

HET METEN VAN DE BODEMSTRUCTUUR

Dr P. K. PEERLKAMP

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

The evaluation of soil structure. (Summary, see pp. 336)

Indien men zich voor het probleem ziet gesteld de bodemstructuur te meten, verkeert men ongeveer in de positie van een medicus, die opdracht krijgt de gezondheid van een patiënt te meten. De medicus zal dan vele factoren gaan bepalen, zoals temperatuur, hartslag en bloeddruk.

Met de structuur van de bodem is het gesteld als met de gezondheid van deze patiënt. We hebben ook hier te maken met een *dynamisch complex van factoren*. Als gevolg daarvan zien we de meetmethoden zich dan ook in twee richtingen ontwikkelen:

- A. Methoden, waarbij de ogenblikkelijke structuurtoestand wordt gemeten; dus een momentopname wordt gemaakt en
- B. methoden, waarbij men de bestendigheid van deze structuurtoestand tegen destructieve invloeden tracht te meten.

Van beide groepen zal ik een aantal voorbeelden behandelen, waarvan enkele uitvoeriger.

A. METHODEN VOOR HET METEN VAN DE STRUCTUURTOESTAND.

1. De bepaling van het totale poriënvolume.

a. Volumegewicht. Voor de bepaling van het totale poriënvolume dient in de eerste plaats van een zekere hoeveelheid grond „in natuurlijke toestand” het volume te worden bepaald.

Vóór 1904 trachtte men algemeen deze „natuurlijke toestand” na te bootsen door gedroogde, fijn gemaakte grond in een maatcilinder te schudden. Omstreeks dat jaar voerde Schumacher de methode van de *ringmonsters* in. Hierbij wordt op de één of andere wijze een dunwandige stalen ring in de grond gedrukt, uitgesneden en van onderen en boven glad afgesneden. Daarmee is een bekend volume geïsoleerd en voor verdere metingen toegankelijk.

Een bezwaar van het gebruik van dergelijke ringen is de mogelijkheid van samendrukken of uitzetten van de grond, waardoor te veel, resp. te weinig grond in de ring komt. Daar de samendrukking hoofdzakelijk ontstaat door de wrijving langs de wand van de ring en het oppervlak van deze wand evenredig is met de straal r van de ring, terwijl het steunend oppervlak evenredig is met r^2 , verdient het aanbeveling grote, platte ringen te gebruiken. Als minimum wordt wel een diameter van 5 cm opgegeven (33).

Daar we ons tot de bovenste bodemlagen zullen beperken, kunnen we hier van de moeilijkheden van een bij bemonstering uitzettende bodem afzien.

Om de moeilijkheden van een samendrukking te ontgaan, gaat men ook wel uit van een voorzichtig uit de grond genomen kluit van willekeurige vorm. Ter bepaling van het volume van een dergelijke kluit kan men:

1. De kluit onderdompelen in een vloeistof, die niet in de poriën dringt, bv. kwik, Haines (6), Vilensky (34) of petroleum, waarin een met water verzadigde kluit wordt ondergedompeld, Sekera (25).

2. De buitenkant van de kluit bedekken met een dikke, ondoordringbare laag van bekend volume en gewicht, die niet in de kluit mag doordringen of aan het oppervlak van de kluit lucht insluiten. Pigulevsky (18) gebruikte paraffine, juist boven het smeltpunt.

3. De buitenkant van de kluit impregneren met een stof, zodat geen immersievloeistof kan binnendringen, bij het impregneren geen uitzetting of contractie van de kluit optreedt en geen laag buiten het oppervlak van de kluit komt. Shaw (27), Trnka (33) en Mishchenko (16) gebruikten hete, gesmolten paraffine; Tiulin en Skljär (31) paraffine, opgelost in tetrachloorkoolstof; Sideri (28) natuurhars; Russell en Balcerék (22) kunstharsen. Deze impregnatie-methoden zijn echter vrijwel uitsluitend bruikbaar voor luchtdroge of bij 105° C gedroogde kluiten.

Een andere methode om het volumegewicht te bepalen bestaat in het graven van een gat, het wegen van de uitgegraven grond (droog) en het bepalen van het volume van het gat door dit te vullen met fijn zand, water in een dunne rubberzak of dikke smeerolie.

b. Grond-, water- en luchtvolume. Twee van deze volumina behoeven slechts bepaald te worden, het derde is dan uit het totale volume te berekenen.

Bij de oudste methode, afkomstig van Kopecky (9), wordt het grondvolume berekend uit het gewicht van de gedroogde grond en het soortelijk gewicht. Dit laatste wordt doorgaans bepaald met een vloeistofpycnometer. De fouten, welke door zwel en moleculaire contractie bij gebruik van water kunnen ontstaan en te vermijden zijn door het gebruik van niet polaire vloeistoffen, zijn slechts gering. Men gebruikt daarom doorgaans water. De grootste fouten kunnen echter ontstaan door luchtinsluitingen, maar deze zijn door evacueren en bekloppen van de pycnometer te verwijderen.

De hoeveelheid water in het monster wordt bepaald door weging voor en na drogen bij 105° C. Het luchtvolume kan dan als verschil van het totale volume en het grond- + watervolume worden berekend.

Andere onderzoekers hebben getracht het luchtvolume te bepalen door de lucht te vervangen door een niet polaire, met water niet mengbare vloeistof, bv. xylol (Tiulin (30)) of petroleum (Boyanoff (22)).

Alle juist genoemde methoden zijn typische laboratorium-methoden en vrij omslachtig. Daarom werd getracht het fysiologisch belangrijke luchtvolume op directere wijze te meten en zo werd in 1935 door Torstenson en Eriksson (32) en onafhankelijk daarvan in 1936 door Von Nitzsch (17) een reeds tientallen jaren voor volumebepalingen in de techniek gebruikt principe in de bodemphysica ingevoerd. Dit berust op de wet van Boyle, welke zegt, dat voor een bepaalde hoeveelheid gas bij een bepaalde temperatuur het product $V \cdot P = \text{constant}$ ($V = \text{volume}$; $P = \text{druk}$). Wordt de constante bepaald en de druk gemeten, dan is het volume bekend. Daar de constante echter van de hoeveelheid gas afhangt wordt ze doorgaans bij elke meting bepaald door het volume op bekende wijze te veranderen (volumeverandering ΔV ; daardoor veroorzaakte drukverandering $-\Delta P$):

$$V \cdot P = (V + \Delta V) (P - \Delta P), \text{ w.u.v. } V = \frac{P - \Delta P}{\Delta P} \cdot \Delta V.$$

P , ΔP en ΔV zijn te meten, waaruit V volgt.

Dit gebeurt met behulp van een zgn. luchtpycnometer, waarvan Visser (35) in 1936/37 een model voor gebruik te velde construeerde.

Met de luchtpycnometer wordt dus het volume grond + water bepaald. T.a.v. de bruikbaarheid van de luchtpycnometer kan worden opgemerkt, dat deze voor vochtige en in het algemeen ook voor luchtdroge gronden goede resultaten oplevert. Bij droge klei-houdende gronden kunnen echter zeer grote afwijkingen ontstaan, in die zin, dat te kleine volumina worden gevonden tengevolge van gasadsorptie aan de bodemcolloïden. Alten en Looftmann (1), die het eerst deze gasadsorptie aantoonde en daarmee de theorie van de „Kolloidschrumpfung“ van Von Nitzsch (17) ontzenuwde, geven een voorbeeld van bentoniet, waarvoor met de luchtpycnometer een soortelijk gewicht van 10,5 werd gevonden en met een pycnometer met xylol 2,6.

c. Methode Boyanoff. Tenslotte moet nog worden vermeld de methode Boyanoff, welke iets gewijzigd door Russell en Balcerék (22) werd toegepast. Bij deze methode wordt ook uitgegaan van een kluit van willekeurige vorm en worden tegelijkertijd het kluitvolume en het volume grond + water bepaald.

De kluit (20—500 g) wordt eerst in veldtoestand gewogen (gewicht G_v). Voor de ophanging bezigen Russell en Balcerak een cirkelvormig platformpje van dik en dun draad, opgehangen aan drie draden. De lucht in de kluit wordt nu verdrongen door petroleum door de kluit in vacuum onder te dompelen in vochtige petroleum. Daarna wordt ze onder petroleum gewogen (gewicht G_p). Vervolgens laat men de kluit uitlekken in een afgedekte beker, veegt de onderkant met een filterpapierje af en weegt in lucht. Dit wordt herhaald tot de gewichtsvermindering voor een kluit van bv. 200 cm³ kleiner dan 50 mg is geworden (gewicht dan G_1).

Nu is

$$\text{volume kluit} = \sigma(G_1 - G_p) \text{ en}$$

$$\text{volume grond} + \text{water} = \sigma(G_v - G_p),$$

waarbij σ het soortelijk volume der gebruikte petroleum voorstelt.

Bij U zal nu wellicht de vraag opkomen, welk van de behandelde methoden ter bepaling van de grond—water—lucht-verhouding de beste is. Een eenvoudig antwoord is daarop niet te geven. In het algemeen zijn de verschillen tussen de volumina, met verschillende methoden op zo goed mogelijke manier bepaald, kleiner dan 1 vol %. Dit is voor landbouwkundig onderzoek, waarbij de bemonsteringsfout (variatie van plek tot plek) dikwijls veel groter is, meer dan voldoende nauwkeurig.

De keuze van een methode zal dan ook meer afhangen van de omstandigheden: van plaats van bemonstering, transportmogelijkheden, aard van de grond e.d., dan van de vereiste nauwkeurigheid. Van een zandgrond zal in het algemeen lastig een kluit te nemen zijn en nog lastiger te vervoeren. Het vervoer van kluiten over grote afstand, waarbij ze moeilijk tegen uitdrogen zijn te beschermen, heeft bezwaren. Bovendien moet men bedenken, dat men bij gebruik van een als zodanig in de grond voorkomende kluit, a priori uitgaat van een slecht structuuraggregaat, dat in het algemeen niet representatief is voor de gehele bodem. Het is echter duidelijk, dat bij de bovenbeschreven methoden het begrip niet beperkt behoeft te blijven tot een in de natuur voorkomend groot aggregaat, doch evenzeer van toepassing is op een willekeurig uit de bodem gesneden klomp.

