6 31.411.9 : 631.435.2

INSTITUUT VOOR
BODEMVRUCHTBAARHEID
[illegible]laan Hallstraat 3 – GRONINGEN

GEOLOGIE EN MIJNBOUW (NW SER.) 18e JAARGANG, PAG. 287 - 311 OKTOBER 1956

BIBLIOTHEEK
INSTITUUT VOOR
BODEMVRUCHTBAARHEID
GRONINGEN

SEPARAAT
No. 24760

DE KORRELGROOTTE-VERDELING VAN DE KEILEEM EN HET PROGLACIALE ZAND

N. A. DE RIDDER [1] en A. J. WIGGERS [2]
met medewerking van A. DEKKER [1]

SUMMARY: THE MECHANICAL COMPOSITION OF THE BOULDER CLAY AND THE PROGLACIAL SANDS

The authors studied the mechanical analyses of a large number of samples of boulder clay and proglacial sands from different localities in the Netherlands. The analyses are available in the archives of the Agricultural Experiment Station and Institute for Soil Research T.N.O. Groningen. In this paper a description is given of the set-up of these archives.

The normal boulder clay of Rissglacial age, appears to have a very uniform mechanical composition, not only in a few regions already previously investigated, but throughout the whole extent of that part of the country, that has been glaciated. The curves of most of the 170 analyses plotted on probability paper (Doeglas, 1941) are practically covering each other and are showing a great similarity to those of river clays.

Apart from this normal boulder clay it is revealed that still another boulder clay exists, entirely different from the normal one. De Waard (1949) discovered it for the first time in the Noordoostpolder.

The mechanical composition of this second boulder clay is very uniform, though quite different from the normal one. Characteristics of this boulder clay are the deep red colour, high $CaCO_3$ content and high content of clay plus silt separate (particles $< 16\ \mu$). One of the results of this study has been the discovery of several localities in our country where a red boulder clay occurs with quite the same mechanical composition of the one discovered by De Waard in the Noordoostpolder.

In the east of the Netherlands still a third type of boulder clay occurs, of which the mechanical composition varies within wide limits. The content of clay plus silt in our samples may vary between 20 and 92 %. Probably this is due to an admixture of Tertiary clay and sand deposits from the subsoil with normal boulder clay as in these regions Tertiary deposits are lying near or at the surface.

The very uniform mechanical composition of the normal boulder clay may be the result of an intensive kneading and mixing of the material by the ice.

In the fourth part of this paper a description is given of the " micropipetanalysis", introduced by the late Dr. Hooghoudt (1945). This method of analysis has enabled us to determine the mechanical composition of the clay separate (Dutch: lutum, particles $<$ 2 micron) of several soils with the subfraction $<$ 1/16 micron as group of smallest particles. Of about 60 samples of boulder clay the mechanical composition of the fractions 0—2 micron and 0—16 micron has been determined.

In order to compare the results, the ratios of the separate grain size fractions have been calculated. From these ratios it appears that the mechanical composition of the fractions 0—2 and 0—16 micron is, within certain limits rather constant. The ratios 0—2/0—16 are about 60 to 70 %, which correspond to those of the young sea clay soils along the Dutch coast.

The mechanical composition of the proglacial sands, which are near the bottom of the boulder clay, is also relatively uniform. This could be concluded from the curves of many samples collected from a few localities in the provinces of Drente and Groningen. Most of the curves show that the material is well-sorted. Particles larger than 200 micron and gravel are lacking, except in a few samples. The mechanical composition of these sands is showing a remarkable similarity to that of the fine-grained aeolian cover sands of Würmglacial age in our country.

The former conception of a fluvioglacial origin of the proglacial sand cannot be maintained. An aeolian or niveo-aeolian origin is more likely, although a small content of larger particles in a few samples indicates, that another way of sedimentation is not excluded in certain circumstances.

[1] Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen.

[2] Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), Bodemkundige Afdeling, Kampen.

INHOUD

blz.

Inleiding 288

I. *De indeling van het Archief voor granulometrisch onderzoek* 288

II. *De korrelgrootte-verdeling van de keileem in Nederland* 289

1. Inleiding 289
2. Literatuuroverzicht 289
3. Herkomst van het monstermateriaal . 290
4. Resultaten van de korrelgrootte-analyses 290
   a. Normale keileem 292
   b. Schollenkeileem 293
   c. Oostnederlandse keileem 294
   d. Afwijkende keileem 295
5. De granulometrische samenstelling van de slib- en lutumfractie 295
6. Beschouwingen naar aanleiding van de verkregen resultaten 297

III. *Korrelgrootte-analyses van premorenale of proglaciale zanden* 297

1. Inleiding 297
2. Literatuurgegevens over het premorenale of proglaciale zand 298
3. De herkomst van de gegevens 299
4. De resultaten van het granulometrisch onderzoek 299
   a. Boring Oranjedorp 299
   b. Boringen Eelde 300
   c. Boring Rolde 302
   d. Noordoostpolder 302
5. Bespreking van de resultaten 303

IV. *Bepaling van de granulometrische samenstelling van de grond volgens de micropipetmethode* 304

1. Inleiding 304
2. Werkwijze 306
   a. Voor gronden met minder dan 10 % organische stof 306
   b. Werkwijze voor gronden met meer dan 10 % organische stof 308
3. Nauwkeurigheid van de micropipetmethode 308
4. Rekenvoorbeeld 309

Samenvatting 309

Bibliografie 310

INLEIDING

In de loop der jaren werd door het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen en door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek een groot aantal monsters van zeer uiteenlopende grondsoorten en geologische formaties granulometrisch onderzocht. Door De Vries (1942) werd uit de rijke schat van gegevens een aantal analyseresultaten bewerkt tot zijn zo bekend geworden publikatie: „De granulaire samenstelling van Nederlandse grondsoorten". Ook door De Jong (1951) werd voor de samenstelling van zijn bijdrage over de korrelgrootte-verdeling van het duin- en zeezand geput uit dit overvloedige materiaal.

