond	$< 2\ \mu$	A	1.03	9	95.6	3.60	3.8
Riverclaysoil	,,	B	1.06	9	81.3	3.46	3.5
,,	,,	C	1.14	8	43.1	1.76	4.1
,,	2-8 μ	A	0.43	10	10.3	0.26	2.5
,,	,,	B	0.42	10	7.2	0.42	6.5
,,	,,	C	0.41	10	3.9	0.16	4.1
,, [1]	0.25-2.0	B	0.58	9	13.0	0.30	2.3
,, [1]	$< 0.1\ \mu$	A	1.53	6	106.6	2.36	2.2
,,	,,	B	1.53	10	98.1	3.09	3.1
Leemgrond	$< 2\ \mu$	A	0.57	8	144.0	3.15	2.2
Loamsoil	,,	B	0 73	9	111.7	4.56	4.1
,,	,,	C	0.64	8	48.8	3.57	7.3
,,	2-8 μ	A	0.27	10	6.9	0.16	2.2
,,	,,	B	0.27	10	4.2	0.11	2.6
,,	,,	C	0.27	10	2.3	0.07	3.0
,,	$< 0.1\ \mu$	A	1.13	10	131.6	5.53	4.1
Kaolien [1]	$< 2\ \mu$	A	0.13	10	16.1	0.78	4.8
Kaoline [1]	,,	B	0.11	10	11.7	0.16	1.4
,, [1]	,,	C	0.11	10	4.6	0.07	1.5
,, [1]	2-8 μ	A	0.09	8	3.1	0.06	2.0
Kwarts [1]	$< 2\ \mu$	C	0.08	8	1.0	0.06	6.0
Quartz [1]							

Material	*Fraction*	*A-, B- or C-balls*	*% moisture*	*Number of used models*	*Modulus of rupture by pressure in kg*	*Absolute*	*In % of the mean*
						Standard deviation of the mean	

[1] Deze fracties stammen nog van een vroeger onderzoek, zie: D. J. HISSINK, S. B. HOOGHOUDT en JAC. VAN DER SPEK, Soil Research 5, 21, 1936. Hierbij is gebleken, dat de fractie $< 2\ \mu$ van kwarts geen kleinere deeltjes bevat dan omstreeks rond $0.24\ \mu$ en de fractie $< 2\ \mu$ van kaolien niet kleiner dan omstreeks $0.13\ \mu$.
Opmerking: Alle fracties waren zorgvuldig geëlectrodialyseerd en bevatten dus alleen uitwisselbare H·-ionen.

[1] *The fractions originate of a former research, see:* D. J. HISSINK, S. B. HOOGHOUDT *and* JAC. VAN DER SPEK, *Soil Research, 5,* 21, 1936. *From this research it appears, that the fraction* $< 2\ \mu$ *of Quartz does not contain smaller particles than about* $0.24\ \mu$ *and that the fraction* $< 2\ \mu$ *of kaolin is no smaller than about* $0.13\ \mu$.
Note: All fractions are electrodialysed and contain only exchangeable H·-ions.

zoekingen over de invloed van het slibgehalte, waarbij minstens duplobepalingen werden verricht, dan blijkt dat de afwijkingen van twee herhalingen meermalen 3 x de m.f. van het gemiddelde van iedere serie en meer uit elkaar liggen. Hieruit volgt, dat de verkregen waarden van de physische constanten blijkbaar ook van andere factoren moeten afhangen, dan binnen iedere serie van gelijktijdig gemaakte en onderzochte modellen het geval is. We zullen hiervan eerst enige voorbeelden geven.

Hardheid: Leemgrond met 80% slib + fractie 16—43 μ. De beide herhalingen gaven 5.0 en 5.9, terwijl de m.f. van het gemiddelde maximaal 0.13 bedraagt. Het verschil tussen de herhalingen bedraagt 0.9 en 3 x de m.f. van het gemiddelde van één serie maximaal slechts rond 0.4. Iets dergelijks treedt op bij de rivierkleigrond met 70% slib + fractie 16—43 μ. In drie herhalingen werd bepaald resp. 6.1; 5.2 en 4.9, terwijl de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie slechts 0.17 bedraagt of 3 x dit bedrag rond 0.5.

Slagbuigvastheid: Leemgrond met 40 % slib + fractie 16—43 μ. Bij drie herhalingen werd gevonden resp. 0.87; 0.71 en 0.83, terwijl de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie slechts 0.02 bedraagt of 3 x dit bedrag 0.06.

Trekvastheid: Rivierkleigrond met 80% slib + fractie 208—295 μ. Bij 3 herhalingen werd resp. gevonden 21.7; 17.2 en 23.2. De maximale m.f. van het gemiddelde van één serie bedroeg 1.49 of 3 x dit bedrag rond 4.5.

Buigvastheid: Rivierkleigrond 15% + fractie 208—295 μ. Bij 4 herhalingen (Korte staven) werd resp. gevonden 9.0; 7.6; 7.5 en 6.6, terwijl de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie 0.53 bedraagt of 3 x dit bedrag rond 1.6.

Drukvastheid: Leemgrond met 20 % slib + fractie 16—43 μ. Bij 2 herhalingen (A-halve bollen) werd resp. 30.0 en 41.3 gevonden, terwijl de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie 1.23 of 3 x dit bedrag rond 3.7 bedraagt.

Bovengenoemde voorbeelden zijn met meerdere voorbeelden te vermeerderen ook al liggen de verschillen bij de herhalingen meesttijds wel binnen 3 x de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie.

Het spreekt wel vanzelf, dat deze kwestie moet worden opgelost, wil men de physische constanten als materiaal-constanten kunnen opvatten. Een factor, die daarop van invloed is, is het vochtgehalte van de pasta, die voor het maken van de modellen wordt gebruikt. Deze fout kan bij herhalingen worden vermeden door van een pasta met hetzelfde vochtgehalte uit te gaan. Het is verder niet onwaarschijnlijk, dat twee andere factoren, nl. het kneden en de gelijkmatige vochtverdeling in de pasta, van invloed zijn. De invloed van dit kneden (vooral dus gelijkmatig en voldoend langdurig kneden) is zonder een kneedmachine niet verder na te gaan. Deze zal echter worden aangeschaft. Zodra deze gereed is, zullen verdere onderzoekingen over een gelijkmatige vochtverdeling worden aangezet. Voorlopig moeten we volstaan met op te merken, dat goede resultaten verkregen werden door de te maken pasta niet ineens maar in 5 of 10 porties te maken en uit ieder van deze pasta's 1 resp. 2 modellen te vervaardigen. Onregelmatigheden door dit kneden of door een ongelijke vochtverdeling veroorzaakt worden daardoor zo goed mogelijk geëlimineerd. Uiteraard is deze methode alleen dan met goed gevolg toe te passen, indien een grote hoeveelheid pasta moet worden gemaakt.

TABEL 43a

Materiaal	Slibgehalte in %	De m.f. van het Hardheid abs.	Hardheid in % v. h. gem.	Slagbuigvastheid abs.	Slagbuigvastheid in % v. h. gem.	Trekvastheid abs.	Trekvastheid in % v. h. gem.
Rivierkleigrond + fractie 16—43 μ H'-gronden Droogtemperatuur 40°C	15	0.080	3.6	0.008	1.3	0.19	2.2
	20	0.068	2.1	0.008	1.3	0.23	2.4
	30	0.063	2.3	0.005	0.7	0.32	2.8
	40	0.088	2.7	0.008	1.0	0.48	3.2
	50	0.095	2.3	0.012	1.6	0.42	2.3
	60	0.127	2.5	0.015	1.7	0.60	2.8
	70	0.147	2.7	0.024	2.7	0.98	4.2
	80	0.159	3.0	0.019	2.1	0.85	3.9
Rivierkleigrond + fractie 208—295 μ H'-gronden Droogtemperatuur 40°C	15	0.036	2 3	0.008	1.4	0.11	2.6
	20	0.089	5.5	0.008	1.4	0.06	1.1
	30	0.085	4.5	0.009	1.4	0.23	2.9
	40	0.070	3.1	0.006	0.8	0.18	1.7
	50	0.132	4.9	0.006	0.7	0.36	2.4
	60	0.140	3.2	0.008	1.0	0.52	2.7
	70	0.136	2.6	0.017	1.9	0.46	2.2
	80	0.159	2.7	0.013	1.4	1.03	5.0
Leemgrond + fractie 16—43 μ H'-gronden Droogtemperatuur 40°C	14	0.062	2.5	0.005	0.7	0.17	2.0
	18	0.057	1.9	0.007	1.1	0.18	1.9
	27	0.056	1.5	0.007	1.0	0.18	1.4
	36	0.114	2.5	0.015	1.8	0.43	2.6
	46	0.116	3.1	0.012	1.4	0.50	2.9
	55	0.074	1.6	0.014	1.7	0.82	4.1
	64	0.203	4 0	0.020	2.2	0.54	2.3
	73	0.160	2.9	0.018	1.9	0.73	2.8
Leemgrond + fractie 208-295 μ H'-gronden Droogtemperatuur 40° C	14	0.102	5.7	0.010	1.7	0.14	2.6
	18	0.111	5.0	0.011	1.8	0.14	2.2
	27	0.070	3.5	0.012	1.7	0.20	2.5
	36	0.080	3.8	0.006	0.9	0.33	2.7
	46	0.064	2.4	0.010	1.3	0.45	2.9
	55	0.169	5.1	0.011	1.3	0.51	2.9
	64	0.117	3.2	0.016	1.8	0.53	2.8
	73	0.147	3.1	0.024	2.5	0.84	3.7

Material	*Clay-content (= fraction < 16 μ) in %*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*
		Hardness		*Modulus of rupture by smash*		*Modulus of rupture by tear*	
		The standard deviation of					

gemiddelde van alle series

Buigvastheid K		Buigvastheid L		Drukvastheid A		Drukvastheid B		Drukvastheid C	
abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.
0.69	5.1	0.55	3.4	0.87	3.5	0.76	4.4	0.48	4.5
0.49	2 5	0.77	3.9	1.08	3.3	0.75	3.3	0.56	3.9
0.66	2.7	1.02	4.0	0.91	1.8	0.84	2.4	0.47	2.2
1.16	3.4	0.93	2.4	1.68	2.5	1.25	2.7	0.68	2.6
0.66	1.4	1.53	3.5	2.04	2.4	1.38	2.5	1.13	3.1
1 28	2.1	1.27	2.1	2.09	2.0	1.29	1.7	1.00	2.1
1.57	2.2	1.17	1.9	1.83	1.7	1.71	2.3	0.80	1.8
1.43	1.9	2.22	2.9	3.76	3.1	1.93	2.2	1 65	3.0
0.16	2.4	0.30	3.9	0.25	2.1	0.23	3.2	0.21	5.0
0.18	2.0	0.31	3.1	0.38	2.7	0.27	3.2	0.16	3 8
0.37	2.4	0.64	4.0	0.53	2.5	0.36	2.8	0.25	3.4
0.36	1.4	0.51	2.4	0.52	1.6	0.35	1.8	0.24	2.1
0.61	2.1	0.52	1.6	1.27	2.5	0.73	2.3	0.43	2.5
0.66	1.7	0.61	1.4	1.22	1.8	0.73	1.7	0.43	1.7
1.75	3.1	1.34	2 1	1.63	1.9	1.64	2.5	0.67	1.9
1.60	2.2	1.53	2.1	3.40	3.2	—	—	0.70	1.6
0.50	3.1	0.49	2.6	0.78	2.4	0.63	3.1	0.44	4.0
0.52	2.3	0.65	2 8	1.53	4.3	0.80	3.1	0.40	2.8
0.80	2 6	0.88	2.6	1.23	2.5	0.84	2.1	0.55	2.5
1.03	2.5	1.28	2.8	1.90	2.3	1.71	3.1	0.71	2.5
0.77	1.5	1.26	2.3	1.94	2.3	1.31	2.2	0.90	2.7
1.71	2.7	1 65	2.5	2.05	2.2	1.40	2.2	0.91	2.9
1.05	1.5	1.92	2.5	2 53	2.1	1.55	2.2	1.13	2.6
1.23	1.6	1.79	2.0	2.39	2.1	1.25	1.7	1.25	3.0
0.38	4.0	0.14	1.4	0.38	2.9	0.24	3.3	0.12	3.4
0.30	2.9	0.37	2.8	0.36	1.9	0.26	2.5	0.16	2.9
0.40	2.4	0.63	3.6	0.65	2.9	0.34	2 5	0.16	2.2
0.66	2.8	0.49	2.1	0.64	1.9	0.39	1.7	0.28	2.4
0.50	1.2	0.65	1.8	0.96	1.9	0.55	1 8	0.54	3.7
0.84	1.7	1.43	3.2	1 84	3.1	1.01	2.7	0.37	3.4
0.82	1.4	2.36	4.1	1.47	1.8	1 50	1.2	0.71	2.5
1.42	1.8	1.66	2.3	2.04	2.1	1.58	2.2	1.05	2.7
abs.	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*
Modulus of rupture by bend K		*Modulus of rupture by bend L*		*Modulus of rupture by pressure A*		*Modulus of rupture by pressure B*		*Modulus of rupture by pressure C*	

the mean of all series

TABEL 43b

Materiaal	Slibgehalte in %	De m.f. van het gemiddelde van alle series													
		Hardheid		Slagbuigvastheid		Trekvastheid		Buigvastheid K		Drukvastheid A		Drukvastheid B		Drukvastheid C	
		abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.
Rivierklei + fr. 16—43 μ	30	0.124	3.1	0.016	2.0	0.33	2 3	1.00	2 4	2.09	2 9	2.34	4.7	0.94	3.5
$Ca^{\cdot\cdot}$-gronden	60	0.306	3.3	0.019	1.8	—	—	1 71	1.9	5.04	3.5	2.55	2.5	1.91	3.0
Rivierklei + fr. 208—295 μ	30	0.242	6.5	0.004	0.5	0.27	2.6	0.36	1.5	0.85	2.5	0.52	2.1	0.38	3.0
$Ca^{\cdot\cdot}$-gronden	60	0.264	4.4	0.016	1.6	0.58	2.3	1.74	2.7	3.27	3.6	1.43	2.3	0.80	2.2
Leemgrond + fr. 16—43 μ	30	0.196	3.8	0.008	0.9	0.48	2.5	0.93	1.6	1.39	1.4	0.80	1.3	0.82	2.5
$Ca^{\cdot\cdot}$-gronden	60	0.269	3.5	—	—	1.20	3.7	2.87	2.7	3.34	1.9	2.35	1.9	1.74	2.6
Leemgrond + fr. 208—295 μ	30	0.099	2.5	0.008	1.0	0.39	2 4	0.65	2.0	1.33	2,8	0.84	2.8	0.39	2.5
$Ca^{\cdot\cdot}$-gronden	60	0.223	3.3	0.022	2,0	1.93	5.9	1.30	1.6	2.69	2.3	1.45	2.0	1.10	2.8

Opm. In al deze gevallen is de droogtemperatuur 70°C.

Material	*Clay content (= fraction 1 6 μ) in %*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*abs. in % mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*
		Hardness		*Modulus of rupture by smash*		*Modulus of rupture by tear*		*Modulus of rupture by bend K*		*Modulus of rupture by pressure A*		*Modulus of rupture by pressure B*		*Modulus of rupture by pressure C*	
		The standard deviation of the mean of all series													

TABEL 43c

Materiaal	U-cijfer	De m.f. van het gemiddelde van alle series							
		Hardheid		Drukvastheid A		Drukvastheid B		Drukvastheid C	
		abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.
Rivierkleigrond	50	0.095	4.1	0.36	1.9	0.25	2.1	0.09	1.5
met 20% slib	70	0.145	5.2	0.44	1.9	0.30	2.0	0.18	2.0
H-gronden	90	0.109	4.2	0.91	3.1	0.30	1.8	0.22	2.3
Droogtemperatuur 100°C	110	0.123	5.1	0.56	2.1	0.44	2.5	0.21	2.3
	130	0.089	3.6	0.73	2.6	0.38	2.1	0.30	2.6
	150	0.133	5.3	0.56	1.8	0.53	2.5	0.20	1.7
	170	0.110	3.4	1.07	3.7	0.54	2.9	0.26	2.3
	190	0.173	6.9	0.84	2.7	0.43	2.0	0.47	4.1
	210	0.147	5.7	1.31	4.6	0.52	2.8	0.38	3.7
	230	0.113	3.8	0.80	2.3	0.43	2.0	0.32	2.6
	270	0.095	3.2	0.70	2.0	0.33	1.5	0.22	1.6
	310	0.135	4.5	0.53	1.6	0.37	1.7	0.26	2.2
Material	*U-figure*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*
		Hardness		*Modulus of rupture by pressure A*		*Modulus of rupture by pressure B*		*Modulus of rupture by pressure C*	
		The standard deviation of the mean of all series							

Indien bijv. A-halve bollen moeten worden vervaardigd, is zo weinig pasta nodig, dat deze wel in éénmaal gekneed moet worden. Indien nieuwe mengsels zijn gemaakt, verdient het verder aanbeveling deze eerst tweemaal te kneden, in brokjes te laten drogen, te stampen, opnieuw te kneden, enz. alvorens hiermede de metingen te verrichten. In elk geval dient het aantal herhalingen zo groot te zijn, dat de gemiddelde waarde voldoend vaststaat. De m.f. van het gemiddelde van alle series, is te berekenen met behulp van formule 2. Deze fouten voor de verrichte onderzoekingen voorzover deze in duplo of triplo zijn verricht, zijn in tabel 43a, b, c, d, e en f en in de tabellen 41a en b aangegeven.

Uit tabel 43f blijkt, dat van alle gemiddelden van alle series van de hardheidsbepalingen er 30.8% een m.f. van het gemiddelde van alle series van 4.1% of meer van dit gemiddelde hebben en 17.3% met een m.f. van 5.1% of meer. Hieruit volgt, dat voor de hardheidsbepalingen zeker de eis gesteld kan worden, dat de m.f. van het gemiddelde van alle bepaalde series hoogstens 5.0% mag bedragen. Is deze fout groter dan moeten nog zoveel series worden onderzocht, dat de m.f. van het gemiddelde van alle series hoogstens 5.0% bedraagt. Zoals reeds in hoofdstuk II, punt 2, g is opgemerkt, moet onafhankelijk hiervan de resultaten van iedere serie worden geschrapt, waarvan de m.f. van het gemiddelde van deze serie 5.0% of groter is. Is de m.f. van het gemiddelde van één serie groter dan dit bedrag, dan moeten de resultaten van deze serie worden geschrapt en deze dus worden herhaald. Uiteraard is aan deze eis bij de hier verrichte onderzoekingen niet altijd voldaan, aangezien eerst veel bepalingen verricht moesten worden, alvorens deze eis kon worden vastgesteld. Bij de volgende onderzoekingen zal hierop echter worden gelet. Ditzelfde geldt voor de andere hieronder genoemde physische constanten, waarop niet zal worden teruggekomen.

Betreffende de slagbuigvastheid blijkt, dat van alle gemiddelden 10.3% een m.f. van het gemiddelde van alle series hebben, die 2.1% of groter is. Hieruit volgt, dat de eis gesteld kan worden, dat de m.f. van het gemiddelde van alle bepaalde series hoogstens 2.0% mag bedragen. Is deze fout groter dan moeten er nog zoveel series worden onderzocht, totdat de m.f. van het gemiddelde van alle series hoogstens 2.0 % bedraagt. In hoofdstuk II, punt 2, e is reeds medegedeeld, dat de m.f. van het gemiddelde van één serie hoogstens 2.9 % mag zijn. Is deze laatste m.f. groter, dan moeten de resultaten van deze serie worden geschrapt en deze worden herhaald.