In gevallen, waarbij door te losse grond of te langdurig vervoer niet met kluiten kan worden gewerkt, hebben ringmonsters voordelen. Voor een snelle luchtvolumebepaling kan uitstekend een luchtpycnometer met ringmonsters worden gebruikt.

Een eenvoudige en praktische methode voor de bepaling van de grond—water—lucht-verhouding bij grote aantallen monsters is de methode Kopecky (zie blz. 322), waarbij een ringvolume grond quantitatief in een flesje gedaan wordt. Deze flesjes worden direct goed afgesloten en daarna naar het laboratorium verzonden, waar ze met inhoud voor en na drogen bij 105° C worden gewogen.

2. Verdeling der poriënafmetingen.

Over het algemeen zijn de resultaten van het onderzoek naar het poriënvolume bij landbouwkundige problemen niet evenredig geweest aan de verwachtingen, die men oorspronkelijk koesterde. Dit is ook begrijpelijk. Het is immers duidelijk, dat het voor de water- en luchthuishouding van de bodem een aanmerkelijk verschil uitmaakt of één-zelfde totaal poriënvolume wordt ingenomen door vele fijne, dan wel door weinig grove poriën. Men heeft dan ook al spoedig getracht de poriën naar hun grootte in groepen in te delen.

a. Verdeling in enkele groepen. Verschillende onderzoekers bepalen de poriënafmetingen op een eenvoudige wijze en onderscheiden slechts twee of drie groepen. Kopecky (9) verdeelt de poriën in *capillaire en niet-capillaire poriën*. Hij verzadigt een monster met water en laat het 24 uur uitlekken. Het volume water, dat de grond dan nog bevat vormt het capillaire poriënvolume, de rest van het poriënvolume (lucht-capaciteit) het niet-capillaire.

Visser (36) verdeelt de poriën in drie groepen: *grof, matig en fijn*. Het volume van de grove poriën is gelijk aan de luchtcapaciteit (d.i. het luchtgehalte na 12—18 uur 2 mm diep in water staan en daarna 2 uur uitlekken van het monster). Het volume van de matige poriën is het verschil tussen de zo verkregen watercapaciteit (d.i. totale poriënvolume — luchtcapaciteit) en het vochtgehalte te velde. Het volume fijne poriën is het volume van het bodemvocht onder natuurlijke omstandigheden.

Mathy (14) bepaalt een verdeling in poriënafmetingen met behulp van metingen der doorlatendheid van de bodem voor lucht.

Droogt grond uit, dus neemt het luchtgehalte toe, dan neemt het doorlatend vermogen, berekend per cm² poriënooppervlak in de doorsnede, eerst toe, later af. Het maximum ontstaat door de elkaar tegenwerkende factoren: toename der luchtgevulde poriën en

afname der doorlatendheid per (fijner wordende) porie. Volgens Mathy is nu het volume der *niet capillaire ruimten* = de luchtcapaciteit, het volume der *grote capillaire ruimten* = luchtgehalte bij het maximale doorlatend vermogen — luchtcapaciteit en het volume der *kleine capillaire ruimten* = de rest.

b. Verdeling in meerdere groepen. Bovenstaande methoden geven een min of meer willekeurige verdeling in een paar groepen. Om een fijnere verdeling te kunnen maken en beter de werkelijke grootten der poriën te benaderen heeft men andere werkwijzen toegepast.

Kubierna is de promotor geweest van het *microscopisch bodemonderzoek*. Hij bekeek profielwanden te velde met een speciaal daarvoor geconstrueerd microscoop (10) en vormde zich zo een beeld van de structuur. Om zo min mogelijk gestoorde oppervlakken te bestuderen ging hij de grond fixeren met een mengsel van paraffine, naphthaline en hars en maakte daarna coupes. Om metingen te doen, verdient het echter aanbeveling gepolijste vlakken te bekijken. Sideri (28) polijste voldoende harde kluiten direct of na fixeren. Ongeveer tezelfder tijd ontwikkelde Kubierna (11, 12) een methode om na fixeren van de bodem, dunne slijpplaatjes (ong. 0.03 mm dik) te maken, zoals in de mineralogie gebruikelijk. Ook Redlich (20) paste deze methode toe en fixeerde cilindermonsters met een bij 140° vloeibare kunsthars. Hij mat de slijpplaatjes volgens evenwijdige lijnen uit met de oculairmicrometer en bepaalde de lineaire afmetingen van de poriën en van de korrels of kruimeltjes > 16 μ . Als maat voor de structuur gebruikt Redlich het quotiënt $\frac{\text{percentage poriënruimte}}{\text{percentage kruimels} > 1600 \mu}$. Hoe groter dit quotiënt, hoe beter de structuur.

Naast deze directe methode om de verdeling van de poriënafmetingen te bepalen, kan ook een meer indirecte methode worden toegepast. Reeds meer dan 20 jaar zijn proeven genomen, waarbij door uitwendige krachten water aan een bodemmonster wordt onttrokken. De meeste van deze proeven werden gedaan met de bedoeling het vochtgehalte van de grond onder deze (dikwijls gestandaardiseerde) omstandigheden te bepalen.

Omstreeks 1937/'38 zijn door Donat (5) en door Sekera (26) in Wenen en door Schofield (24) in Rothamsfed enkele van deze methoden voor het eerst gebruikt ter bepaling van de poriënafmetingen. Donat en Sekera plaatsen het met water verzadigde monster op een glasfilter en zuigen hierdoor water uit het monster. Uiteraard kan hiermee een onderdruk van hoogstens 1 atm worden bereikt. Schofield heeft voor de logarithme van de onderdruk in cm water het symbool pF ingevoerd (23). Door aan het monster te zuigen kan dus geen hogere pF worden bereikt dan $pF = 3$. Wil

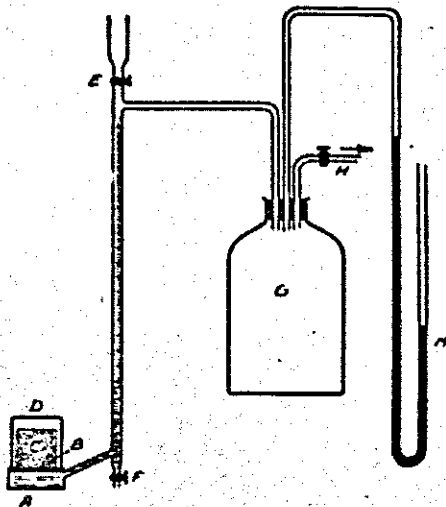


Fig. 1. Apparaat ter bepaling van de poriënverdeling. Op het metalen doosje *A* is het porcelainen filter *B* gekit. *A* is gevuld met water, dat eveneens tot zekere hoogte buret *EF* vult. Via *H* en de vacuümfles *G* kan aan dit water gezogen worden. De onderdruk wordt gemeten met kwikmanometer *M*. Op filter *B* het ringmonster *C*, afgedekt door bekertje *D*. Zie ook de noot op blz. 336.

men meer water aan het monster onttrekken, dan moeten andere methoden worden gebruikt. Schofield laat het monster in evenwicht komen met verschillende dampdrukken (soort hygroscopticiteitsbepaling), meet het vochtgehalte en berekent de bij elke gebruikte dampdruk behorende pF (23). Deze kan zo zelfs tot pF 10 worden bepaald. Ook is door dezelfde onderzoeker de pF bepaald uit de vriespuntsverlaging, welke voor een bepaald vochtgehalte van het monster karakteristiek is (23). Deze laatste methode is om verschillende, hier niet nader te bespreken redenen, alleen goed bruikbaar in de buurt van het verwelkingspunt ($pF = 4.1$) (4).

Aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. passen we de volgende methode toe om het verband tussen pF en vochtgehalte te bepalen. Het ringmonster C (fig. 1) wordt eerst in vacuum met water verzadigd. Na het even te hebben laten uitlekken wordt het gewogen en op het filter B geplaatst. De buretstand wordt afgelezen. Daarna wordt een kleine onderdruk aangezet (≈ 1 cm Hg) en gewacht tot zich het evenwicht heeft ingesteld. Dit duurt, afhankelijk van de zwaarte van de grond, van enkele uren tot enkele dagen. Verandert de buretstand niet meer dan wordt deze afgelezen, evenals de druk. Vervolgens wordt de onderdruk verhoogd en het proces herhaald. Aan het eind wordt het monster gewogen, bij 105° gedroogd en weer gewogen. Zo nodig volgt nog een soortelijk gewichtsbepaling. Uitgaande van het vochtgehalte aan het einde der proef worden uit de buretaflezingen de vochtgehalten in vol.% bij de verschillende onderdrukken bepaald en tegen die onderdrukken uitgezet. (Zie de noot op blz. 336).