Vooral in de naoorlogse jaren is het aantal gegevens snel aangegroeid. Teneinde het materiaal voor bewerking gemakkelijker toegankelijk te maken, werden in de jaren 1949 en 1950 onder leiding van Wiggers, destijds verbonden aan het Landbouwproefstation, de analyse-resultaten op ponskaarten in het archief voor granulometrisch onderzoek overgebracht. De inrichting van dit archief zal hier in het kort besproken worden.

Als voorbeeld van bewerking werden door de auteurs de keileem en het proglaciale of premorenale zand gekozen. Het proglaciale zand werd door Wiggers, de keileem door De Ridder bewerkt. Bij de keileem bestond behoefte enige gegevens over de korrelgrootte-verdeling van de lutumfractie (deeltjes < 2 micron) te vermelden. Behalve van de keileem, zijn echter ook van verschillende andere sedimenten reeds vrij veel gegevens over de samenstelling van het lutum bekend. Een publikatie over de korrelgrootte-verdeling van de mariene kleigronden is in voorbereiding.

De analysetechniek, die het mogelijk maakt de subfracties van de lutumfractie tot 1/16 micron te bepalen, werd door Hooghoudt (1948) ontwikkeld, maar door zijn overlijden tot nog toe niet gepubliceerd. Als bijlage wordt daarom een beschrijving van deze „micropipetanalyse" door A. Dekker, laboratoriumassistent A aan het Landbouwproefstation, in dit artikel opgenomen.

I. DE INDELING VAN HET ARCHIEF VOOR GRANULOMETRISCH ONDERZOEK

Tot voor enige tijd waren de resultaten van het granulometrisch onderzoek weliswaar nauwkeurig vastgelegd, doch dit geschiedde slechts naar volgorde van binnenkomst der monsters. Enige ordening van het materiaal, b.v. naar herkomst van de monsters, ontbrak geheel. Het bijeenzoeken van de analyse-resultaten van bepaalde afzettingen of grondsoorten voor verdere bewerking was dan ook een tijdrovende bezigheid. Teneinde de gegevens sneller en gemakkelijker te kunnen verzamelen, werden door Wiggers in de jaren 1949 en 1950 de analyseuitkomsten van het granulometrisch onderzoek overgebracht op ponskaarten.

De gegevens kunnen in twee groepen worden onderscheiden:

(1) gegevens opgenomen op de hoofdkaart, in hoofdzaak sorteergegevens omvattende;

(2) gegevens opgenomen op de volgkaart, betrekking hebbende op de granulometrische samenstelling.

De sorteergegevens van een monster omvatten o.a. het monsternummer, de laagdiepte, de gemeente van herkomst, de aanduiding op de topografische kaart 1:25000, het betreffende onderzoek, alsmede de geologische formatie. Voorts zijn op de hoofdkaart opgenomen de resultaten van enkele analyses, zoals het koolzure kalk-, het humus-, het grind-, het zand- en slibgehalte, de pH, het U-cijfer van de zandfractie, een bepaald M-cijfer, en de lutum/slibverhouding. Op de tweede kaart, de „volgkaart", werden de volledige resultaten van het korrelgrootte-onderzoek van het monster, dus de verdeling over de fracties en subfracties, aangegeven.

Vele dezer gegevens moesten vanzelfsprekend in code worden opgenomen. De analyse-uitkomsten van ca. 40000 grondmonsters werden op deze wijze op ponskaarten overgebracht.

Het is nu mogelijk om langs mechanische weg het materiaal te sorteren, wat snel, gemakkelijk en vrijwel feilloos geschiedt. Voor het bijeenzoeken van gegevens over het proglaciale zand en de keileem werd dan ook van deze mechanische sortering gebruik gemaakt.

II. DE KORRELGROOTTE-VERDELING VAN DE KEILEEM IN NEDERLAND

1. *Inleiding*

De grondmorene in ons land is in de loop der jaren reeds in velerlei opzicht bestudeerd. Weinig aandacht werd echter tot nog toe besteed aan het onderzoek naar de korrelgrootteverdeling van deze markante glaciale afzetting. Voor een belangrijk deel zal de oorzaak hiervan wel gelegen zijn in de zeer wisselende samenstelling van het materiaal, dat immers kan variëren van uiterst fijn gesteentemeel, via zand tot stenen van respectabele afmetingen. Het merkwaardige hierbij is, dat deze bestanddelen vaak naast elkaar voorkomen en van enigerlei sortering en gelaagdheid van het materiaal geen sprake is.

In dit hoofdstuk beperken wij ons tot een bespreking van de korrelgrootte-verdeling van de kleiïge facies van de grondmorene. De zandige facies, het grind en de stenen blijven hier dus buiten beschouwing.

2. *Literatuuroverzicht*

Het aantal publikaties, dat betrekking heeft op de granulometrische samenstelling van de keileem in ons land, is zeer schaars. Bovendien hebben de weinige, oudere korrelgrootte-gegevens het grote nadeel, dat zij als gevolg van de veelal sterk afwijkende fractiegrenzen, moeilijk met de nieuwe analyse-resultaten vergelijkbaar zijn. Als zodanig bezitten deze oudere analyses voor dit onderzoek weinig waarde. In dit verband kunnen de namen van onderzoekers als Van Calker, Leopold en Van Baren genoemd worden.

