

BIJDRAGE TOT DE KENNIS VAN EENIGE NATUURKUNDIGE  
GROOTHEDEN VAN DEN GROND.

3. Bepaling van het uitwendige oppervlak van het minerale gronddeeltjes-  
complex.

DOOR

Dr. S. B. HOOGHOUDT.

(Ingezonden 28 Juni 1935.)

HOOFDSTUK I.

INLEIDING.

Tot één van de belangrijkste grootheden van den grond behoort zonder eenigen twijfel ook het totale, uitwendige oppervlak van het minerale korrelcomplex van den grond <sup>1)</sup>. Deze grootheid is immers zoowel in physischen als in chemischen zin van groot belang. In een vorig artikel (1) werd reeds aangetoond, dat het specifieke oppervlak — een in vele gevallen meer geschikte uitdrukking voor het totale uitwendige korreloppervlak — in gronden van de eerste soort (= gronden in een éénkorrelstructuur), naast andere factoren van minder grooten invloed, de bepalende factor voor de doorlatendheid en de capillaire stijghoogte (2) is, terwijl dit ook nog voor meerdere physische grootheden het geval zal zijn. In chemisch opzicht zal het o.a. van belang zijn om een beter inzicht te krijgen in het wezen van het minerale adsorptiecomplex. Door gelijktijdige bepaling van de totale uitwisselingscapaciteit (= T-waarde van HISSINK) en het totale oppervlak van het korrelcomplex, kan men een antwoord op de vraag geven of (a) dit adsorptiecomplex een groot z.g. inwendig oppervlak bezit, dan wel (b), of de uitwisselingscapaciteit alleen, dan wel voornamelijk, wordt bepaald door het totale uitwendige oppervlak van de deeltjes. Dit laatste geeft dus een indruk van de inwendige roosterstructuur van dit adsorptiecomplex. Tevens is het daarbij mogelijk de vraag te beantwoorden (c) in hoeverre de mineralogische (chemische, kristallografische-) samenstelling voor de grootte van de uitwisselingscapaciteit van invloed is. Een onderzoek daarover, waarbij tevens de onder

<sup>1)</sup> Onder minerale bestanddeelen wordt verstaan de droge stof (bij 105° C gedroogden grond) zonder humus en koolzure kalk.

*a*, *b* en *c* genoemde vragen nader beschouwd zullen worden, is zoover gevorderd, dat dit binnenkort gepubliceerd zal worden.

Verder zal het duidelijk zijn, dat dit totale, uitwendige, oppervlak, of beter (zie Hoofdstuk II) het specifieke oppervlak, een bij uitstek geschikte grootheid is om de fijnheid van den grond aan te duiden en dus gebruikt kan worden bij de indeeling van alle minerale gronden vanaf de grofste grindgronden tot de zwaarste kleigronden.

Om het totale uitwendige oppervlak, of dus het specifieke oppervlak, van het minerale korrelcomplex van den grond te kunnen aangeven, moet:

- a.* de verdeelingswijze van de afzonderlijke korrels over de verschillende korrelgrootten bekend zijn, terwijl
- b.* het mathematische probleem moet zijn opgelost om het totale oppervlak of het specifieke oppervlak uit een gegeven wijze van korrelverdeeling over de verschillende korrelgrootten te berekenen.

De oplossing van het onder sub *b* gestelde probleem zal in het volgende hoofdstuk worden behandeld, terwijl in hoofdstuk III die bepalingwijzen van de korrelverdeeling zullen worden besproken, die op het Bodemkundig Instituut zijn gebruikt om van een aantal gronden en andere stoffen deze korrelverdeeling, tot aan korrels van zeer kleine afmetingen toe, te bepalen. Tevens zullen de resultaten daarvan in dat hoofdstuk worden besproken.

## HOOFDSTUK II.

### BEREKENING VAN HET TOTALE UITWENDIGE EN HET SPECIFIEKE OPPERVLAK VAN HET MINERALE KORRELCOMPLEX.

Voor de berekening van het totale uitwendige oppervlak van het korrelcomplex dient in de eerste plaats de vraag beantwoord te worden, waarop we dit totale oppervlak zullen betrekken. Daar vele andere grootheden aangegeven worden op 100 gram droge stof, ligt het voor de hand hierop dit totale oppervlak aan te geven. Dit heeft echter één groot bezwaar, nl., dat dit totale oppervlak afhankelijk wordt van het soortelijk gewicht van de beschouwde stof, hetgeen ongewenscht is, daar het totale oppervlak van het korrelcomplex dan geen onderlinge vergelijkingsbasis meer vormt. Dit neemt natuurlijk niet weg, dat voor bepaalde doeleinden het toch noodzakelijk kan zijn om het totale oppervlak per 100 gram droge stof te kennen: bijv. om de totale uitwisselingscapaciteit per oppervlakte-eenheid of per bepaald specifiek oppervlak te berekenen.

Het reeds meer genoemde specifieke oppervlak heeft dit bezwaar niet. *Onder het specifieke oppervlak wordt verstaan hoeveel maal het totale korrel-*

oppervlak van een bepaald gewicht van de beschouwde stof groter is dan het totale oppervlak van eenzelfde gewicht bolvormige korrels van materiaal met hetzelfde soortelijk gewicht en met een doorsnede van 1 cm.

Beschouwen we nu eens  $g$  gram van een stof, geheel bestaande uit bolvormige korrels met een doorsnede van  $m$  cm en een soortelijk gewicht  $s$ , dan is:

$$a. \text{ het aantal korrels in } g \text{ gram stof: } \frac{g}{\frac{1}{6} \pi m^3 s} = \frac{6g}{\pi m^3 s} \text{ en}$$

$$b. \text{ het totale oppervlak van deze korrels: } \frac{6g}{\pi m^3 s} \pi m^2 = \frac{6g}{ms} \text{ cm}^2.$$

Het totale oppervlak van  $g$  gram bolvormige korrels van een doorsnede van 1 cm en van hetzelfde soortelijk gewicht is dus  $\frac{6g}{s}$  cm<sup>2</sup> en dus het specifieke oppervlak van de beschouwde stof  $U = \frac{6g}{ms} : \frac{6g}{s} = \frac{1}{m}$ , waarbij zowel  $g$  als  $s$  uit de formule verdwijnen en dus het specifieke oppervlak daarvan onafhankelijk wordt. Tevens volgt uit het voorgaande, dat het totale oppervlak (O) van 100 gram stof met een specifiek oppervlak  $U$  gelijk is aan:

$$O = U \frac{600}{s} \text{ cm}^2, \quad (1)$$

of dus per 100 gram minerale bestanddeelen van gronden, wanneer het soortelijk gewicht gemiddeld op 2,65 wordt gesteld:

$$O = U \frac{600}{2.65} = 226,4 U \text{ cm}^2. \quad (2)$$

Voor de berekening nu van het specifieke oppervlak van het minerale korrelcomplex is het noodig de sommatiekurve te kennen. Onder de sommatiekurve verstaat men een vloeiende of gebroken lijn in een diagram, waarvan de ordinaat steeds stijgende gedeelten van het totale gewicht van het geheele korrelcomplex aangeeft en de abscis de korreldoorsneden, de logarithmen daarvan, enz. Punten op deze lijn geven dus het gedeelte van het totale gewicht aan, dat een kleinere doorsnede heeft dan de bij dit punt behorende korreldoorsnede (zie bijv. de fig. 1 t.e.m. 4).

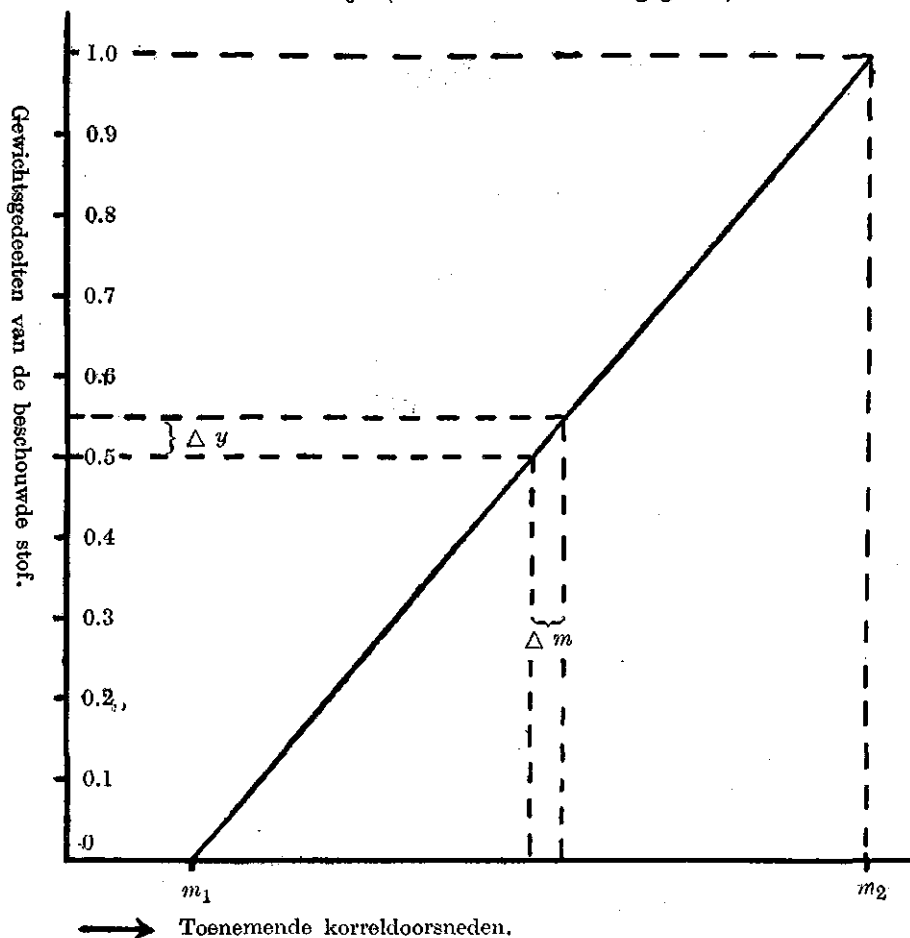
Voor de berekening van het specifieke oppervlak uit de sommatiekurve zullen we beginnen met enkele eenvoudige gevallen, nl. met die gevallen, waarbij de functie van de sommatiekurve bekend is.