In fig. 2 zijn enkele aldus ontstane pF -kurven voor wel en niet vergraven duingronden weergegeven. Beschouwen we de krommen voor de gronden in de lysimeter-

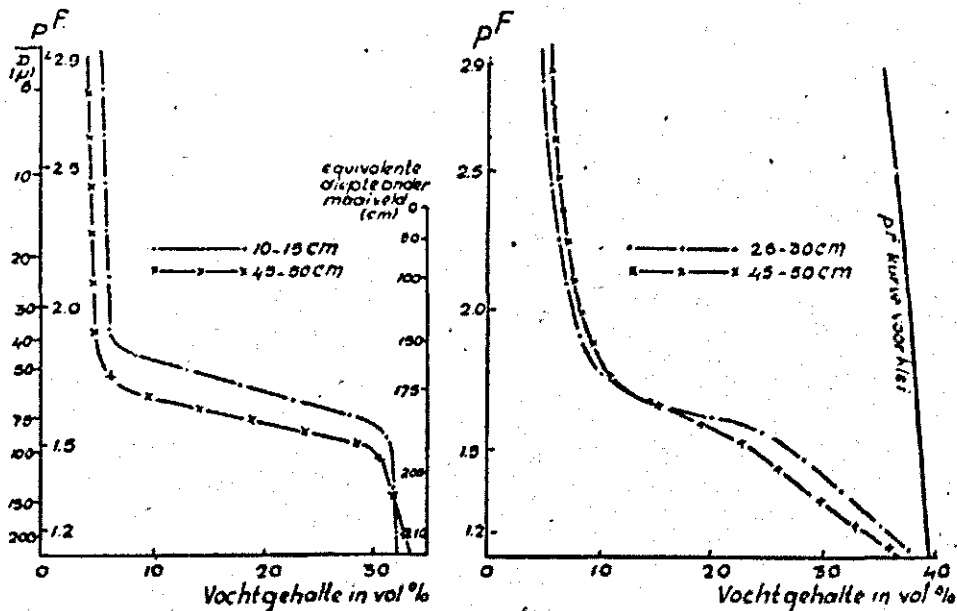


Fig. 2. pF -kurven van duingronden op het terrein der lysimeterinstallatie van het P.W.N. te Castricum. Links: Lagen 10—15 cm en 45—50 cm in de lysimeterbakken, gemiddeld over de vier lysimeters. D = poriëndiameter in μ . Rechts: Lagen 25—30 cm en 45—50 cm buiten de lysimeterinstallatie. Ter vergelijking: pF -kurve voor een kleigrond.

bakken (fig. 2, links), dan valt allereerst de „stoeptjesvorm” op, welke we steeds in meerdere of mindere mate bij zandgronden verkrijgen. Bij geringe onderdruk wordt weinig water uit de monsters gezogen bij toenemende pF , totdat tussen pF 1.5 en 1.7 vrijwel alle water uit het monster verdwijnt. Bij de monsters van de niet vergraven grond buiten de lysimeterinstallatie gebeurt de wateronttrekking veel geleidelijker (fig. 2, rechts).

Wat betekent dit nu t.a.v. de poriëndiameters? Gaan we het water uit het monster zuigen, dan wordt dit tegengegaan door de oppervlaktespanning van de menisci in de

poriën. Ter berekening van deze kracht moet ik U de bekende formule voor de capillaire stijghoogte in een cilindrische capillair in herinnering roepen. Deze is:

$$h = \frac{2 \gamma}{r \rho g},$$

waarin γ = oppervlaktespanning; r = straal capillair; ρ = dichtheid water en g = versnelling zwaartekracht.

Hieruit volgt voor de diameter van de capillair:

$$D = \frac{4 \gamma}{h \rho g}$$

Bij een onderdruk van h cm water zal dus juist een porie met diameter D worden leeggezogen. Nu heeft de grond geen cilindrische poriën, maar formeel kunnen we deze formule toepassen ter berekening van een *equivalente poriëndiameter*. Elk pF-interval komt dus overeen met een interval in poriëndiameter (fig. 2, links) en is door de pF-kurve geassocieerd met een bepaalde variatie in vochtgehalte. Deze variatie geeft in volumeprocenten het volume aan, dat door de poriën in het bewuste poriëndiameter-interval wordt ingenomen. Op deze wijze zijn dus uit de pF-kurven de grootteverdelingen der poriën te berekenen.

Ter illustratie volgen hier enkele voorbeelden van poriënverdelingen. In fig. 3 zijn de distributiegrafieken weergegeven, welke berekend zijn uit de pF-kurven van fig. 2. We

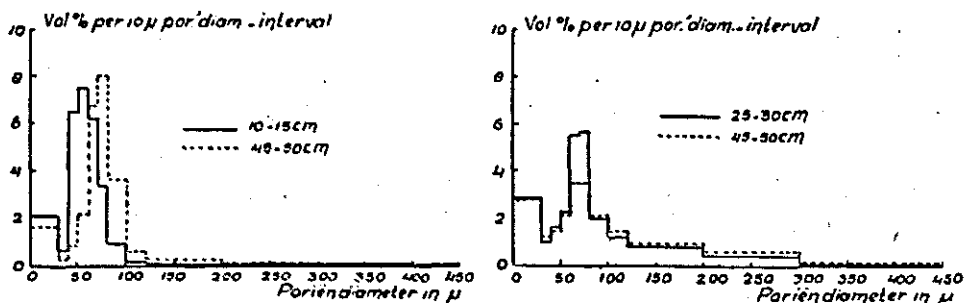


Fig. 3. Poriënverdeling bij de monsters der lysimeterinstallatie van het P.W.N. te Castricum, berekend uit de pF-kurven in fig. 2; Links: voor de lagen 10—15 cm en 45—50 cm in de lysimeterbakken; rechts: voor de lagen 25—30 cm en 45—50 cm buiten de lysimeterinstallatie.

zien bij de vergraven grond in de lysimeterbakken een zeer selectieve poriënverdeling. Bij beide onderzochte lagen heeft het grootste gedeelte der poriën afmetingen tussen 40 en 100 μ . In de laag 10—15 cm hebben de poriën gemiddeld een ongeveer 20 μ kleinere diameter dan in de laag 45—50 cm, hetgeen ook in het totale poriënvolume tot uiting komt (10—15 cm: 45 vol.%; 45—50 cm: 48 vol.%). In het niet omgewerkte terrein buiten de lysimeterinstallatie is er nog wel een maximum in de distributiegrafiek (fig. 3, rechts) bij afmetingen tussen 40 en 100 μ , doch de spreiding is veel groter. Ongeveer $\frac{1}{4}$ van het totale poriënvolume van 49 vol.% wordt hier ingenomen door poriën tussen 100 en 300 μ . De onderzochte lagen 25—30 cm en 45—50 cm vertonen vrijwel geen verschil in gemiddelde poriëndiameter. Volledigheidshalve kan nog worden opgemerkt, dat de lysimeterbakken (opp. 25 x 25 m², diepte 2.5 m) bij aanleg weer gevuld zijn met de oorspronkelijke grond ter plaatse. Men heeft deze zich daarbij tot ongeveer 1.8 m hoogte in water laten afzetten, waarna de bovenste 70 cm dikke laag met droog zand is opgevuld. De monsters voor bovengenoemd onderzoek zijn ongeveer drie jaar na het gereedkomen der lysimeters genomen.

In fig. 4 is de poriënverdeling weergegeven voor de lagen 5—10, 15—20, 25—30 en 45—50 cm van een hooggelegen zandgrond op de Hondsrug, ongeveer 12 km ZZO van de stad Groningen. Om de verdeling voor poriën, groter dan 100 μ , duidelijker weer te geven is hierbij de verticale schaal 10-voudig uitgerekt, de horizontale schaal 10-voudig samengedrukt. Zoals uit de figuur blijkt, bevat de laag 5—10 cm een tamelijk grote hoeveelheid poriën, groter dan 100 μ , nl. 18.8 vol.%, dwz. ongeveer $\frac{1}{3}$ van het totale poriënvolume. Voor de laag 15—20 cm is dit aantal nog groter, nl. 39.6 vol.% of ongeveer $\frac{2}{3}$ van het totale poriënvolume van die laag. Tussen 25 en 30 cm diepte bevinden we ons

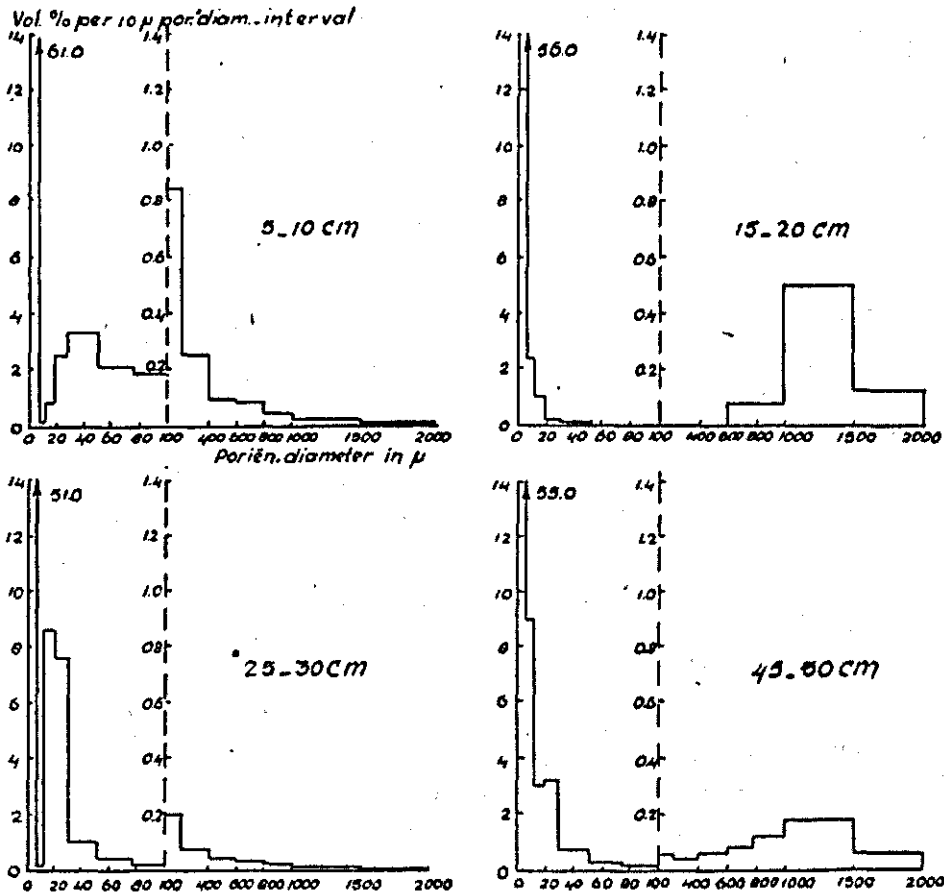


Fig. 4. Poriënverdeling in de lagen 5—10, 15—20, 25—30 en 45—50 cm op Pr. 806 (Glimmer Esch). Laag 25—30 cm ligt in de ploegzool. Bij een diameter van 100 μ treedt duidelijkshalve een sprong in de horizontale en verticale schaal op.

echter in de ploegzool. De poriën, groter dan 100 μ , nemen hier slechts een ruimte van 9.0 vol.% of ongeveer $\frac{1}{6}$ van het totale poriënvolume in. In de laag 45—50 cm zijn we weer beneden de ploegzool. Het volume der poriën, groter dan 100 μ , is nu 28.9 vol.% of ongeveer $\frac{2}{3}$ van het totale poriënvolume.