De Vries (1942) bespreekt de resultaten van een granulometrisch onderzoek op 17 keileemmonsters uit enkele gebieden van Nederland. Het merkwaardige bij deze monsters was, dat ruim de helft zich tot een aparte groep liet afsplitsen en een eigen type bleek te vertegenwoordigen. Daarnaast kwamen monsters voor, die o.a. door hun aanzienlijk hoger gehalte aan afslibbare delen een afwijkende korrelgrootte-verdeling bleken te bezitten, maar die overigens geen eng begrensde groep vormden. De auteur wijst er dan ook op, dat het van belang zal zijn bij verder onderzoek na te gaan of er inderdaad een engere groep bestaat, die mogelijk een bepaalde vormingswijze heeft en of de monsters van afwijkende korrelgrootte-verdeling wellicht geen „echte" keileem zijn.

De Waard (1949) onderzocht o.a. de granulometrische samenstelling van een groot aantal keileemmonsters uit de Noordoostpolder en kwam daarbij tot de conclusie, dat er in dit gebied tenminste twee scherp van elkaar te onderscheiden keileemsoorten voorkomen. De verschillen in de aard van de keileem en van de zwerfsteengezelschappen waren evenwel ook vroegere onderzoekers reeds opgevallen, wat aanleiding gaf tot veronderstellingen, dat het landijs in verschillende ijstijden ons land overdekt zou hebben. De beide keileemtypen bleken echter in de Noordoostpolder steeds òp of nàast elkaar voor te komen, maar nooit waren deze door een interglaciale afzetting gescheiden. De Waard nam dan ook niet meer dan één ijsbedekking aan, maar voerde het begrip „glaciale schollen" in. Naast de zgn. normale keileem afgezet in het Rissglaciaal, onderscheidde hij de „schollenkeileem", die een Mindelouderdom zou bezitten. Deze „Mindelschollen" zouden door het ijs uit de Risstijd ergens ten noordoosten van ons land uit de ondergrond opgenomen en verder getransporteerd zijn.

Bij het korrelgrootte-onderzoek bleek, dat de „normale keileem" in verschillende stadia van verwering een zeer constante samenstelling bezit, met ongeveer 25 % afslibbare delen. Vermenging treedt op in het grensgebied van de keileem en het proglaciale zand.

De „schollenkeileem", die door zijn typische rode kleur, zwerfsteeninhoud en gehalte aan koolzure kalk reeds duidelijk van de „normale keileem" verschilt, bleek eveneens een zeer constante granulometrische samenstelling te bezitten,

die echter duidelijk afweek van die van „normale keileem". Het gehalte afslibbare delen bedroeg meer dan 50 %. Merkwaardigerwijze bleek in het grensgebied van de normale- en de schollenkeileem geen vermenging te zijn opgetreden. Het op meer dan 100 plekken voorkomen van deze „abnormale" keileemsoort in de Noordoostpolder deed De Waard het vermoeden uiten, dat deze keileem ook elders in ons land gevonden zou kunnen worden.

Koning (1950) deelt mede, dat bij een granulometrisch onderzoek van sedimenten uit de Waddenzee, de korrelgrootte-verdeling van de keileemmonsters uit dit gebied een karakteristiek uniform beeld vertoonde, dat volkomen identiek was met de door De Vries (1942) gepubliceerde curven.

Ook de buitenlandse literatuur is niet bijzonder rijk aan gegevens over de korrelgrootteverdeling van keilemen. De veelal afwijkende fractie-indeling maakt ook hier vergelijking zeer moeilijk. Bovendien hebben de analyses meestal op de gehele grondmorene betrekking. In dit verband kunnen de namen van onderzoekers als K. Richter (1933), B. Aarnio (1938), E. K. Kivekäs (1946) en H. Wascher en E. Winters (1938) genoemd worden.

Bj. Järnefors (1952) onderzocht een keileemafzetting in Noord-Zweden sedimentpetrologisch, maar geeft ook de resultaten van een granulometrisch onderzoek van enige keileemmonsters uit twee verschillende lagen in dit gebied weer. De korrelgrootte-verdeling van beide lagen bleek duidelijke verschillen te vertonen. Het percentage afslibbare delen was echter opvallend laag. Uit het onderzoek kon Järnefors tot twee verschillende stromingsrichtingen van het ijs besluiten.

Dreimanis en Reavely (1953) bestudeerden de keileem langs de noordelijke oever van het Eriemeer, waar drie keileemlagen gescheiden door gelaagde afzettingen waren aangetroffen. Van deze keilemen werden de kleifractie (< 0.005 mm), de siltfractie (0.05—0.005 mm) en de zandfractie bepaald. Naast het chemisch en mineralogisch onderzoek, was de granulometrische analyse van grote waarde om de keilemen te karakteriseren. Op grond van hun gehalte aan koolzure kalk was geen onderscheiding mogelijk.

V. C. Shepps (1953) onderzocht de keilemen in noordoost Ohio granulometrisch en kon op grond hiervan drie groepen onderscheiden, die elk met een bepaalde glaciatie te correleren waren.

Krumbein (1933) had reeds eerder op de mogelijkheid gewezen om met behulp van korrelgrootte-onderzoek de verschillende keileemafzettingen te correleren.

Uit het bovenstaande is af te leiden, dat de keileemafzettingen in de enkele gebieden, die onderzocht werden, in de meeste gevallen een eigen, karakteristieke korrelgrootte-verdeling blijken te bezitten. Dit maakt het mogelijk de verschillende keileemafzettingen van elkaar te onderscheiden en eventueel met een bepaalde glaciatie te correleren. Lokale verschillen in de korrelgrootte-verdeling van een keileem komen soms voor, maar zijn vermoedelijk terug te brengen tot primaire verschillen in de samenstelling van het uit de grond opgenomen materiaal.