Als eerste voorbeeld zullen we het geval nemen, dat de sommatiekurve een rechte lijn is in een  $y:m$  diagram. Dit geval wordt bijv. sterk benaderd in de fractie  $< 2 \mu$  van een fijn gewreven kwartspoeder (zie hoofdstuk III).

De sommatiekurve is dan, zooals in fig. 1 is aangegeven. Het zal duidelijk zijn, dat in dat geval de functie van de sommatiekurve ( $y = f(m)$ ) luidt:

$$y = a + bm, \quad (3)$$

waarin  $a$  en  $b$  constanten zijn ( $m$  wordt in *cms* aangegeven).



FIGUUR 1.

Beschouwen we nu eens een kleine fractie  $\Delta y$  tusschen de gewichtsdeelen  $y$  en  $y + \Delta y$ , dan zijn hiervan de grenzen van de korreldoorsneden  $m$  en  $m + \Delta m$ . Is nu de bijdrage van deze kleine fractie tot het geheele specifieke oppervlak van de geheele stof  $\Delta U$ , dan is dus blijkbaar:

$$\Delta U = \frac{\Delta y}{\frac{2m + \Delta m}{2}} \quad (4)$$

(4) B. 252.

$\Delta y$  is immers het gedeelte van het gewicht van het geheele korrelcomplex, dat uit deeltjes met doorsneden tusschen de aangegeven korreldoorsneden

bestaat, terwijl  $\frac{1}{2m + \Delta m}$  het specifieke oppervlak van de beschouwde fractie voorstelt, daar immers  $\frac{2m + \Delta m}{2}$  de gemiddelde doorsnede is.

Bij den overgang naar een oneindig kleine fractie is dus:  $dU = \frac{dy}{m}$  (5)

en dus:

$$U \text{ (totaal korrelcomplex)} = \int_{y=0}^{y=1} \frac{dy}{m} = \int_{m=m_1}^{m=m_2} \frac{dy}{m} \quad (6)$$

Bovenstaande integraal geeft de algemeene oplossing van de berekening van het specifieke oppervlak uit de functie van de sommatiekurve en zal dan ook telkens worden gebruikt.

In het beschouwde geval is  $y = a + bm$  of  $dy = bdm$  en dus:

$$U = \int_{m=m_1}^{m=m_2} \frac{b dm}{m} = b (\lg m_2 - \lg m_1) \quad (7)$$

In het gegeven voorbeeld is de constante  $b$  te berekenen, daar immers uit de sommatiekurve volgt (zie fig. 1):

$$y = 0 \rightarrow m = m_1; \text{ dus } 0 = a + bm_1 \text{ of } a = -bm_1$$

$$y = 1 \rightarrow m = m_2; \text{ dus } 1 = a + bm_2 \text{ of } 1 = -bm_1 + bm_2 \text{ of } b = \frac{1}{m_2 - m_1}.$$

Ingevuld in vergelijking (7) ontstaat dus, na omrekening van de natuurlijke in de Briggiaansche logaritmen:

$$U = \frac{2.3026}{m_2 - m_1} (\log m_2 - \log m_1) \quad (8)$$

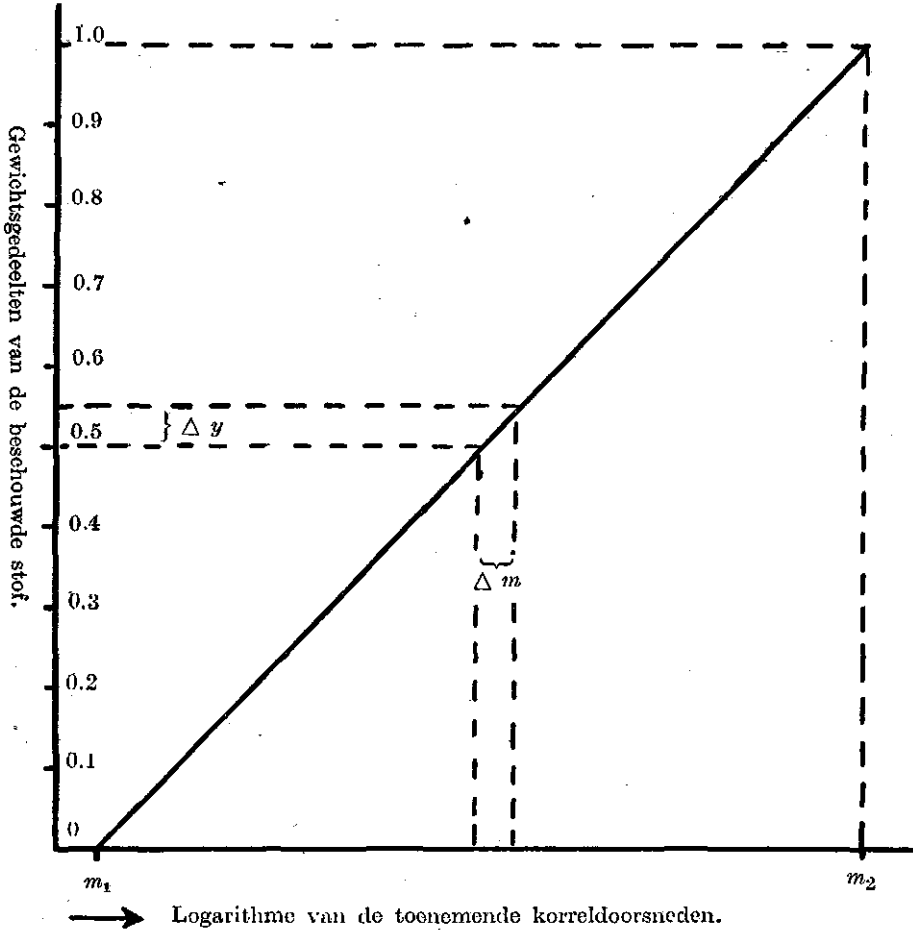
Als tweede voorbeeld is het geval gekozen, dat de sommatiekurve een rechte lijn is, wanneer op de abscis de logaritmen (voor deze berekening zal verondersteld worden, dat dit natuurlijke logaritmen zijn) van de korreldoorsneden zijn afgezet. Zooals we in hoofdstuk III zullen zien, naderen hiertoe de sommatiekurven van de fractie met deeltjes kleiner dan  $2\mu$  van gronden.

In fig. 2 is deze sommatiekurve weergegeven. Het zal duidelijk zijn, dat in dat geval:

$$y = a + b \lg m, \quad (9)$$

waarin ook nu  $a$  en  $b$  constanten zijn. Daar in dit geval voor een oneindig

kleine fractie geldt:  $dU = \frac{dy}{m}$ ,



FIGUUR 2.

is dus het totale specifieke oppervlak weer gelijk aan:

$$U = \int_{y=0}^{y=1} \frac{dy}{m} = \int_{m=m_1}^{m=m_2} \frac{dy}{m}$$

(6) B. 254.

In het beschouwde geval is  $y = a + b \lg m$  of  $dy = \frac{b}{m} dm$  of dus:

$$U = \int_{m=m_1}^{m=m_2} \frac{b}{m^2} dm = b \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2} \right) \quad (10)$$

De constante  $b$  is te berekenen; uit de sommatiekurve volgt immers (zie fig. 2):

$y = 0 \rightarrow m = m_1$ ; dus  $0 = a + b \lg m_1$  of  $a = -b \lg m_1$  en

$y = 1 \rightarrow m = m_2$ ; dus  $1 = a + b \lg m_2$  of  $1 = -b \lg m_1 + b \lg m_2$  of

$b = \frac{1}{\lg m_2 - \lg m_1}$ . Ingevuld in vergelijking 10 en na omrekening van de loga-

rithmen op Briggiaansche dito ontstaat:

$$U = \frac{0.4343}{\log m_2 - \log m_1} \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2} \right) \quad (11)$$

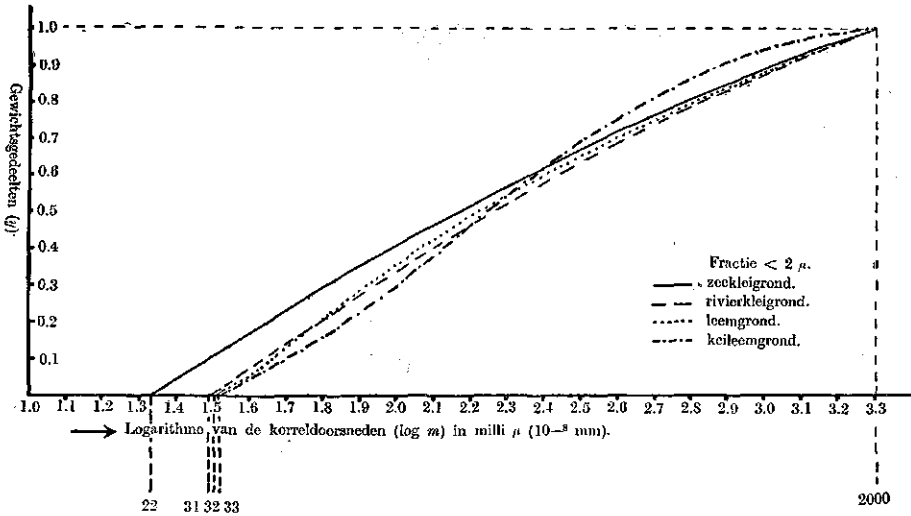
Vergelijking 11 is dezelfde vergelijking als door mij in een vorige publicatie (zie noot 1) werd gebruikt voor de berekening van het specifieke oppervlak van de afzonderlijke subfracties van de z.g. zandfractie 16—2000  $\mu$ , om met behulp daarvan en van de respectievelijke gehalten het specifieke oppervlak van de zandfractie te berekenen. De afleiding van deze vergelijking door ZUNKER (3) is noodeloos ingewikkeld en bovendien niet streng doorgevoerd, daar deze berekening half met gewone, half met differentiaal rekening (nl. voor de berekening van de limiet van de door hem opgebouwde reeks) werd uitgevoerd. Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat de waarde van  $U$  in vergelijking 8 en 11 *niet* onbepaald wordt, wanneer men  $m_1$  en  $m_2$  tot dezelfde waarde, bijv.  $m_1$ , laat naderen. Dit laatste beteekent immers, dat een fractie beschouwd wordt met korrels van dezelfde doorsnede  $m_1$ . Beide vergelijkingen gaan dan ook, indien  $m_2 = m_1$ , over in de limiet  $U = \frac{1}{m_1}$ . Deze waarde verkrijgt

men dan ook onmiddellijk bij de toepassing van de methode voor de berekening van de limiet, nl. door afzonderlijke differentiatie van teller en noemer, enz.