Van alle gemiddelden bij de trekvastheid blijken 13.9 % een m.f. van het gemiddelde van alle series van 3.1 % of hoger te hebben. Hieruit volgt, dat de eis gesteld kan worden, dat de m.f. van het gemiddelde van alle bepalingen hoogstens 3.0% mag bedragen. Is deze fout groter, dan moeten nog zoveel series worden onderzocht, dat de m.f. van het gemiddelde van alle series hoogstens 3.0 % bedraagt. In hoofdstuk II, punt 2, f is reeds aangegeven, dat de maximale m.f. van het

TABEL 43d

Mengsel	Samenstelling			De m.f. van het gem. van alle series			
				Drukvastheid A		Drukvastheid B	
	% fractie < 2 μ	% fractie 2—16 μ	% fractie 16—74 μ	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.
Mengsel I Fractie < 2 μ	30	30	40	2.12	2.2	1.44	2.2
„ II afkomstig	30	—	70	1.44	2.4	1.28	2.8
„ III leemgrond	60	—	40	2.26	1.8	1.54	1.6
Mengsel I Fractie < 2 μ	30	30	40	1.74	2.4	1.28	2.6
„ II afkomstig	30	—	70	0.77	1.9	0.67	2.1
„ III rivierkleigrond	60	—	40	2.33	2.5	1.00	1.6
Mengsel I Fractie < 2 μ	30	30	40	2.01	2.8	1.16	2.2
„ II afkomstig	30	—	70	1.39	2.9	0.93	2.9
„ III keileemgrond	60	—	40	2.68	2.4	2.28	2.8
Mengsel I Fractie < 2 μ	30	30	40	1.36	2.2	1.02	2.1
„ II afkomstig	30	—	70	1.65	3.4	0.66	2.1
„ III zeekleigrond	60	—	40	2.09	2.4	1.26	2.0
Mixture	*% fraction < 2 μ*	*% fraction 2—16 μ*	*% fraction 16—74 μ*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*
				Modulus of rupture by pressure A		*Modulus of rupture by pressure B*	
	Composition			*The standard deviation of the mean of all series*			

TABEL 43e

Materiaal	Verzadigd met	De m.f. van het gem. van alle series					
		Buigvastheid		Drukvastheid A		Drukvastheid B	
		abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.	abs.	in % v. h. gem.
Leemgrond + fractie 43—74 μ slibgehalte 40%	$Ca^{\cdot\cdot}$	1.72	2.9	1.92	3.0	1.07	2.3
	$(C_2H_4OH)_3NH^{\cdot}$	1.23	3.1	2.87	6.1	1.73	4.5
Rivierkleigrond + fractie 43—74 μ slibgehalte 40%	$Ca^{\cdot\cdot}$	1.64	3.6	1.38	2.6	1.69	3.9
	$(C_2H_4OH)_3NH^{\cdot}$	1.21	4.0	0.74	2.4	0.78	3.6
Material	*Saturated with*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*	*abs.*	*in % of the mean*
		Modulus of rupture by bend		*Modulus of rupture by pressure A*		*Modulus of rupture by pressure B*	
		The standard deviation of the mean of all series					

TABEL 43f

Phys. constante	Frequentie van de middelb. fouten v. h. gem. van alle series in %								
	0-1.0	1.1-2.0	2.1-3.0	3.1-3.5	3.6-4.0	4.1-5.0	5.1-6.0	>6.0	Toelaatbare fout
Hardheid		5.8	28.8	34.6		13 5	13.5	3.8	5.0
Slagbuigvastheid	28.2	61.5	10.3						2.0
Trekvastheid		13.9	72.2	11.1			2.8		3.0
Buigvastheid L		18.8	50.0	12.5	15.6	3.1			3.5
Buigvastheid K		38.6	43.2	9.1	6.8		2.3		3.5
Drukvastheid A		28.0	52.9	13 2	1.5	2.9		1.5	3.5
„ **B**		26.9	55.2	10.4	3.0	4.5			3.5
„ **C**		15.4	61.5	9.6	7.7	5.8			3.5
Single value	*0.–1.0*	*1.1-2.0*	*2.1-3.0*	*3.1-3.5*	*3.6-4.0*	*4.1-5.0*	*5.1-6.0*	*6.0*	*Error permitted*
	Frequency of the standard deviation of the mean of all series in %								

gemiddelde van één serie 5.9% mag bedragen. Is deze laatste m.f. groter, dan moeten de resultaten van deze serie worden geschrapt en deze worden herhaald.

Van de gemiddelden bij de buigvastheid blijken bij de *korte* staven 9.1% een m.f. van het gemiddelde van alle series van 3.6% of hoger te hebben. Voor de *lange* staven hebben 18.7% een middelbare fout van 3.6% of meer. Hieruit volgt, dat de eis gesteld kan worden, dat de m.f. van het gemiddelde van alle bepaalde series bij de korte en lange staven hoogstens 3.5 % mag bedragen. Zijn deze m.f. groter, dan moeten zoveel nieuwe series gemeten worden, totdat de m.f. van alle gemeten series binnen de aangegeven grenzen (max. 3.5 %) ligt. In hoofdstuk II, punt 2, d is verder medegedeeld, dat de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie 4.9% mag bedragen. Is deze m.f. groter, dan moeten de resultaten van deze serie worden geschrapt en deze dus worden herhaald.

Van alle gemiddelden bij de drukvastheid (resp. A-, B- of C-halve bollen) heeft van de A-halve bollen 5.9% een m.f. van het gemiddelde van alle series van 3.6% of hoger. Voor de B-halve bollen heeft 7.5% een m.f. van het gemiddelde van alle series van 3.6% of hoger. Voor de C-halve bollen heeft 13.5% een m.f. van het gemiddelde van alle series van 3.6% of hoger. Hieruit volgt, dat met de A-halve bollen sneller eenzelfde nauwkeurigheid wordt bereikt dan met de B-halve bollen en met deze weer sneller dan met de C-halve bollen, hetgeen ook verwacht mocht worden. De gemiddelde m.f. van het gemiddelde van alle series bij de A-, B- en C-halve bollen zijn echter resp. 2.5, 2.4 en 2.7, of practisch niet verschillend, zodat er geen grote verschillen in deze m.f. van de A-, B- en C-halve bollen bestaan.

Hieruit volgt, dat voor de A-, B- en C-halve bollen de eis gesteld kan worden, dat de m.f. van het gemiddelde van alle bepaalde series hoogstens 3.5% mag bedragen, of dus voor alle halve bollen (A-, B- en C-halve bollen) de m.f. van het gemiddelde van alle series hoogstens 3.5% mag bedragen. Is deze fout groter, dan moeten nog zoveel series worden onderzocht, dat de m.f. van het gemiddelde van alle bepaalde series hoogstens 3.5% bedraagt. In hoofdstuk II, punt 2, c is reeds aangegeven, dat de m.f. van het gemiddelde van één serie bij alle halve bollen (A-, B- of C-halve bollen) hoogstens 5.9% mag bedragen. Is deze laatste m.f. groter, dan moeten de resultaten van deze serie worden geschrapt en deze worden herhaald.

Vatten we alles nog eens samen, dan is het dus door het grote aantal verrichte metingen mogelijk geworden de eisen vast te stellen, waaraan de bepaling van de hardheid, slagbuigvastheid, de trekvastheid, de buigvastheid en de drukvastheid in elk geval moet voldoen. Dit wil nog niet zeggen, dat de nauwkeurigheid van deze metingen nog niet kan worden vergroot, zodat in de toekomst nog geen strengere eisen zijn te stellen. Wel betekent dit, dat met de huidige methoden van onderzoek de aangegeven nauwkeurigheid zeker kan worden bereikt; meesttijds zal deze nauwkeurigheid zelfs belangrijk groter zijn.

5. De invloed van de fijnheid van de zandfractie

Er is in ons land een tamelijk verbreide mening, dat kleigronden met een grofzandige fractie in elk geval spoediger een slechte structuur bezitten dan kleigronden met een fijnzandige zandfractie[134a]. In hoofdst. III, punt 4 werd er reeds de aandacht op gevestigd, dat kleigronden met een grofzandige zandfractie een kleiner poriënvolume en een geringere krimp hebben dan overeenkomstige kleigronden met een fijnzandige zandfractie.

Om nu na te gaan in hoeverre de fijnheid van de zandfractie een invloed op de physische constanten en dus op de onderlinge binding (uiteraard bij het betreffende vochtgehalte) uitoefent, wordt reeds een goed overzicht verkregen door de resultaten te vergelijken van de onderzoekingen verricht met de series mengsels met opklimmende slibgehalten, waarbij alleen de fijnheid van de zandfractie verschillend is. De resultaten van deze onderzoekingen zijn voor dit doel nog eens aangegeven in tabel 40. Aan onderzoekingen die betrekking hebben op de invloed van de droogtemperatuur, waarbij eveneens van grof- en fijnzandige kleigronden werd uitgegaan, zullen verdere gegevens worden ontleend. We zullen ons tot dit materiaal bepalen, ofschoon uit het beschikbare materiaal nog meerdere bewijzen zouden zijn te halen, waaruit steeds volgt, dat de betreffende physische constanten in een kleigrond met een grofzandige zandfractie kleiner zijn dan in een kleigrond met een fijnzandige zandfractie, indien alle andere omstandigheden dezelfde zijn.

Uit tabel 44 volgt, dat in een kleigrond met een grofzandige fractie (hier 208—295 μ) kleinere waarden bepaald worden voor alle bepaalde, physische constanten dan in een kleigrond met een fijnzandige fractie (hier 16—43 μ), indien althans de overige omstandigheden dezelfde zijn. Voor de hoogste kleigehalten zijn de verschillen wel eens gering, terwijl ook wel eens een onregelmatigheid voorkomt. Verder blijken de hardheid en de slagbuigvastheid het minst in staat te zijn deze verschillen tot uiting te doen komen.

Uit het bovenstaande volgt dan ook, dat de fijnheid van de zandfractie de physische eigenschappen van gronden of dergelijk materiaal beinvloedt. Dit geldt niet alleen voor de gedroogde, maar ook voor de vochtige toestand; men vergelijke het poriënvolume (poriënvolume droog resp. nat) en het vochtgehalte van de pasta evenals de vloeigrens volgens Atterberg.

In tabel 45 is tenslotte nog een overzicht gegeven van de resultaten verkregen met de grofzandige en fijnzandige kleigronden, die gebruikt zijn bij het onderzoek naar de invloed van de droogtemperatuur, waarbij we ons tot de bepaling van de hardheid, slagbuigvastheid, trekvastheid, buigvastheid en drukvastheid hebben beperkt.

134a Zie b.v. J. G. Maschhaupt: *Landbouwk. T. 38*, 57, 1926.

TABEL 44

Materiaal	Physische Constanten (3)	Slibgehalten in procenten									
		(1)7.5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
		(2)6.8	9.1	14	18	27	36	46	55	64	73
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Hardheid			2.2	3.2	2.8	3.3	4.2	5.0	5.4	5.3
„ + 208—295 μ	„			1.6	1.6	1.9	2.3	2.7	4.4	5.2	5.7
Leemgr. + 16— 43 μ	„			2.5	3.0	3.7	4.6	3.7	4.7	5.1	5 5
„ + 208—295 μ	„			1.8	2.2	2.0	2.1	2.7	3.3	3.7	4.8
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Slagbuig-			0.64	0.64	0.72	0.77	0.78	0.89	0.90	0.87
„ + 208—295 μ	vastheid			0.56	0.60	0.64	0.75	0.80	0.82	0.90	0.90
Leemgr. + 16— 43 μ	„			0.64	0.66	0.71	0.80	0.82	0.82	0.91	0.96
„ + 208—295 μ	„			0.58	0.61	0.69	0.69	0.76	0.84	0.89	0.97
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Trekvast-			8.1	9.7	11.6	14.9	18.1	21.3	23.5	22.0
„ + 208—295 μ	heid			4.5	5.2	7.7	10.2	14.6	19.1	20.6	20.7
Leemgr. + 16— 43 μ	„			8.3	9.8	13.3	16.2	17.1	20.0	23.1	25.5
„ + 208—295 μ	„			5.2	6.4	8,2	2.2	15.5	17.1	18.8	22 5
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buigvast-			13.5	20.0	24.3	34.2	47.7	60.5	71.2	75.9
„ + 208—295 μ	heid K.			6.9	9.2	15.6	25.2	29.5	39.9	56.4	71.2
Leemgr. + 16— 43 μ	„			16.0	22.3	30.3	40.5	52.6	62.7	68.0	78.2
„ + 208—295 μ	„			9.5	10.4	16,8	23.6	40.1	50.1	59,2	77 1
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buigvast-			16.4	20.0	25,7	38.9	44.2	60.6	62,3	75.7
„ + 208—295 μ	heid L.			7.7	10.0	16.1	21.3	32.7	44.5	63.9	74.1
Leemgr. + 16— 43 μ	„			18.6	23.1	34,4	46,0	53.8	66.4	77.4	88.9
„ + 208—295 μ	„			9.8	13.2	17.6	23,9	35.4	45.2	57.1	73.3
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Drukvast-	8.8	10.1	24.5	33.0	50.0	66.0	85.7	105.8	107.5	122.5
„ + 208—295 μ	heid A.b.	4.1	5.1	11.6	14.0	21,2	32,0	50.6	68.6	88.0	109,6
Leemgr. + 16— 43 μ	„	7.2	13.3	32.1	35.6	48,9	81.7	83.0	92.8	117.8	113.4
„ + 208—295 μ	„	5.5	6.6	12.9	18.9	22,3	33.5	49.1	60.3	82.3	98.4
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Drukvast-			17.2	22.7	34,8	46,6	56.2	74.8	75.5	86.2
„ + 208—295 μ	heid B.b.			7.1	8.3	13.1	28,8	31.3	43.5	65.1	72.3
Leemgr. + 16— 43 μ	„			20.7	31.7	39,3	55,7	59.2	63.5	71.9	72.3
„ + 208—295 μ	„			7.5	10,4	13.4	22,8	29.9	37.8	53.8	72.8
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Drukvast-			10.6	14.2	21,2	26,2	36.4	47.4	43.3	54.9
„ + 208—295 μ	heid C.b.			4.2	4,2	7.4	11,0	17.1	25.5	37.0	43.6
Leemgr. + 16— 43 μ	„			11.0	14.6	21,6	28,3	33.1	31.1	43.3	41.5
„ + 208—295 μ	„			3.5	5,7	7,3	11.7	14.6	19.6	28.1	39.1
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Krimp			5.9	5.4	12.1	15.8	20.2	23.3	25.6	28.4
„ + 208—295 μ	„			1.3	4.1	8.5	11.9	16.9	21.3	26.0	28.2
Leemgr. + 16— 43 μ	„			4.2	7.1	10.3	16.8	19.3	26.8	25.5	28.0
„ + 208—295 μ	„			0.4	3.6	8.0	13.8	17.7	19.8	22.5	27.0
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Poriën-			39.0	38.5	35.1	33.6	32.5	33.7	34.7	35.3
„ + 208—295 μ	volume			35.5	32.6	31.9	31.4	32.1	32.4	33.6	35.2
Leemgr. + 16— 43 μ	(droog)			39.9	37.5	34.5	30.3	29.6	29.7	30.3	31.3
„ + 208—295 μ	„			35.8	34.0	30.4	30.4	29.5	27.7	28.7	30.1
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Poriën-			42.6	41.8	42.9	44.1	46.2	49.1	51.4	53.6
„ + 208—295 μ	volume			36.3	35.4	37.7	39.5	43.5	46.8	50.8	53.2
Leemgr. + 16— 43 μ	(nat)			42.4	42.0	41.2	42.0	43.2	47.4	48.1	50.6
„ + 208—295 μ	„			36.2	36.3	35.9	40.0	42.0	42.0	44.7	48.0
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Vloeigr.			21.5	21.3	22.3	28.3	32.5	39.2	43.1	52.5
„ + 208—295 μ	ATTER-			14.4	15.0	20.0	25.0	28.7	36.0	40.5	45.5
Leemgr. + 16— 43 μ	BERG			20.1	19.9	20.6	25.9	28.9	34.8	38.6	40.6
„ + 208—295 μ	„			12,6	12.7	17.4	20.7	28.2	33.3	36.6	40.6
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Vochtgeh.			25.3	25.8	26.6	29.8	33.1	37.8	38,9	45.9
„ + 208—295 μ	pasta			16.3	18.4	20.9	25.3	28.5	33.5	38.7	44.8
Leemgr. + 16— 43 μ	„			25.3	24.2	24.5	26.0	29.2	33.5	36.3	38.0
„ + 208—295 μ	„			17.2	17.0	19.3	20.7	25.5	28.4	34.0	37.4
Material	*Single value* (3)	(1)7.5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
		(2)6.8	9.1	14	18	27	36	46	55	64	73
		Claycontent in %									

1 Deze slibgehalten hebben betrekking op de mengsels van de rivierkleigrond en de fractie 16—43 of 208—295 .

2 Deze slibgehalten hebben betrekking op de mengsels van leemgrond en de fractie 16—43 of 208—295 μ.

Opmerking: Al het gebruikte materiaal bevatte geen humus en $CaCO_3$ meer en alleen uitwisselbare H^+-ionen.

1 Claycontents of the mixtures of riverclaysoil and the fraction 16—43 or 208—295 μ.

2 Claycontents of the mixtures of loamsoil and the fraction 16—43 or 208—295 μ.

3 Hardheid = hardness; slagbuigvastheid = modulus of rupture by smash; trekvastheid = modulus of rupture by tear; buigvastheid = modulus of rupture by bend (K = short bars; L = long bars); drukvastheid = modulus of rupture by pressure (A.b. = A-balls; B.b. = B-balls; C.b. = C-balls).

Note: Humus and $CaCO_3$ are removed. All the used material contains only exchangeable H^+-ions.

Uit tabel 45 volgt, dat afgezien van enkele onregelmatigheden (bij de slagbuigvastheid) ook nu alle physische constanten bij fijnzandige kleigronden (met fractie 16—43 μ) groter zijn dan bij de grofzandige kleigronden (met fractie 208—295 μ). Alle overige factoren waren verder steeds dezelfde.

Nu hebben we tot nu toe de invloed van de fijnheid van de zandfractie alleen aangetoond door middel van kleigronden, waarvan de zandfractie practisch geheel bestaat uit de fractie 16—43 μ resp. 208—295 μ. Het was daarom van belang ook eens een serie gronden met hetzelfde slibgehalte en met een opklimmende fijnheid van de zandfractie te vergelijken. Hiertoe werden een serie gronden gemaakt met steeds 20% slib (afkomstig uit de rivierkleigrond) en met U-cijfers [135] van de zandfractie van resp. 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 270, 310. Deze mengsels bevatten geen humus en $CaCO_3$ en verder alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen. De betreffende U-cijfers werden verkregen door de rivierkleigrond met zoveel van de fracties 208—295 μ, 104—147 μ, 74—104 μ, 43—74 μ of (en) 16—43 μ te mengen tot het slibgehalte 20% bedroeg en het U-cijfer van de zandfractie de aangegeven grootte had. De gemiddelde cijfers zijn in tabel 46 vermeld. Aangezien het niet mogelijk was grote hoeveelheden hiervan te maken, werd volstaan met de bepaling van de hardheid, de drukvastheid, de krimp en het poriënvolume in gedroogde en natte toestand.

Uit tabel 46 volgt, dat met de hardheid practisch geen verschillen zijn aan te tonen, zij het dan ook, dat in zeer grove lijnen er nog een toeneming naar een groter U-cijfer bestaat. Met de drukvastheid kan men althans tot een U-cijfer van omstreeks 150 een duidelijke toeneming laten zien. Bij grotere U-cijfers treedt nog een verdere toeneming op. Deze toeneming is aan te tonen, indien men in een diagram de U-cijfers tegen de drukvastheden uitzet, welke diagrammen hier niet zijn opgenomen. In elk geval is deze toeneming slechts gering.