3. *Herkomst van het monstermateriaal*

De monsters werden in de loop der jaren bij verschillende gelegenheden uit groeven of ondiepe boringen verzameld. Ruim 90 keileemmonsters zijn afkomstig uit de Noordoostpolder en werden destijds bij geologische en bodemkundige karteringen genomen. Het granulometrisch onderzoek van deze monsters vond plaats in het Bodemkundig Laboratorium der Noordoostpolderwerken te Kampen.

In het archief voor granulometrisch onderzoek van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen bleken inmiddels gegevens aanwezig te zijn van ca. 80 keileemmonsters van zeer verspreide plekken in Nederland.

Teneinde het materiaal aan te vullen, in het bijzonder uit die gebieden, waarvan geen of zeer weinig gegevens bekend waren, werden door ons nog ruim 30 monsters verzameld te Havelte, Veenhuizen, Willemsoord, Vollenhove, de Veluwe[3] en Texel[3] en te Groningen geanalyseerd. In totaal kwam het aantal monsters hierdoor op 204.

Op het overzichtskaartje van Nederland (fig. 1) is de ligging der diverse monsterplekken aangegeven. Ieder driehoekje stelt de plaats voor waar één, maar in de meeste gevallen, verscheidene monsters genomen werden.

4. *Resultaten van de korrelgrootte-analyses*

Bij een eerste algemene beschouwing van de analysetabellen en van de beschrijving der monsters werd het duidelijk, dat de keileem in ons land grote verschillen in samenstelling en ge-

[3] Gaarne betuigen wij onze dank aan L. A. Æ. van Eerde, die een zestal keileemmonsters van Texel voor ons onderzoek ter beschikking stelde en aan G. C. Maarleveld, die zo vriendelijk was behulpzaam te zijn bij de bemonstering van de schaarse en meestal weinig bekende keileemvindplaatsen van de Veluwe.

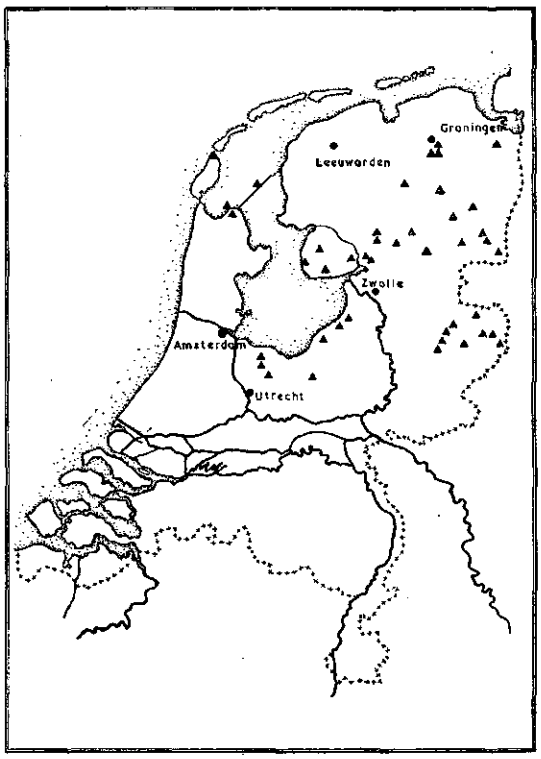

Fig. 1 — Vindplaatsen van de bewerkte keileemmonsters.

aardheid kan vertonen. Naast een bonte verscheidenheid in kleur en een wisselend gehalte aan koolzure kalk, bleek ook het gehalte afslibbare delen aan grote schommelingen onderhevig. Dit laatste variëerde van 15—90 %.

Naar aanleiding van het merkwaardige feit, dat De Vries (1942) uit het destijds weliswaar geringe analysemateriaal een eng begrensde groep wist af te splitsen en De Waard (1949) in de Noordoostpolder naast normale keileem de zg. schollenkeileem kon onderscheiden, werd getracht het huidige materiaal eveneens zo mogelijk in groepen van een bepaald keileemtype te scheiden. Tot dit doel werd gebruik gemaakt van het door Krumbein (1933) voorgestelde „scatterdiagram" (fig. 2). In dit diagram wordt de mediaanwaarde lineair uitgezet tegen de quartieldeviatie of sorteringsgraad. Deze laatste werd berekend uit de quartielwaarden Q_1 en Q_3 volgens de formule

$$S = \frac{Q_3 - Q_1}{2}.$$

De quartielwaarden werden uit de sommatiecurven afgeleid. Op deze wijze was het mogelijk het materiaal duidelijk in twee groepen te splitsen. Uit de beschrijvingen van de monsters, voorzover aanwezig, was af te leiden, dat de in de rechterbovenhoek gelegen punten tot het type normale keileem behoorden. Een groot aantal