Tabel 1 geeft nog twee voorbeelden van poriënverdelingen. Het ene heeft betrekking op de laaggelegen zandgrond van Pr. 807 te De Punt. Hoewel hierbij uit het totale poriënvolume niets blijkt over de aanwezigheid van een ploegzool, komt deze in de cijfers voor de verschillende poriëngroepen duidelijk tot uiting. Van de poriën, groter dan 10 μ zijn in de laag 25—30 cm aanmerkelijk minder aanwezig, dan in de lagen er onder en er boven. Voor de poriën, kleiner dan 10 μ , is juist het omgekeerde het geval.

Ter vergelijking met de zandgrond van Pr. 807 is in tabel I verder nog de poriënverdeling weergegeven van een kleigrond (zwaarte: ong. 50 % > 16 μ). Het merendeel der poriën (ongeveer $\frac{3}{4}$ van het totale poriënvolume) heeft hier afmetingen kleiner dan 5 μ .

De boven beschreven methode om door afzuigen door een filter de poriënverdeling te bepalen is, zoals gezegd, slechts bruikbaar tot $pf = 3$ en heeft het nadeel van een lange insteltijd. Deze lange insteltijd is een gevolg van het geringe watertransport in het bodemonster bij zwaardere gronden en bij PF-waarden groter dan 2.

Tabel 1. Verdeling der poriëndiameters.

Ring no.	Diepte (cm)	> 100 μ	100-30 μ	30-10 μ	10-5 μ	< 5 μ	Totaal por.vol.
Pr. 807. De Punt. Zandgrond.							
107	5-10	25.6	1.5	2.4	2.5	16.1	48.1
108	15-20	19.4	9.3	4.4	4.5	14.3	51.9
109	25-30	8.4	0.2	1.9	9.5	29.0	49.0
110	45-50	11.8	7.3	5.3	1.8	21.6	47.8
111	65-70	10.7	6.4	3.0	5.5	17.0	42.6
112	85-90	25.9	6.6	3.3	3.1	9.4	48.3
Vpr. 97. Eindvakje Monierperceel. Kleigrond.							
141	0-10	4.9	0.9	1.7	0.9	35.3	43.7
142	10-20	6.9	1.6	2.3	1.1	32.8	44.7
143	20-30	9.6	2.4	1.2	1.7	32.7	47.6
144	30-40	8.0	1.4	2.0	1.5	34.1	47.0
145	40-50	4.7	0.4	0.5	0.2	39.5	45.3
146	50-60	0.9	2.0	0.3	2.5	41.6	47.3
147	60-70	3.3	0.9	1.9	4.1	37.9	48.1
148	70-80	5.2	1.1	0.9	0.9	41.5	49.6
149	80-90	0.0	0.0	1.7	8.4	44.0	54.1

(Volumina in vol.%).

De berekening van de verdeling van de poriënafmetingen uit de pF kan worden toegepast tot pF = 6. Daarboven beginnen de menisci in de orde van grootte van de moleculaire afmetingen te komen en wordt het toepassen van formules voor menisci zinloos.

3. Droge aggregaatanalyse.

Als derde methode om de structuurtoestand op een bepaald ogenblik te karakteriseren wil ik de aggregaatanalyse noemen, waarbij de grond in lucht wordt gezeefd.

K e e n (8) zeefde de grond met de hand in veldtoestand door zeven van 38, 16, 6 en 3 mm en kreeg na enige oefening reproduceerbare resultaten. Het bezwaar is echter, dat de kleinere aggregaatjes samenballen als de grond te nat is. P u c h n e r (19) en M a n g e l s d o r f f (13) zeven daarom de grond luchtdroog. V o l k o v (37) heeft deze methode verder uitgewerkt en schudt mechanisch. In Groningen hebben we ook bij wijze van proef de methode van luchtdroog zeven met de Rotap-zeefmachine toegepast. In fig. 5 zijn enkele resultaten hiervan weergegeven.

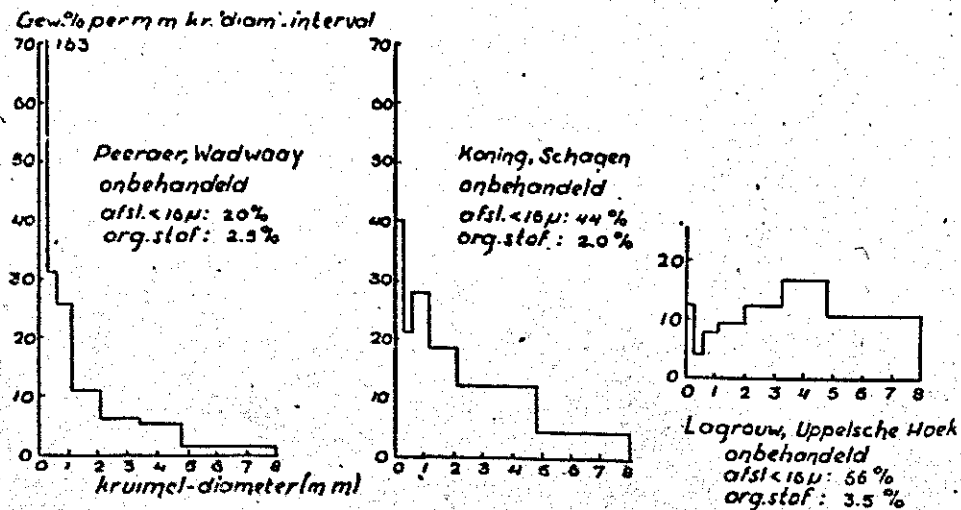


Fig. 5. Distributie-grafieken voor de aggregaten in drie gronden met resp. 20, 44 en 66 % afslibbaar, verkregen door luchtdroog zeven met de Rotap-zeefmachine. (Structuurond. interprov. stab. humus proefv.).

Hudig en Siewertsz van Reesema (7) bevorderen juist het samenballen van de grond bij hun metingen door tot de kleefgrens te bevochtigen, in een horizontale fles te roteren en de ontstane ballen te zeven.

De methoden om de ogenblikkelijke structuurtoestand te bepalen door zeven onder een niet polaire vloeistof, schijnen weinig succes gehad te hebben.

B. METHODEN OM DE BESTENDIGHEID VAN DE STRUCTUURTOESTAND TE METEN.

Belangrijker nog dan het bepalen van de ogenblikkelijke structuurtoestand is het bepalen van de bestendigheid van deze toestand. Vrijwel iedere grond is immers in een goede structuurtoestand te brengen, doch hoe lang biedt deze weerstand tegen de destructieve invloeden van het klimaat?

Onder de methoden ter bepaling van de bestendigheid van de structuur heeft tijdens de oorlog zowel in de bakermat van deze methode, Rusland, als in Engeland en Amerika, de aggregaatanalyse door zeven onder water grote opgang gemaakt. Met deze methode kunnen de aggregaten, groter dan $\frac{1}{4}$ mm, worden bepaald, welke bestand zijn tegen een bepaalde behandeling met water.

De grondgedachte van de Russische onderzoekers Pigulevsky, Pavloy en Tiulin (2) is geweest, dat men één van de voornaamste destructieve invloeden te veld, nl. het afwisselend nat en droog worden van de grond, moest nabootsen. Tiulin's beschrijving (29) van de methode in 1928 was de eerste, welke voor niet-Russisch lezenden toegankelijk was.

Een hoeveelheid grond wordt op de bovenste van een stel zeven gebracht, waarna dit in water op en neer wordt gedompeld. Er bestaan talloze modificaties van de dompeltechniek, doch in principe komen alle methoden op hetzelfde neer.

In Groningen passen we de methode Tiulin—Meyer toe (zie noot blz. 336), een wijziging van de methode Tiulin (29), ingevoerd door Meyer en Rennenkampff (15). Hierbij hangt het zeefstel stil en gaat het water op en neer. In fig. 6 is de doorsnede van het spoelapparaat weergegeven. Dit bestaat uit een van onderen conisch

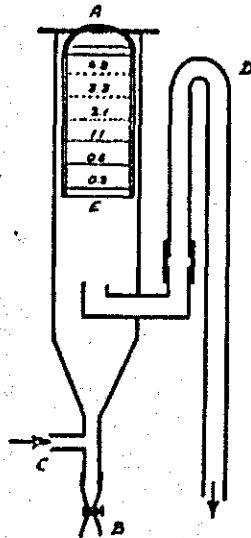


Fig. 6. Spoelapparaat voor de natte aggregaatanalyse volgens de methode Tiulin—Meyer. AB spoelcilinder; bij C watertoevoer; D hevel; AE stel zeven met maaswijdten 4,8, 3,3, 2,1, 1,1, 0,6 en 0,3 mm.

toelopende messing spoelcilinder AB, waarin een stel zeven AE wordt gehangen en waaraan via een zijbuis de hevel D is verbonden. Bij C stroomt leidingwater toe. Dit stijgt in de spoelcilinder, in het stel zeven en in het linkerbeen van de hevel totdat deze gaat werken. De afmetingen van het apparaat zijn nu zo gekozen, dat de hevel het water sneller afvoert dan het bij C toestroomt. Hierdoor daalt het water weer in de spoelcilinder. Op deze wijze wordt een op en neer gaande waterbeweging door het stel zeven verkregen.