Op dezelfde wijze nu, als boven is geschetst, zijn alle berekeningen van het specifieke oppervlak uit te voeren, wanneer de functie van de sommatiekurve bekend is.

In de *derde* en laatste plaats zal nu verondersteld worden, dat de functie van de sommatiekurve niet bekend is. Dit wil dus zeggen, dat niet onmiddellijk uit den vorm daarvan (in verschillende diagrammen geteekend) tot de functie kan worden besloten, zooals dat in de twee eerste voorbeelden het geval was.

Voor de oplossing van dit vraagstuk teekene men in elk geval de sommatiecurve in verschillende diagrammen, d.w.z. in diagrammen, waarvan op de  $x$ -as resp. bijv.  $m$  zelf, de logarithme daarvan, enz. zijn afgezet. In één bepaald diagram zal de verkregen kromme slechts een licht gebogen lijn zijn, zooals dit bijv. voor de fractie, met deeltjes kleiner dan  $2 \mu$  van gronden, het geval



FIGUUR 3.

is, wanneer de sommatiecurve wordt geteekend in een  $y: \log m$  diagram (zie fig. 3). Zonder groote fouten te maken, kan deze lijn dan in 2 of 3 rechte lijnen verdeeld worden, waarvan van ieder stuk weer de functie bekend is. Deze methode vormt de eerste oplossing van het beschouwde geval. Als getallenvoorbeeld kiezen we de berekening van  $U$  van de fractie kleiner dan  $2 \mu$  van den zoeklegrond (zie tabel 2). De sommatiecurve van deze fractie is, zooals reeds is medegedeeld, slechts een lichtgebogen lijn in een  $y: \log m$  diagram (zie fig. 3). Deze lijn bestaat uit practisch 2 rechte stukken, nl. van  $y = 0$  en  $m = m_1$  (hier  $0,022 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ ) tot  $y = 0,68$  en  $m = 5,316 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$  en voor het tweede stuk: van  $y = 0,68$  en  $m = 0,316 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$  tot  $y = 1$  en  $m = m = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ . Daar voor ieder stuk dus vergelijking 11 geldt, is dus:

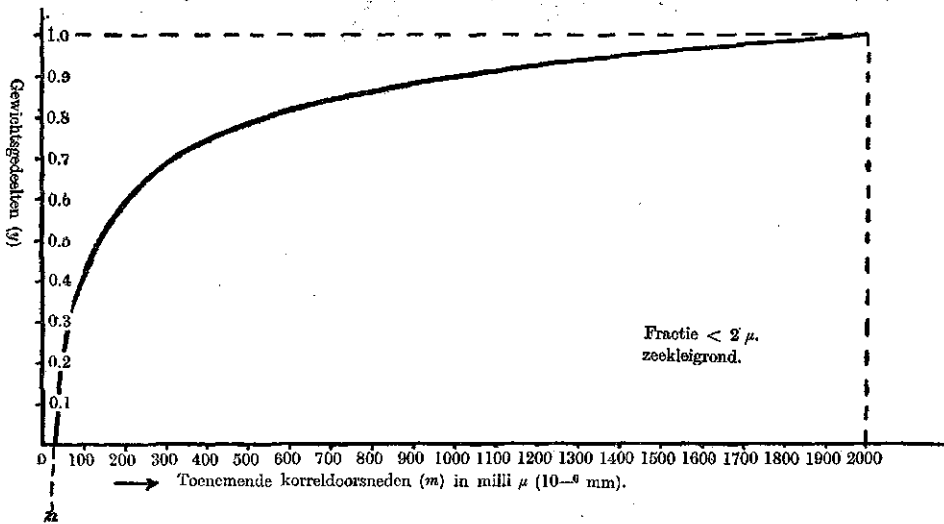
$$U_{\text{totaal}} = 0,68 \frac{0,4343}{\log 0,316 \cdot 10^{-4} - \log 0,022 \cdot 10^{-4}} \left( \frac{1}{0,022 \cdot 10^{-4}} - \frac{1}{0,316 \cdot 10^{-4}} \right) - (1 - 0,68) \cdot \frac{0,4343}{\log 2 \cdot 10^{-4} - \log 0,316 \cdot 10^{-4}} \left( \frac{1}{0,316 \cdot 10^{-4}} - \frac{1}{2 \cdot 10^{-4}} \right) = 0,68 \cdot 158710 + 0,32 \cdot 14441 = 112544.$$

(8) B. 256.



Een tweede, algemeene oplossing van genoemd vraagstuk bestaat hierin, dat men de functie van de sommatiekurve tracht te benaderen. Ook hiertoe kan men het beste de sommatiekurve in dat diagram beschouwen, waarin deze kurve zoo weinig mogelijk van een rechte lijn afwijkt (het aantal te beschouwen termen wordt dan namelijk kleiner; zie hieronder). Eenvoudigheids halve zal hier echter de functie van de sommatiekurve in een  $y : m$  diagram door een benaderende methode worden bepaald. Deze functie (bijv. van de sommatiekurve in fig. 4) is namelijk weer te geven door de algemeene functie:

$$y = a + bm + cm^2 + dm^3 + em^4 + \dots \text{enz.}, \quad (12)$$



FIGUUR 4.

waarin  $a, b, c, d, e$ , enz. constanten zijn. Hoemeer termen men beschouwt, des te beter wordt de gezochte functie benaderd. Om nu de constanten  $a, b$ , enz. te bepalen, kiest men op de sommatiekurve zooveel punten, als men termen moet beschouwen. Al naar de gegeven kurve kan dit aantal verschillend zijn. In geval van de lijn in fig. 4 is 5 punten wel in eerste benadering voldoende. Vult men nu de bij deze punten behorende  $y$  en  $m$ -waarden in vergelijking 12 in, dan zal het duidelijk zijn, dat de vergelijking tot 5 termen is te bepalen, daar immers 5 vergelijkingen met 5 onbekenden worden verkregen. In het geval van de lijn in fig. 4 is zoo bijv. berekend:

$$y = -0,147 + 0,7138 m 10^5 - 0,1833 m^2 10^{10} + 0,01696 m^3 10^{15} - 0,0004718 m^4 10^{20}.$$

De functie wordt door bovenstaande vergelijking in eerste benadering voldoende nauwkeurig aangegeven, hetgeen blijkt, wanneer men met behulp van deze vergelijking verschillende  $y$ -waarden bij gegeven  $m$ -waarden berekent. Voor een nog betere benadering had men bijv. 7 punten moeten kiezen en dus

de vergelijking 12 tot 7 termen bepaald. De oplossing van 7 vergelijkingen met 7 onbekenden kost echter nog al wat tijd. (Soms kan men echter met voordeel gebruik maken van de z.g. determinantenmethode). In elk geval moet men controleeren of bij het gegeven aantal termen de gevraagde sommatiekurve voldoende wordt benaderd, waarbij zoo noodig meer punten en dus meer termen moeten worden beschouwd. Hierbij kan worden opgemerkt, dat 1 punt altijd dient gekozen te worden, waarbij  $y = 0$  ( $m$  is zoo klein mogelijk) en 1 punt, waarbij  $y = 1$  ( $m$  is zoo groot mogelijk).

Is dus de functie van de sommatiekurve met voldoende nauwkeurigheid bekend, dan kan de berekening van het specifieke oppervlak van het totaal te beschouwen korrelcomplex op dezelfde wijze geschieden, als in de 2 eerst behandelde voorbeelden is aangegeven. In dit geval is dus:  $dy = (b + 2cm + 3dm^2 + 6em^3 + \text{enz.}) dm$  en dus (zie vergelijking 6)

$$U = \int_{m=m_1}^{m=m_2} \left( \frac{b}{m} + 2c + 3dm + 4em^2 + \dots \text{enz.} \right) dm \quad (13)$$

Na oplossing van de integraal en omrekening van de natuurlijke logaritmen in de Briggiaansche ontstaat:

$$U = 2,3026 b (\log m_2 - \log m_1) + 2c (m_2 - m_1) + \frac{3}{2} d (m_2^2 - m_1^2) + \frac{4}{3} e (m_2^3 - m_1^3) + \dots \text{enz.} \quad (14)$$

Voor de lijn in fig. 4 zijn nu de constanten  $b$ ,  $c$ ,  $d$  en  $e$  bekend. In vergelijking 14 ingevuld, geeft dit voor  $U$  de waarde 110 000.