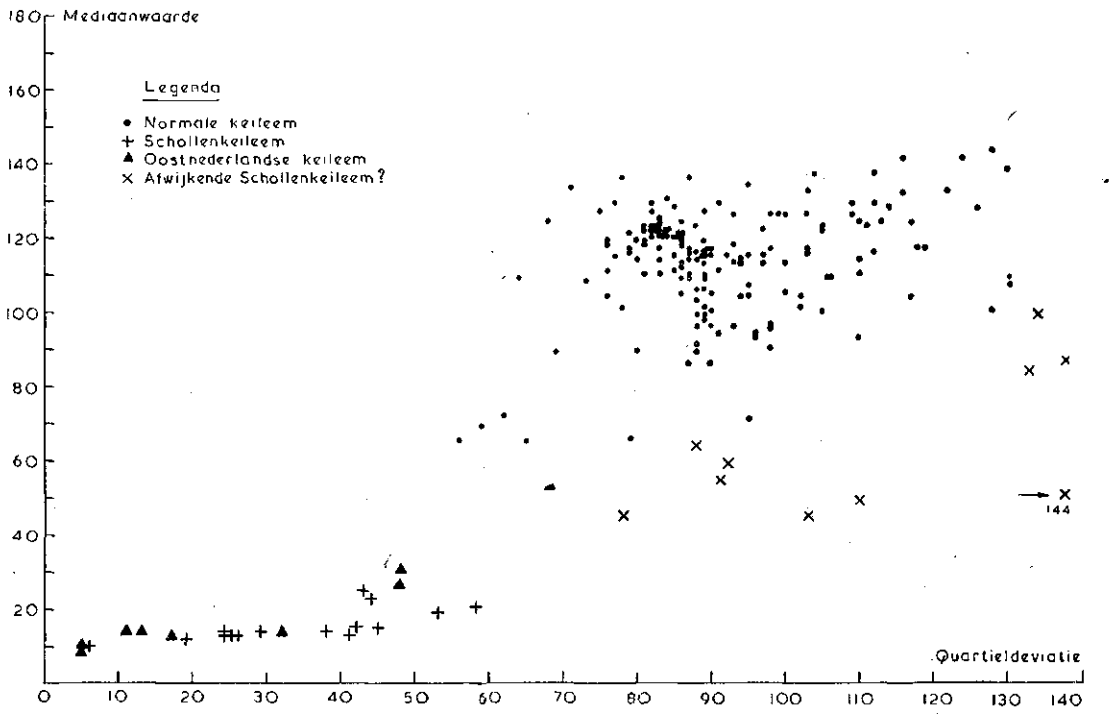

Fig. 2 — Groepering van de verschillende keileemtypen volgens het „scatterdiagram" van Krumbein (1933).

monsters was namelijk beschreven als grijze, grijsbruine, roodbruine, blauwgroene, lichtgroene, grijsgroene tot grijszwarte keileem. Het gehalte afslibbare delen wisselde van 15—32 %, dat aan koolzure kalk van 0—25 %.

De monsters in de linkerbenedenhoek van het diagram bleken twee typen te vertegenwoordigen. De met een + aangeduide monsters waren volgens de beschrijving rood gekleurd en bestonden uit een zware keileem met een gehalte aan afslibbare delen boven 45 %. Het gehalte aan koolzure kalk variëerde van 0—25 %. De overige met een △ aangegeven monsters waren alle uit Oost-Nederland afkomstig, o.a. uit Markelo, Rijssen en Oldenzaal. Het percentage afslibbare delen wisselde van 39—92 %, terwijl de koolzure kalk in alle monsters ontbrak. Wat dit tweede type betreft hebben wij ongetwijfeld te doen met schollenkeileem. Het derde type vertegenwoordigt de oostnederlandse keileem. Zoals uit de ligging der punten blijkt, zijn beide laatste typen niet van elkaar te onderscheiden in dit diagram.

Tenslotte moet gewezen worden op de ligging van een 10-tal monsters aan de uiterste grens van het gebied der normale keileem. Deze punten liggen buiten het gebied der schollen- en oostnederlandse keileem, maar vallen ook buiten de puntenconcentratie van het normale type. Merkwaardig is, dat deze monsters rood getint waren en in de groeve deden denken aan schollenkeileem. Het betreft hier monsters uit Havelte, Crailo, Ermelo en Groningen. Drie van de zes monsters uit Havelte vielen in het gebied van de schollenkeileem, de overige drie kwamen er ver buiten te liggen. Toch was op het eerste gezicht tussen deze monsters geen verschil te zien, daar alle zes intensief rood gekleurd waren en uit een taaie leem bestonden met volgens de analyses een gehalte aan afslibbare delen variërend van 30—45 %.

Samenvattend kunnen dus op grond van het beschikbare materiaal voorlopig drie keileemtypen in ons land onderscheiden worden: (1) normale keileem, (2) schollenkeileem en (3) oostnederlandse keileem.

a. *Normale keileem.* — Figuur 3 geeft een beeld van de sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van 10 monsters „normale" keileem op het waarschijnlijkheidsnet. Het is gebleken, dat de curven van de overige monsters praktisch hetzelfde verloop hadden en in een vrij nauwe bundel kwamen te liggen. Slechts een klein aantal vertoonde een wat afwijkend beeld. Van deze laatste monsters werden de curven van twee extremen in de figuur ingetekend. De variatiebreedte van de meeste der 170 monsters bleek dus vrij klein te zijn in deze grafiek, wat betekent dat de normale keileem in ons land een praktisch constante korrelgrootte-verdeling bezit.

Wat de vorm van de curven betreft valt het op, dat deze over de gehele lengte een zwakke buiging naar links vertonen, die aan de fijne zijde bij 16 micron plotseling veel sterker wordt. Doeglas (1950) heeft erop gewezen, dat deze vorm behalve voor keileem ook voor rivierkleien karakteristiek is.