De volgende werkwijze wordt nu toegepast. Het monster wordt eerst gezeefd door gaas van 8 mm maaswijdte om grovere kluiten, die waarschijnlijk weinig landbouwkundige betekenis hebben en i.v.m. de diameter van de zeven te groot zijn, uit te sluiten.

Daarna wordt 20 g van het monster op de bovenste zeef gebracht, waarna het zeefstel in het spoelapparaat wordt gehangen (terwijl het water beneden stil staat). De waterkraan wordt nu zo afgesteld, dat het water gedurende 15 min. 20 maal op en neer gaat. Daarna worden de residu's van de zeven in bakjes gespoeld, gedroogd en gewogen. Deze bewerking wordt achtereenvolgens aan 5 monstertjes van 20 g uit éénzelfde monster uitgevoerd.

Om te kunnen corrigeren voor niet-aggregaten worden de 5 residu's van elke zeef verzameld, gepeptiseerd met een mengsel van 0.15 N NH_4OH en 0.01 N NaOH en daarna door dezelfde zeef gespoeld. Wat er nu door gaat is afkomstig van echte aggregaten. Voor het residu (zandkorrels, steentjes etc.) wordt gecorrigeerd. Om alles op droge stof te kunnen betrekken wordt in het oorspronkelijk monster nog een vochtbepaling gedaan.

Het in 5-voud uitvoeren van de analyse was hier noodzakelijk, omdat tengevolge van de tijdsomstandigheden met zeven van een kleine diameter (8 cm) moest worden gewerkt. Een voordeel van deze meervoudige analyse was echter de mogelijkheid om een indruk te krijgen over de nauwkeurigheid van de methode. Bij een onderzoek van 62 monsters van alle mogelijke gronden uit ons land bedroeg voor het eindresultaat van een analyse (= gemiddelde van 5 parallelbepalingen) bij elk der bepaalde fracties de middelbare fout 7 %, wat een normale graad van nauwkeurigheid is bij fysisch grondonderzoek.

Het resultaat van de aggregaatanalyse is echter, behalve van typische structureigenschappen van het monster, ook afhankelijk van de spoeltijd en van het vochtgehalte en de voorgeschiedenis van het monster. De methode van onderzoek zal dus een conventionele moeten zijn. Om de meest gunstige analysevoorwaarden te vinden, hebben we een onderzoek ingesteld naar de mate, waarin verschillende factoren het eindresultaat van de aggregaat-analyse beïnvloeden. Onderzocht zijn de laag 0—10 cm van een zandgrond, een zavel (20 % afslibbaar $< 16 \mu$) en een kleigrond (46 % afslibbaar $< 16 \mu$), alle drie afkomstig van de zgn. Monier-percelen op het terrein van het Landbouwproefstation. De figuren 7 t.e.m. 10 laten enige resultaten van dit onderzoek zien in de vorm

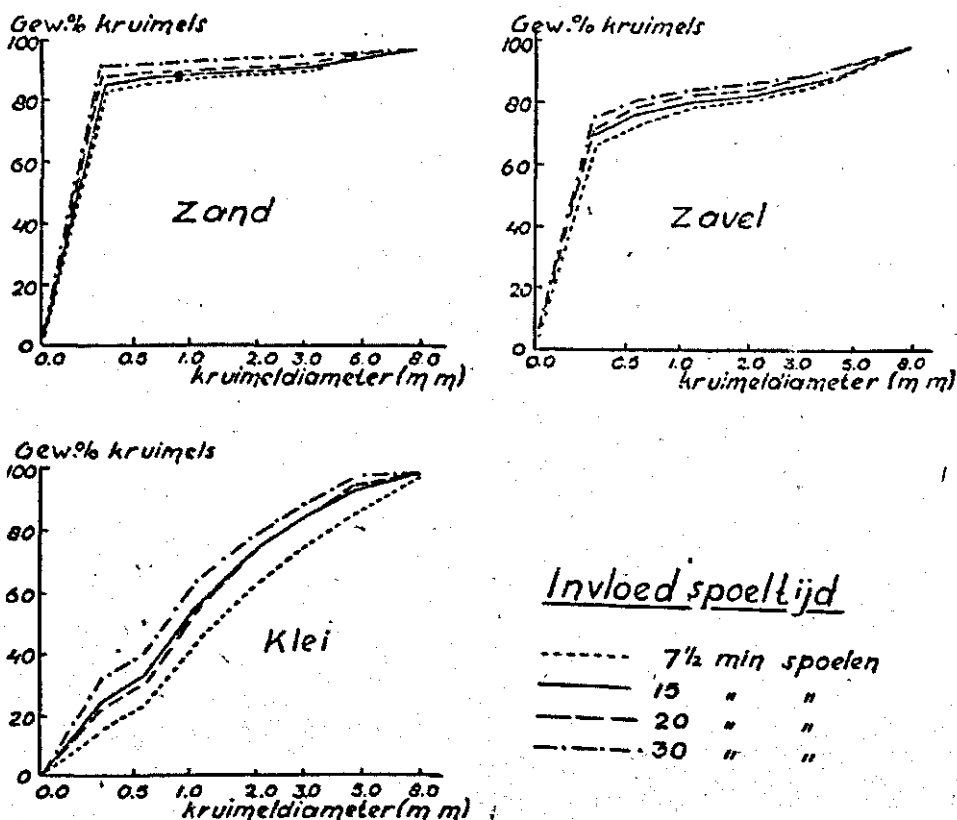


Fig. 7. Invloed van de spoelduur op de aggregaatanalyse volgens de methode Tiulin-Meyer. Sommatiegraffieken.

van sommatiegrafieken. Op de ordinaat is uitgezet het gewichtpercentage bestendig aggregaten (t.o.v. droge stof), die een diameter hebben, kleiner dan de bijbehorende, op de abscis aangegeven waarde. Om de bijzonderheden van de grafieken beter te laten uitkomen bezit de schaal voor de kruimelafmetingen op de abscis een logarithmische vertekening. In plaats van de kruimeldiameter d is nl. lineair uitgezet de grootheid $\log(d+a)$, waarbij a een geschikt gekozen constante is.

In fig. 7 zien we, dat, zoals te verwachten is, een langere spoeltijd de hoeveelheid aggregaten < 0.3 mm (waaronder tevens begrepen zijn eventuele aanwezige deeltjes < 0.3 mm) doet toenemen, voornamelijk ten koste van de aggregaten tussen $4/3$ en 8.0 mm. Bij zand en zavel zijn deze verschuivingen slechts gering (van de orde van grootte van de mogelijke analysefout), bij klei aanmerkelijk groter.

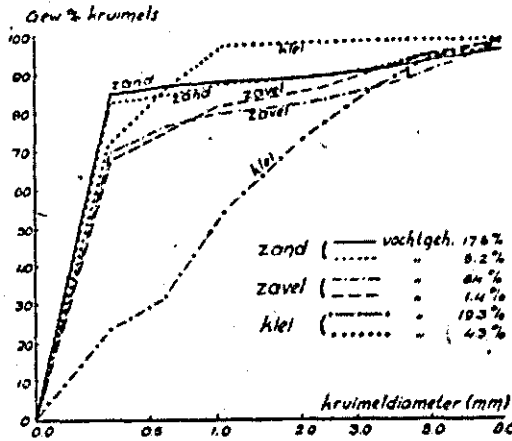


Fig. 8. Invloed van het vochtgehalte van het monster op de aggregaatanalyse volgens de methode Tiulin-Meyer. Sommatiegrafieken.

De invloed van het vochtgehalte, dat het monster voor het begin van de analyse heeft, blijkt uit fig. 8. Weergegeven zijn de grafieken voor een normaal vochtige en een luchtdroge grond. Zowel bij zand als zavel heeft een vermindering van het vochtgehalte van het monster een vermindering van de kleinste (< 0.3 mm) en van de grootste aggregaten ($4.8-8.0$ mm) tengevolge, terwijl het gewichtpercentage in de fractie $0.3-4.8$ mm toeneemt. De verschillen zijn echter, evenals bij de invloed van de spoeltijd, slechts gering. Bij klei is het analyseresultaat daarentegen in sterke mate afhankelijk van het vochtgehalte van het monster. Zoals uit fig. 8 blijkt geeft de luchtdroge klei bij analyse 98 % aggregaten < 1.1 mm, de vochtige klei daarentegen slechts 54 %. Dit stukspringen van grotere aggregaten van luchtdroge klei bij een snelle bevochtiging is een gevolg van onregelmatige zwel van de buitenkant van het aggregaat en samendrukking van de ingesloten lucht door het water, dat door de buitenzijde van het aggregaat capillair wordt opgezogen. Het nog droge inwendige van het grote aggregaat springt daarbij in zeer kleine aggregaatjes uiteen. Deze kitten in het veld echter bij wateropname weer aaneen en vormen grotere aggregaten. Bij de aggregaatanalyse is dit niet mogelijk, daar ze direct worden weggespoeld. De natte aggregaatanalyse van droge kleigronden geeft dan ook dikwijls een misleidend beeld van de natuurlijke structuurtoestand (2).

Daar het natuurlijk niet mogelijk is alle monsters direct na aankomst in het laboratorium te analyseren, moeten deze enige tijd worden bewaard. Geschiedt dit in vochtige toestand in afgesloten glazen potten, dan treedt er, zoals uit fig. 9 blijkt, een aggregaatforming op, waardoor het percentage kleinere aggregaten af, het percentage grotere aggregaten toeneemt.