Ook de krimp en het poriënvolume in gedroogde toestand vertonen een toeneming tot omstreeks $U = 170$. Uit deze gegevens volgt dan ook wel, dat ook op deze wijze is aangetoond, dat in overeenkomstige kleigronden, echter met een U-cijfer opklimmend van laag tot omstreeks $U = 150$ à 170 de physische constanten toenemen om bij nog hogeré U-cijfers vrijwel constant te worden. Uit de krimp en het poriënvolume in droge toestand krijgt men de indruk, dat deze grootheden vanaf $U = \pm 190$ à 210 bij stijgende U-waarden weer iets afnemen. Voor deze laatste grootheden moet men wel bedenken, dat deze vermoedelijk zullen afhangen van de granulaire samenstelling van de zandfractie, ook indien het U-cijfer daarvan dezelfde is (zie ook noot 132). Verdere onderzoekingen moeten dit nader aantonen.

Betreffende het poriënvolume in natte toestand (van de pasta), zoals deze voor het maken van de modellen gebruikt wordt, kan worden opgemerkt, dat ook nu met een stijgend U-cijfer tot omstreeks $U = 170$ het poriënvolume toeneemt. Bij grotere U-cijfers blijft het poriënvolume constant dan wel daalt wellicht weer iets.

[135] Zie noot 8.

TABEL 45

Materiaal	Physische Constanten (1)	Slibgehalte 30%	Slibgehalte 60%
	Droogtemperatuur 40°C		
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Hardheid	3.2	6.0
„ + 208—295 μ	„	2.3	4.6
Leemgr. + 16— 43 μ	„	3.2	5.6
„ + 208—295 μ	„	2.2	4.4
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Slag-	0.73	0.85
„ + 208—295 μ	buig-	0.72	0.82
Leemgr. + 16— 43 μ	vast-	0.67	0.94
„ + 208—295 μ	heid	0.73	0.93
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Trek-	9.9	21.8
„ + 208—295 μ	vast-	8.2	18.2
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	12.4	24.9
„ + 208—295 μ	„	9.7	21.3
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buig-	30.4	54.8
„ + 208—295 μ	vast-	17.1	48.9
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	35.6	72.6
„ + 208—295 μ	K	19 3	57.4
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buig-	28 9	65.5
„ + 208—295 μ	vast-	16.3	42.9
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	32.5	73.8
„ + 208—295 μ	L	20 1	57.7
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	49.8	106 9
„ + 208—295 μ	vast-	26.5	76.9
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	54.4	125.7
„ + 208—295 μ	A.b.	28.7	81.1
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	28.2	77.6
„ + 208—295 μ	vast-	17.3	43.4
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	37 4	85.7
„ + 208—295 μ	B.b.	19.0	53.4
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	18.1	44.5
„ + 208—295 μ	vast-	8.5	27.7
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	20 5	43.0
„ + 208—295 μ	C.b.	9.8	29.4
	Droogtemperatuur 70°C		
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Hard-	4 0	7.3
„ + 208—295 μ	heid	3.5	5.3
Leemgr. + 16— 43 μ	„	4.4	6 5
„ + 208—295 μ	„	3.1	5.1
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Slag-	0.75	0.89
„ + 208—295 μ	buig-	0 68	0.83
Leemgr. + 16— 43 μ	vast-	0.74	1.00
„ + 208—295 μ	heid	0.73	0.85
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Trek-	9.2	23.0
„ + 208—295 μ	vast-	8.0	18.9
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	12.4	24.7
„ + 208—295 μ	„	10.9	18.8
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buig-	30.0	74.0
„ + 208—295 μ	vast-	18.6	49.6
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	38.3	75.9
„ + 208—295 μ	K	24.1	63.5
Material	*Single value* (1)	30%	60%
		Claycontent	

1 See note 3 table 44.

TABEL 45 (Vervolg)

Materiaal	Physische Constanten	Slibgehalte 30%	Slibgehalte 60%
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buig-	31.6	72.8
„ + 208—295 μ	vast-	17.3	53.5
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	37.0	75.2
„ + 208—295 μ	L	23.3	61.4
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	48.9	95.7
„ + 208—295 μ	vast-	29.3	82.7
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	64.0	115.0
„ + 208—295 μ	A.b.	36.2	104.2
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	33.9	75.6
„ + 208—295 μ	vast-	17.4	52.9
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	44.6	78.4
„ + 208—295 μ	B.b.	22.2	65.7
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	20.1	49.6
„ + 208—295 μ	vast-	8.9	31.2
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	26.0	45.2
„ + 208—295 μ	C.b.	12.0	32.6
Droogtemperatuur 100°C			
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Hard-	4.1	7.5
„ + 208—295 μ	heid	3.1	5.5
Leemgr. + 16— 43 μ	„	4.3	6.8
„ + 208—295 μ	„	3.1	5.4
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Slag-	0.71	0.85
„ + 208—295 μ	buig-	0.69	0.78
Leemgr. + 16— 43 μ	vast-	0.73	0.89
„ + 208—295 μ	heid	0.74	0.91
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Trek-	10 3	21.6
„ + 208—295 μ	vast-	8.2	19.3
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	11.9	21.1
„ + 208—295 μ	„	9.6	21.7
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buig-	30.8	70.4
„ + 208—295 μ	vast-	18.5	54.8
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	37.5	79.8
„ + 208—295 μ	K	23.4	64.5
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Buig-	32.4	66.9
„ + 208—295 μ	vast-	18.6	52.4
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	37.0	85.4
„ + 208—295 μ	L	24 1	64.6
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	50.0	105.5
„ + 208—295 μ	vast-	27.9	77.7
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	60.4	129.9
„ + 208—295 μ	A.b.	36.9	95.5
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	28.9	74.9
„ + 208—295 μ	vast-	16.9	50.7
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	43.8	90.2
„ + 208—295 μ	B.b.	23.9	66.9
Rivierklgr. + 16— 43 μ	Druk-	16.7	47.8
„ + 208—295 μ	vast-	9.0	26.4
Leemgr. + 16— 43 μ	heid	26 3	50.8
„ + 208—295 μ	C.b.	11.5	34.1

Material	*Single value*	30%	60%
		Claycontent	

TABEL 46

Physische Constanten	U-cijfer zandfractie											
	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	270	310
Hardheid	2.3	2.8	2.6	2.4	2.5	2.5	3.2	2.5	2.6	3.0	3.0	3.0
Drukvastheid												
A-bollen (1)	18.5	23.3	29.7	27.3	27.7	30.4	29 0	31.0	28.4	35.3	34.3	34.0
B-bollen (1)	11.8	15.3	16.3	17.7	18.4	20.7	18.9	21.7	18.5	20.9	21.8	21.6
C-bollen (1)	5.9	8.9	9.4	9.1	11.7	12.0	11.1	11.4	10.3	12.3	13.6	11.6
Krimp (2)	5.3	6.0	5.8	5.4	6.3	6.8	8.3	7.8	9.0	7.8	7.3	7.1
Poriënvolume (droog)	29.9	30.3	31.6	33 1	33.6	33.5	36.5	37.9	37.4	35.1	35.5	36.0
Poriënvolume (nat) (2)	33.7	34.5	35.9	36.7	37.6	38.2	42.0	41.2	42.2	40.0	40.2	40.5
***Single values* (3)**	***U-figure sandfraction***											

Opmerking: De mengsels bevatten steeds 20 % slib (rivierklei) en bevatten geen humus of $CaCO_3$ en alleen uitwisselbare H-ionen. De droogtemperatuur bedroeg 100° C.

1 De waarnemingen met de A-, B- en C-halve bollen werden afzonderlijk gehouden.

2 Berekend uit de krimpmodellen; zie hoofdstuk II, punt 2, sub h.

Note: The mixtures always contain 20 % clay (riverclay). Humus and $CaCO_3$ are removed. All the mixtures contain only exchangeable H-ions. Temperature of drying 100° C.

1 *The results obtained with the so-called A-, B- and C-balls are mentioned separately.*

2 *Calculation from the models used for the determination of the shrinkage see Chapter II, § 2, sub. h.*

3 *For the translation see: Note 3, table 44 and table 40a.*

Uit het voorgaande volgt dus, dat de fijnheid van de zandfractie de physische constanten en dus de onderlinge samenhang van de deeltjes beïnvloedt en wel zijn in grofzandige kleigronden deze physische constanten en derhalve ook de onderlinge binding kleiner dan in overeenkomstige kleigronden met een fijnzandige fractie. Hieruit volgt, dat de hypothese, die wel eens naar voren werd gebracht, nl. dat kleikluiten, zoals deze vooral bij grofzandige kleigronden schijnen te kunnen optreden, daarom zo hard zijn, doordat de grove zandkorrels hierin dezelfde rol spelen als grind in beton, onjuist is. Indien immers overeenkomstige fijnzandige kleigronden kluiten vormen, zijn deze kluiten beduidend harder dan van overeenkomstige, echter grofzandige kleigronden.

Iets anders is uiteraard, dat vooral lichte kleigronden met een grofzandige zandfractie in de natuur wel eens eerder tot kluitvorming zouden kunnen overgaan dan overeenkomstige, fijnzandige kleigronden. Indien dit het geval is, zou dit wellicht te verklaren zijn door het feit, dat vooral lichte kleigronden met een grofzandige zandfractie een veel kleinere krimp en dus ook kleinere zwelling te zien geven dan overeenkomstige fijnzandige kleigronden (zie tabel 44). Sterke zwelling en krimp zijn in verband met opeenvolgende droge en natte perioden immers bevorderlijk voor structuurvorming.

Tenslotte werd eerst de indruk verkregen dat de oorsprong van de fractie 16—43 μ, waarmede de betreffende mengsels gemaakt werden, van belang is. Oorspronkelijk (invloed slibgehalte) werd namelijk uitgegaan van de fractie 16—43 μ en 208—295 μ, zoals deze bij de bepaling van de granulaire samenstelling van duizenden grondmonsters waren verzameld. Voor de latere mengsels moest voor de fractie 16—43 μ gebruik gemaakt worden van een tweetal gronden uit de N.O.-polder, waaruit de fracties 16—43 μ werden afgescheiden. Een en ander zou verklaard kunnen worden uit het feit, dat de fractie 16—43 μ tamelijk groot is, zodat verschil in samenstelling van de fractie 16—43 μ te verwachten is, hetgeen overigens, sedert bij de bepaling van de granulaire samenstelling van gronden ook de fractie 16—25 μ, 25—35 μ en 35—50 μ (soms 35—41 μ) werden bepaald, herhaaldelijk is waargenomen. Om dit na te gaan zijn in tabel 47 nog eens de gemiddelde waarden voor de hardheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid, de buigvastheid en de drukvastheid van de mengsels opgenomen, waarvan de fracties 16—43 μ en 208—295 μ van verschillende herkomst waren, hetgeen het geval was voor de mengsels, zoals deze voor de bestudering van de invloed van het slibgehalte resp. van de droogtemperatuur hebben gediend.

Hierbij dient men te bedenken, dat de bepalingen in het eerste geval in duplo of soms zelfs in veelvoud zijn herhaald, terwijl in het tweede geval (invloed droogtemperatuur) de bepalingen als regel slechts in enkelvoud zijn geschied. De nauwkeurigheid van deze bepalingen is dus niet gelijk.

Uit tabel 47 blijkt, dat bij de rivierkleigrond soms de ene en dan weer de andere grootheid in het ene geval groter is dan in het andere geval,

TABEL 47. Droogtemperatuur 40° C

Physische Constanten	Rivierkleigrond								Leemgrond							
	30% slib				60% slib				27—30% slib (3)				55—60% slib (3)			
	16—43 μ		208—295 μ		16—43 μ		208—295 μ		16 - 43 μ		208—295 μ		16—43 μ		208—295 μ	
	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T
Hardheid	2.8	3.2	1.9	2.3	5.0	6.0	4.4	4.6	3.7	3.2	2.0	2.2	4.7	5.6	3.3	4.4
Slagbuigvastheid	0.72	0.73	0.64	0.72	0.89	0.85	0.82	0.82	0.71	0.67	0.69	0.73	0.82	0 94	0.84	0.93
Trekvastheid	11.6	9 9	7.7	8.2	21.3	21.8	19.1	18.2	13.3	12.4	8.2	9.7	20 0	24 9	17.1	21.3
Buigvastheid K (1)	24.3	30.4	15.6	17.1	60.5	54.8	39.9	48.9	30.3	35.6	16 8	19.3	62.7	72.6	50.1	57.4
Buigvastheid L (1)	25.7	28.9	16.1	16.3	60.6	65.5	44.5	42.9	34.4	32.5	17.6	20.1	66.4	73.8	45.2	57.7
Buigvastheid Gem.	*25.0*	*29.7*	*15.9*	*16.7*	*60.6*	*60.2*	*42.2*	*45.9*	*32.4*	*34.1*	*17.2*	*19.7*	*64.6*	*73.2*	47.7	*57.6*
Drukvastheid A.b. (2)	50.0	49.8	21.2	26.5	105.8	106.9	68 6	76.9	48.9	54.4	22.3	28.7	92.8	125.7	60.3	81.1
Drukvastheid B.b. (2)	34.8	28.2	13.1	17.3	74.8	77.6	43.5	43.4	39.3	37.4	13.4	19.0	63.5	85.7	37.8	53.4
Drukvastheid C.b. (2)	21.2	18.1	7.4	8.5	47.4	44.5	25.5	27.7	21.6	20.5	7.3	9.8	31.1	43.0	19.6	29.4
Drukvastheid Gem.	*35.3*	*32.0*	*13.9*	*17.4*	*76.0*	*76.3*	*45.9*	*49.3*	*36.6*	*37.4*	*14.3*	*19.2*	*62.5*	*84.8*	*39.2*	*54.6*
Single Values (4)	30% *clay*				60% *clay*				27—30% *clay*				55—60% *clay*			
	Riverclaysoil								*Loamsoil*							

TABLE 47. *Temperature of drying 40° C*

1 De bepalingen met de korte en de lange staven werden afzonderlijk gehouden.
2 De bepalingen met de z.g. A-, B- en C-halve bollen werden afzonderlijk gehouden.
3 Het slibgehalte van de mengsels, die gebruikt zijn voor de bestudering van de invloed van het slibgehalte, is resp. 27 en 55 % en van de mengsels gebruikt bij de bestudering van de invloed van de droogtemperatuur resp. 30 en 60 %. Deze gehalten zijn dus niet precies dezelfde. Met de letter „S" en „T" is bedoeld, dat de grondmonsters werden gebruikt bij de bestudering van de invloed van de slibfractie resp. van de droogtemperatuur.

1 *The results obtained with the so-called short (usual) and long bars are mentioned separately.*
2 *The results obtained with the so-called A-, B- and C-balls are mentioned separately.*
3 *The claycontent of the mixtures used for the study of the influence of the claycontent, is resp. 27 and 55 % and of those used for the study of the influence of the temperature of drying resp. 30 and 60 %. These contents are not exactly the same. „S" and „T" express, that the soil samples are used for the studying of the influence of the clay content resp. of the temperature of drying. The fractions 16—43 μ and 208—295 μ in the mixtures of these fractions with soil are not the same: the origin is different, so is the composition probably.*
4 *For the translation see: Note* 3, *table* 44.

met uitzondering van de mengsels met 30% slib en de fractie 208—295 μ, waar de onder T genoemde cijfers steeds hoger zijn dan de onder S genoemde cijfers. Het komt mij dan ook voor, dat hier geen andere conclusie getrokken kan worden, dan dat geen vaststaand verschil is aan te tonen. Bij de leemgrond zijn in beide gevallen de slibgehalten niet precies gelijk en bij de bestudering van de invloed van de droogtemperatuur (T) het grootste. Hier overheerst blijkbaar bij 55 resp. 60% reeds dit verschil in slibgehalte, aangezien de in kolom T aangeduide resultaten zonder onderscheid hoger zijn dan de in kolom „S" aangeduide resultaten. Voor de mengsels met ± 30% slib (27 resp. 30%) is dit verschil in slibgehalte slechts gering. Hier zijn voor de mengsels met de fractie 16—43 μ de uitkomsten weer wisselend; voor de mengsels met de fractie 208—295 μ zijn de onder „T" genoteerde resultaten echter steeds hoger dan de onder „S" aangegeven cijfers. Het is niet met zekerheid te zeggen, of hier het verschil in slibgehalte dan wel de herkomst van de fractie 208—295 μ een rol speelt, aangezien enerzijds ditzelfde voorkomt bij de rivierkleigrond met 30% slib en de fractie 208—295 μ, terwijl anderzijds bij 60% slib weer wisselende resultaten werden verkregen. Verder liggen de grenzen van de fractie 16—43 μ veel verder van elkaar af dan van de fractie 208—295 μ, zodat, als de herkomst een rol speelt, dit veel eerder bij de mengsels met de fractie 16—43 μ dan met 208—295 μ is te verwachten, zij het dat ook de vorm van de deeltjes een invloed kan hebben.

Samengevat kan geen andere conclusie getrokken worden, dan dat een invloed van de herkomst van de fractie 16—43 μ en 208—295 μ niet resp. niet met zekerheid is aangetoond. Naar het waarschijnlijkste lijkt, bestaat deze invloed in de aangegeven gevallen niet, aangezien een verschil in de vorm van de korrels van de fractie 208—295 μ van verschillende, echter Nederlandse, herkomst zeer onwaarschijnlijk is en de grenzen van deze fractie, waarvoor men uit de verkregen resultaten nog een zekere invloed van de herkomst zou kunnen aannemen, weinig uit elkaar liggen, zodat dus binnen deze fractie geen grote verschillen in de granulaire samenstelling te verwachten zijn.

6. De invloed van de basenhuishouding

Het is te verwachten, dat naast andere factoren ook de basenhuishouding een invloed op het physisch gedrag, of hier dus op het physisch gedrag van gronden in gedroogde toestand zal uitoefenen. Voor sommige uitwisselbare kationen als $Ca^{\cdot\cdot}$ is de invloed bekend of althans kent men daaraan een structuurverbeterende invloed en dus een invloed op de onderlinge samenhang van de deeltjes toe; van andere is daarentegen ook weer zeer weinig bekend. Om hierover nader ingelicht te worden, werden voorlopig proeven genomen met dezelfde mengsels, die ook voor de bestudering van de invloed van de droogtemperatuur hebben gediend. Hiertoe werden deze mengsels opnieuw, na zorgvuldig geëlectrodialy-

seerd [136] te zijn, met $Ca(OH)_2$ verzadigd tot een pH 6.5 à 7.0 [137], nadat eerst door afzonderlijke bepalingen was vastgesteld hoeveel $Ca(OH)_2$ daarvoor nodig was. De toevoeging van de $Ca(OH)_2$ geschiedde aldus, dat in iedere schudkolf van 1 liter ± 300 gram grond en de benodigde hoeveelheid $Ca(OH)_2$ werd gedaan, waarna deze schudkolven op de schudmachine enige dagen werden geroteerd. De totale hoeveelheid grond werd daarbij over ongeveer 10 schudkolven verdeeld. Na deze bewerking werd de inhoud van de kolven op een waterbad tot droog ingedampt, fijn gestampt en op de gewone wijze gebruikt voor het maken van de verschillende modellen. Deze bepalingen werden in duplo of soms ook meerdere malen herhaald. De resultaten daarvan zijn medegedeeld in tabel 48, waarin echter alleen de gemiddelde waarden zijn vermeld. De droogtemperatuur bedroeg 70°C. Deze bepalingen kunnen vergeleken worden met de zuivere H'-gronden, zoals deze gediend hebben voor de bepaling van de invloed van de droogtemperatuur en waarbij deze droogtemperatuur eveneens 70°C bedroeg. Deze laatste bepalingen zijn echter over het algemeen slechts in enkelvoud verricht en derhalve minder nauwkeurig.