Tenslotte zal nog een *derde* methode worden besproken om het specifieke oppervlak bij een onbekende functie van de sommatiekurve te berekenen. Deze methode is — afgezien van de bepaling van de onderste grens van de deeltjesgrootten, waarop later zal worden terug gekomen — nl. zelfs zonder meer toe te passen, wanneer bij de bepaling van de sommatiekurve het geheele korrelcomplex slechts in een voldoende groot aantal subfracties is onderverdeeld. Het zal immers duidelijk zijn, dat in welk diagram men tenslotte de sommatiekurve ook aangeeft, toch deze sommatiekurve kan beschouwd worden als te bestaan uit een samenstel van rechte lijntjes. Van deze rechte lijntjes is de functie van de sommatiekurve daarmee dus weer bekend. Verder spreekt het van zelf, dat in hoemeer stukken men de sommatiekurve van het totale korrelcomplex verdeelt, of m.a.w., hoe meer subfracties men kiest, des te beter de sommatiekurve van het totale korrelcomplex, en daarmee  $U$  van het geheele te beschouwen korrelcomplex, wordt benaderd.

Uit de in hoofdstuk III medegedeelde resultaten van de bepalingen van deze kurve van *gronden* zal nu blijken, dat de functie van deze kurve sterk die van vergelijking 9 nadert, hetgeen dus wil zeggen, dat in een diagram, waarbij op de  $x$ -as de logaritmen van de korreldoorsneden worden afgezet een slechts flauw gebogen lijn wordt verkregen; in tegenstelling dus bijv. in een  $y : m$  diagram (zie fig. 3 en 4). Dit wil dus zeggen, dat, bij gelijke grenzen van de subfracties, bij de toepassing van vergelijking 11 voor de berekening van de specifieke oppervlakken van deze subfracties kleinere fouten gemaakt worden dan bij toepassing van welke vergelijking ook, berekend uit een diagram, waarbij de kromming van de sommatiekurve (= afwijking van een rechte lijn) grooter is. Men kan het bovenstaande ook zoo aanduiden, dat bij dezelfde fouten de grenzen van de subfracties bij de toepassing van vergelijking 11 verder uiteen kunnen liggen, dan bij toepassing van welke vergelijking ook, berekend uit een diagram, waarbij de afwijking van de rechte lijn grooter is.

Uit fig. 3 blijkt nu, dat deze grenzen voor gronden (dus in een  $y : \log m$  diagram; zie ook hierboven) soms zeer ver uiteen kunnen liggen, zoodat men zelfs met 2 of 3 subfracties kan volstaan (zie eerste methode). Het is echter niet zeker, dat deze omstandigheid altijd zoo gunstig is. Om nu echter deze methode *altijd* te kunnen toepassen, verdient het aanbeveling steeds het geheele korrelcomplex in een voldoende groot aantal subfracties te verdeelen, waarbij de verhouding van de grenzen in het algemeen niet grooter is dan 1 : 2,5 en waarbij deze grenzen *altijd dezelfde blijven*. In dit geval kan immers met behulp van vergelijking 11 voor iedere subfractie eens voor goed het specifieke oppervlak worden berekend en zelfs tabellen worden gemaakt, waaruit men bij ieder gehalte aan deze subfracties het gedeelte van hun bijdrage (=  $\Delta U$ ) tot  $U$  van het geheele korrelcomplex kan aflezen. Kan men tijdens de bepaling van de sommatiekurve (bepaling van de mechanische samenstelling) ook direct de onderste grens van de deeltjesgrootte bepalen, dan is het zelfs onnoodig om de sommatiekurve te teekenen. Uit de gevonden gehalten en uit de  $U$ -waarden van deze subfracties laat zich dan onmiddellijk  $U$  van het geheele te beschouwen korrelcomplex berekenen. Wel moet telkens  $U$  van de fijnste fractie met behulp van vergelijking 11 opnieuw worden berekend, daar de onderste grens van de deeltjesgrootte voor de verschillende gronden niet dezelfde is. Zijn nu de gedeelten van de verschillende subfracties van het totale gewicht van het geheele te beschouwen korrelcomplex resp.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , enz. en de  $U$ -waarden resp.  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ , enz. dan is het specifieke oppervlak van de het totale te beschouwen korrelcomplex:

$$U_{\text{totaal}} = \alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3 + \delta U_4 + \dots \text{ enz.}, \quad (15)$$

waarbij de som van  $\alpha + \beta + \gamma + \delta + \dots \text{ enz.} = 1$  moet zijn.

Als getallenvoorbeeld kiezen we ook nu weer de fractie kleiner dan  $2 \mu$  van den zeelegrond. Uit tabel 2 blijkt, dat deze fractie bestaat uit 9,8 % fractie  $2-1 \mu$ , 18,6 % fractie  $1-0,4 \mu$ , 12,1 % fractie  $0,4-0,2 \mu$ , 19,8 % fractie  $0,2-0,1 \mu$ , 15,2 % fractie  $0,1-0,058 \mu$ , 2,6 % fractie  $0,058-0,048 \mu$  en 21,9 % van de fractie  $0,048-0,022 \mu$ , waarbij dus  $0,022 \mu$  de kleinste doorsnede van de voorkomende korrels is. Voor iedere subfractie is nu de U-waarde uitgerekend (deze blijft dus bij alle verdere berekeningen steeds dezelfde, wanneer de subfracties steeds dezelfde blijven, zie tabel 2; uitgezonderd deze waarde voor de fijnste fractie). De berekening geschiedt nu op een wijze als onder is aangegeven:

Subfractie in $\mu$ 's.	Gehalte.	U-subfractie.	$\Delta U$ totale fractie $< 2\mu$ .
2 —1	0,098	7 214	0,098 . 7 214 = 707
1 —0,4	0,186	16 370	0,186 . 16 370 = 3 045
0,4 —0,2	0,121	36 070	0,121 . 36 070 = 4 364
0,2 —0,1	0,198	72 140	0,198 . 72 140 = 14 284
0,1 —0,058	0,152	132 900	0,152 . 132 900 = 20 201
0,058—0,048	0,026	189 800	0,026 . 189 800 = 4 935
0,048—0,022	0,219	315 600	0,219 . 315 600 = 69 116
2—0,022 (totale fractie $< 2\mu$ )	1,000	U (totale fractie $< 2\mu$ ) = 116 652	

In het behandelde voorbeeld zijn de bij de bepaling gevonden gehalten gebruikt. Men kan natuurlijk ook de gecorrigeerde gehalten uit de getrokken sommatiekurven aflezen en deze gebruiken. Uit de gevonden goede overeenstemming tusschen de op 3 wijzen bepaalde U-waarde van de fractie, kleiner dan  $2 \mu$ , van den zeelegrond volgt echter, dat dit niet eens noodig is. De gevonden U-waarden voor deze fractie kleiner dan  $2 \mu$  van den zeelegrond, zijn immers resp. in afgeronde cijfers 112 500, 111 000 en 116 700 (zie in dit verband ook hoofdstuk III) en de grootste afwijking van het gemiddelde 2,3 % van het gemiddelde, d.i. binnen de foutgrenzen.

Ten slotte kan nog worden opgemerkt, dat, wanneer de functie van de sommatiekurve bekend is, men nog een tweede wiskundige bewerking kan toepassen. Stel bijv. eens, dat de verschillende experimenteel gevonden punten in een  $y : \log m$  diagram kennelijk zoo in het diagram liggen, dat daardoor een rechte lijn te trekken is. Er is dan een bepaalde wiskundige bewerking mogelijk, welke die ligging van de rechte lijn berekent, waarbij de afwijkingen van de experimenteel gevonden punten t.o.z. van deze lijn zoo klein mogelijk

zijn. Deze bewerking heeft echter alleen dan meer zin, wanneer er over een groot gebied geëxtrapoleerd moet worden. Bij de sommatiekurve is extrapolatie echter alleen toelaatbaar, wanneer deze zich niet over een te groot gebied uitstrekt, hetgeen direct duidelijk zal zijn, wanneer men bedenkt, dat het specifieke oppervlak van het totale korrelcomplex voor verreweg het grootste gedeelte door de fijnste fractie wordt bepaald (zie bijv. boven behandeld voorbeeld). Is echter geen extrapolatie noodig of hoogstens over een klein gebied (zooals bij de hier onderzochte gronden), dan geeft de grafische methode een even nauwkeurig resultaat. Deze grafische methode komt in het gegeven voorbeeld hierop néer, dat men met behulp van een liniaal, op een dergelijke wijze door de gegeven punten in het diagram een rechte lijn trekt, dat de experimenteel gevonden punten zoo goed mogelijk ter weerszijden van deze lijn verdeeld liggen en de afstanden daarvan zoo klein mogelijk zijn.

Is de functie van de sommatiekurve niet bekend, d.w.z. is de ligging van de experimenteel gevonden punten zoodanig, dat deze beslist niet op een rechte lijn liggen, dan moet de grafische methode toch worden toegepast. Men trekt dan met behulp van een verstelbare boogliniaal op een dergelijke wijze een gebogen lijn door de experimenteel gevonden punten, dat ook nu weer deze punten zoo goed mogelijk ter weerszijden van de getrokken lijn verdeeld liggen en ook nu de afwijkingen zoo klein mogelijk blijven.

Kan men de kleinste doorsnede van de voorkomende korrels niet rechtstreeks bepalen, dan moet deze doorsnede bepaald worden uit de sommatiekurve. Deze moet daartoe worden verlengd (geëxtrapoleerd) tot zij de  $x$ -as ( $y = 0$ ) snijdt. *Het spreekt vanzelf, dat deze extrapolatie het nauwkeurigste kan geschieden in dat diagram, waarbij de sommatiekurve — vooral het gedeelte bij de  $x$ -as — zoo weinig mogelijk van een rechte lijn afwijkt.* Voor gronden dient dat dus te geschieden in een  $y : \log m$  diagram.

### HOOFDSTUK III.

#### BEPALING VAN DE SOMMATIEKURVE VAN HET MINERALE KORRELCOMPLEX VAN DEN GROND.

Het ligt zeker niet in mijn bedoeling alle methoden, die gebruikt zouden kunnen worden om de sommatiekurve te bepalen, te bespreken. Ik zal volstaan met die methoden te behandelen, welke ons op het Bodemkundig Instituut in staat hebben gesteld de sommatiekurve te bepalen, waarbij echter aan het slot van dit hoofdstuk de aandacht op een methode zal worden gevestigd, waarvan in dit opzicht — en wel in het bijzonder voor de bepaling van de sommatiekurve van deeltjes kleiner dan  $2 \mu$  — nog veel verwacht mag worden.