In veel sterkere mate komen deze veranderingen tot uiting indien het bewaren der monsters bij iets hogere temperatuur gebeurt. Dit blijkt uit de grafieken in fig. 10, welke betrekking hebben op monsters, die kortere of langere tijd bij 20° C in een thermostaat worden bewaard. Er is daarbij zorggedragen voor een constant blijvend vochtgehalte van ong. 15 gew.%. We zien vooral bij de zavel en de klei een sterke aggregaatforming optreden. Deze komt blijkbaar hoofdzakelijk in de eerste 24 uur tot stand. Een langer verblijf in de thermostaat geeft alleen bij de klei nog een merkbare toename van de grotere aggregaten. Waarschijnlijk zullen de in de figuren 9 en 10 weergegeven ver-

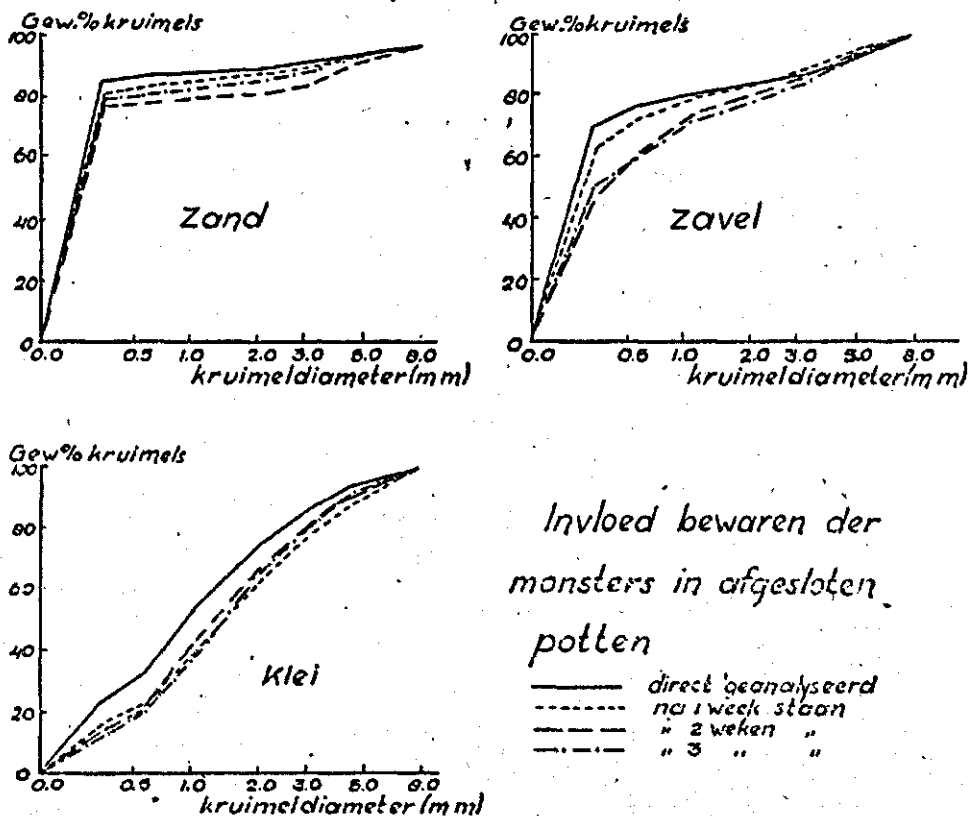


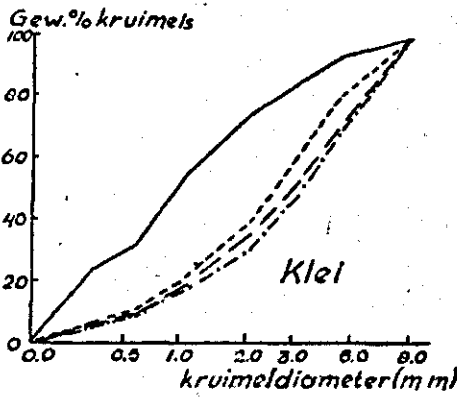
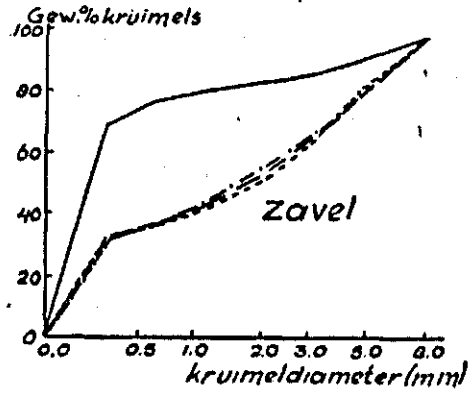
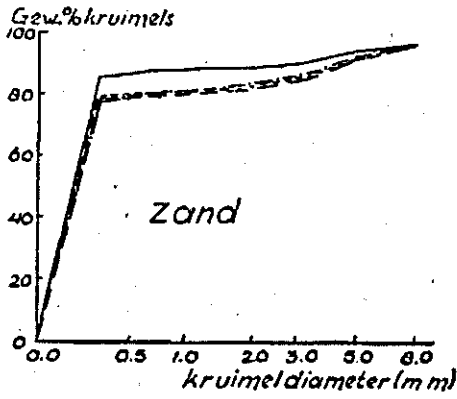
Fig. 9. Invloed van het bewaren van monsters bij een temperatuur van 15° C in vochtige toestand in gesloten potten op de aggregaatanalyse volgens de methode Tiulin-Meyer. Sommatiegrafieken.

anderingen in structuurtoestand hoofdzakelijk moeten worden toegeschreven aan directe of indirecte micro-biologische invloeden.

Het systematisch onderzoek naar de methodiek van de natte aggregaatanalyse, waarvan boven enige resultaten werden medegedeeld, heeft voorlopig geleid tot de volgende werkwijze bij de voorbehandeling der monsters. Deze worden in een dunne laag op glazen platen uitgespreid en aan de lucht gedroogd, nadat een klein monstertje is genomen ter bepaling van het vochtgehalte in het oorspronkelijke monster. De luchtdroge monsters worden daarna in afgesloten glazen potten bewaard. Een etmaal voor de analyse wordt het monster weer in een zeer dunne laag op een aan een balans hangende glazen plaat uitgespreid en door bestuiven met water door middel van een Flit-spuit op een bepaald vochtgehalte (12 gew.%) gebracht (zie noot op blz. 336). De plaat met het monster gaat daarna in een thermostaat, waarin hij 24 uur bij 20° C blijft. Er wordt voor zorggedragen, dat het vochtgehalte constant blijft. Vervolgens vindt de natte aggregaatanalyse op de boven beschreven wijze plaats.

Enkele resultaten, verkregen door toepassing van de natte aggregaatanalyse vindt men in de figuren 11 t.e.m. 14.

Zoals bekend is vormt het slibgehalte één der belangrijkste factoren bij de aggregaatforming. Een structuuronderzoek van 30 interprovinciale stabiele-humus-proefvelden bood gelegenheid de invloed van het slibgehalte bij de natte aggregaatanalyse te bestuderen. Door een grafische statistische bewerking van de analyseresultaten voor de niet met stabiele humus behandelde gedeelten der proefvelden werden de in fig. 11 weergegeven kruimelverdelingen verkregen, die uiteraard als gemiddelden zijn te beschouwen, waarom een vrij grote spreiding mogelijk is. We zien hier een regelmatige overgang van de aggregaat-arme zandgronden naar de zwaardere kleigronden, die veel grote aggregaten bezitten. De grootste invloed heeft het slibgehalte in het gebied tussen 10 en 40% afslibbaar.



Invloed van het op 20°C
houden der monsters
in de thermostaat

— direct geanalyseerd
- - - na 24h in de thermostaat (20°C)
- · - " 40h " " " "
- · - " 72h " " " "

Fig. 10. Invloed van het bewaren van monsters bij 20° C op de aggregaatanalyse volgens de methode Tiulin-Meyer. Sommatiegrafieken.

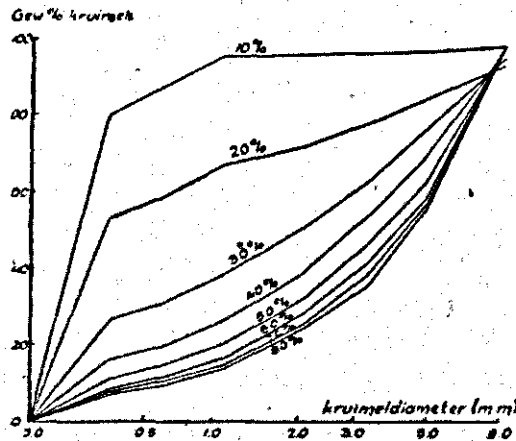


Fig. 11. Sommatiecurven voor het percentage bestendige kruimels bij verschillende gehalten afslibbaar ($< 16 \mu$).

Fig. 12 geeft twee voorbeelden van de structuurverbeterende werking van gips op met zeewater geïnundeerd geweest zijnde gronden. De vochtige Na-klei heeft een „stopverf-achtige” structuur en geeft bij analyse een hoog percentage grote aggregaten. Tengevolge van de gipsbemesting treedt een duidelijke vermindering van deze hoeveelheid grote aggregaten op, ten gunste van de kleinere.