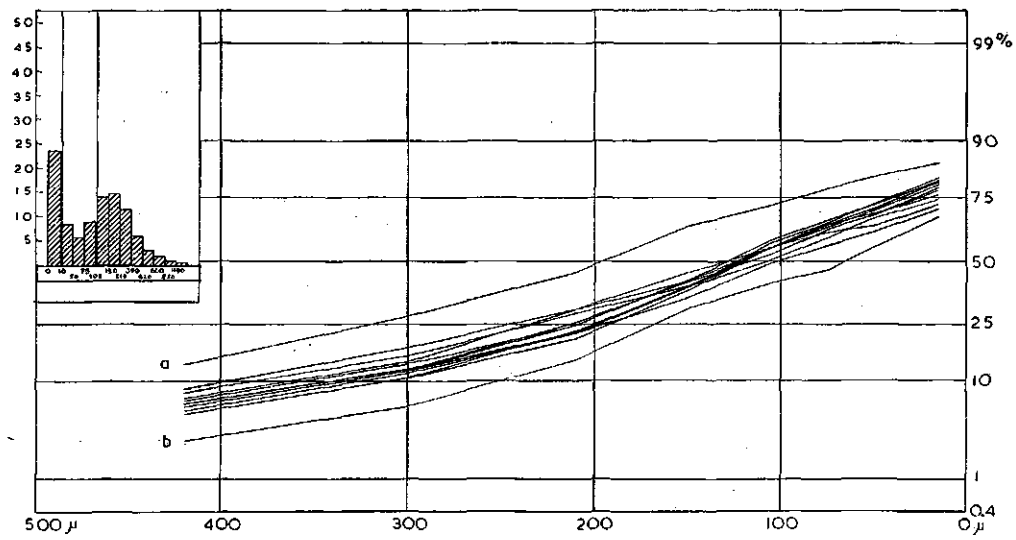

Fig. 3 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van 10 monsters normale keileem van verschillende vindplaatsen in Nederland. Curven a en b twee extremen (slibgehalte resp. 15 en 32 %). Links boven: distributiegrafiek van de gemiddelde korrelgrootte-verdeling van 170 monsters normale keileem.

In de linkerbovenhoek van figuur 3 werd de gemiddelde korrelgrootte-verdeling van de normale keileem in een distributiegrafiek weergegeven. Dit keileemtype blijkt tweetoppig te zijn. Gemiddeld bevat het materiaal 23.5 % afslibbare delen, terwijl de zandfractie een vrij brede top heeft in de subfracties 105—150 micron en 150—210 micron, die tezamen ongeveer 28 % van het materiaal bevatten. Een enkele maal is de top echter één fractie naar rechts verschoven nl. naar 150—210 micron en 210—300 micron. De beide toppen in de distributiegrafiek en de brede vorm van de top der zandfractie wijzen erop, dat het materiaal in het geheel niet gesorteerd is, in tegenstelling met sommige andere sedimenten.

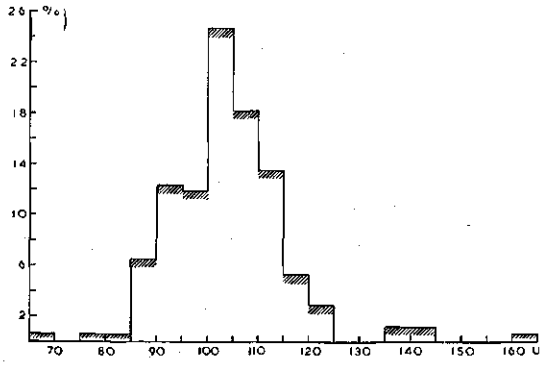

Fig. 4a — Frequentie-verdeling van U-cijfers van 170 monsters normale keileem.

Hoewel statistische constanten zoals U-cijfer, mediaan en sorteringsgraad, e.d. op zichzelf beschouwd van weinig waarde zijn om de homogeniteit van een serie monsters aan te tonen, geven wij volledigheidshalve toch de frequentiecurven van deze constanten (fig. 4a, b en c).

b. *Schollenkeileem.* — In fig. 5 zijn de curven van 15 monsters schollenkeileem ingetekend. Deze monsters zijn afkomstig uit Wieringen, N.O.Polder, Havelte, Hoge Vuursche, Haren en Groningen. Een gedeelte van deze monsters werd in het terrein als schollenkeileem herkend, o.a. het monster uit de omgeving van de Hoge Vuursche, dat door Maarleveld werd genomen, een 7-tal monsters uit de N.O.Polder, destijds door De Waard als schollenkeileem beschreven en tenslotte 3 monsters door ons bij Havelte verzameld. De overige monsters uit Wieringen, Haren en Groningen zijn bij vroegere gelegenheden genomen, maar werden als typische rode keileem beschreven.

Uit de ligging van de curven in een vrij smalle bundel komt wel zeer treffend de grote homogeniteit van deze keileemmonsters tot uiting. Van de grove fracties af tot ongeveer 105 micron, buigen de curven zeer zwak naar links, voorbij

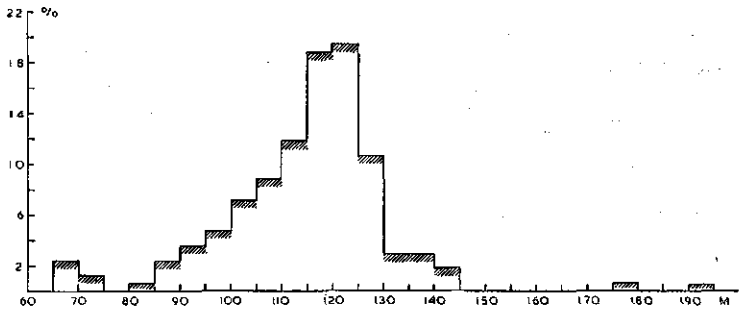

Fig. 4b — Frequentie-verdeling van de M-cijfers van 170 monsters normale keileem.