Uit tabel 48 volgt, dat, afgezien van een enkele onregelmatigheid ook de Ca''-gronden met de fractie 16—43 μ weer hogere waarden voor de physische constanten geven dan de overeenkomstige Ca''-gronden met de fractie 208—295 μ. Ook hieruit volgt dus nog eens de bekende invloed, die de fijnheid van de zandfractie op het physisch gedrag van (althans gedroogde) gronden uitoefent.

Verder volgt uit tabel 48, dat de Ca''-gronden op één uitzondering na steeds een hogere waarde van de hardheid, slagbuigvastheid, trekvastheid, buigvastheid en drukvastheid geven dan de overeenkomstige H'-gronden. Dit resultaat werd wellicht niet verwacht, aangezien men zich de werking van Ca''-ionen gaarne zo voorstelt, dat hierdoor kruimelstructuur met zachtere, d.z. gemakkelijk brokkelbare kluiten ontstaat. Men vergete daarom niet, dat hier de gronden in een éénkorrelstructuur z o n d e r h u m u s zijn gebruikt, terwijl in de natuurlijke toestand steeds humus (met name in de bouwvoor) aanwezig is en bovendien de gronden zich niet in éénkorrelstructuur bevinden. Verder worden hier de gronden in gedroogde toestand onderzocht, terwijl in de natuurlijke toestand deze gronden steeds veel vochtiger zijn. Indien men aanneemt, dat zure gronden in de natuurlijke toestand steeds een ongunstiger structuur hebben dan Ca''-gronden — de vraag is echter of dit wel juist is — dan dient men nog te bedenken, dat zure gronden altijd nog een zeker gehalte aan uitwisselbare kationen (vooral Mg''-ionen) bevatten, waarvan de neveninvloed niet bekend is. Dit laatste geldt ook voor de Ca''-kleigronden, zoals deze in de natuur voorkomen. Bij dit

[136] De dialyse werd voortgezet tot Cl'-vrij. Van te voren was de grond in een grote fles van 25 liter met 10 liter 0.1 N HCL flink geschud. De bovenstaande vloeistof werd de volgende dag afgeheveld. Dit werd nog tweemaal herhaald, waarna 2 x met gedestilleerd H_2O werd opgeschud, waarbij de volgende dag de bovenstaande vloeistof telkens werd afgeheveld. Eerst daarna vond de electrodialyse plaats.

[137] De pH van de geëlectrodialyseerde mengsels vóór de behandeling met $Ca(OH)_2$ was ± 4.0.

TABEL 48. Droogtemperatuur 70°C.

Physische Constanten	Rivierkleigrond								Leemgrond							
	30% slib				60% slib				30% slib				60% slib			
	16–43 μ		208–295 μ		16–43 μ		208–295 μ		16–43 μ		208–295 μ		16–43 μ		208–295 μ	
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$H^{\cdot}$
Hardheid	4.0	4.0	3.7	3.5	9.4	7.3	6.0	5.3	5.2	4.4	4.0	3.1	7.8	6.5	6.7	5.1
Slagbuigvastheid	0.78	0.75	0.77	0.68	1.03	0.89	0.99	0.83	0.87	0.74	0.81	0.73	1.28	1.00	1.10	0.85
Trekvastheid	14.6	9.2	10.3	8.0	23.7	23.0	25.3	18.9	19.0	12.4	15.2	10.9	32.4	24.7	32.7	18.8
Buigvastheid K	40.6	30.0	24.2	18.6	87.8	74.0	63.8	49.6	57.1	38.3	32.7	24.1	107.4	75.9	82.3	63.5
Drukvastheid A.b.	73.0	48.9	36.3	29.3	143.7	95.7	90.9	82.7	98.3	64.0	47.9	36.2	179.7	115.0	118.5	104.2
Drukvastheid B.b.	49.9	33.9	24.4	17.4	103.8	75.6	63.4	52.9	62.5	44.6	29.7	22.2	120.5	78.4	73.0	65.7
Drukvastheid C.b.	26.6	20.1	12.8	8.9	63.9	49.6	35.8	31.2	32.5	26.0	15.9	12.0	66.0	45.2	39.9	32.6
Krimp 1	12.7	11.9	11.0	8.6	26.6	26.2	26.2	23.0	23.9	—	10.4	10.3	25.7	27.5	27.4	25.5
Poriënvolume (droog) 1	32.8	35.2	31.5	31.2	33.6	33.5	27.2	32.5	32.0	—	29.3	29.2	27.8	28.2	25.8	28.1
Poriënvolume (nat) 1	41.1	42.9	39.1	37.2	48.2	51.0	46.3	48.2	41.5	—	36.6	36.5	46.4	47.9	46.2	46.5
Single values 2	30% *clay*				60% *clay*				30% *clay*				60% *clay*			
	Riverclaysoil								*Loamsoil*							

TABLE 48. *Temperature of drying 70° C*

1 Deze grootheden werden berekend uit de waarnemingen, verricht met behulp van de slagbuigvastheidmodellen.
1 The values are calculated from the observations done with the aid of models used for the determination of the modulus of rupture by smash.
2 For the translation: see Note 3, *table* 44 *and table* 40a.

onderzoek zijn de gronden echter in de zuivere $H^{\cdot}$-vorm aanwezig resp. bevatten de $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden alleen uitwisselbare $Ca^{\cdot\cdot}$- en $H^{\cdot}$-ionen.

Uiteraard was het noodzakelijk een groot aantal verschillende kationen te onderzoeken om over de invloed daarvan een juister beeld te verkrijgen. Het zou te veel tijd kosten dit onderzoek bij alle hiervoor gebruikte mengsels te verrichten. Daarom werden twee nieuwe mengsels gemaakt, nl.: rivierkleigrond met 40% slib en met de fractie 43—74 μ en leemgrond met 40% slib en met de fractie 43—74 μ. Hierbij werd van de bekende rivierkleigrond en leemgrond uitgegaan, die met de fractie 43—74 μ werden gemengd tot het slibgehalte 40% bedroeg. Beide mengsels bevatten ook nu geen humus en $CaCO_3$ meer en werden zorgvuldig geëlectrodialyseerd ($H^{\cdot}$-gronden). Deze mengsels werden ieder in 11 porties verdeeld; 10 er van werden telkens verzadigd met de hierna vermelde kationen.

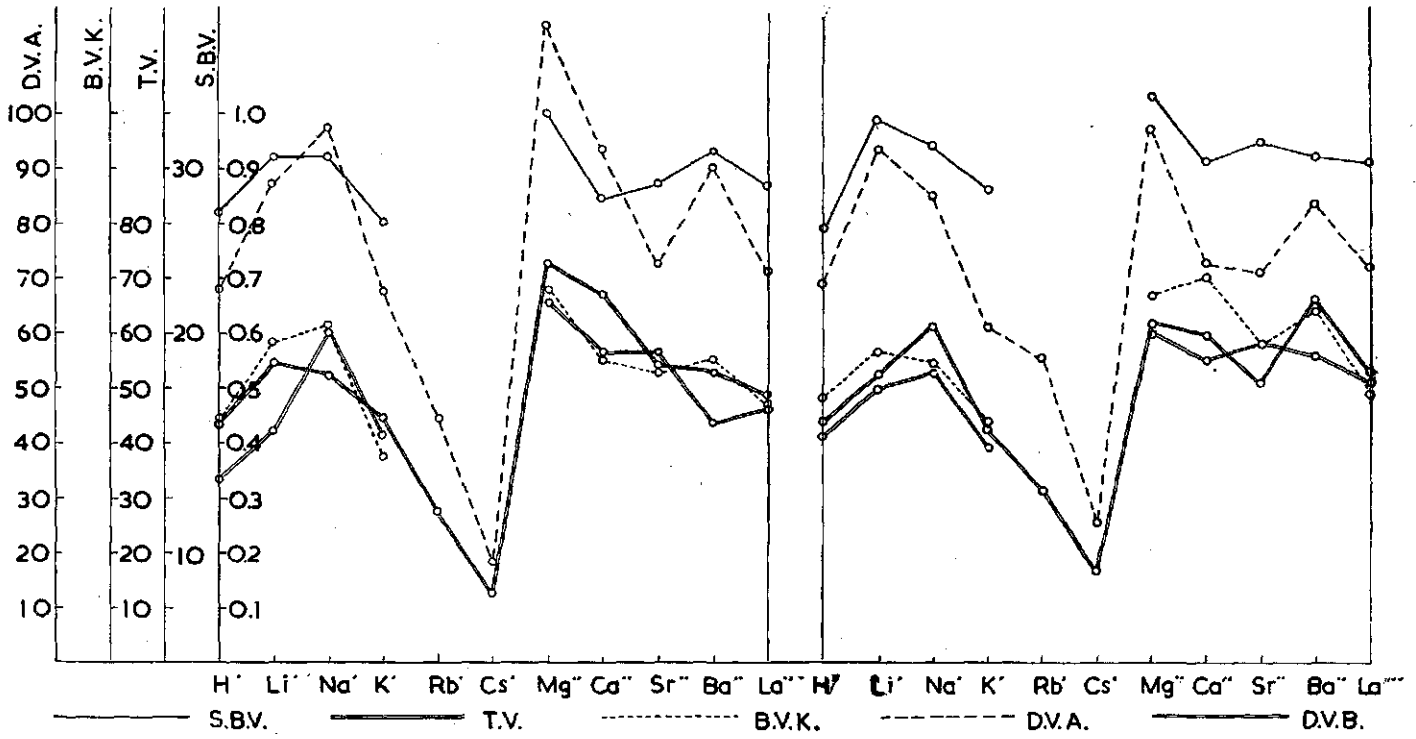
Aangezien het waarschijnlijk is, dat de physische eigenschappen van gronden in gedroogde toestand in de eerste plaats electrostatisch verklaard moeten (kunnen) worden, leek het mij gewenst, dat bij een onderlinge vergelijking het aantal kationen per 100 gram droge grond (bij 105° C gedroogd) gelijk moest zijn en derhalve dus niet de pH. Daartoe werd voor $Ca(OH)_2$ op de gewone wijze nagegaan hoeveel daarvan per 100 gram droge grond nodig was om een pH van 6.5 à 7.0 te verkrijgen. Van al de andere gebruikte kationen werd per 100 gram droge grond een aequivalente hoeveelheid toegevoegd. Deze hoeveelheid bedroeg per 100 gram droge grond voor de rivierkleigrond 14.8 mE (= 37 mE per 100 gram slib) en voor de leemgrond 10.4 mE (= 26 mE per 100 gram slib). Onderzocht werden een $Cs^{\cdot}$-, $Rb^{\cdot}$-, $K^{\cdot}$-, $Na^{\cdot}$-, $Li^{\cdot}$-, $H^{\cdot}$-, $Ba^{\cdot\cdot}$-, $Sr^{\cdot\cdot}$-, $Ca^{\cdot\cdot}$-, $Mg^{\cdot\cdot}$- en $La^{\cdot\cdot\cdot}$-grond.

De bereiding van deze gronden vond op dezelfde wijze plaats als van de reeds eerder genoemde $Ca^{\cdot\cdot}$-grond. Uitgegaan werd of van oplossingen van de hydroxyden of van de carbonaten (Rb_2CO_3 en Cs_2CO_3), waarmede de geëlectrodialyseerde $H^{\cdot}$-gronden op de schudmachine werden geschud. Voor de bereiding van $Mg^{\cdot\cdot}$-grond werd gebruik gemaakt van vers neergeslagen, goed uitgewassen en daarna gedroogd $Mg(OH)_2$, terwijl de $La^{\cdot\cdot\cdot}$-gronden werden verkregen door uitwisseling van de $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden met $La(NO_3)_3$, waarbij telkens van 25 gram $Ca^{\cdot\cdot}$-grond werd uitgegaan. Van alle gronden werd 1000 gram gemaakt met uitzondering van de $Rb^{\cdot}$- en $Cs^{\cdot}$-gronden, waarvan slechts 160 gram werd vervaardigd in verband met de hoge prijs van het rubidium- en caesium-carbonaat.

De betreffende onderzoekingen werden in enkelvoud verricht. De oorspronkelijke bedoeling was dit onderzoek in duplo te verrichten. Tengevolge van de tijdsomstandigheden moest met de enkelvoudige bepalingen worden volstaan. Hierdoor „rammelen" de resultaten nog iets, d.w.z. dat voor alle physische constanten de opeenvolging van de physische constanten naar de grootte niet altijd dezelfde was. De hoofdzaken, waarom het hier gaat, staan echter vast.

In tabel 49 zijn de verkregen resultaten medegedeeld. Deze resultaten zijn ook eens in diagram 11 aangegeven.

DIAGRAM 11.



S.B.V.	= Specifieke Slagbuigvastheid	*S.B.V.*	= *Specific Modulus of rupture by smash*
T.V.	= Specifieke Trekvastheid	*T.V.*	= *Specific* " " " " *tear*
B.V.K.	= Buigvastheid Korte Staven	*B.V.K.*	= " " " " *bend (short bars)*
D.V.A.	= Drukvastheid A-bollen	*D.V.A.*	= " " " " *pressure (A-balls)*
D.V.B.	= Drukvastheid B-bollen	*D.V.B.*	= " " " " *pressure (B-balls)*

Uit tabel 49 en diagram 11 blijkt, dat ook nu de $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden hogere waarden van de physische constanten hebben dan de $H^{\cdot}$-gronden. Dit feit is dan ook als vaststaand te beschouwen. Wat de opeenvolging van de verschillende kationen bevattende gronden betreft, blijkt, dat deze voor alle physische constanten niet dezelfde is. Vermoedelijk is een en ander, zoals reeds werd opgemerkt, het gevolg van onnauwkeurigheden en niet van het feit, dat de verschillende physische constanten een verschillend gedeelte van het physisch gedrag van gronden zouden aantonen, aangezien hiervan niets bij de overige onderzoekingen is gebleken. Gedeeltelijk liggen mogelijk de verschillen ook binnen de foutengrenzen, die het gemiddelde bij herhalingen (zo nodig in veelvoud) kan bereiken. Hieruit en uit het feit, dat geen duplobepalingen beschikbaar zijn, volgt, dat we ons hier aan de grote lijnen moeten houden. Uit diagram 11 blijkt dan, dat de $Cs^{\cdot}$-gronden zeer lage waarden voor de physische grootheden geven. Daarop volgt de $Rb^{\cdot}$-grond. Deze beide samen hebben in alle gevallen en in de opvolging $Rb^{\cdot}$, $Cs^{\cdot}$ de laagste waarden gegeven, zij het dan ook, dat hiervan alleen de drukvastheid is bepaald. Verder hebben de $Mg^{\cdot\cdot}$-gronden meestal de hoogste waarden geleverd; de drukvastheid van deze gronden is voor de rivierkleigrond rond 6 x en voor de leemgrond rond 4 x zo groot als die van de $Cs^{\cdot}$-grond. Verder blijken van de $H^{\cdot}$- en alkaligronden de $Li^{\cdot}$- en $Na^{\cdot}$-gronden hoge waarden voor de physische waarden te geven, daarentegen de $H^{\cdot}$- en $K^{\cdot}$-grond lagere waarden, terwijl de $Rb^{\cdot}$- en $Cs^{\cdot}$-gronden de laagste waarden hebben. Men kan zeggen, dat er een daling plaats vindt in de reeks $Na^{\cdot}$-, $K^{\cdot}$-, $Rb^{\cdot}$-, $Cs^{\cdot}$-gronden. De $Li^{\cdot}$-grond geeft soms hogere waarden dan de $Na^{\cdot}$-grond, zodat wellicht het verschil hiertussen voorlopig beter als van weinig belang kan worden beschouwd. De $H^{\cdot}$-grond heeft vrijwel dezelfde waarden van de physische grootheden als de $K^{\cdot}$-grond.

De onderlinge verschillen in de aardalkali- en $La^{\cdot\cdot\cdot}$-gronden zijn veel geringer dan in de alkali-gronden. Zoals reeds werd opgemerkt, geeft de $Mg^{\cdot\cdot}$-grond meestal de hoogste waarden. Vaak is er tussen de $Ca^{\cdot\cdot}$-, $Sr^{\cdot\cdot}$-, $Ba^{\cdot\cdot}$- en $La^{\cdot\cdot\cdot}$-gronden weinig verschil. Soms geeft van deze gronden de $Ca^{\cdot\cdot}$-grond de hoogste waarden, soms echter ook de $Ba^{\cdot\cdot}$-grond. Hierover zouden meerdere onderzoekingen moeten volgen, alvorens hierover een voldoende zekerheid bestaat. Uit de krimp en het poriënvolume in droge en in natte toestand zijn geen vaststaande verschillen af te leiden.

Uit het voorgaande volgt dus, dat de bij 2- en 3-waardige kationen steeds optredende grote hydratie blijkbaar overweegt over de invloed van de grootte van het kation. Voor de eenwaardige kationen (het $H^{\cdot}$-ion buiten beschouwing latend) nemen de genoemde physische constanten en dus ook de onderlinge binding van de deeltjes zelfs sterk af met een toenemende grootte van het kation en vooral dus ook met de daarmede samenhangende sterke afneming van de hydratie. Hieruit wordt dan ook wel de indruk verkregen, dat voor een verlaging van de genoemde physische constanten en daarmede van de onderlinge binding van de deeltjes de grond minder hydrophiel moet worden gemaakt.

Het belangrijkste resultaat lijkt ons echter wel, dat gebleken is, dat

TABEL 49. Droogtemperatuur 70°C

Materiaal	Rivierkleigrond 40% slib + fractie 43—74 μ								Leemgrond 40% slib + fractie 43—74 μ							
	S.B.V.	T.V.	B.V. Kort	D.V.A.	D.V.B.	Kr.	P dr	P nat	S.B.V.	T.V.	B.V. Kort	D.V.A.	D.V.B.	Kr.	P dr	P nat
H'-grond	0.82	11.6	44.1	67.8	44.8	17.7	34.7	46.2	0.79	13.6	48.5	68.9	43.9	21.0	29.4	44.2
Li'-grond	0.92	14.1	58.6	87.5	54.3	19.9	35.7	48.5	0.99	16.8	56.3	93.5	52.1	23.3	32.7	48.2
Na'-grond	0.92	20.1	61.1	97.0	52.2	20.7	34.4	48.0	0.94	17.7	54.2	85.0	60.8	22.4	33.5	48.4
K'-grond	0.80	13.8	37.5	67.4	44.2	19.1	34.6	47.1	0.86	12.9	43.4	61.2	42.3	16.2	36.3	46.6
Rb'-grond	—	—	—	44.1	27.5	—	—	—	—	—	—	55.4	31.2	—	—	—
Cs'-grond	—	—	—	18.2	12.6	—	—	—	—	—	—	25.3	16.4	—	—	—
Mg''-grond	1.00	21.9	67.8	116.3	72.0	19.0	32.8	46.1	1.03	19.9	66.8	97.0	61.4	21.0	31.0	45.5
Ca''-grond	0.84	19.1	55.8	93.1	66.8	21.6	33.4	47.8	0.91	18.4	70.0	72.4	59.6	20.3	31.7	45.6
Sr''-grond	0.87	19.3	52.8	72.3	53.5	19.2	33.4	46.1	0.95	19.4	57.4	71.1	50.1	24.7	28.6	46.3
Ba''-grond	0.93	14.5	55.0	90.1	52.8	20.7	33.0	46.9	0.92	18.8	63.9	83.6	65.7	22.0	29.0	44.6
La'''-grond	0.87	15.3	46.7	71.4	48.4	19.8	33.8	46.9	0.91	17.1	49.9	72.5	52.6	21.1	29.2	44.1
Material	*Riverclaysoil* 40% *clay* + *fraction* 43—74 μ								*Loamsoil* 40% *clay* + *fraction* 43—74 μ							

TABLE 49. *Temperature of drying 70° C*

Opmerking: S.B.V. = Slagbuigvastheid; T.V. = Trekvastheid; B.V. = Buigvastheid (Korte Staven); D.V.A. en D.V.B. = Drukvastheid (A- en B-halve bollen); Kr = Krimp; P dr en P nat = Poriënvolume in de gedroogde resp. in de natte, oorspronkelijke toestand (van de pasta). De laatste 3 grootheden werden berekend met behulp van de modellen voor de bepaling van de slagbuigvastheid.