Beschouwen we alleen gronden met deeltjes kleiner dan  $2 \text{ mm}$  of  $2000 \mu$ ,

dan zijn op het Bodemkundig Instituut voor de onderverdeling van het geheele korrelcomplex — in fracties en subfracties van de in dit artikel nog te bespreken gronden en stoffen — in het geheel 3 methoden toegepast. Twee van deze methoden zijn daarbij gecombineerd en worden na elkaar gebruikt, nl. de slibanalyse volgens ATTERBERG, voor de bepaling van de sommatiekurve van deeltjes vanaf een doorsnede van  $2 \mu$  tot een doorsnede van  $16 \mu$ , terwijl de in de slibcilinders achterblijvende z.g. zandfractie van  $16-2000 \mu$  met behulp van de Rotap schud- en zeefmachine in 12 subfracties wordt onderverdeeld. De wijze van voorbereiding en de uitvoering van de slibanalyse met behulp van de slibcilinders van ATTERBERG is beschreven door den Directeur van het Bodemkundig Instituut in de Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen, XXXI, blz. 261 e.v., 1926. De daarop volgende zeefanalyse is door mij beschreven in een vroegere publicatie (zie noot 1, blz. 225 en 226 en blz. 260 tot 272). Met behulp van deze 2 gecombineerde methoden werd in de onderzochte gronden en andere stoffen het gehalte van de deeltjes kleiner dan  $2 \mu$ ;  $2-8 \mu$ ;  $8-16 \mu$ ;  $16-43 \mu$ ;  $43-74 \mu$ ;  $74-104 \mu$ ;  $104-147 \mu$ ;  $147-208 \mu$ ;  $208-295 \mu$ ;  $295-417 \mu$ ;  $417-589 \mu$ ;  $589-833 \mu$ ;  $833-1168 \mu$ ;  $1168-1651 \mu$  en  $1651-2000 \mu$  bepaald, indien tenminste van al deze subfracties nog gehalten gevonden werden.

Voor de bepaling van de sommatiekurve van deeltjes kleiner dan  $2 \mu$  is de slibmethode niet te gebruiken, daar de benodigde tijd daarvoor veel en veel te lang zou worden. Bruikbaar daarvoor is de z.g. pipetmethode, zij het ook, dat voor de bepaling van het gehalte van de kleinste deeltjes ook deze methode zeer tijdrovend blijft. Ook deze methode is door den Directeur van het Bodemkundig Instituut in de reeds eerder genoemde publicatie beschreven. De voorbereiding van de onderzochte grondmonsters is daarbij dezelfde gebleven. Sedert werd echter een speciale, voor dit doel geschikte, pipet van 20 cc gebruikt, die in een voor dit doel geschikt statief is bevestigd, zoodat het inbrengen van de pipet voorzichtig kan geschieden en bovendien de diepte van de uitmonding van de pipet onder de vloeistofspiegel nauwkeurig kan worden afgelezen.

Wordt nu met behulp van deze methode ook het gehalte van de fracties met deeltjes kleiner dan  $2 \mu$  bepaald, dan kan met dit cijfer en het gehalte van deze fractie, verkregen bij de slibanalyse volgens ATTERBERG, een aansluiting worden verkregen met de resultaten van de genoemde slibanalyse en daarop volgende zeefanalyse. Nu is gebleken, dat gewoonlijk de pipetanalyse een zelfde gehalte aan deeltjes kleiner dan  $2 \mu$  geeft als de slibmethode volgens ATTERBERG, wanneer althans het kleine gedeelte, dat door de voorbereiding met  $H_2O_2$  en  $HCl$  wordt opgelost, er wordt bijgeteld. Alleen in een enkel geval (vergelijk bijv. de boven aangehaalde publicatie van den Directeur

van het Bodemkundig Instituut, blz. 297) gaf de pipetanalyse een kleiner gehalte aan. Bij de onderzochte gronden was de overeenstemming van de met de beide methoden gevonden waarden behoorlijk. In verband echter met het boven medegedeelde, werd het gehalte van de deeltjes, kleiner dan  $2 \mu$ , bepaald met de slibcilinders volgens ATTERBERG, als het juiste aangenomen en de resultaten van de pipetanalyse daarop omgerekend. Hierdoor wordt tegelijkertijd het door de voorbereiking opgeloste gedeelte in rekening gebracht <sup>1)</sup>.

Alvorens nu echter op de verkregen resultaten met de pipetanalyse nader in te gaan, moeten eerst enkele moeilijkheden worden besproken, die optraden tijdens de bepaling van het gehalte aan de fijnste fracties. Heeft men nl. de grondsuspensie (1 L) in de standcylinder gebracht, dan wordt de inhoud goed omgeschud om een homogene verdeling van de materie te verkrijgen en daarna in een donker vertrek op een rustige plaats neergezet, waarbij de deeltjes gelegenheid krijgen te bezinken met snelheden door de bekende wet van STOKES aangegeven. De cilindren waren daarbij bedekt met een los op de cylinder gelegd horlogeglas.

Het bleek echter spoedig, dat, wanneer de cylinder eenige dagen gestaan had, er zich in de suspensie, op verschillende diepten, lagen met duidelijk waarneembare scheidingsvlakken begonnen te vormen. Voor de verklaring daarvan zou men kunnen denken aan discontinuïteiten in de sommatiekurven. De bepaling van het gehalte van de gesuspendeerde stof boven het eerste scheidingsvlak bedroeg echter bij alle 4 onderzochte gronden  $\pm 20\%$  van het gehalte van de fractie kleiner dan  $2 \mu$ . Hieruit was dus af te leiden, dat het eerste scheidingsvlak onder de vloeistofspiegel zeker niet de onderste grens van de deeltjesgrootte aangaf, zooals oorspronkelijk werd gedacht. Tevens was hieruit af te leiden, dat de verklaring van het optreden van de waargenomen scheidingsvlakken, door discontinuïteiten in de sommatiekurve te veronderstellen, zeer onwaarschijnlijk was. Om nu te onderzoeken of de diepteligging van deze scheidingsvlakken tusschen de afzonderlijke lagen onder de vloeistofspiegel afhankelijk was van de totale hoogte van de geheele suspensiekolom, werden met dezelfde suspensie van de 4 onderzochte gronden telkens 6 cilindren tot hoogten van resp. 22, 19, 16, 13, 10 en 7 cm gevuld. Na omschudden van den inhoud van deze cilindren werden ze gedurende 14 dagen op een rustige plaats neergezet, waarbij ook nu weer alle cilindren met een horlogeglas bedekt waren.

Na afloop van genoemden tijd bleken zich in alle suspensiekolommen

<sup>1)</sup> Hierbij is dus stilzwijgend aangenomen, dat door de voorbereiking relatief van alle subfracties evenveel is opgelost, hetgeen — gezien de geringe intensiteit van de aantasting — toelaatbaar is.

weer verschillende lagen gevormd te hebben. Bij alle grondsuspensies bleek nu, dat de diepteligging van de eerste en de volgende scheidingsvlakken onder de vloeistofspiegel steeds afnam, naarmate de lengte van de totale suspensiekolom kleiner was.

Voor een verklaring van dit verschijnsel zou men kunnen denken aan invloeden van de factoren, die het z.g. Perrinsche evenwicht beheerschen. Om nu echter aan te toonen, dat het Perrinsche evenwicht onmogelijk van invloed kan zijn (in plaats van de factoren, die het evenwicht bepalen, zal duidelijkheidshalve verder steeds van het evenwicht zelf gesproken worden) en vooral bij de bepaling van het gehalte aan de fijnste fracties bij de pipetanalyse geen fout van eenige beteekenis kan geven, zal hieronder eerst een berekening van dit Perrinsche evenwicht volgen. Daarna zullen proefnemingen worden besproken, die duidelijk aantoonen, dat andere oorzaken voor de vorming van de beschreven lagen in het spel zijn.

Alvorens nu op deze berekening te kunnen ingaan, moeten we ons duidelijk voor oogen stellen, wanneer het Perrinsche evenwicht fouten van beteekenis zou kunnen maken bij de pipetanalyse.

Bij de pipetanalyse laten we na omschudden van de suspensie de cylinder zolang staan, dat de grootste deeltjes van de beschouwde subfractie, waarvan we het gehalte wil bepalen, juist de laag gepasseerd zijn, waaruit 20 cc gepipetteerd zal worden. Om een getallen-voorbeeld te nemen, kan het gehalte aan deeltjes kleiner dan  $0,05 \mu$  worden bepaald door 20 cc suspensie weg te pipetteeren uit de laag op 2,5 cm onder de vloeistofspiegel, wanneer de deeltjes gedurende 3200 uur bij  $16^\circ \text{C}$  hebben kunnen bezinken. In dien tijd zijn de deeltjes van deze doorsnede juist deze laag gepasseerd. Er boven bevinden zich dus alleen nog deeltjes met een kleinere doorsnede. Nu zal het duidelijk zijn, dat het Perrinsche evenwicht pas dan een merkbare fout veroorzaakt, wanneer in het beschouwde voorbeeld *boven dit vlak* nog een merkbare concentratie van deeltjes met een doorsnede van  $0,05 \mu$  of grover door het Perrinsche evenwicht bestaanbaar is. Kleinere deeltjes zijn ook zonder het Perrinsche evenwicht nog in de oorspronkelijke concentratie op deze hoogte aanwezig en kunnen dus geen fout veroorzaken, daar de concentratie van deze deeltjes bij het Perrinsche evenwicht zeker niet grooter is dan die in de oorspronkelijke homogene suspensie in verband met de relatief lange suspensiekolom en de geringe hoogte van de laag onder de vloeistofspiegel, waaruit deze zeer fijne deeltjes worden afgepipetteerd. We zullen echter de berekening niet uitvoeren met deeltjes van  $50 m\mu$ , maar met deeltjes van  $20 m\mu$ , daar bij de extrapolatie van de sommatiekurve van de onderzochte gronden blijkt, dat dit  $\pm$  de kleinste deeltjes zijn, die in grondsuspensies schijnen voor te komen. Hierbij blijven we dus nog voorloopig los van de vraag of met de pipetanalyse de



gehalten van deze deeltjes, in verband met den duur van den bezinkingstijd, nog kunnen worden bepaald.