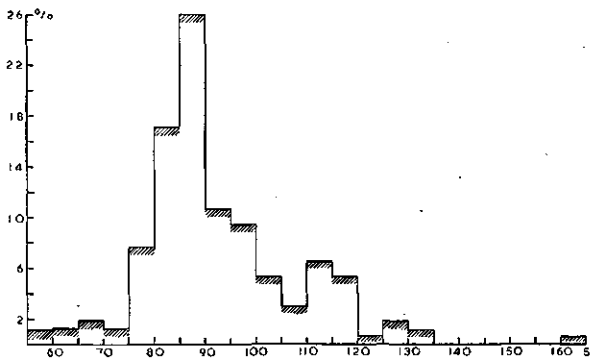

Fig. 4c — Frequentie-verdeling van de S(orterings)-cijfers van 170 monsters normale keileem.

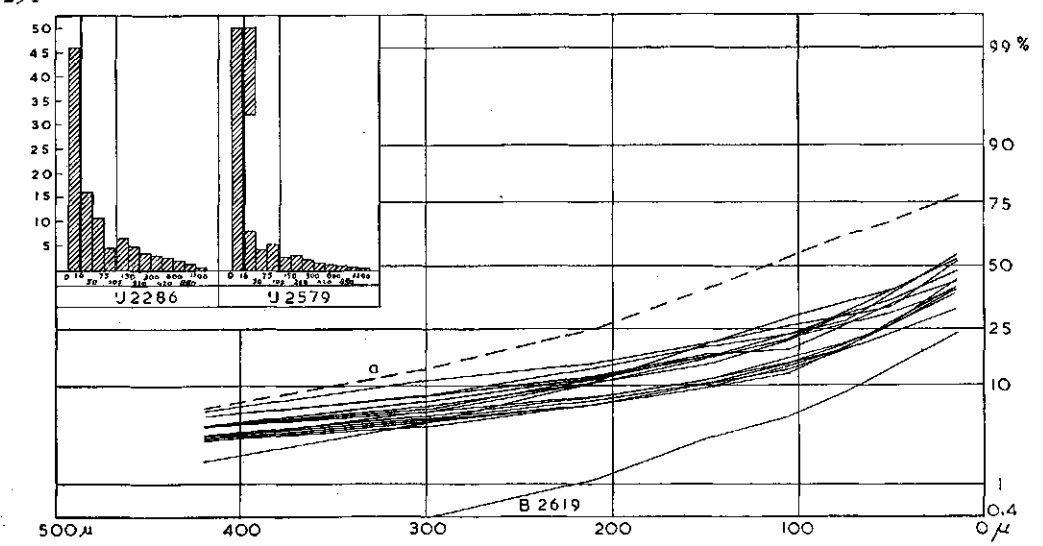

Fig. 5 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van 15 monsters schollenkeileem van verschillende vindplaatsen in Nederland. Curve a: gemiddelde korrelgrootte-verdeling van de normale keileem. Links boven: distributiegrafieken van twee extremen.

dit punt wordt de ombuiging plotseling sterker. Ter vergelijking werd de curve van de gemiddelde korrelgrootte-verdeling van normale keileem in de figuur opgenomen, waardoor het verschil tussen de beide typen duidelijk uitkomt. In de linkerbovenhoek van de figuur werden twee extremen uit de bundel in een distributiegrafiek weergegeven. Beide monsters zijn afkomstig uit de Noordoostpolder. Uit deze grafieken volgt, dat het gehalte afslibbare delen van de betreffende monsters schollenkeileem variëert van 45—68 %. Daarnaast vinden we een lage top bij 105—150 micron en bij 75—105 micron.

Uit de herkomst van de monsters en het vrijwel identieke korrelgrootte-beeld volgt, dat blijkbaar elders in Nederland keileem voorkomt, die grote overeenkomst vertoont met de door De Waard (1949) uit de Noordoostpolder beschreven schollenkeileem. Behalve de typische rode kleur, is ook het veelal hoge gehalte aan koolzure kalk hiermee in overeenstemming, zodat het materiaal dus zeer waarschijnlijk schollenkeileem is. Een onderzoek naar de mineralogische samenstelling van de zware fractie van de monsters buiten de N.O.Polder, is echter zeer gewenst.

c. *Oostnederlandse keileem.* — Figuur 6 geeft de curven der oostnederlandse keilemen. Uit de ligging van deze curven valt geen regelmaat af