Note: Grond = soil; S.B.V. = modulus of rupture by smash; T.V. = modulus of rupture by tear; B.V. = modulus of rupture by bend (short bars); D.V.A. and D.V.B. = modulus of rupture by pressure (A- and B-half balls); Kr = shrinkage; P dr and P nat = porespace in the dried resp. in the moist, original situation (of the paste). The last 3 values are calculated with the aid of the models used for the determination of the modulus of rupture by smash.

met eenvoudige middelen de sterkte van de onderlinge binding der deeltjes zelfs sterk kan worden verlaagd. Onwillekeurig vraagt men zich immers af, hoe de structuur van een grond in natuurlijke omstandigheden wordt gewijzigd, indien de sterkte van de onderlinge binding eens tot op een vierde à zesde wordt verlaagd. Belangrijk zal het dan immers zijn na te gaan, in hoeverre deze structuur van de sterkte van deze binding zal blijken af te hangen. Denkt men aan een stugge, zware, zeer moeilijk te bewerken knikgrond, dan is men zeker geneigd een sterke verlaging van deze onderlinge samenhang als gunstig te beoordelen, daarbij denkende aan de veel gemakkelijker bewerkbaarheid, die daarvan het gevolg zou kunnen zijn. Denkt men echter aan lichte gronden (veen- en zandgronden blijven hier uiteraard buiten beschouwing) dan staat het zeker niet vast, dat althans steeds naar een verlaging van de sterkte van deze samenhang gestreefd moet worden. Men denke hier slechts aan de slempigheid. Verhoging van deze binding lijkt hier zelfs in verschillende gevallen gunstiger. Bij dit alles moet men echter niet vergeten, dat de structuur van de grond in natuurlijke omstandigheden van zeer veel factoren afhangt. Enkele factoren daarvan kennen we; de meeste zijn wellicht nog onbekend. De resultante van alle factoren is zeker niet te overzien. Juist echter om deze reden is het o.i. gewenst met extremen te werken, of dus door de veranderingen in de structuur te velde door proefnemingen met sterk de onderlinge binding verlagende stoffen te bestuderen met geen ander doel dan om na te gaan of de veranderingen, die in deze structuur optreden, al dan niet in de goede richting gaan. Hierbij moeten dus zowel lichte als zware gronden worden onderzocht. Wellicht zou hierbij wel eens kunnen blijken, dat voor een goede structuur de onderlinge binding der deeltjes niet te hoog, echter ook weer niet al te laag moet zijn.

Hoe het echter ook moge zijn, voor deze sterk de onderlinge binding verlagende stoffen zijn Cs^{+}-preparaten niet te gebruiken, ook al zouden deze in een meer vocht bevattende omgeving de genoemde eigenschap behouden, aangezien deze preparaten daarvoor veel te duur zijn. Uiteraard ligt het voor de hand hiervoor in de eerste plaats dikke kationen te gebruiken en wel samengestelde ammoniumionen, waarbij alle of althans de meeste H-atomen door liefst niet-polaire organische resten zijn vervangen. Aangezien de overeenkomstige aminen niet direct ter beschikking stonden, werd begonnen met het in de handel zijnde triaethanolamine ($N(CH_2CH_2OH)_3$). Deze stof lost in water op en heeft evenals ammoniumhydroxyde (er vormt zich triaethanolammoniumhydroxyde) basische eigenschappen. In verband met de aanwezigheid van de OH-groepen was onze verwachting echter niet hoog gespannen. Onderzoekingen werden verricht met mengsels van de rivierklei- en de leemgrond (uiteraard humus- en $CaCO_3$-vrij gemaakt) en de fractie 43—74 μ, waarvan het slibgehalte 40% bedraagt. Deze mengsels werden eerst aan een electrodialyse onderworpen. De ene helft werd met Ca^{++}-ionen (tot pH 5 à 6) verzadigd en de andere helft met evenveel m.e. triaethanolammoniumionen. Hiervoor werden de drukvastheid (A- en B-bollen) en de buigvastheid (smalle staven) bepaald. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 49a.

TABEL 49a

Materiaal		Drukvastheid										Buigvastheid				
		A-halve bollen					B-halve bollen									
Gebruikte grondmengsel	Verzadigd met	Aantal modellen per serie	Drukvastheid in kg (2.5 cm)	M.f. van het gem. van één serie in % v. h. gem.	M.f. van het gem. van alle series in % v. h. gem.	Gem. drukvastheid in kg (2.5cm)	Aantal modellen per serie	Drukvastheid in kg (2.0 cm)	M.f. van het gem. van één serie in % v. h. gem.	M.f. van het gem. van alle series in % v. h. gem.	Gem. drukvastheid in kg (2.0 cm)	Aantal modellen per serie	Buigvastheid in kg/cm²	M.f. van het gem. van één serie in % v. h. gem.	M.f. van het gem. van alle series in % v. h. gem.	Gem. buigvastheid in kg/cm²
Leemgrond + fractie 43—74 μ, slibgehalte 40%	$Ca^{\cdot\cdot}$	7	57.7	3.3	3.0	63.7	7	46.3	2.7	2.3	47.6	7	57.1	5.4	2.9	58.4
	$Ca^{\cdot\cdot}$	8	69.8	1.7			7	48.9	3.5			6	59.8	3.7		
	$(C_2H_4OH)_3NH^{\cdot}$	8	38.1	3.8	6.1	47.1	9	32.0	2.0	4.5	38.4	7	33.8	4.0	3.1	40.1
	$(C_2H_4OH)_3NH^{\cdot}$	7	56.1	5.5			10	44.8	3.3			9	44.0	3.5		
												7	42.5	3.0		
Rivierkleigrond + fractie 43-74 μ slibgehalte 40%	$Ca^{\cdot\cdot}$	7	52.4	3.2	2.6	53.4	7	39.3	4.9	3.9	43.8	7	42.4	3.4	3.6	45.3
	$Ca^{\cdot\cdot}$	8	54.4	4.0			8	48.3	3.3			7	48.3	5.4		
	$(C_2H_4OH)_3NH^{\cdot}$	10	29.5	2.8	2.4	31.3	10	19.2	3.8	3.6	21.4	7	30.3	4.6	4.0	30.0
	$(C_2H_4OH)_3NH^{\cdot}$	9	33.1	2.8			10	23.7	4.0			8	29.7	6.8		
Used soilmixture	*Saturated with*	*Number of models per series*	*Modulus of rupture by pressure in kg (2.5 cm)*	*Standard error [1] of one series in % of the mean*	*Standard error [1] of all series in % of the mean*	*Mean modulus of rupture by pressure in kg (2.5 cm)*	*Number of models per series*	*Modulus of rupture by pressure in kg (2.0 cm)*	*Standard error [1] of one series in % of the mean*	*Standard error [1] of all series in % of the mean*	*Mean modulus of rupture by pressure in kg (2.0 cm)*	*Number of models per series*	*Modulus of rupture by bend in kg/cm²*	*Standard error [1] of one series in % of the mean*	*Standard error [1] of all series in % of the mean*	*Mean modulus of rupture by bend in kg/cm²*
Material		*A-half balls*					*B-half balls*					*Modulus of rupture by bend*				
		Modulus of rupture by pressure														

[1] *Standard error = Standard deviation of the mean.*

In de eerste plaats moet worden opgemerkt, dat deze resultaten niet te vergelijken zijn met die in tabel 49 zijn aangegeven, aangezien deze laatste gronden tot een hogere pH waren verzadigd.

Uit tabel 49a volgt, dat ten opzichte van het $Ca^{\cdot\cdot}$-ion het $(C_2H_4OH)_3$-$NH^{\cdot}$-ion de drukvastheid evenals de buigvastheid heeft verlaagd. Deze verlaging is echter niet erg groot.

Het onderzoek werd voortgezet met tri(iso) amylamine. Hierbij werd uitgegaan van een mengsel van de leemgrond en de fractie 43—74 μ en van de rivierkleigrond en de fractie 43—74 μ met telkens een slibgehalte van 40%. Beide mengsels werden aan een electrodialyse onderworpen en vervolgens gedeeltelijk verzadigd met 12 resp. 6 millimol tri(iso) amylamine per 100 gram droge stof. Dit geschiedde aldus, dat per kolf de benodigde hoeveelheid tri(iso) amylamine met 50 cc 96 % alcohol en 300 cc gedestilleerd water in suspensie werd gebracht. Hieraan werd een hoeveelheid grond overeenkomende met 125 gram droge stof toegevoegd. De alcohol is noodzakelijk om de tri(iso) amylamine in suspensie te kunnen brengen. Deze suspensie werd 12 uur op een schudmachine geschud, drooggedampt en op de gebruikelijke wijze verder behandeld. Voor het verkrijgen van een zuivere vergelijking werd een gedeelte van de $H^{\cdot}$-gronden op dezelfde wijze, uiteraard zonder toevoeging van de tri(iso) amylamine, voorbehandeld. De eventuele invloed van de alcohol is op deze wijze genivelleerd. De gronden met 6 mmol tri(iso) amylamine werden bereid door de gronden met 12 mmol in een schudkolf te brengen met 300 cc gedestilleerd water en hieraan eenzelfde hoeveelheid $H^{\cdot}$-grond toe te voegen. Deze suspensie werd dan weer 12 uur in de schudmachine geschud, enz. De gemiddelde resultaten van duplo-bepalingen, verkregen met de drukvastheidbepalingen zijn in tabel 49b medegedeeld. Het aantal onderzochte modellen per serie bedroeg 9 of (meestal) 10.

De droogtemperatuur van de modellen bedroeg 70°C. Uit tabel 49b volgt, dat de drukvastheid en dus de onderlinge binding van de deeltjes door het tri(iso) amylammoniumion sterk wordt verlaagd, zoals ook verwacht mocht worden. Het ligt in de bedoeling nog een aantal tri- en tetragesubstitueerde ammoniumionen te onderzoeken.

Het ligt voor de hand ook de invloed van de z.g. stabiele humus te onderzoeken. De resultaten van de daarvoor ingestelde onderzoekingen zullen echter in punt 7 worden besproken, waarnaar verwezen wordt.

Verder is het mogelijk series grondmonsters te onderzoeken met goede, slechte en daartusseninliggende structuren. Hierbij zullen deze structuren dan in correlatie moeten worden gebracht met de, voor deze gronden in hun natuurlijke samenstelling bepaalde, physische constanten.

7. Enkele korte opmerkingen over de invloed van het humusgehalte

Hoe langer hoe meer wordt aangenomen, dat de structuur in de natuurlijke toestand beinvloed wordt door de humus en vermoedelijk ook door de aard van de, in de grond aanwezige, humus, resp. vooral

TABEL 49b

Grondmengsel van met fractie 43—74 μ; slibgehalte 40%	pH	Aantal m mol $(C_5H_{11})_3N$ per 100 gram droge stof	A-bollen		B-bollen	
			Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.50 cm	M.f. van het gem. van alle series in %	Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.00 cm	M.f. van het gem. van alle series in %
Leemgrond	3.9	0	59.4	1.9	37.5	2.2
„	5.9	12	4.9	4.7	2.8	6.0
„	4.3	6	9.0	2.7	6.9	2.9
Rivierkleigrond	3.9	0	37.5	1.5	25.7	3.8
„	5.9	12	8.4	3.1	5.5	2.6
„	4.5	6	13.5	3.3	8.7	3.0
Soilmixture of with fraction 43—74 μ, claycontent 40%	pH	*Number of m mol $(C_5H_{11})_3N$ per 100 gram dry matter*	*Modulus of rupture by pressure in kg; diameter ball 2.50 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*	*Modulus of rupture by pressure in kg; diameter ball 2.00 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*
			A-balls		*B-balls*	

door de ontledingsproducten van organische bestanddelen, zoals deze onder invloed van de bacteriën in de grond ontstaan [138]. Hierbij hebben we niet alleen de gronden op het oog, waarin ook in absoluut opzicht de humus een belangrijk bestanddeel vormt, zoals venige klei- tot kleiige veengronden, maar ook kleigronden met slechts enkele procenten humus. Sommige onderzoekers, zoals HUDIG [138a] kennen aan de humus zelfs een zeer grote waarde toe.

Om althans enige indruk van de invloed van deze humus te verkrijgen, werden van de mengsels van rivierkleigrond 30 % en 60 % slib met de fractie 16—43 μ (uiteraard $CaCO_3$- en humusvrij gemaakt) op de in punt 6 van dit hoofdstuk aangegeven wijze zuivere $NH_4^{\cdot}$-gronden (pH $= \pm 7$) gemaakt (dezelfde hoeveelheid $NH_4^{\cdot}$-ionen als $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen bij de Ca-gronden). De helft van deze gronden werd met 0.5 % kunsthumus (X_2-preparaat van PROF. HUDIG; stabiele humus) gemengd. Een en ander geschiedde aldus, dat zowel de humus als de grondmengsels in suspensie werden gebracht, waarna deze werden gemengd en op de schudmachine werden geroteerd. Daarna werd de suspensie op het waterbad tot droog ingedampt; de droge grond fijngestampt en voor de bereiding van de A- en B-bollen voor de bepaling van de drukvastheid en voor de schijven voor de bepaling van de hardheid gebruikt. Aangezien na menging met de kunsthumus de gronden niet meer voor andere doeleinden konden worden benut, werden slechts kleine hoeveelheden gemaakt, waarmede alleen drukvastheids- en de hardheidsbepalingen mogelijk waren.

In tabel 50 zijn de drukvastheid en de hardheid voor de $H^{\cdot}$-, de $NH_4^{\cdot}$- en de $NH_4^{\cdot}$-gronden + 0.5 % kunsthumus medegedeeld. Aangezien de kunsthumus een $NH_4^{\cdot}$-preparaat is, is daardoor vrijwel de zuivere invloed van de kunsthumus na te gaan, afgezien van de mogelijkheid, dat door de toevoeging van de kunsthumus de hoeveelheid uitwisselbare $NH_4^{\cdot}$-ionen is toegenomen.

Uit tabel 50 volgt, dat er vermoedelijk geen grote verschillen tussen de $H^{\cdot}$- en $NH_4^{\cdot}$-gronden in overigens gelijke omstandigheden bestaan. Het aantal metingen is te gering om hiervan zekerheid te verkrijgen, te meer daar soms de $H^{\cdot}$-gronden soms de $NH_4^{\cdot}$-gronden hogere waarden voor de drukvastheid en de hardheid geven. De met 0.5% kunsthumus gemengde $NH_4^{\cdot}$-gronden hebben steeds lagere drukvastheden en eveneens een lagere hardheid dan de $NH_4^{\cdot}$-gronden zonder humus. Meestal is de drukvastheid en de hardheid van de met kunsthumus gemengde $NH_4^{\cdot}$-gronden kleiner dan van de $H^{\cdot}$-grond. Aangezien uit tabel 49 en diagram 11 blijkt, dat de $H^{\cdot}$-gronden ten opzichte van de gronden met andere uitwisselbare kationen over het algemeen tamelijk lage drukvastheden en andere physische constanten hebben, volgt hier dus uit, dat de kunsthumus de gronden — althans de $NH_4^{\cdot}$-gronden — vrij lage waarden van de physische constanten doet verkrijgen. Groot zijn de verlagingen echter niet, zodat deze kunsthumus in elk geval niet geschikt

[138] Zie: E. W. RUSSELL: Imperial Bureau of Soil Science, *Soil and Fertilizers* VI, No. 2, 49, 1943. Zie ook: Zelfde tijdschrift VII, No. 3, 119, 1944.

[138a] J. HUDIG en N. H. SIEWERTSZ VAN REESEMA, *Landbouwk. T.* 52, 371, 529 en 577, 1940; zie ook noot 138.

TABEL 50

Materiaal	Verzadigd en gemengd met	A- of B-halve bollen	Slibgehalte	Drukvastheid	M.f. van het gem. absoluut	M.f. van het gem. in % v.h. gem.
Rivierklei + fractie 16—43 μ	H'-grond	A	30%	48.9	1.85	3.8
" "	NH_4'-grond	"	"	54.9	1.03	1.9
" "	NH_4'-grond + 0.5% kunsthum.	"	"	38.8	2.10	5.4
Rivierklei + fractie 16—43 μ	H'-grond	B	"	33.9	0.82	2.4
" "	NH_4'-grond	"	"	32.5	0.74	2.3
" "	NH_4'-grond + 0.5% kunsthum.	"	"	24.2	1.14	4.7
Rivierklei + fractie 16—43 μ	H'-grond	A	60%	115.3	3.09	2.7
" "	NH_4'-grond	"	"	135.0	2.04	1.5
" "	NH_4'-grond + 0.5% kunsthum.	"	"	103.3	2.08	2.0
Rivierklei + fractie 16—43 μ	H'-grond	B	"	75.6	1.80	2.4
" "	NH_4'-grond	"	"	87.2	2.55	2.9
" "	NH_4'-grond + 0.5% kunsthum.	"	"	75.3	1.38	1.8
Material [1]	*Saturated and mixed with* [1]	*A- or B-half balls*	*Clay content*	*Modulus of rupture by pressure in kg*	*Absolute* *Standard deviation of the mean*	*in % of the average*

Materiaal	Verzadigd en gemengd met	Slibgehalte	Hardheid in kg/mm^2	M.f. van het gem. absoluut	M.f. van het gem. in % v. h. gem.
Rivierklei + fractie 16—43 μ	H'-grond	30%	4.0	0.140	3.5
" "	NH_4'-grond	"	3.8	0.213	5.6
" "	NH_4'-grond + 0.5% kunsthum.	"	2.9	0.092	2.4
Rivierklei + fractie 16—43 μ	H'-grond	60%	7.3	0.118	1.6
" "	NH_4'-grond	"	7.0	0.180	2.6
" "	NH_4'-grond + 0.5% kunsthum.	"	6.4	0.226	3.5
Materiaal[1]	*Satured and mined with*[1]	*Clay content*	*Hardness*	*Absolute* *Standard deviation of the mean*	*in % of the mean*

1 Rivierklei = *Riverclay*; fractie = *fraction*; grond = *soil*; kunsthumus = *artificial humus*.

is voor ons eerste doel, nl. om de veranderingen in de structuur door sterk de onderlinge binding verlagende stoffen te bestuderen.

In verband met de grote waarde, die in de nieuwste literatuur wordt toegekend aan de ontledingsstoffen van organische stof, zoals deze onder invloed van bacteriën in de grond ontstaan, op de structuur, werd ook de invloed van extracten resp. fijne suspensies verkregen uit goed verteerde stalmest op deze physische constanten nagegaan.

Hiertoe werd uitgegaan van goed verteerde stalmest. Een paar kilogrammen daarvan werden in een wijde cylinderglas gebracht, waaraan gedestilleerd water werd toegevoegd. De flink gemengde massa bleef enige dagen staan, waarna deze door een kaasdoek werd uitgeperst. De kaasdoek was van te voren met verdund zoutzuur gekookt en vervolgens uitgewassen met gedestilleerd water ter verwijdering van de appret. Het aldus verkregen extract werd in tweeën gedeeld. Een portie werd gefiltreerd door afzuigen over een cellulose filter. Het verkregen filtraat was helder en bevatte 0.68% droge stof. Het niet gefiltreerde gedeelte had een droge stofgehalte van 1.13%. Mengsels van de leemgrond en de rivierkleigrond met de fractie 43—74 μ met een slibgehalte van 40% werden na de electrodialyse met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen verzadigd tot een pH van resp. 6.1 en 6.8 (= resp. 10.4 en 14.8 mE per 100 gram droge grond). Een gedeelte hiervan werd op de gewone wijze (via suspensies) met zowel niet- als welgefiltreerde extract van de stalmest gemengd tot hierin 1 gram extract (als droge stof) per 100 gram droge grond aanwezig was. In deze mengsels werd de drukvastheid bepaald. De gemiddelde resultaten van de duplobepalingen zijn in tabel 51 aangegeven. Het aantal onderzocht modellen per serie bedroeg 8 tot meestal 10.