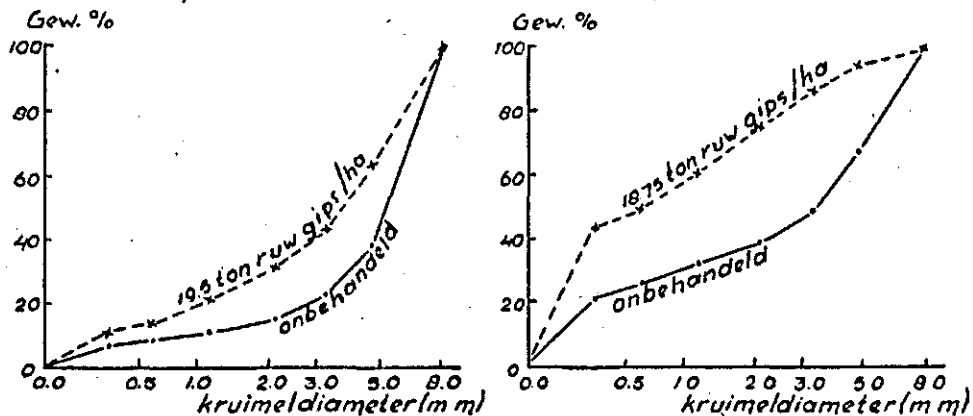


Fig. 12. Invloed van een gipsbemesting op de structuur van gronden, welke met zout water geïnundeerd zijn geweest. Links: Monsters II-18-29/30; Kooyman, Joanna Mariapolder, Tholen. Rechts: Monsters II-2-54/55; van Tilbenigh, Polder Oud-Vossemeer, Tholen. Laag 0—5 cm.

Bij de structuurverbetering van gronden speelt een organische bemesting een belangrijke rol. Fig. 13 geeft hiervan een voorbeeld. Dit heeft betrekking op twee proefvakken

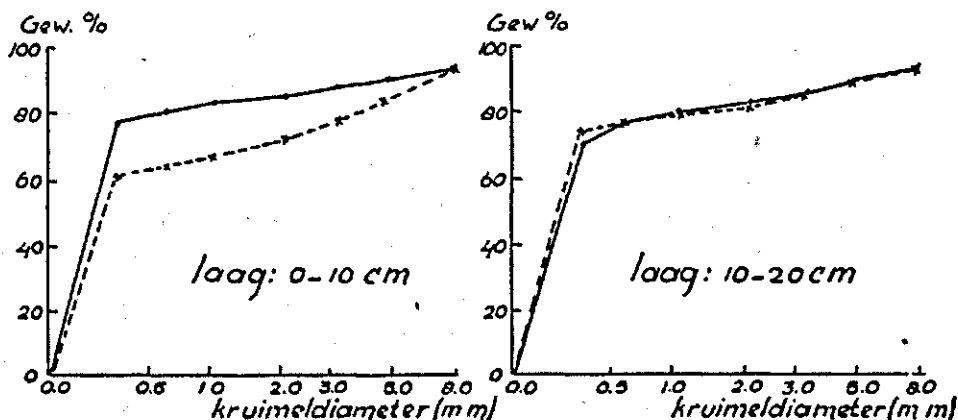


Fig. 13. Invloed van organische bemesting op de structuur van zandgrond (Vpr 22); —: zonder organische bemesting; x-x-x: met organische bemesting (stalmest en groenbemesting).

met zandgrond op het terrein van het Landbouwproefstation. Het ene vak krijgt geen organische bemesting, terwijl door braken en herhaaldelijk bewerken getracht is de aanwezige organische stof zo snel mogelijk te doen verteren. Het andere vak ontvangt geregeld stalmest en een groenbemesting, die echter, in verband met de geringe dikte van de bouwvoor (ong. 20 cm), hoofdzakelijk door de laag 0—10 cm wordt gewerkt. Uit fig. 13 blijkt, dat de organische bemesting in de laag 0—10 cm een duidelijke vermeerdering van de aggregaten > 0.6 mm heeft veroorzaakt. In de laag 10—20 cm, die niet van de bemesting heeft geprofiteerd, is geen verschil tussen de vakken waar te nemen.

Tenslotte is in fig. 14 de verdeling der bestendige aggregaten weergegeven bij een zavel vóór en na aanleg van een gazon. Het is bekend, dat het enige jaren in gras leggen van bouwland een aanzienlijke structuurverbetering tengevolge kan hebben. Fig. 14 kan dit illustreren aan een proefvak zavel op het terrein van het Landbouwproefstation, waarvan voor bepaalde doeleinden ruim drie jaar geleden een gedeelte in (gazon-)gras was gelegd. Duidelijk is een vermeerdering van de bestendige aggregaten > 0.6 mm te constateren.

Met de natte aggregaatanalyse door middel van zeven onder water zijn alleen besten-

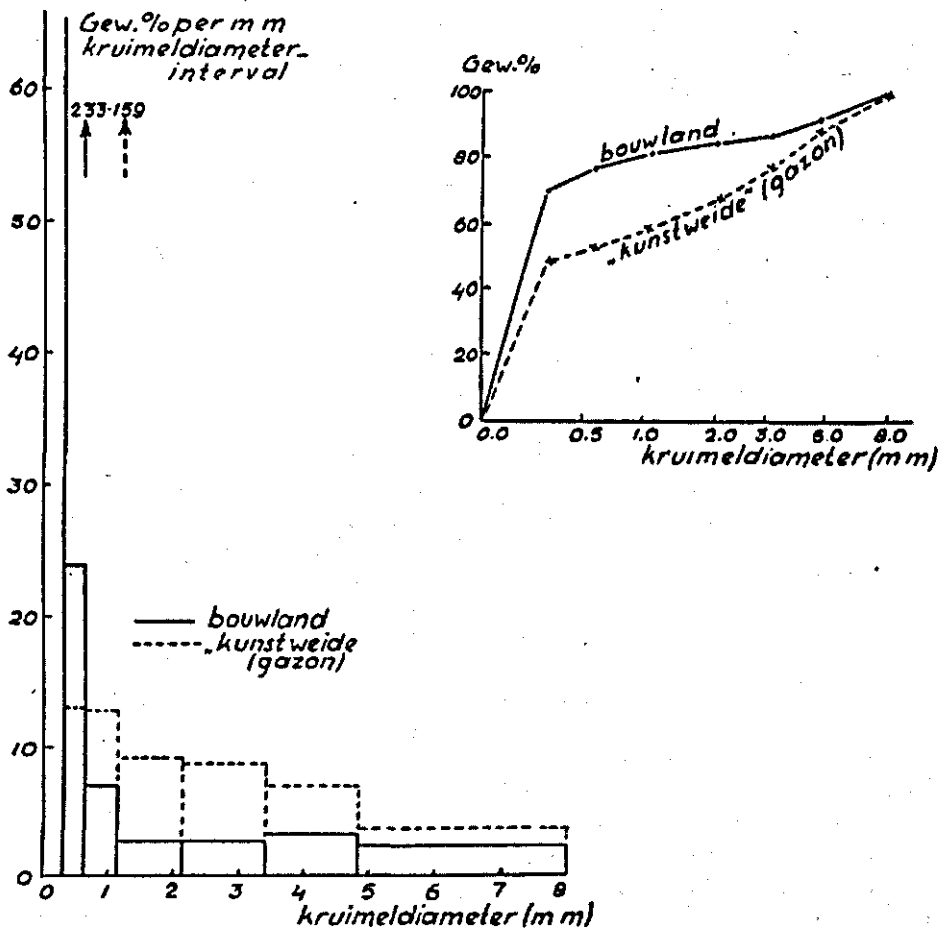


Fig. 14. Verdeling der bestendige aggregaten bij een wel en niet in gras gelegde zavel (20 % afslibbaar $< 16 \mu$). Links distributie-, rechts sommatiegrafiek. Bouwland: laag 0—15 cm; gazon: laag 5—15 cm. (Monier-perceel).

dige aggregaten $> \frac{1}{4}$ mm te bepalen. Voor kleinere aggregaten is men aangewezen op bezinkingsmethoden [pipet-analyse, buis van Cole-Edlefsen (3)].

Naast het nat-zeven en de bezinkingsmethoden zijn enkele andere methoden voor de bepaling van de structuurbestendigheid in gebruik. Eén hiervan moet worden vermeld, daar ze in vele modificaties voorkomt. Er is bij deze methode getracht de destructieve werking van de regen na te bootsen. De gebruikte installaties variëren van douche-installaties tot druppelpipetten, de hoeveelheden grond van enkele tonnen grond tot een enkele kruimel. Bij de proeven op kleinere schaal ligt de grond op een stel zeven, waarbij na een bepaalde tijd de zeef-residu's worden bepaald. Bij andere methoden ligt de grond op een Buchner-trechter en wordt de verandering van het doorlatend vermogen gemeten. Verschillende Russische onderzoekers werken met één kruimel en bepalen na hoeveel druppels deze uiteenvalt.

Hiermee is in vogelvlucht een beeld gegeven van de voornaamste methoden van structuuronderzoek. Vooral in de aggregaatanalyse hebben wij een belangrijk hulpmiddel bij dit onderzoek. In verband met de vele factoren, welke een invloed op het resultaat uitoefenen en daarom gestandaardiseerd moeten worden, is een normalisatie van de methode ten zeerste gewenst. Slechts dan zullen de resultaten van verschillende onderzoekers vergelijkbaar worden.

Reeds voor de oorlog had dit probleem de volle aandacht van de Internationale Bodemkundige Vereeniging. Mogen de desbetreffende werkzaamheden spoedig worden hervat!

SAMENVATTING.

Er wordt een overzicht gegeven van de voornaamste objectieve methoden, welke de bodemstructuur door één of meer cijfers trachten te karakteriseren. Kort behandeld worden de verschillende methoden ter bepaling van poriënvolume, g-w-l-verhouding en verdeling der poriënaftelingen in twee of drie groepen, alsmede enkele methoden van microscopisch structuuronderzoek. Uitvoeriger worden besproken de bepaling der poriënverdeling uit pF-metingen en de natte aggregaatanalyse volgens Tiulin-Meyer.

NOOT. Sinds het schrijven van dit artikel (Juni 1946) zijn enige wijzigingen aangebracht in apparatuur en methodiek, zowel bij de bepaling van de poriënverdeling (blz. 324 en 325) als bij de natte aggregaatanalyse (blz. 329 en 332).

De poriënverdeling blijkt eenvoudiger te kunnen worden bepaald door de buret (fig. 1) weg te laten en de verandering in vochtgehalte van het monster door weging vast te stellen.