Beschouwen we nu een suspensie van deeltjes van alle dezelfde doorsnede  $m$  en een soortelijk gewicht  $D$  in een suspensiemiddel met een soortelijk gewicht  $\delta$  en laten we de suspensie na omschudden rustig staan, dan zal er na zekeren tijd een evenwicht zijn ingetreden. Door Perrin is nu een formule aangegeven, waarin de concentratie van de gesuspenseerde deeltjes in 2 lagen met een hoogteverschil van  $h$  cm's is aangegeven. Verstaan we hier onder  $c_0$  de concentratie van de deeltjes (in grammen per cc) in een zeer dun laagje boven den bodem van den cylinder, waarin zich de suspensie bevindt, en onder  $c$  deze concentratie op een hoogte van  $h$  cm daarboven, dan luidt deze betrekking, wanneer de natuurlijke logaritmen worden gebruikt:

$$\frac{RT}{N} \lg \frac{c_0}{c} = \frac{1}{6} \pi m^3 g (D - \delta) h, \quad (16)$$

Hierin is dus — behalve de reeds genoemde factoren —  $R$  de gasconstante (83,2  $10^6$  erg),  $T$  de absolute temperatuur (hier 289°),  $N$  het getal van Avogadro ( $6,06 \cdot 10^{23}$ ) en  $g$  de versnelling van de zwaartekracht (981 cm).

Vergelijking 16 geeft echter niet de oplossing, zooals deze hier gewenscht wordt, nl. welk gedeelte van de  $G$  gram in suspensie gebrachte stof van deeltjes met een doorsnede van  $20 m \mu$  — berekend per 1000 cc — zich nog op een bepaalde hoogte bevinden.

Voor deze berekening schrijven we vergelijking 16 als volgt:

$$\lg \frac{c_0}{c} = km^3 h \text{ of } \frac{c_0}{c} = e^{km^3 h},$$

waarin  $k$  een constante is. Ofschoon ook  $m$  in het beschouwde geval een constante is, is deze toch even afzonderlijk vermeld, omdat deze factor bij de beschouwing van polydisperse systemen (suspensies met deeltjes van verschillende doorsneden), zooals grond suspensies tenslotte zijn, uit den aard der zaak niet constant is.

In een oneindig dun laagje  $dh$  op een hoogte  $h$  boven het grondvlak van den cylinder bevindt zich dus  $cqdh$  gram gesuspenseerde stof, waarin dus  $q$  de (constante) doorsnede in  $\text{cm}^2$  van de cylinder en  $c$  de concentratie in de laag op  $h$  cm boven den bodem voorstelt. Daar de totale hoogte van de kolom suspensie, waarin dus  $G$  gram stof is gesuspenseerd,  $H$  cm bedraagt, is dus:

$$G = \int_{h=0}^{h=H} cqdh = \int_{h=0}^{h=H} qc_0 e^{-km^3 h} dh = \frac{qc_0}{km^3} (1 - e^{-km^3 H}) \quad (17)$$

daar  $m$  immers hier een constante is.

Nu is op de hoogte  $h'$  cm (hier 30 cm;  $H$  is hier 33 cm) de concentratie:

$$c_{h'} = c_0 e^{-km^3 h'} \text{ of } c_0 = c_{h'} e^{km^3 h'}. \quad (17)$$

Na invulling in vergelijking 17 ontstaat:

$$G = \frac{qc}{km^3} \cdot e^{km^3 h'} \cdot (1 - e^{-km^3 H}) \quad (18)$$

of dus

$$\frac{G}{c_{h'}} = \frac{qe^{km^3 h'} - qe^{(h' - H)m^3 k}}{km^3} \quad (19)$$

Bedenkt men nu, dat de totale hoeveelheid suspensie 1000 cc bedraagt, dan is dus  $1000 c_{h'} = G_1 =$  aantal grammen gesuspendeerde stof, die bij het evenwicht van Perrin in de laag op  $h'$  cm hoogte boven den bodem bij de uitvoering van de pipetanalyse zou zijn gevonden. Daar nu verder  $q = \frac{1000}{H}$ , ontstaat dus na invulling in vergelijking 19:

$$\frac{G}{G_1} = \frac{e^{km^3 h'} - e^{(h' - H)m^3 k}}{km^3 H} \quad (20)$$

Voor deeltjes met  $m = 20 m_\mu$  en bij  $16^\circ \text{C}$  is  $km^3 = 0,17088$ . Verder is  $H = 33$  cm en  $h' = 30$  cm, zoodat  $\frac{G}{G_1} = 29,76$  of  $G_1 = 0,034$  G.

Hieruit volgt dus, dat, wanneer de geheele in suspensie gebrachte  $G$  gram stof uit deeltjes met een doorsnede van  $20 m_\mu$  bestond, op een gegeven hoogte van 30 cm boven den bodem van den cylinder nog maar een fout van 3,4% (het gehalte had immers zonder beschouwing van het Perrinsche evenwicht 0 moeten zijn) van de totale in suspensie gebrachte  $G$  gram stof zou zijn gemaakt. Daar nu echter de grond hoogstens slechts voor een gering gedeelte uit deeltjes van deze doorsnede kan bestaan (in de onderzochte gronden komen deze deeltjes zelfs niet voor), zal het duidelijk zijn, dat zelfs, wanneer de pipetanalyse tot de bepaling van het gehalte van de fractie met deeltjes kleiner dan  $20 m_\mu$  zou kunnen worden doorgezet, toch nog geen fouten van eenige beteekenis door het Perrinsche evenwicht kunnen worden gemaakt; nog afgezien van het feit, dat het evenwicht tijdens de bezinkingsduur zich nog niet volledig heeft ingesteld.

Bij de pipetanalyse is het practisch echter uitgesloten de genoemde fractie

nog te bepalen. De fijnste fractie, die men nog met de pipetanalyse bepalen kan, is  $\pm$  op de fractie met deeltjes kleiner dan  $50 \mu$  te stellen. Reeds dan is de benodigde tijd — zelfs wanneer 20 cc uit de laag op 1,25 cm onder het vloeistofoppervlak wordt weggepipetteerd — toch nog 1600 uur of  $\pm$  67 dagen.

Hebben we nu door bovenstaande berekening de vraag voor monodisperse suspensies opgelost, zoo dient nu de vraag beantwoord te worden in hoeverre daarin verandering optreedt, wanneer we met polydisperse systemen (hiertoe behooren immers ook de grondsuspensies) te maken hebben. Voor de pipetanalyse, zooals deze hier is uitgevoerd, is dit, naar reeds eerder werd uitgezet, van geen belang. Toch zal de algemeene oplossing van dit probleem hier gegeven worden, daar deze kwestie misschien wel van belang kan zijn, wanneer de centrifuge als hulpmiddel voor de bepaling van de sommatiekurve wordt gebruikt. Weliswaar is in het laatste geval de versnelling van de centrifugaalkracht, die dus in de plaats van  $g$  komt, nog een functie van  $h$ ; de oplossing van dit vraagstuk verandert, wanneer hiermede rekening moet worden gehouden, slechts zeer weinig.

Een polydispers systeem kan men zich nu ontleed denken in oneindig kleine fracties met als grenzen  $m$  en  $m + dm$ , enz. Voor ieder van deze oneindig kleine fracties is de doorsnede telkens constant en blijft dus vergelijking 20 gelden. We moeten ons echter nu duidelijk maken, wat onder  $G$  en  $G_1$  dient te worden verstaan. Het zal duidelijk zijn, dat  $G$  hier het totale gewicht van de beschouwde, oneindig kleine fractie is. Deze is dus gelijk aan  $dy$ , zoodat, wanneer de functie van de sommatiekurve wordt voorgesteld door vergelijking 9 (men kan natuurlijk ook een andere functie nemen; bij gronden wordt de door vergelijking 9 weergegeven functie in elk geval dicht benaderd),  $dy = \frac{b}{m} dm$ .

Onder  $G_1$  moet verder verstaan worden het aantal grammen ( $dy_1$ ) van de betreffende kleine fractie per 1000 cc berekend, die op de betreffende hoogte  $h'$  boven den bodem van den cylinder aanwezig is, wanneer  $dy$  gram van deze oneindig kleine fractie in 1000 cc vloeistof in suspensie is gebracht. Ingevuld in vergelijking 20 ontstaat:

$$\frac{\frac{b}{m} dm}{dy_1} = \frac{e^{km^3 h'} - e^{(h' - H)km^3}}{H km^3} \quad (21)$$

of na omwerking en integratie:

$$y_1 = \int_{m=m_1}^{m=m_2} \frac{b H km^2}{e^{km^3 h'} - e^{(h' - H)km^3}} dm \quad (22)$$

Berekenen we nu de constante  $b$  in de functie van de sommatiekurve door  $y$  van 0 tot 1 te laten variëren (zooals steeds is geschied), zoodat  $b$  hier gelijk wordt aan  $b = \frac{1}{\lg m_2 - \lg m_1}$ , dan geeft  $y_1$  direct het gedeelte van de totale hoeveelheid in suspensie gebrachte stof aan, dat bij het Perrinsche evenwicht in de laag op een hoogte  $h'$  boven den bodem aanwezig is. De oplossing van de nog in de vergelijking 22 aanwezige integraal kan echter zonder meer niet geschieden, maar zal door reeksontwikkeling moeten worden benaderd.