Uit tabel 51 volgt, dat de toevoeging van het mestextract wel van invloed is geweest op de pH, echter in het algemeen niet op de drukvastheid. Alleen voor het mengsel van de rivierkleigrond heeft toevoeging van het ongefiltreerde mestextract de drukvastheid verhoogd. De oorzaak daarvan is niet duidelijk te meer daar het mengsel met de leemgrond dit verschijnsel niet geeft en het gefiltreerde mestextract in geen van beide gevallen een invloed heeft gehad. In elk geval lijken proefnemingen in deze richting weinig hoopvol.

8. Enkele afzonderlijke onderzoekingen

Aangezien zogenaamd esterzout[138b] de oppervlaktespanning van water sterk verlaagt, was het interessant ook daarvan de invloed op de onderlinge binding van gronddeeltjes na te gaan. Uitgegaan werd van een mengsel van de leemgrond en de fractie 43—74 μ met 40% slib, welk mengsel tot een pH 6.1 verzadigd werd met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen (= 10.4 mE per 100 gram droge grond). Op de gewone wijze (via suspensies) werd een gedeelte van dit mengsel gemengd met 1% esterzout op 100 gram droge grond. De gemiddelde resultaten van de duplobepalingen van de drukvastheid zijn in tabel 52 medegedeeld. Het esterzout was afkomstig van de Bataafse Petroleum Maatschappij.

[138b] Zie E. E. van Andel: Chem. Weekblad *39*, 173 (1942).

TABEL 51

Grondmengsel van met fractie 43—74 μ, slibgehalte 40 %	pH	Mestextract 1% op droge stof	A-bollen		B-bollen	
			Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.50 cm	M.f. van het gem. van alle series in %	Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.00 cm	M.f. van het gem. van alle series in %
Leemgrond [1]	6.1	geen	64.4	3.0	45.2	2.6
„	7.3	ongefiltreerd	64.5	3.2	43.2	1.6
„	7.6	gefiltreerd	62.9	2.8	44.8	2.6
Rivierkleigrond	6.8	geen	56.0	1.4	42.3	2.4
„	7.2	ongefiltreerd	84.5	2.2	58.8	3.1
„	7.5	gefiltreerd	65.1	2.9	41.5	2.5
Soilmixture of with fraction 43—74 μ claycontent 40 %	*pH*	*Manure-extract 1% on dry matter* [2]	*Modulus of rupture by pressure diameter ball 2.50 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*	*Modulus of rupture by pressure diameter ball 2.00 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*
			A-balls		*B-balls*	

1 De mengsels waren met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen verzadigd tot pH 6.1 resp. 6.8. De droogtemperatuur voor de modellen bedroeg 70° C.
1 The mixtures are saturated with $Ca^{\cdot\cdot}$-ions to pH 6.1 resp. 6.8. The temperature of drying is 70° C.
2 Leemgrond = *loamsoil;* rivierkleigrond = *riverclaysoil;* geen = *no;* ongefiltreerd = *not filtered;* gefiltreerd = *filtered.*

TABEL 52.

Grondmengsel van de leemgrond met de fractie 43—74 μ slibgehalte 40%, met Ca^{++}-ionen verzadigd	pH	A-bollen		B-bollen	
		Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.50 cm	M.f. van het gem. van alle series in %	Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.00 cm	M.f. van het gem. van alle series in %
zonder esterzout	6.1	64.4	3.0	45.2	2.3
met 1% esterzout	4.8	55.1	1.9	35.0	2.9
Soil mixture of the loamsoil with fraction 43—74μ; claycontent 40%, saturated with Ca^{++}-ions (1)	*pH*	*Modulus of rupture by pressure in kg; diameter ball 2.50 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*	*Modulus of rupture by pressure in kg; diameter ball 2.00 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*
		A-balls		*B-balls*	

Opmerking: De droogtemperatuur van de modellen bedroeg 70°C.

Note: The temperature of drying is 70°C.

1 Zonder esterzout = without „esterzout" (see Note 138a); met 1% esterzout = with 1% „esterzout".

Uit tabel 52 volgt, dat toevoeging van het esterzout de pH sterk heeft verlaagd. De drukvastheid is door deze toevoeging slechts weinig gedaald. Ook hieruit volgt nog eens, dat het onwaarschijnlijk geacht moet worden, dat capillaire spanningen tengevolge van het terugtrekken van de menisken in de fijne porien als gevolg van de droging van de grondpasta veel invloed op de onderlinge binding van de deeltjes in gedroogde grondpasta's uitoefent. De hoge concentratie in het resterende vocht van de modellen na droging bij 70°C kan echter een storende invloed op het te bestuderen effect uitoefenen.

Tenslotte werd ook het effect van urotropine (hexamethyleentetramine) op de druk- en buigvastheid van een tweetal grondmengsels nagegaan.

Uitgegaan werd van mengsels van de leemgrond en de rivierkleigrond met telkens de fractie 43—74 μ. Het slibgehalte van deze mengsels bedroeg telkens 40 %. Na de electrodialyse werden deze verzadigd met Ca^{++}-ionen tot een pH van resp. 6.1 en 6.8 (= resp. 10.4 en 14.8 mE per 100 gram droge grond). Aan een gedeelte hiervan werd telkens een zekere hoeveelheid urotropine op de gewone wijze (via suspensies) toegevoegd en wel per 100 gram droge grond aan het leemgrondmengsel 10.4 m Mol en aan het rivierkleimengsel 14.8 mMol, d.w.z. dus telkens evenveel mMol als mE Ca^{++}-ionen. De gemiddelde resultaten van de duplo- of triplobepalingen van de druk- en buigvastheid zijn in tabel 53 aangegeven. Het aantal onderzochte modellen bedroeg voor de drukvastheid per serie 7 tot 10 en voor de buigvastheid 4 tot 7.

Uit tabel 53 volgt, dat de urotropine zowel de druk- als de buigvastheid heeft verlaagd.

TABEL 53.

Grondmengsel van de grond met de fractie 43—74 μ met of zonder urotropine en met $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen verzadigd	Drukvastheid A-bollen		Drukvastheid B-bollen		Buigvastheid	
	Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.50 cm	M.f. van het gem. van alle series in %	Drukvastheid in kg; doorsnede bol 2.00 cm	M.f. van het gem. van alle series in %	Buigvastheid in kg/cm^2	M.f. van het gem. van alle series in %
Leemgrond	63.7	3.0	47.6	2.3	58.4	3.2
Leemgrond + urotropine	38.6	3.2	28.0	3.8	33.0	3.2
Rivierkleigrond	53.4	2.6	43.8	3.9	45.3	3.6
Rivierkleigrond + urotropine	35.8	2.1	20.8	3.2	22.7	4.2
Mixture of the soil with fraction 43—74 μ with or without urotropine and saturated with $Ca^{\cdot\cdot}$-ions [1]	*Modulus of rupture by pressure in kg; diameter ball 2.50 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*	*Modulus of rupture by pressure in kg; diameter ball 2.00 cm*	*Standard deviation of the mean of all series in %*	*Modulus of rupture by bend in kg/cm^2*	*Standard deviation of the mean of all series in %*
	Modulus of rupture by pressure A-balls		*B-balls*		*Modulus of rupture by bend*	

Opmerking: De droogtemperatuur van de modellen was 70° C.

Note: *The temperature of drying is 70° C.*
1 Leemgrond = *loamsoil;* rivierkleigrond = *riverclaysoil.*

SAMENVATTING

In een korte inleiding werd gewezen op het belang van de kennis van voorlopig althans, zoveel mogelijk verschillende, physische grootheden van de grond. Hierdoor wordt namelijk de mogelijkheid geschapen op de duur een veel dieper inzicht in de structuur en aanverwante problemen te verkrijgen dan tot heden bestaat. Aangezien het zeer moeilijk was gronden in plastische toestand te onderzoeken tengevolge van het ontbreken van daarvoor geschikte onderzoekingsmethoden, werden een aantal physische constanten uitgezocht, die zich in gronden in gedroogde toestand met behulp van daarvoor geschikte modellen laten bepalen. Deze zijn de drukvastheid, de buigvastheid, de trekvastheid, de slagbuigvastheid en de hardheid volgens BRINELL. Tevens werden nog de krimp, de vloeigrens volgens ATTERBERG en het poriënvolume in natte en droge toestand nagegaan.

In hoofdstuk II werden de, voor de onderzoekingen gebruikte, materialen nader besproken. Gronden in de natuurlijke ligging of althans in de natuurlijke samenstelling werden niet onderzocht, aangezien het physische gedrag daarvan van te veel factoren afhankelijk is. In hoofdzaak werd daarbij gebruik gemaakt van de fracties 16—43 μ en 208—295 μ en van een zeer zware rivierkleigrond en leemgrond. Beide gronden waren door een voorbehandeling met HCl en H_2O_2 (vrijwel) vrij van humus en vrij van $CaCO_3$ gemaakt en (evenals de fracties) aan een zorgvuldige electrodialyse onderworpen ($H^{\cdot}$-gronden). Door deze gronden tot een bepaald bedrag met verschillende basen te verzadigen, konden behalve $H^{\cdot}$-gronden ook gronden met andere uitwisselbare kationen worden onderzocht.

Zowel voor de bepaling van de drukvastheid, de buigvastheid, de trekvastheid, de slagbuigvastheid, de hardheid, als van de krimp en het poriënvolume in natte en droge toestand moet gebruik worden gemaakt van modellen, d.w.z. dat het te onderzoeken materiaal in bepaalde vormen moet worden gebracht. Dit geschiedde aldus, dat het droge materiaal met zoveel water werd gekneed, tot de massa een geschikte consistentie had gekregen, d.w.z. noch te droog noch te nat was. Deze pasta werd dan in bollen of stangen gerold en in holten in gipsblokken gedrukt. De overtollige massa werd met een dunne draad afgesneden en de bovenkant verder met een vochtig gemaakt paletmes glad gestreken. De holten in deze gipsblokken hadden uiteraard de vorm van de verlangde modellen. Deze gipsblokken werden gemaakt door koperen modellen in zinken randen op een spiegelglasplaat te leggen en hierin de benodigde hoeveelheid gipspap te gieten. De gipsblokken met de grondpasta erin bleven dan omstreeks één dag aan de lucht staan, waarna de grondmodellen er ten gevolge van de krimp gewoonlijk gemakkelijk uitgenomen konden worden. Deze grondmodellen werden op gipsplaten dan nog enige dagen aan de lucht gedroogd, waarna zij in een electrische stoof bij 70° C (soms ook 40° of 100° C) gedurende 4 tot 6 dagen, afhankelijk van de grootte van de modellen, werden gedroogd, waarna deze direct voor de respectievelijke metingen werden gebruikt. Voor de

bepaling van iedere physische constante werden 6 tot meestal 8 à 10 modellen gemeten, waarvan het gemiddelde werd genomen.

Voor de literatuurbespreking van de hier bepaalde of verwante grootheden wordt naar de tekst verwezen. Hier zullen we volstaan met enkele opmerkingen.

Onder d r u k v a s t h e i d wordt hier de druk in kg verstaan, die nodig is om een halfbolvormig lichaam van bepaalde afmetingen, bestaande uit het te onderzoeken materiaal bij een langzaam, toenemende, stootvrije druk stuk te drukken. Deze toeneming bedroeg hier ± 12.5—14.5 kg per minuut. Met lichamen van een andere vorm werden onbevredigende resultaten verkregen. De krimp is in rekening te brengen, doordat de aldus bepaalde drukvastheid rechtevenredig is met het kwadraat van de straal van het grondvlak tijdens de meting. De aangegeven drukvastheden zijn dan ook alle herleid tot drukvastheden van halve bollen met een middellijn van precies 2.5, 2.0 en 1.5 cm (resp. A-, B- en C-halve bollen) kortheidshalve vaak ook alleen A-, B- en C-bollen genoemd.

Wat de foutengrens betreft, bleek, dat de m.f. van het gemiddelde bij alle verrichte bepalingen slechts zelden groter is dan 5.9 %. Hieruit kan dan ook de eis worden afgeleid, dat de m.f. van het gemiddelde van één serie hoogstens 5.9 % mag bedragen. Soms worden in een serie sterk afwijkende waarden bepaald. Deze moeten geschrapt worden, indien de afwijking van het gemiddelde meer bedraagt dan ongeveer 3 x de m.f. van het gemiddelde. Aangezien ook talrijke herhalingen waren verricht, was ook de m.f. van het gemiddelde van alle series (meestal 2 series) te berekenen. Deze bleek voor de A- en B-halve bollen iets kleiner te zijn dan voor de C-halve bollen. Dit verschil is slechts gering, zodat voor alle gebruikte halve bollen de maximaal toelaatbare m.f. van het gemiddelde van alle series op 3.5 % van het gemiddelde kan worden gesteld. De eisen, waaraan de verkregen cijfers van de drukvastheid moeten voldoen, zijn dus bekend, nl. dus dat de m.f. van het gemiddelde van één serie hoogstens 5.9 % van dit gemiddelde mag bedragen. Is deze m.f. groter dan moeten de resultaten van deze serie worden geschrapt. De m.f. van het gemiddelde van alle series mag hoogstens 3.5 % van dit gemiddelde bedragen. Is deze m.f. groter dan moeten nog zoveel series worden herhaald, totdat deze m.f. van het gemiddelde van alle series hoogstens 3.5 % van het gemiddelde is. Mogelijke verbeteringen (dus strenger te stellen eisen) zullen vermoedelijk verkregen worden door de benodigde hoeveelheid pasta niet in eens, maar in 5 of 10 gedeelten afzonderlijk te kneden en uit ieder van deze pasta's 2 of 1 model(len) te maken. De reeds daarmede verkregen ervaring is nog te gering om hierover meer dan een vermoeden uit te spreken. Verder is het noodzakelijk, zoals zal blijken, dat het vochtgehalte van pasta, waarvan de modellen worden gemaakt, bij herhalingen hetzelfde is. Ook een kneedmachine en mogelijk nog andere maatregelen (bijv. enige tijd de pasta laten liggen) [139] kunnen mogelijk deze m.f. nog verkleinen,

[139] Uiteraard kan deze m.f. ook verkleind worden door het aantal modellen per serie en het aantal series te vergroten. Zowel de daarvoor benodigde tijd als het daarvoor benodigde materiaal maakt deze methode ongeschikt.

d.w.z. dat nog strengere eisen aan de resultaten van de metingen van diverse constanten kunnen worden gesteld. Dergelijke opmerkingen kunnen ook voor de andere bepaalde, physische constanten worden gemaakt. Hierbij zal dan ook worden volstaan met alleen de maximale m.f. van het gemiddelde van één en van alle verrichte series te vermelden.

Onder b u i g v a s t h e i d wordt het quotient van het buigmoment en het weerstandsmoment in kg per cm^2 van een staaf van het te onderzoeken materiaal verstaan, die op 2 steunpunten (hier driekantige messen) op de onderlinge afstand van 12 of 20 cm liggend in het midden daartussen wordt belast (via een driekantig mes) met een gewicht van P kg, waarbij breuk optreedt. Is het breukvlak een rechthoek met de breedte b cm en de dikte h cm dan is de buigvastheid $BV = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pl}{bh^2}$ kg/cm^2. De toeneming van de belasting per tijdseenheid dient constant te zijn. Deze toeneming bedroeg hier 215 gram per seconde. Uit de berekening van de buigvastheid blijkt, dat de krimp automatisch in rekening wordt gebracht. De hier gebruikte modellen waren staven met een schuine kant langs de omtrek en een inkeping in het midden, waardoor het breukvlak rechthoekig was, tenzij de breuk naast deze inkeping optrad (ook dan werd de gemiddelde breedte b gemeten), hetgeen echter niet dikwijls het geval was. De juistheid van de bovenaangegeven formule voor de berekening van de buigvastheid werd op deze wijze nagegaan, dat staven van verschillende lengte, verschillende breedte en verschillende dikte werden onderzocht. Deze formule werd binnen zeer kleine foutengrenzen juist bevonden.

Betreffende de te bereiken nauwkeurigheid is op te merken, dat de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie op 4.9 % van dit gemiddelde kan worden gesteld. De maximale m.f. van het gemiddelde van alle series mag voor de korte staven en lange staven 3.5 % van dit gemiddelde bedragen.

Onder de s l a g b u i g v a s t h e i d wordt de arbeid verstaan, die een slingerhamer moet verrichten om de te onderzoeken staaf bij zijdelings in het midden treffen te breken. Hier wordt deze slagbuigvastheid uitgedrukt in kgcm per cm^2 breukvlak en heet dan specifieke slagbuigvastheid. Het apparaat, waarmede gemeten werd, was de bekende slingerhamer van L. Schopper, Leipzig, met maximaal 10 kgcm-arbeidsvermogen; de afstand der steunpunten bedroeg 7 cm.

Voor het onderzoek werden staven gebruikt, die oorspronkelijk (in natte toestand) 100 mm lang waren en een doorsnede hadden van 20 x 20 mm. Aangezien tengevolge van de krimp de doorsnede afneemt, werd nagegaan in hoeverre door de berekening van de specifieke slagbuigvastheid de krimp juist in rekening werd gebracht. Om dit na te gaan werden ook onderzoekingen verricht met staven van 100 mm lengte, maar met doorsnede van 22 x 22; 21 x 21 en 19 x 19 mm in de oorspronkelijke (natte) toestand. Hierbij bleek, dat balkjes met oorspronkelijke doorsneden van 22 x 22 mm afwijkende resultaten geven; voor de andere balkjes bleek de s p e c i f i e k e slagbuigvastheid dezelfde te zijn. Binnen deze grenzen — en hierbinnen vallen ook de afmetingen van

de staven na de krimp, waarvan de oorspronkelijke afmetingen 100 x 20 x 20 zijn — is dus inderdaad de specifieke slagbuigvastheid onafhankelijk van de doorsnede van de staven, waaruit volgt, dat de krimp door de berekening van deze specifieke slagbuigvastheid op de juiste wijze in rekening wordt gebracht; het verschil in gewicht en afmetingen van de staven binnen de aangegeven grenzen heeft immers geen (waarneembare) invloed op de specifieke slagbuigvastheid.

Verder werd nagegaan, wat de invloed was van de afstand (opening) van de steunen. Hiervoor werden bepalingen verricht, waarbij deze afstand 4, 5, 6 en 7 cm bedroeg. Uit deze onderzoekingen bleek, dat de specifieke slagbuigvastheid bij een opening van 6 en 7 cm practisch gelijk waren; bij een kleiner wordende opening nam deze specifieke slagbuigvastheid sterk toe. Op grond van deze onderzoekingen werd deze opening voor alle bepalingen op 7.0 cm vastgesteld, aangezien een kleine fout in deze opening dan in elk geval een te verwaarlozen fout op de slagbuigvastheid uitoefent.

Betreffende te bereiken nauwkeurigheid is op te merken, dat de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie gesteld kan worden op 2.9 % van dit gemiddelde. De m.f. van het gemiddelde van alle series mag hoogstens 2.0 % bedragen.