Het spoelapparaat volgens Meyer en Rennenkampff (fig. 6) verbruikt veel water, de fractie < 0.3 mm wordt weggespoeld en het is niet eenvoudig de monsters te spoelen in een oplossing van dezelfde samenstelling als de bodemoplossing, wat bij het onderzoek van bv. geïnnundeerd geweest zijnde gronden nodig kan zijn. Ter vermijding van deze nadelen wordt nu een werkwijze toegepast, waarbij de zeven mechanisch in water op en neer worden bewogen (spoelduur: 5 min., frequentie: 9 onderdompelingen per min.; zie T.N.O.-Nieuws 2 (1947), 56—60).

Nu weer grotere zeven verkrijgbaar zijn (diam. 20 cm) behoeft het zeven niet meer in vijfvoud te gebeuren, maar kan met een bepaling in duplo of in enkelvoud bij grotere monsters (50 à 100 g) worden volstaan.

Tenslotte bleek het voordelen te hebben het conventionele vochtgehalte der monsters (blz. 332) voor zand- en zavelgronden op 12 gew.% en voor kleigronden op 20 gew.% te stellen.

De nieuwe methoden zijn zodanig uitgewerkt, dat ze dezelfde eindresultaten geven als de oude.

SUMMARY: THE EVALUATION OF SOIL STRUCTURE.

A survey is given of the methods of evaluating soil structure. The development of methods used has occurred in two ways: (A) evaluating the structure at the moment of sampling the soil and (B) determining the resistance of structure to the desintegrating influences of climate and tillage.

Out of the first group have been noticed different methods of determining volume weight and volume, occupied by each of the three phases: solid, liquid, air. Out of the ways of determining pore size distribution are noticed the ones dealing with two or three groups of pore sizes. Besides the microscopical measurement of pore sizes is dealt with. Bij applying this method it is possible to split up the whole of pore sizes into more groups. This possibility presents itself also by determining pore size distribution by means of evaluating pF-curves. The method of pF-measurements with a filter apparatus is discussed and illustrated with some results from the authors experiments. Fig. 3 shows the pore size distribution within (upper diagram) and outside (lower diagram) a set of lysimeters in the dunes near Castricum. In fig. 4 are drawn pore size distribution diagrams of four layers of a sandy soil with a sole shoe (layer 25—30 cm). Table I shows in the upper part, that the pore size distribution of a sandy soil indicates a sole-shoe on a depth of about 25 cm, while the values of pore space do not allow to conclude to the presence of such a layer. In the lower part of table I is tabulated the pore size distribution of a clay soil.

The most important method of group B, evaluating the stability of soil structure, is the wet aggregate analysis. The wet sieving method according to Tiulin-Meyer, which has been used by the author, is discussed and a standardised treatment of soil samples is described. The figures 7, 8, 9 and 10 show, in diagrams representing summation percentages of water-stable aggregates of various sizes, resp. the influence of the duration of washing, the influence of moisture content of the soil sample and the influence of keeping the samples in closed pots for a longer time at 15° C, resp. 20° C. Each figure shows the described influences on a sandy soil, a sandy clay and a heavy clay soil.

Results, obtained by applying the method of wet sieving to practical cases, are mentioned. Fig. 11 shows the dependence of the distribution of water-stable aggregates on the clay content of the soil. The ameliorating influence of a dressing of gypsum on the structure of soils, which have been inundated by saltish water, is illustrated by fig. 12. In the same manner the influence of farmyard manure and green manuring on the structure of a sandy soil is shown by fig. 13. That it is possible to ameliorate soils with a bad structure by laying out a ley, one can see in fig. 14, showing the aggregate distribution curves for a sandy clay before and three years after sowing grass.

LITERATUUR.

1. Alten, F. und H. Loofmann; Die Luftadsorption an Böden und Bodenbestandteilen und ihr Einfluss auf die Bestimmung des Porenvolumens und des spezifischen Gewichtes von Ackerböden mit dem Druck-Luftpyknometer; *Bodenk. u. Pflanzenern.* 26, (1941), 1—13.
2. Bayer, L. D.; Soil physics. New York 1940; pg. 153.
3. Cole, R. C. and N. E. Edliefsen; A sedimentation tube for analyzing water-stable soil aggregates; *Soil Sci.* 40, (1935), 473—479.
4. Davidson, A. L. C. and R. K. Schofield; Measurement of the suction of soil water by portland stone absorbers, calibrated by a new method for determining vapour pressures near to saturation; *J. Agr. Sci.* 32, (1942) 413—427.
5. Donat, J.; Ein Verfahren zur Kennzeichnung des Bodengefüges; *Ern. d. Pfl.* 33, (1937), 357—360.
6. Haines, W. B.; The volume-changes associated with the variations of water content in soil; *J. Agr. Sci.* 13, (1923), 296—310.
7. Hudig, J. en N. H. Siewertsz van Reesema; Het probleem van de stabiliteit der humusstoffen; *Landb. T.* 52, (1940), 371—398, 529—634.
8. Keen, B. A.; Experimental methods for the study of soil cultivation; *Emp. J. Expt. Agric.* 1, (1933), 97—102.
9. Kopecky, J.; Die physikalischen Eigenschaften des Bodens; *Int. Mitt. Bodenk.* 4, (1914), 138—180.
10. Kubierna, W.; Ein Bodennikroskop für Freiland- und Laboratoriumgebrauch; *Bodenk. Forsch.* 3, (1932), 91—102.
11. —; Verfahren zur Herstellung von Dünnschliffen von Böden in ungestörter Lagerung; *Zeiss Nachr.* 2, (1937), 3.
12. —; Micropedology; *Collegiate Press*, Ames, Iowa. (1938).
13. Mangelsdorff, E. G.; Experimentelle Beiträge zur Bodenbearbeitung; *Landw. Jahrb.* 69, (1929), 485—519.
14. Mathy, W.; Einfluss von Untergrundverdichtungen auf die Wasser- und Luftbewegung im Boden; *Diss. Halle—Wittenberg 1939 en Kühn-Archiv* 54, (1940), 171.
15. Meyer, L. und U. v. Rennenkampff; Neuer Apparat und Methode zur automatischen Durchführung der Krümelanalyse nach Tiulin und Vorschläge zur Bestimmung des Krümelanteils, der Krümelgrößen und der Krümelfähigkeit des Bodens; *Z. f. Pflanzenern. u. Düng. A* 43, (1936), 268—280.
16. Mishchenko, N. F.; Method of determining soil porosity; *Soil Res.* 3, (1932), 24—36.
17. Nitzsch, W. v.; Der Porengehalt des Ackerbodens, Messverfahren und ihre Brauchbarkeit; *Bodenk. u. Pflanzenern.* 1, (1936), 101—115.
18. Pigulevsky, M. K.; Principles and methods of the experimental study of soil deformations; Theory, Construction and Manufacture of Agricultural Machines; Pt II Moscow, Leningrad: Selkhozgiz.
19. Puchner, H.; Die Schollenanalyse, ein Mittel zur Bestimmung der Bodenstruktur; *Mitt. der Deutschen Landw.-Ges.* 26, (1911), 38.
20. Redlich, G. C.; Determination of soil structure by microscopical investigation; *Soil Sci.* 50, (1940) 3—13.
21. Russell, E. W.; Soil structure; *Imp. Bureau of Soil Sci., Techn. Comm.* 37, (1938).
22. — and W. Balcerak; The determination of the volume and air space of soil clods; *J. of Agr. Sci.* 34, (1944), 123—132.
23. Schofield, R.K.; The pF of the water in soil; *Trans. third Int. Congr. Soil Sci.* 2, (1935), 37—48.
24. —; Pore-size distribution as revealed by the dependence of suction (pF) on moisture content; *Trans. Int. Soc. Soil Sci. First Comm. A*, (1938), 38—45.
25. Sekera, F.; Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im Boden; *Zs. Pflanzenern. u. Düng. A* 22, (1931), 87—111.
26. —; Die Strukturanalyse des Bodens; *Bodenk. u. Pflanzenern.* 6, (1938), 259—288.
27. Shaw, C. F.; *J. Amer. Soc. Agron.* 9, (1917), 38—42.
28. Sideri, D. I.; On the formation of structure in soil VI. Method of microscopic investigation of soil structure in reflected light; *Soil Sci.* 46, (1938), 337—349.
29. Tiulin, A. F.; Questions of soil structure II; Aggregate analysis as a method for determining soil structure; *Perm. Agr. exp. Sta., Div. Agr. Chem.* 2, (1928), 77—122.
30. —; Fragen der Bodenstruktur III. Der Einfluss des Quellens des Bodens auf

- die Genauigkeit der Bestimmung von kapillarem und nicht kapillarem Porenraum durch Sättigung mit Wasser; *Forschungsber. d. agr. chem. Abl. d. Landw. Vers.-Stat. Perm 3*, (1929).
31. — — and A. I. Skljär; Physics of soils; *Trans. VIUAA 18*, (1937), 100—105.
 32. Torstensson, G. und S. Eriksson; Eine neue Methode zur Bestimmung der Porosität des Bodens; *Lantbruks Högskolans Annaler 2*, (1935), 159—179.
— —; A new method for determining the porosity of the soil; *Soil Sci. 42*, (1936), 405—415.
 33. Trnka, R.; Eine Studie über einige physikalischen Eigenschaften des Bodens; *Int. Mitt. f. Bodenk. 4*, (1914), 363—387.
 34. Vilensky, D. G.; The technique of the investigation of soil tenacity in soil erosion studies; *Pedology 5/6*, (1935), 780—796.
 35. Visser, W. C.; Pore space determination as a field method; *Soil Sci. 44*, (1937), 467—470.
 36. — —; Een en ander over de structuur van den grond; *Landb. T. 50* (1938), 1—7.
 37. Volkov, M. I.; Measuring soil structure; *Pedology 1*, (1933), 52—57.