Omgekeerd is het nu natuurlijk ook mogelijk — althans in principe — uit de bij het Perrinsche evenwicht optredende concentraties op verschillende hoogten boven den bodem bij een polydisperse systeem de functie van de sommatiekurve te bepalen, wanneer deze tenminste van eenvoudigen aard is. Men kan immers met verschillende functies van de sommatiekurve van te voren deze concentraties op de onderzochte hoogten berekenen en vergelijken met de experimenteel bepaalde waarden. Van practisch belang is deze bepalingwijze echter in geen geval.

In het bovenstaande is dus duidelijk gemaakt, dat het Perrinsche evenwicht bij de pipetanalyse geen fouten van eenige beteekenis kan veroorzaken. We zullen nu de genomen proeven beschrijven, waaruit blijkt, dat de beschreven laagvorming in de suspensies zeker niet veroorzaakt wordt door discontinuïteiten in de sommatiekurven.

De beschreven laagvorming kan immers ook nog ontstaan gedacht worden door 2 andere oorzaken, nl. door (a) wisselingen in de temperatuur van de suspensie tijdens het bezinken en (b) door de verdamping. Door beide oorzaken kunnen stroomingen in de vloeistof optreden. De temperatuur toch wisselt in het vertrek, waar de suspensies voor de bezinking van de deeltjes werden neergezet, altijd wel eenige graden, terwijl de cylinders slechts bedekt waren door een los daaropliggend horlogeglas, waardoor verdamping tijdens het bezinken der suspensies mogelijk was. Om dit nu nader te onderzoeken werden de volgende proeven genomen.

Van 2 van de 4 onderzochte gronden, nl. van den zwaren zeekleigrond en den zwaren rivierkleigrond werd zooveel suspensie gemaakt (ook nu werd uitgegaan van 10 gram grond voor 1 L suspensie), dat met ieder van deze suspensies 3 cylinders tot hoogten van 17-, 12- en 6 cm konden worden gevuld. Deze cylinders werden met goed sluitende gummistoppen afgesloten, omgeschud en in een groote elektrische stoof geplaatst, die gedurende den geheelen tijd op een temperatuur van  $23,5^\circ \pm 0,5^\circ \text{ C}$  werd gehouden. Na 9 dagen was in geen van de cylinders een spoor van laagvorming te zien; integendeel trad er een zeer geleidelijke toename van de concentratie met de diepte onder den

vloeistofspiegel op. Deze 6 cilindres nu werden nogmaals omgeschud en gedurende 14 dagen op een rustige plek in het betreffende vertrek neergezet, waarbij ook thans de cilindres door de gummistoppen werden afgesloten. Ook nu was nergens een spoor van laagvorming te zien. Uit deze proeven kan dus de conclusie getrokken worden, dat in elk geval de onvermijdelijke temperatuurschommelingen in het betreffende vertrek gedurende dezen tijd *niet* de oorzaak zijn van de vroeger waargenomen laagvorming. Dit laatste wordt veroorzaakt door de verdamping, hetgeen bewezen is door de genoemde cilindres nogmaals om te schudden, nu de stoppen er af te nemen en de cilindres te bedekken met horlogeglazen. Na verloop van eenige dagen trad reeds een duidelijke laagvorming op, die in verloop van tijd steeds erger werd en hetzelfde karakter vertoonde als de vroeger waargenomen laagvorming. Deze proeven leeren dus, dat zeer zorgvuldig moet worden zorggedragen, dat geen verdamping kan optreden, terwijl daarentegen temperatuurschommelingen, zooals die in het betreffende vertrek voorkomen, geen waarneembaren invloed schijnen uit te oefenen. Wel spreekt het natuurlijk vanzelf, dat in het laatste geval de viscositeit van het suspensiemiddel bij de gemiddelde kamertemperatuur ( $16^{\circ}$  C) in de formule van STOKES moet worden ingevoerd.

De pipetanalyse van de 4 onderzochte gronden, nl. een zeeklei-, een rivierklei-, een leem- en een grauwe kleileemgrond, zijn voor de subfracties, met deeltjes kleiner dan  $0,4 \mu$ , uitgevoerd bij een temperatuur van  $23,5 \pm 0,5^{\circ}$ C; voor de subfracties, met deeltjes van  $2 - 0,4 \mu$  en ook nog voor de subfractie, met deeltjes kleiner dan  $0,058 \mu$ , bij een gemiddelde temperatuur van  $16^{\circ}$ C. De voor de bepaling van de betreffende subfracties benodigde suspensie werd gepipetteerd uit de laag op 10, 5, 2,5 en — voor de fijnste fractie — op 1,25 cm onder den vloeistofspiegel, nadat deze suspensies den betreffenden tijd na het omschudden hadden gestaan. De resultaten van alle analyses zijn tot een geheel verwerkt en in tabel 1 medegedeeld. De pipetanalyse (fractie kleiner dan  $2 \mu$ ) is in enkelvoud; de slibanalyse (fractie  $2-16 \mu$ ) en de zeefanalyse (fractie  $16-2000 \mu$ ) zijn in 3-voud uitgevoerd (4).

In tabel 2 zijn van deze gronden nogmaals de gehalten van de subfracties met deeltjes kleiner dan  $2 \mu$  berekend; uitgedrukt in % op de geheele fractie kleiner dan  $2 \mu$ . Tevens is hier aangegeven het resultaat van de pipetanalyse (bij  $16^{\circ}$ C uitgevoerd) van de fractie kleiner dan  $2 \mu$  van een fijn gewreven kwartspoeder en een kaoline-preparaat (Firma KAHLBAUM), zooals deze fracties verkregen werden door afslibben van het geheele kwarts- en kaolinepoeder, met vele slibcilindres volgens ATTERBERG (5). De onderste grens van de deeltjes van de 4 gronden (deze grens is tusschen haakjes onder de gehalten van de fijnste fracties in tabel 2 geplaatst) is door extrapolatie van de som-

TABEL I.

Subfracties in $\mu$ 's (0,001 mm's).	In procenten op minerale bestanddeelen.			
	Zeekleigrond.	Rivierkleigrond.	Leemgrond.	Keileemgrond.
< 0,048	9,6	6,2	8,6	2,1
0,048 — 0,058	1,1	8,2	8,9	
0,058 — 0,100	6,7	7,0	7,1	2,3
0,1 — 0,2	8,6	18,1	19,7	4,8
0,2 — 0,4	5,3	5,8	5,3	2,3
0,4 — 1,0	8,1	16,4	9,4	4,4
1,0 — 2,0	4,3	7,9	8,6	0,9
2 — 8	12,1	19,4	14,7	4,7
8 — 16	12,2	4,1	2,5	2,0
16 — 43	27,6	4,2	3,6	7,9
43 — 74	1,3	0,9	2,3	8,4
74 — 104	0,7	0,5	1,8	9,2
104 — 147	0,9	0,4	3,0	13,7
147 — 208	0,9	0,4	3,4	16,5
208 — 295	0,3	0,2	1,7	9,5
295 — 417	0,1	0,1	0,8	5,8
417 — 589	0,1	0,1	0,3	2,9
589 — 833	0,1	0,1	0,2	1,9
833 — 1168	0	0	0,1	0,7
1168 — 1651	0	0	0	0
1651 — 2000	0	0	0	0
Totaal . . . . .	100,-	100,-	100,-	100,-
Humus } op droge stof . . . .	3,7	2,3	1,4	0,2
CaCO <sub>2</sub> }	0	0	0	0

TABEL II. *Berekening van het specifieke oppervlak van de fractie met deeltjes  $< 2 \mu$ .*

Subfracties in $\mu$ 's.	Zeekleigrond.			Rivierkeigrond.			Leemgrond.			Keileemgrond.		
	Gehalte in %.	U-sub-fracties.	$\Delta$ U.	Gehalte in %.	U-sub-fracties.	$\Delta$ U.	Gehalte in %.	U-sub-fracties.	$\Delta$ U.	Gehalte in %.	U-sub-fracties.	$\Delta$ U.
	2	9,8	7 214	707	11,3	7 214	815	10,0	7 214	721	5,4	7 214
1	18,6	16 370	3 045	23,6	16 370	3 863	14,4	16 370	2 357	26,2	16 370	4 289
0,4	12,1	36 070	4 364	8,4	36 070	3 030	8,1	36 070	2 922	13,7	36 070	4 942
0,2	19,8	72 140	14 284	26,1	72 140	18 228	30,0	72 140	21 642	28,5	72 140	20 560
0,1	15,2	132 900	20 201	10,0	132 900	13 290	10,8	132 900	14 353	13,7	132 900	18 207
0,058—0,048	2,6	189 800	4 935	11,8	189 800	22 396	13,6	189 800	25 813	12,5	250 700	31 338
0,048	21,9	315 600	69 116	8,8	261 300	22 994	13,1	252 700	33 104	(0,032)	—	—
Totaal . . .	(0,022)	—	116 652	100	—	85 216	100	—	100 912	100	—	79 726
U totaal uit sommatiecurve (1ste methode) . . . . .	—	—	112 544	—	—	83 458	—	—	102 287	—	—	80 279

Subfracties.	Kwarts.			Subfracties.			Kaoline.		
	Gehalte in %.	U-sub-fracties.	$\Delta$ U.	Gehalte in %.	U-sub-fracties.	$\Delta$ U.	Gehalte in %.	U-sub-fracties.	$\Delta$ U.
2	61,4	7 214	4 429	2	—	13,8	7 214	7 214	996
1	32,0	16 370	5 238	1	—	43,1	16 370	16 370	7 055
0,4—0,24	6,6	32 630	2 154	0,4—0,2	—	32,8	36 070	36 070	11 831
Totaal . . .	100	—	11 821	0,2—0,112	—	10,3	67 760	67 760	6 979
U totaal uit sommatiecurve (1ste methode) <sup>2)</sup>	—	—	11 296	Totaal . . .	—	100	—	—	26 861

<sup>1)</sup> De tusschen haakjes geplaatste cijfers in de 2de, 5de, 8ste en 11de kolom geven de onderste grenzen van de doorsneden van de deeltjes in de betreffende gronden aan. <sup>2)</sup> Berekend met behulp van vergelijking 8.

matiekurve op de reeds eerder besproken wijze gevonden. De onderste grens van de deeltjes van de fractie, kleiner dan  $2\mu$  van het kwarts- en kaolinepreparaat, werd berekend uit de ligging van het scheidingsvlak tusschen een heldere bovenste laag en de troebele suspensie daaronder. Dat dit scheidingsvlak, dat scherp afgeteekend was, nu wel (de cylindere waren met gummi-stoppen zorgvuldig afgesloten) de berekening van de onderste grens van de deeltjesgrootte toelaat, wordt hierdoor bewezen, dat in de heldere laag het gehalte aan deeltjes slechts klein was, nl. kleiner dan 1 %, hetgeen binnen de foutengrenzen ligt.