Onder t r e k v a s t h e i d wordt hier het aantal kg trekkracht per cm^2 belaste doorsnede verstaan, dat nodig is om het beschouwde lichaam uit elkaar te trekken. De toeneming van de trekkracht per tijdseenheid moet gelijkmatig zijn en bedraagt hier 7250—7500 gram per seconde. De lichamen, met behulp waarvan de trekvastheid bepaald werd, hadden de bekende achtvorm. Om na te gaan of door de berekening van de trekvastheid per cm^2 belaste doorsnede de krimp automatisch op de juiste wijze in rekening wordt gebracht, werden ook bepalingen gedaan met modellen, waarvan alle afmetingen $^2/_3$ van de afmetingen van de gewoonlijk gebruikte achtvorm waren. Uit de verkregen resultaten bleek, dat de trekvastheid per cm^2 belaste doorsnede (specifieke trekvastheid) practisch dezelfde was (voor de kleine achtvorm is deze iets groter). Dit laatste geldt dus zeker binnen de grenzen, waarin de belaste doorsnede van de gewone achtvorm tengevolge van een ongelijke krimp verschillend kan zijn, zodat de krimp door de berekening van de specifieke trekvastheid op de juiste wijze in rekening wordt gebracht.

Betreffende de te bereiken nauwkeurigheid is op te merken, dat de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie op 5.9 % van het gemiddelde kan worden gesteld. De maximale m.f. van het gemiddelde van alle series mag 3.0 % van dit gemiddelde bedragen.

Onder de h a r d h e i d volgens BRINELL wordt het quotient verstaan van de, door middel van een kogel op het te onderzoeken materiaal uitgeoefende druk, gedeeld door het oppervlak van de, bij die druk in het materiaal ontstane, kogelindruk. Deze grootheid is hier in kg/mm^2 uitgedrukt. Feitelijk moet de bovengenoemde druk constant zijn en de indrukking van de kogel tot een eind zijn gekomen. Het bleek echter, dat met de gebruikte apparatuur dit niet was te bereiken. Daar-

om werd een langzaam, tengevolge van de indringing, afnemende druk toegepast, waarmede behoorlijke resultaten werden verkregen, zij het ook, dat na 10 minuten, waarna de aflezing plaats vond, de indringing en daarmede de druk nog niet ten einde resp. constant was. Aangezien de hardheid wordt berekend met de formule: Hardheid $= \frac{P}{\pi Dh}$ waarin P de druk, D de doorsnede van de kogel en h de indringsdiepte voorstelt, moet de indringing h rechtevenredig zijn met de druk P. Dit bleek pas vanaf een zekere druk het geval te zijn. De hier toegepaste methode wordt daardoor echter wel sterk empirisch. Verder werd de hardheid van eenzelfde materiaal bepaald met kogels met een doorsnede van 6 en 8 mm. Ofschoon het niet geheel vaststaat, lijkt het wel waarschijnlijk, dat binnen deze kogeldoorsneden (6 tot 8 mm) de hardheid onafhankelijk is van deze doorsnede. Mocht deze doorsnede toch nog een invloed hebben, dan is deze in elk geval gering.

Betreffende de te bereiken nauwkeurigheid is op te merken, dat de maximale m.f. van het gemiddelde van één serie op 4.9 % van dit gemiddelde kan worden gesteld. De maximale m.f. van het gemiddelde van alle series mag 5.0 % van dit gemiddelde bedragen.

Onder de krimp wordt de volumevermindering in procenten van het oorspronkelijke volume verstaan. Het oorspronkelijke volume heeft daarbij betrekking op de pasta, zoals deze voor het maken van de modellen voor de bepaling van de diverse physische constanten werd gebruikt; het eindvolume op het volume, zoals dat na drogen bij 40, 70 of 100° C (meestal 70° C) werd verkregen. Alleen de modellen voor de bepaling van de hardheid en de slagbuigvastheid waren eenvoudig genoeg om hieruit de krimp en het poriënvolume in natte en droge toestand te berekenen. De hiermede bepaalde cijfers werden vergeleken met cijfers verkregen met speciale voor deze bepalingen geschikte modellen (z.g. krimpmodellen). Hierbij bleek, dat de door middel van de hardheidsmodellen berekende krimp en het poriënvolume te onnauwkeurig waren; de met de krimp- en slagbuigvastheidmodellen berekende krimp en het poriënvolume gaven echter vrijwel dezelfde resultaten, zodat het desnoods niet nodig is afzonderlijke modellen voor de berekening van de krimp of het poriënvolume te maken, maar voor deze grootheden de slagbuigvastheidmodellen kunnen worden gebruikt.

Een vergelijking tussen de vloeigrens volgens ATTERBERG en het vochtgehalte van de pasta's, zoals deze voor het maken van de modellen werden gebruikt, had tot resultaat, dat bij lagere slibgehalten (0—30 à 40 %) het vochtgehalte van de pasta groter is dan de vloeigrens volgens ATTERBERG; bij stijgende slibgehalten (30 à 40 tot 50 à 60 %) zijn deze vochtgehalten gelijk, terwijl bij de hogere slibgehalten (hoger dan 50 à 60 %) de vloeigrens volgens ATTERBERG hoger is dan het vochtgehalte van de pasta.

Vatten we de verkregen resultaten nog eens kort samen, dan zijn dus van de hardheid volgens BRINELL, van de buigvastheid, van de trekvastheid, van de slagbuigvastheid en van de drukvastheid bij de beschreven uitvoering van de bepalingen nauwkeurig de eisen (middelbare fouten)

bekend, waaraan de verkregen resultaten in elk geval kunnen voldoen. Verder werd voor de hardheid aangetoond, dat de bepaalde hardheid (practisch) onafhankelijk is van de doorsnede van de kogel, indien deze althans tussen 6 en 8 mm ligt. Voor de slagbuigvastheid is aangetoond, dat door de berekening van de specifieke slagbuigvastheid de krimp automatisch op de juiste wijze in rekening wordt gebracht. Ook voor de trekvastheid werd bewezen, dat, door deze per cm^2 belast oppervlak (breukvlak) te berekenen, deze krimp automatisch op de juiste wijze in rekening wordt gebracht. De buigvastheid bleek slechts een zeer weinig empirische grootheid te zijn, aangezien deze onafhankelijk is van de dikte en breedte der staven evenals van de afstand der steunpunten. Doordat deze buigvastheid per cm^2 breukvlak wordt aangegeven, wordt daardoor tevens de krimp automatisch op de juiste wijze in rekening gebracht. Tenslotte gelukte het voor de drukvastheid aan te tonen, dat bij gebruik van halfbolvormige lichamen de drukvastheid rechtevenredig is met het kwadraat van de straal, waaruit volgt, dat, bij herleiding van de drukvastheid op halve bollen met een bepaalde middellijn (hier 1.5, 2, of 2.5 cm), ook hier de krimp automatisch op de juiste wijze in rekening wordt gebracht.

Hetgeen men met de bovengenoemde methoden bereiken kan, hangt echter ook nog af van de grenzen, waartussen zich de verkregen waarden bewegen kunnen evenals van de tijd, nodig voor de bepaling van deze physische constanten. De hardheid volgens BRINELL neemt niet alleen veel tijd in beslag, maar de uitersten, waartussen deze zich beweegt, zijn ook dicht bij elkaar gelegen (nl. 0 tot ± 6). De slagbuigvastheid heeft voor, dat de bepaling weinig tijd vordert; de uitersten, waartussen deze varieert, zijn daarentegen zeer dicht bij elkaar gelegen. Een voordeel is echter weer, dat met behulp van de hiervoor gebruikte modellen ook de krimp en het poriënvolume in natte en droge toestand berekend kunnen worden. Zowel de bepaling van de trekvastheid, van de buigvastheid als van de drukvastheid kost per serie van 6 tot (meestal) 8 à 10 modellen weinig tijd. Voor het maken van de modellen met behulp, waarmede de trekvastheid en de buigvastheid bepaald worden, is echter betrekkelijk veel grond nodig; voor het maken van de drukvastheid-modellen daarentegen weer zeer weinig. Hier liggen de uitersten, waartussen deze schommelt, zeer ver uiteen ($0 — \pm 125$). Dit laatste is ook het geval met de buigvastheid ($0 — \pm 80$) en in mindere mate ook met de trekvastheid ($0 — \pm 25$). Aangezien gebleken is, dat al deze physische grootheden verwant zijn, kan in het algemeen met de bepaling van een tweetal worden volstaan. Hiertoe zijn het meest aan te bevelen de drukvastheid en de buigvastheid. Indien ook de krimp, het natte en het droge poriënvolume bepaald moeten worden, komt ook de slagbuigvastheid in aanmerking, welke laatste grootheid echter beter door de trekvastheid vervangen kan worden, indien de krimp in het natte en droge poriënvolume niet verlangd worden, of (beter) met afzonderlijke krimpmodellen worden bepaald. De hardheid volgens BRINELL heeft zoveel nadelen ten opzichte van de andere grootheden, dat een bepaling daarvan steeds achterwege kan blijven; deze grootheid werd bij later

verrichte onderzoekingen dan ook niet meer gemeten. Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat, aangezien de foutengrenzen van de bovengenoemde physische grootheden weinig verschillend zijn, de drukvastheid en daarna de buigvastheid het meest in aanmerking komen om kleine onderlinge verschillen aan te tonen.

Uiteraard was het gewenst zowel de invloed van de temperatuur gedurende het (na)-drogen van de modellen; van het, na dit drogen nog aanwezige, vocht; van het vochtgehalte van de pasta, waarmede de modellen werden gemaakt, als van het verouderen van deze pasta na te gaan. Uit daarover ingestelde onderzoekingen bleek het volgende:

Bij geen van de gemeten physische constanten was er practisch enig verschil tussen de resultaten verkregen met modellen, die bij 70° dan wel bij 100° C waren nagedroogd. Bij sommige physische constanten (bijv. bij de hardheid en de buigvastheid) was er gemiddeld genomen althans echter wel een duidelijk verschil tussen de resultaten verkregen met modellen, die bij 40° en 70° C waren gedroogd, op te merken; bij de andere natuurkundige grootheden was deze invloed in het geheel niet waar te nemen (bijv. bij de slagbuigvastheid en de trekvastheid), terwijl bij de drukvastheid een onregelmatig beeld werd verkregen. Hieruit volgt dus, dat een verhoging van de droogtemperatuur van 40 op 70° C mogelijk een geringe invloed uitoefent; een verhoging van de droogtemperatuur van 70 op 100° C heeft in elk geval geen waarneembaar effect, waarom dan ook voor de volgende bepalingen een droogtemperatuur van 70° C werd gekozen. De m.f. van het gemiddelde is bovendien even groot als die verkregen met modellen, die bij 40° C waren nagedroogd, terwijl de droging sneller plaats vindt. Het is duidelijk, dat het meer dan voldoende is, indien deze temperatuur binnen 70° C ± 2° C constant is.

Uit het bovenstaande volgt in verband met het feit, dat in de modellen des te minder vocht achterblijft, naarmate de droogtemperatuur hoger is, dat het resterende vochtgehalte, zoals dit na drogen bij 70° C en 100° C nog aanwezig is (0.00—0.30 à 0.40 %), geen waarneembare invloed op de resultaten uitoefent. Ook bij duplo of triplobepalingen blijkt er geen verband te bestaan tussen het resterende vochtgehalte en de bepaalde physische constanten. Gezien het feit, dat een verandering van de droogtemperatuur van 40° C op 70° C mogelijk nog een, zij het dan ook kleinere invloed uitoefent, volgt, dat de overgang van het bij 40° C resterend vochtgehalte (1.40 à 1.70 %) op dit resterend vochtgehalte bij een droogtemperatuur van 70° C (0.30 à 0.40 %) mogelijk nog een (kleine) invloed op de physische constanten heeft. Bij een droogtemperatuur van 70° C is echter de kleine mogelijke variatie in het resterende vochtgehalte in elk geval zonder invloed op de bepaalde physische constanten. Wordt dan ook de droogtemperatuur tussen 70° C ± 2° C constant gehouden, dan kan ook tengevolge van de nog overblijvende variaties in de resterende vochtgehalten geen waarneembare fout worden gemaakt, indien de modellen tot constantheid van gewicht worden nagedroogd. Tevens volgt hieruit, dat het onwaarschijnlijk is, dat het onderzochte physische gedrag of dus het hard worden voor een met

water geknede, gedroogde kleigrond, veroorzaakt wordt door de oppervlaktespanning van de zich in steeds nauwere capillairen terugtrekkende menisken; althans niet bij de onderzochte vochtgehalten. Ware immers dit het geval, dan zou een sterke afhankelijkheid voor de droogtemperatuur moeten zijn waargenomen.

Over de invloed van het vochtgehalte van de pasta, waarvan de modellen voor de bepaling van de physische constanten werden gemaakt, is reeds opgemerkt, dat dit vochtgehalte van de pasta zo gekozen werd, dat de juiste consistentie werd bereikt. Ofschoon bij herhalingen dit vochtgehalte behoorlijk constant blijft, zijn toch variaties van dit vochtgehalte binnen 2 % aan weerszijden mogelijk. Bij een daarnaar ingesteld onderzoek, waarbij zowel verschillende hoeveelheden water meer dan wel minder dan de normale hoeveelheid werden toegevoegd, bleek, dat een verschil in het vochtgehalte van 2 % reeds niet onaanzienlijk lagere waarden kan geven (10 à 20 %), zij het ook, dat soms ook weer geen verschillen konden worden aangetoond. De mogelijkheid om belangrijke fouten te maken bestaat dus, zodat het dan ook gewenst is bij de herhalingen pasta's te maken met binnen enige tienden procenten hetzelfde vochtgehalte als de pasta, die de eerste maal werd gebruikt.

In de literatuur werd verschillende malen over de invloed, die het verouderen (rijpen) van de pasta op de physische eigenschappen heeft, gewezen. Hierover werd slechts een enkel onderzoek ingesteld. Hieruit bleek, dat het laten liggen van de pasta de drukvastheid vergroot. De oorzaak van deze invloed is niet duidelijk. Mogelijk wordt gedurende dit laten liggen van de pasta een gelijkmatiger vochtgehalte verkregen dan gedurende het kneden met de hand wordt bereikt. Hierover zijn echter nog onvoldoende onderzoekingen verricht. Zodra een kneedmachine ter beschikking is, zodat ook de duur van het kneden onderzocht kan worden, zal deze kwestie nogmaals worden nagegaan. Dit neemt niet weg, dat hierdoor hoogstens fouten van een te verwaarlozen grootte zijn gemaakt, aangezien steeds onmiddellijk na het kneden de modellen zijn gemaakt en deze verder steeds op dezelfde wijze zijn behandeld, afgezien dan van het feit, dat de droogtemperatuur soms 40° C, soms 70° C en soms 100° C heeft bedragen.

De invloed van de slibfractie (= fractie $< 16\ \mu$) werd op deze wijze nagegaan, dat series mengsels werden gemaakt met opklimmende slibgehalten. Deze mengsels werden verkregen door een zeer zware rivierklei- of leemgrond met de fractie 16-43 μ of 208-295 μ te mengen, totdat de gewenste slibgehalten waren bereikt. Deze mengsels bevatten geen $CaCO_3$ of humus meer en alleen uitwisselbare H^+-ionen. In iedere serie mengsels was dus de samenstelling van de slibfractie evenals practisch gesproken ook de zandfractie (16-2000 μ) dezelfde. Bij alle series blijkt een verband te bestaan tussen dit slibgehalte en de hardheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid, de buigvastheid, de drukvastheid, de krimp, het poriënvolume (nat), de vloeigrens volgens ATTERBERG en het vochtgehalte van de pasta, waarbij alle grootheden toenemen met een stijgend slibgehalte. Hieruit volgt tevens, dat de physische grootheden in droge gronden (nl.

de vier vastheden en de hardheid) aan elkaar verwant zijn, zodat we met het bepalen van twee grootheden hadden kunnen volstaan. Ook de vloeigrens volgens ATTERBERG evenals het vochtgehalte van de pasta nemen met het slibgehalte toe. Verder hangt ook het poriënvolume in droge toestand nog iets met het slibgehalte samen, in zoverre deze met een toenemend slibgehalte eerst afneemt, dan vrijwel constant wordt om tenslotte een neiging te vertonen weer iets toe te nemen. Een verband tussen dit poriënvolume en de hardheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid, de buigvastheid en de drukvastheid is niet aan te tonen. Mocht dit verband bestaan, dan is de invloed van het poriënvolume in elk geval gering (zie ook noot 132). Uit deze onderzoekingen bleek tevens, dat er een duidelijk verschil optrad tussen fijn- en grofzandige mengsels. Hierop wordt teruggekomen. Verder bleek, dat een abrupte verandering van de physische constanten bij 10 % slib niet is opgemerkt. De veronderstelling, dat gronden met meer dan 10 % slib kleigronden en met 10 % of minder zandgronden zijn, is dus conventioneel (zie normaalblad N 209). Wel treedt er bij omstreeks 10 % een vrij scherpe afneming van de drukvastheid op (zie de tabellen 40).

Op verzoek van DR IR A. J. ZUUR, en met behulp van een tweetal analisten van het Bodemkundig Laboratorium der Directie van de Wieringermeer (N.O.P.-werken) te Kampen werd van een aantal gronden uit de N.O.-Polder de drukvastheid bepaald. Deze gronden waren te verdelen in twee series met opklimmende slibgehalten en lutumgehalten (lutum = fractie $< 2\,\mu$), waarbij in de ene serie de verhouding lutum: slib boven 55 % en bij de andere serie lager dan 40 % was. Na de voorbehandeling met H_2O_2 werden deze gronden nog behandeld met $CaCl_2$ om ze alle in ongeveer dezelfde complextoestand te brengen. Deze gronden bevatten dus geen humus meer, echter nog wel $CaCO_3$. Voor zo verre bekend, bestond er geen ander verschil tussen de gronden met een hoge en met een lage lutumslibverhouding dan dat dit slib in samenstelling verschilde. Wel waren de gronden met een hoge verhouding iets grofzandiger.

Van de bovengenoemde series gronden werd de drukvastheid bepaald. Hierbij bleek, dat er nauw verband tussen het lutumgehalte en de drukvastheid, echter niet tussen het slibgehalte en de drukvastheid bestaat. Dit laatste verband bestaat blijkbaar alleen, indien de verhouding lutum: slib constant blijft, of dus de samenstelling van het slib (fractie $< 16\,\mu$) dezelfde blijft, zoals dit ook bij de, door ons onderzochte, series met opklimmende slibgehalten het geval is. Hieruit volgt schijnbaar, dat de fractie 2-16 μ geen invloed op de physische eigenschappen van gronden heeft. Dit resultaat is echter weinig waarschijnlijk, aangezien, zoals hieronder zal blijken, de grofheid van de zandfractie (= fractie 16-2000 μ) wel een invloed uitoefent. Om deze reden werden dan ook nog eens mengsels onderzocht, waarin de samenstelling van de lutumfractie, van de fractie 2-16 μ en van de zandfractie (16-74 μ) steeds dezelfde waren, maar waarin de onderlinge verhouding daarvan echter verschilde. Ook deze mengsels bevatten uiteraard geen $CaCO_3$ en humus

meer en alleen uitwisselbare H'-ionen. Uit de verkregen resultaten blijkt nu, dat de fractie 2-16 μ wel een invloed uitoefent en verder dat deze fractie zich normaal gedraagt. Wordt de fractie 2-16 μ namelijk vervangen door een fijnere resp. grovere fractie, dan worden daardoor de physische constanten vergroot resp. verkleind. De met de grondmonsters uit de N.O.-Polder verkregen indruk in dit opzicht is derhalve onjuist. De oorzaak daarvan moet vermoedelijk gezocht worden in systematische verschuivingen binnen de fractie $< 2\ \mu$, 2-16 μ en (of) $> 16\ \mu$.

Verder werd de drukvastheid van een aantal afzonderlijke fracties onderzocht. Hieruit bleek, dat de fracties $< 2\ \mu$ een veel kleinere drukvastheid bezitten dan op grond van bijv. de extrapolatie van de onderzoekingen met de vier series mengsels met opklimmende slibgehalten naar 100 % slib was te verwachten. De verklaring daarvan is vermoedelijk, dat de zuivere fracties $< 2\ \mu$ uiteraard sterk krimpen en zeer bros zijn, zodat tijdens het drogen scheurtjes ontstaan. Ook de relatief lage drukvastheid van de fractie $< 0.1\ \mu$ moet hieraan vermoedelijk worden toegeschreven. Zowel bij de onderzochte keileemgrond, de dollardkleigrond, de rivierkleigrond als de leemgrond heeft de fractie 2-8 μ slechts een geringe drukvastheid. De fractie 8-16 μ kon niet onderzocht worden, aangezien het beschikbare materiaal hiervoor te gering was. De fractie 0.25-2 μ heeft slechts een tweemaal grotere drukvastheid dan fractie 2-8 μ. Hieruit krijgt men de indruk, dat voornamelijk de allerfijnste fracties de physische eigenschappen bepalen, zij het dan ook, dat de grovere fracties hierop wel een merkbare invloed kunnen uitoefenen [1]. Uitgebreide onderzoekingen hierover zijn uit deze en andere overwegingen gewenst.

Verder is de grootte-orde van de drukvastheid van de fracties 2-8 μ van de keileemgrond, de dollardkleigrond, de rivierkleigrond, de leemgrond, van het onderzochte kaolien en van het kwartspoeder gelijk. De *absolute waarden zijn echter voldoende verschillend om de vraag* te wettigen, of naast de korrelgrootte wellicht ook de herkomst (minerale samenstelling en de vorm van de deeltjes) op de physische eigenschappen van invloed is. Ook hierover dienen uitgebreidere onderzoekingen te worden ingesteld, alvorens hierover een voldoend inzicht zal zijn verkregen.

Uitgebreide onderzoekingen werden verricht om de invloed van de grofheid van de zandfractie na te gaan. Hiertoe werden zowel een viertal series mengsels met opklimmende slibgehalten en met de fracties 16-43 μ resp. 208-295 μ; mengsels met 30 en 60 % slib en met de fractie 16-43 μ resp. 208-295 μ als mengsels met steeds 20 % slib maar met een zandfractie, *waarvan* het U-cijfer steeds *toenam*, *onderzocht*. *Hierbij was* het dus in zeer vele gevallen mogelijk steeds twee mengsels te vergelijken, die alles gelijk hadden behalve de grofheid van de zandfractie. Uit dit

[1] Inderdaad bleek bij latere onderzoekingen van talrijke natuurlijke kleigronden, dat de correlatie tussen de drukvastheid en de gehalten aan de fracties < 25, < 16, < 8, < 4, < 2 en $< 1/8\ \mu$ toeneemt, naarmate deze fractie fijner is. Voor de fractie $< 1/8\ \mu$ is deze correlatie het grootste.

onderzoek bleek, dat de hardheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid, de buigvastheid en de drukvastheid van de kleigronden met een fijnzandige zandfractie (practisch de fractie 16-43 μ) steeds groter waren dan van de kleigronden met een grofzandige zandfractie (practisch de fractie 208-295 μ). De onderlinge binding van de deeltjes in gedroogde kleigronden met een fijnzandige zandfractie is dus groter dan in kleigronden met een grofzandige zandfractie. Dit is ook het geval met de vloeigrens volgens ATTERBERG, het vochtgehalte van de pasta, de krimp en het natte en droge poriënvolume, die voor fijnzandige kleigronden ook steeds groter zijn dan voor grofzandige kleigronden, indien alle andere omstandigheden dezelfde zijn. Uit de onderzoekingen met de mengsels met een toenemend U-cijfer van de zandfractie volgt, dat met de hardheid niet anders dan in zeer grove lijnen was aan te tonen, dat deze grootheid toeneemt met een toenemend U-cijfer van de zandfractie. Uit meerdere onderzoekingen is echter reeds gebleken, dat de hardheid het minst van alle bepaalde grootheden in staat is kleinere verschillen aan te geven. De drukvastheid neemt echter duidelijk tot een U-cijfer van omstreeks 150 toe. Bij grotere U-cijfers is, indien nog een toeneming optreedt, deze in elk geval gering. Ook de krimp en het poriënvolume in gedroogde toestand vertonen met een stijgend U-cijfer een toeneming tot omstreeks U = 170, om bij U = 190 à 210 mogelijk weer iets af te nemen. Het is niet onmogelijk, dat deze grootheden nog afhangen van de granulaire samenstelling, ook al is het U-cijfer dus hetzelfde; verdere onderzoekingen zouden dit moeten uitmaken. Het poriënvolume in natte toestand neemt tot een waarde van omstreeks 170 toe. Bij hogere U-waarden blijft dit poriënvolume constant dan wel daalt wellicht weer iets.

Uit het bovenstaande volgt dus tevens, dat de mening, die wel eens wordt geuit, nl. dat grofzandige (lichte) kleigronden daarom zulke harde kluiten geven, doordat de grove zanddeeltjes zich hierin gedragen als grind in beton, niet juist is. Vormen zich immers kluiten van fijnzandige kleigronden dan zijn deze nog harder. Iets anders is, dat in de natuur grofzandige (lichte) kleigronden eerder kluitvorming te zien kunnen geven dan fijnzandige kleigronden. Indien dit het geval is, is dit wellicht te verklaren, doordat vooral lichte, grofzandige kleigronden een veel kleinere krimp en dus ook zwelling vertonen dan overeenkomstige fijnzandige kleigronden. Sterke zwelling en krimp zijn immers in verband met de opeenvolging van droge en natte perioden bevorderlijk voor structuurvorming.

Bij de verrichte onderzoekingen werd gebruik gemaakt van de fracties 16-43 μ en 208-295 μ van verschillende herkomst. Een invloed van deze herkomst op de physische eigenschappen is niet of althans niet met zekerheid aan te tonen.

Om de invloed van de uitwisselbare kationen te onderzoeken, werden eerst de mengsels met 30 en 60 % slib van de rivierklei- en de leemgrond met de fractie 16-43 μ en 208-295 μ onderzocht, waarbij enerzijds alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen anderzijds tevens $Ca^{\cdot\cdot}$-ionen (verzadigd tot pH 6.5

à 7.0) aanwezig waren. Uiteraard waren humus en $CaCO_3$ reeds van te voren verwijderd. Hierbij bleek, dat ook nu de physische constanten bij de kleigronden met een fijnzandige zandfractie groter waren dan bij de kleigronden met een grofzandige fractie, zoals reeds eerder voor gronden met alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen was geconstateerd. Dit laatste feit, staat hiermede dan ook voor andere uitwisselbare kationen vast. Verder gaven de $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden op één uitzondering na steeds een hogere waarde voor de hardheid, de slagbuigvastheid, de trekvastheid, de buigvastheid en de drukvastheid dan de overeenkomstige $H^{\cdot}$-gronden. Dit zelfde geldt dus voor de onderlinge samenhang van de deeltjes in deze gronden (uiteraard in gedroogde toestand).

Nadat dit resultaat bekend was geworden, werd een onderzoek ingesteld bij een tweetal mengsels gemaakt met behulp van de reeds eerder genoemde rivierkleigrond en de leemgrond en de fractie 43-74 μ, waarbij het slibgehalte steeds 40 % was. Beide mengsels bevatten geen humus of $CaCO_3$ meer en werden zorgvuldig geëlectrodialyseerd en daarna (in verschillende gedeelten daarvan) gedeeltelijk verzadigd met de volgende kationen nl. $Li^{\cdot}$-, $Na^{\cdot}$-, $K^{\cdot}$-, $Rb^{\cdot}$-, $Cs^{\cdot}$-, $Mg^{\cdot\cdot}$-, $Ca^{\cdot\cdot}$-, $Sr^{\cdot\cdot}$-, $Ba^{\cdot\cdot}$- en $La^{\cdot\cdot\cdot}$. Hierbij was het aantal kationen per 100 gram grond steeds zoveel mogelijk dezelfde nl. voor het mengsel met de rivierkleigrond 14.8 mE en voor de leemgrond 10.4 mE (de pH van de $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden was $\pm$ 6.5 à 7.0). Het aantal mE kationen per 100 gram grond werd constant gehouden, aangezien vermoedelijk de onderlinge binding der grond-deeltjes electrostatisch verklaard moet worden. De betreffende onderzoekingen werden slechts in enkelvoud verricht, aangezien de tijdsomstandigheden het onmogelijk maakten duplobepalingen te verrichten. De hardheid werd niet meer bepaald, terwijl de buigvastheid alleen met behulp van de korte staven en de drukvastheid alleen met de A- en B-halve bollen werd gemeten.

Uit de verkregen resultaten blijkt, dat ook nu de $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden hogere waarden voor de physische constanten geven dan de $H^{\cdot}$-gronden. Dit feit is dan ook als vaststaand te beschouwen. De opeenvolging van de, verschillende kationen bevattende gronden, is voor alle physische constanten niet dezelfde. De oorzaak daarvan ligt vermoedelijk gedeeltelijk aan de geringe onderlinge verschillen en verder aan onnauwkeurigheden. De grote lijnen staan echter voldoende vast. Uit de verkregen resultaten blijkt immers, dat voor de 2- en 3-waardige kationen de verschillen niet groot zijn. De $Mg^{\cdot\cdot}$-gronden geven meestal de hoogste waarden. De bij deze 2- en 3-waardige kationen steeds optredende grote hydratatie overweegt dus blijkbaar over de invloed van de grootte van het kation. Voor de eenwaardige kationen (het $H^{\cdot}$-ion buiten beschouwing gelaten) nemen de genoemde physische constanten en dus ook de onderlinge binding van de deeltjes zelfs sterk af met een toenemende grootte van het kation en vooral dus ook met de daarmede samenhangende sterke afneming van de hydratatie. Hieruit wordt dan ook wel de indruk verkregen, dat voor een verlaging van de genoemde physische constanten en daarmede van

de onderlinge binding van de deeltjes de grond minder hydrophiel moet worden gemaakt.

Het belangrijkste resultaat lijkt ons echter wel, dat gebleken is, dat met eenvoudige middelen de sterkte van de onderlinge binding der deeltjes zelfs sterk kan worden verlaagd. Men kan zich immers afvragen, hoe de structuur van een grond in natuurlijke omstandigheden wordt gewijzigd, indien de sterkte van de onderlinge binding eens tot op een vierde à zesde of wellicht nog meer wordt verlaagd. Belangrijk zal het dan immers zijn na te gaan, in hoeverre deze structuur van de sterkte van deze binding zal blijken af te hangen. Denkt men aan een stugge, zware, zeer moeilijk te bewerken knikgrond, dan is men zeker geneigd een sterke verlaging van deze onderlinge samenhang als gunstig te beoordelen, daarbij denkende aan de veel gemakkelijker bewerkbaarheid, die daarvan het gevolg zou kunnen zijn. Denkt men echter aan lichte gronden (veen- en zandgronden blijven hier uiteraard buiten beschouwing) dan staat zeker niet vast, dat althans steeds naar een verlaging van de sterkte van deze samenhang gestreefd moet worden. Men denke hier slechts aan de slempigheid. Verhoging van de samenhang lijkt hier zelfs in verschillende gevallen gunstiger. Bij dit alles moet echter niet vergeten worden, dat de structuur van de grond in natuurlijke omstandigheden van zeer veel factoren afhangt. Enkele factoren daarvan kennen we, de meeste zijn wellicht nog onbekend. De resultante van alle factoren is zeker niet te overzien. Juist echter om deze reden is het o.i. gewenst met extremen te werken, of dus om de veranderingen in de structuur te velde door proefnemingen met sterk de onderlinge binding verlagende stoffen te bestuderen, met geen ander doel dan om na te gaan, of de veranderingen, die in deze structuur optreden, al dan niet in de goede richting gaan.

Voor de hiervoor genoemde, de onderlinge binding sterk verlagende, stoffen zijn Cs^{+}-preparaten niet te gebruiken, ook al zouden deze behalve in gedroogde ook in meer vochtbevattende gronden de genoemde eigenschappen behouden, aangezien deze preparaten daarvoor veel te duur zijn. Uiteraard ligt het voor de hand hiervoor in de eerste plaats dikke kationen te gebruiken en wel samengestelde ammoniumionen, waarin de meeste of alle H-atomen door liefst niet-polaire organische resten zijn vervangen. Begonnen werd met het in de handel voorkomende triaethanolamine, dat in water opgelost het triaethanolammoniumion vormt, ook al werd hiervan in verband met het voorkomen van de OH-groep ook niet veel verwacht. Onderzoekingen werden hiermede verricht met mengsels van de rivierklei- en de leemgrond (uiteraard humus- en $CaCO_3$-vrij gemaakt) en de fractie 43—74 μ, waarvan het slibgehalte 40 % bedraagt. Deze mengsels werden aan een electrodialyse onderworpen. De ene helft werd met Ca^{++}-ionen (tot pH 5 à 6) en de andere helft met evenveel m.E. triaethanolammoniumionen verzadigd. Uit de drukvastheids- en buigvastheidsbepalingen blijkt, dat ten opzichte van het Ca^{++}-ion het triaethanolammoniumion deze grootheden en dus ook de onderlinge binding van de deeltjes verlaagt, echter niet sterk. Vrijwel overeenkomstige onderzoekingen met tri(iso)amylamine leverden echter een geheel ander resultaat op. Zelfs ten opzichte van H^{+}-grondmengsels

werd hierdoor de drukvastheid en daarmede de onderlinge binding van deeltjes in droge grondpasta's zeer sterk verlaagd.

Om de invloed van de humus op de physische eigenschappen althans in de eerste instantie vast te stellen, lijkt het minder juist direct van gronden in de natuurlijke omstandigheden gebruikt te maken, aangezien hier de verhoudingen ingewikkeld zijn. Daarom werden weer de mengsels van de rivierkleigrond met de fractie 16—43 μ gebruikt, waarin het slibgehalte 30 of 60 % bedraagt. Deze gronden bevatten eensdeels alleen uitwisselbare $H^{\cdot}$-ionen; anderdeels tevens $NH_4^{\cdot}$-ionen tot eenzelfde hoeveelheid als de hiervoor besproken $Ca^{\cdot\cdot}$-gronden, en in de derde plaats behalve de $NH_4^{\cdot}$-ionen ook nog 0.5 kunsthumus (X_2-preparaat). In deze drie gevallen werden de drukvastheid (A- en B-halve bollen) en de hardheid bepaald. Uit de verkregen resultaten blijkt, dat de kunsthumus zowel de drukvastheid als de hardheid heeft verlaagd en wel in het algemeen tot een bedrag lager dan dat voor de $H^{\cdot}$-gronden. Desondanks is deze verlaging niet erg groot, zodat deze kunsthumus niet geschikt is voor ons doel om de veranderingen in de structur door sterk de onderlinge binding verlagende stoffen te bestuderen.

In verband met de grote waarde die in de nieuwste literatuur wordt toegekend aan de ontledingsstoffen van organische stof, zoals deze onder invloed van bacterien in de grond ontstaan, op de structuur was het van belang de invloed van extracten, resp. fijne suspensies verkregen uit goed verteerde stalmest op deze physische constanten na te gaan. Proefnemingen in deze richting hebben weinig resultaten opgeleverd. De drukvastheid van mengsels van de leemgrond en de rivierkleigrond met de fractie 43—74 μ en met 40 % slib veranderde na toevoeging van mestextract niet, of slechts in een enkel geval. Ten slotte werden nog enkele onderzoekingen verricht met een esterzout en met urotropine.

Toevoeging van het esterzout bleek weinig invloed op de drukvastheid uit te oefenen. Aangezien esterzout de oppervlaktespanning van water sterk verlaagt, lijkt het niet waarschijnlijk dat capillaire spanningen in gedroogde grondpasta's een grote invloed op de onderlinge binding van deeltjes uitoefenen. Urotropine bleek ten slotte zowel de drukvastheid als de buigvastheid te verlagen, zij het ook, dat de invloed daarvan niet zeer groot was.

SUMMARY

The structure of the soil is determined by (in the first place) the binding force and (secondly) by the arrangement of the particles. In this publication only the binding force is studied. As the research untreated of the plastic behaviour of clay soils is still difficult, we leave the behaviour of soils under wet conditions, for the present; the behaviour of models made from dried soil pastes is preliminary studied by the determination of several physical quantities as a measure of the binding force of the particles, because these methods have already been worked out to a rather high degree by several workers, namely those from the domain of the pottery and porcelain industry.

These physical quantities are: the hardness according to 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 moist and dry models, the shrinkage and the flowing limit of ATTERBERG. The factors influencing the binding force are the same in the naturel 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 μ). They are electrodialysed 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 according to BRINELL is fortunately so great, that the determination of two physical quantities is sufficient. The modulus of rupture by pressure and by bend are the best.

A study was made of the influence of the temperature during 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 difference between a drying temperature of 40° and 70° C. From this it follows, that probably the binding force of dried pastes of clay soil is not caused by the surface tension but by other forces.

A series of researches is made for studying 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 fine sandy mixtures (soils) than in the corresponding coarse sandy mixtures (soils). In mixtures which all have 20 % clay but an increasing specific surface from 50 till 310, the modulus of rupture by pressure at first increased quickly and later only slowly by increasing the specific surface (increasing fineness of the sandfraction).

The influence of the lutumfraction ($< 2\ \mu$) and of the fraction 2—16 μ are also studied. The result was, that the fraction 2—16 μ decreases the physical quantities (binding force) as it replaces the fraction $< 2\ \mu$ and increases these quantities as it replaces the fraction $> 16\mu$ (here 16—74 μ).

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

The difference between the mixture saturated with divalent- or trivalent cations is not great. $Mg^{\cdot\cdot}$ generally gives the highest values. The influence of the always rather high hydratation predominates apparently

therefore the size of the cations. Another behaviour shows the monovalent cations. The mixtures saturated with $Cs^{\cdot}$-ions have a modulus of rupture by pressure, which are a fourth to a sixth of that modulus of rupture of a $Mg^{\cdot\cdot}$-saturated soil. Generally the physical quantities diminish in the series $Li^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $K^{\cdot}$, $Rb^{\cdot}$, $Cs^{\cdot}$ and are much higher for the $Li^{\cdot}$- and $Na^{\cdot}$-saturated mixtures than for the $Cs^{\cdot}$-saturated mixtures. The size of the cations and especially the diminishing hydratation with the increasing size of the cations dominate apparently. One gets the impression, that to decrease the physical quantities or the binding force (of dry soils) the soil must be made less hydrophile.

It is of course interesting to study the alteration of the natural structure of soils after we have succeeded in finding a material, which diminishes the binding force very much (as $Cs^{\cdot}$-ions, which are to expensive). The possibility even in a simple manner (as $Cs^{\cdot}$-ions keep this property in clay pastes with higher watercontents) has already been shown. In connection with this question a study was made of the influence of triaethanolammonium as a thick cation in comparison with the $Ca^{\cdot\cdot}$-ion. The result was, that triaethanolammoniumion decreases the physical quantities althrough only to a rather low degree, which compared with $Ca^{\cdot\cdot}$-ion. These researches will be continued with other amines (see p. 186) and also with other materials.

Finally a study was made with an artificial humus (so called X_2-preparation of Prof. HUDIG). A comparison was made between mixtures containing $NH_4^{\cdot}$-ions and corresponding mixtures containing $NH_4^{\cdot}$-ions and 0.5 % artificial humus. The result was, that the artificial humus decreases the physical quantities and also the binding force, although only in a rather low degree. The influence of fine suspensions and of clear presssap or extracts of stable manure on the physical quantities and therefore on the binding force is also studied. No influence at all was observed.