In figuur 3 zijn bij wijze van voorbeeld de sommatiekurven getrokken van de fracties, kleiner dan  $2\mu$  van de genoemde gronden en wel in een  $y : \log m$  diagram. Hieruit ziet men, dat de krommen slechts zwak gebogen lijnen zijn. Deze sommatiekurven in een  $y : m$  diagram (zie fig. 4) zijn daarentegen sterk gebogen lijnen. Hieruit volgt dus, dat de functie van de sommatiekurve van deze fracties meer die van formule 9, dan die van formule 3 volgt.

Met behulp van de eerste methode voor de berekening van  $U$  in het derde — in hoofdstuk II behandelde — voorbeeld zijn nu, zoowel voor de 4 fracties met deeltjes kleiner dan  $2\mu$  van gronden, als voor dezelfde fracties van het kwarts- en kaolinepreparaat de  $U$ -waarden berekend. Tevens is dat op de derde methode van het bovengenoemde derde voorbeeld gedaan (zie hoofdstuk II). De resultaten zijn in tabel 2 vermeld. Vergelijkt men deze op beide methoden berekende specifieke oppervlakken (zie voor den zeelegrond ook hoofdstuk II), dan ziet men, dat de verschillen slechts klein zijn en wel, in procenten op het gemiddelde van de op beide methoden berekende specifieke oppervlakken uitgedrukt, bedragen resp.: 1,8; 1,1; 0,7; 0,3; 2,3 en 0,4 %. Deze verschillen zijn gering. Zelfs bij de kwartsfractie, ofschoon hier de functie van de sommatiekurve meer die van vergelijking 3 nadert. (De afwijking van 2,3 % is hier uit den aard der zaak het grootste). Deze geringe verschillen vinden hun oorzaak in het feit, dat de grenzen van de subfracties niet ver uiteenliggen. *De conclusie kan dan ook worden getrokken, dat men bij de berekening van de specifieke oppervlakken van grondfracties en natuurlijk ook van het totale minerale korrelcomplex van den grond de laatstgenoemde methode mag toepassen, wanneer de grenzen van de subfracties althans niet te ver uiteen liggen. Zoals reeds is medegedeeld, beteekent dit een zeer groote tijdsbesparing, wanneer men bij de analyses althans steeds dezelfde subfracties kiest.*

Verder moet nog de aandacht op de volgende twee kwesties gevestigd worden, nl. 1°. dat in het bovenstaande is aangenomen, dat de maximale peptisatie door de beschreven voorbewerking is bereikt. Dit is echter uit den aard der zaak niet bewezen. Voor de deeltjes grooter dan  $2\mu$  van den leem-



en keileemgrond is dit voor het grootste gedeelte zeker het geval, daar onder het microscoop geen complexe korrels meer te onderscheiden waren. Bij den rivier- en den zeekleigrond is dit echter zeker niet het geval en vooral bij de grovere deeltjes boven  $43 \mu$  is dit heel duidelijk onder het microscoop te zien. Deze deeltjes hebben echter alle een afgeronden vorm (soms bijna bollen) en zijn alle donkerbruin van kleur (ijzeroxyde). Neemt men nu verder in aanmerking, dat de voorbereiding met HCl en  $H_2O_2$  tot één van de meest intensieve behoort, dan volgt hieruit, dat deze deeltjes blijkbaar zoo sterk samengekit zijn, dat ze verder niet te splitsen zijn zonder al het ijzeroxyde op te lossen. Deze korrels moeten voor de berekening van het uitwendig oppervlak, dit is immers het specifieke oppervlak, als enkelvoudige korrels worden beschouwd. Voor de fractie, kleiner dan  $2 \mu$ , kan men de vraag, of de maximale peptisatie werd bereikt, nog op deze wijze onderzoeken, dat na de voorbehandeling met  $H_2O_2$  en HCl en na het uitwasschen op een filter tot chloorvrij, deze suspensie nog aan een electro-dialyse wordt onderworpen, waarna  $NH_4OH$  wordt toegevoegd en gedurende enkele dagen wordt geroteerd. Deze proeven zullen ter gelegener tijd nog eens worden genomen (zie noot 4). Door genoemde voorbereiding lijkt mij dan echter de maximale peptisatie bereikt. Eventueel dan nog aanwezige complexe deeltjes moeten voor de berekening van het specifieke oppervlak als enkelvoudige deeltjes worden beschouwd. Mochten ondanks deze voorbereiding toch nog vele complexe deeltjes voorkomen, dan moet naast het uitwendige oppervlak op een groot inwendig oppervlak worden gerekend. Dit laatste kan natuurlijk ook nog door een bepaalde inwendige structuur optreden.

In de tweede plaats kan men de vraag stellen of nu werkelijk de kleinste deeltjes in gronden een doorsnede van  $20$  à  $30 m\mu$  hebben, daar deze doorsnede door extrapolatie — hoe verantwoord ook — is verkregen. Men zou dit kunnen bewijzen door in de  $20$  cc uitgepipetteerde fijnste fractie, naast het droge stofgehalte, de gemiddelde deeltjesgrootte te bepalen door uittelling met behulp van een ultramicroscoop. Deze gemiddelde deeltjesgrootte is ook te berekenen uit de sommatiekurve van deze fijnste fractie (geëxtrapoleerd gedeelte), waarbij dan natuurlijk overeenstemming tusschen de op beide methoden verkregen waarden moet bestaan. Daar wij echter niet in het bezit zijn van een ultramicroscoop, kon dit bewijs niet geleverd worden.

Tenslotte wil ik dit artikel besluiten met er op te wijzen, dat de geheele pipetanalyse van de fractie, kleiner dan  $2 \mu$ , in zeer veel korteren tijd (enkele uren) kan worden uitgevoerd, wanneer gebruik gemaakt wordt van een daarvoor geschikte centrifuge, terwijl daarbij bovendien de gehalten aan nog fijnere fracties kunnen worden bepaald. Een goeden indruk van de eischen,

waaraan een daarvoor geschikte centrifuge moet voldoen, krijgt men bij de bestudeering van de artikelen van The Svedberg en zijn leerlingen (6) over de bepaling van de verdeelingskurven van polydisperse systemen en wat daarmee samenhangt. Hierbij moet natuurlijk in rekening worden gebracht, dat de grondsuspensies wel zeer hetero-disperse systemen zijn. Hieruit volgt, dat aan de centrifuge betrekkelijk bescheiden eischen kunnen worden gesteld wat betreft de maximale rotatiesnelheid ( $\pm 10\ 000$  toeren per minuut zijn in elk geval voldoende). Anderzijds moet echter deze rotatiesnelheid zeer goed regelbaar en reproduceerbaar zijn, daar de totale fractie kleiner dan  $2\ \mu$  toch nog minstens in 6 subfracties moet worden onderverdeeld. Verder moet de motor direct aan de centrifuge zijn gekoppeld, ter vermindering van onbekenden slip bij snoeroverbrenging. Is aan deze voorwaarden voldaan, dan kan nl. de uitwerking der resultaten ten zeerste worden vereenvoudigd. Ten slotte spreekt het vanzelf, dat ook voldoende zorg aan het constant houden van de temperatuur in de eigenlijk centrifuge-ruimte moet worden besteed, daar bij gewone centrifuges de temperatuur sterk tijdens het centrifugeeren kan stijgen.

Wat tenslotte de uitvoering van de feitelijke bepaling zelf betreft, moet aan het principe van de pipetanalyse worden vastgehouden, daar het door THE SVEDBERG en leerlingen gevolgde systeem voor ons doel te ingewikkeld en tijdrovend is. Dit heeft echter tot gevolg, dat de centrifugebekers — met de vorm van een cirkel-sector, daar het krachteveld vanuit de centrifuge-as straalsgewijs verloopt — bij stilstaan van de centrifuge weer een vertikalen stand moeten aannemen. Verder moeten deze bekers gesloten kunnen worden, zoo mogelijk doorzichtig zijn en minstens een inhoud van 50 cc hebben, terwijl de afstand van het vloeistofoppervlak en van het vlak, waaruit de vloeistof wordt gepipetteerd, tot de rotatieas, ook niet te klein mag zijn om het krachteveld in de kolom suspensie niet al te heterogeen te maken (7). Ook kan de totale lengte van de suspensiekolom niet te klein zijn, zoodat de fout, veroorzaakt door het Perrinsche evenwicht verwaarloosd kan worden. Een correctie daarvan voor een grooter aantal analyses is immers practisch onmogelijk. Verder kan nog worden opgemerkt, dat de concentratie van de suspensie waarschijnlijk wel niet veel boven de gebruikelijke concentratie (10 gram per L) zal kunnen worden opgevoerd. In verband met de relatief veel geringere doorsneden van de centrifugebekers moet dan ook een micropipet van hoogstens 1 cc worden gebruikt, waardoor ook een microbalans bij de bepalingen niet gemist kan worden (ook bij de gewone pipetanalyse zou met voordeel van een dergelijke, kleine pipet gebruik kunnen worden gemaakt). Een dergelijke centrifuge met toebehooren, als boven is beschreven, zal uit den aard der zaak tamelijk veel geld vragen. Is men echter eenmaal in het bezit hiervan, dan kunnen in korten tijd volledige analyses van gronden, tot de allerfijnste