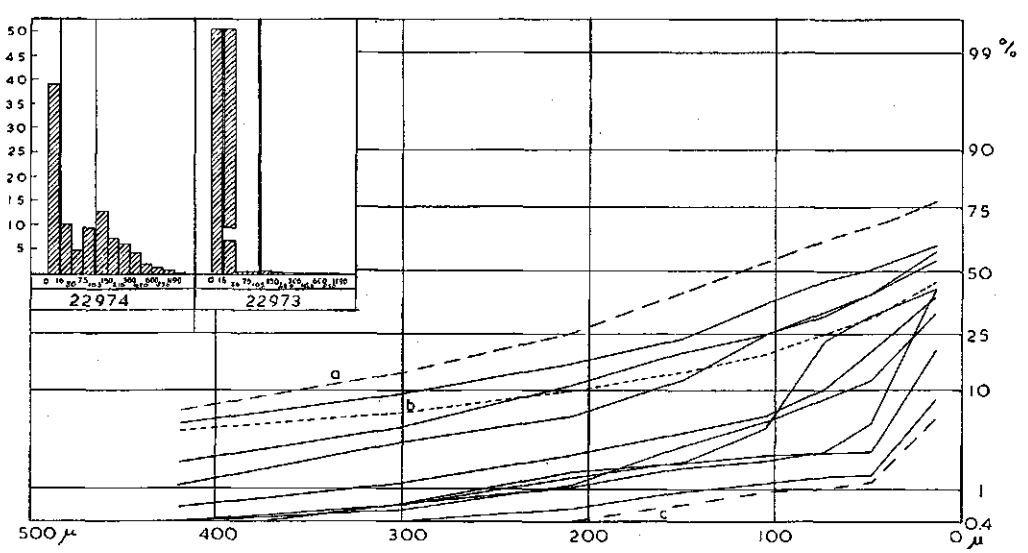

Fig. 6 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van 9 oostnederlandse keileemmonsters van verschillende vindplaatsen. Curve a = gemiddelde normale keileem, curve b = gemiddelde schollenkeileem, curve c = potklei uit de omgeving van Winschoten. Links boven: distributiegrafieken van 2 keileemmonsters met sterk wisselend slibgehalte uit Markelo.

te leiden. Slechts de bovenste drie vertonen enige overeenkomst met de curven van de normale keileem. De overige verlopen van de grove kant af aanvankelijk vrij vlak, maar buigen bij 50 micron plotseling scherp naar links. De onderste curve blijkt volkomen identiek met die van een potklei uit de omgeving van Winschoten. Dit monster, afkomstig uit Markelo, bezit een gehalte aan afslibbare delen van 91.8 % en behoort dus tot de zeer zware kleien. Wanneer men bedenkt, dat daarnaast ook keileem in Oost-Nederland aanwezig is met een normaal gehalte afslibbare delen van ongeveer 20 %, dan blijkt hieruit wel zeer duidelijk de grote heterogeniteit van de keileem in dit gebied, wat zijn korrelgrootte betreft.

d. *Afwijkende keileem.* — In het bovenstaande werd reeds gewezen op de uitzonderingspositie, die een klein aantal monsters inneemt ten opzichte van het algemene beeld. Uit de ligging van de punten in figuur 2 komt dit duidelijk tot uiting, maar ook blijkt het uit het verloop en de variatiebreedte van de sommatiecurven. Wat de normale keileem betreft schommelt het gehalte afslibbare delen meestal om de 23 %. In sommige gevallen kan dit afnemen tot ca. 15 % of toenemen tot ca. 30 %. In figuur 5 blijkt monster B 2619, dat uit het IJselmeer is gebaggerd, een typische uitzondering te vormen. Het monster werd reeds door De Vries (1942) behandeld en bleek bij nasporing nog te Groningen aanwezig te zijn. Het bezit een intensief rode kleur en bevat ongeveer 8 % koolzure kalk en 76 % afslibbare delen, alle typische kenmerken van schollenkeileem, echter met dit verschil dat het gehalte afslibbare delen aanzienlijk hoger ligt dan bij de overige monsters schollenkeileem. Daarnaast zij herinnerd aan de 10 monsters in figuur 2, die wat hun uiterlijk en taaiheid betreft aan schollenkeileem deden denken, maar die vrij van koolzure kalk waren en een gehalte aan afslibbare delen hadden, dat varieerde van 31 %—43 %. In hoeverre deze keileem inderdaad tot de schollenkeileem gerekend kan worden zal uit nader onderzoek, o.a. van de zware mineralen, moeten blijken.

5. *De granulometrische samenstelling van de slib- en lutumfractie*

Bij verschillende gelegenheden is gebleken, dat de korrelgrootte-verdeling van de slibfractie (deeltjes < 16 micron) van sommige sedimenten zeer constant is, van andere daarentegen grote variaties kan vertonen. Een juist inzicht in de granulometrische samenstelling van de slibfractie kan van betekenis zijn voor de faciesbepaling van een sediment. Zo is b.v. uit onderzoekingen van Favejee (1951) over het ontstaan der Waddensedimenten gebleken, dat het materiaal kleiner dan 25 micron, het slib in zeewater en van de zeebodem, een praktisch constante granulometrische samenstelling heeft. Voor ieder monster kan het gehalte van dit materiaal wisselen, maar de korrelgrootte-verdeling ervan, blijkt steeds dezelfde te zijn. Deze constante granulometrische samenstelling van de fractie < 25 micron ziet Favejee dan ook als een karakteristieke eigenschap van de door hem bestudeerde mariene sedimenten.

Reeds eerder was Hissink (1929) de constante verhouding opgevallen, die er tussen de percentages van de fracties kleiner dan 2 micron en 2—16 micron bij jonge zeekleiafzettingen bestaat. Ook Zuur (1936) heeft gewezen op de constante verhoudingen tussen de percentages van de subfracties beneden 16 micron van mariene sedimenten. Dit geldt echter niet voor het slib van de brakwatersedimenten uit de voormalige Zuiderzee, waarvan b.v. de lutum/slib-verhouding grote variaties vertoont en veelal aanzienlijk lager ligt dan bij normale mariene afzettingen (Wiggers, 1955). Ook in het slib van rivierwater bestaan in het algemeen geen constante verhoudingen tussen de percentages van de verschillende subfracties.

Van de ruim 200 keileemmonsters bleken er 66 te zijn onderzocht op lutumgehalte. Het vergelijken van korrelgrootte-analyses levert steeds moeilijkheden op, in het bijzonder wanneer de samenstelling van de monsters sterk wisselt en bepaalde fracties moeten worden onderzocht. Ten einde de analyse-resultaten beter met elkaar te kunnen vergelijken, werd de verhouding van de gehalten der subfracties van de slibfractie bepaald, waarbij deze laatste op 100 werd gesteld. De resultaten van deze berekeningen zijn weer-

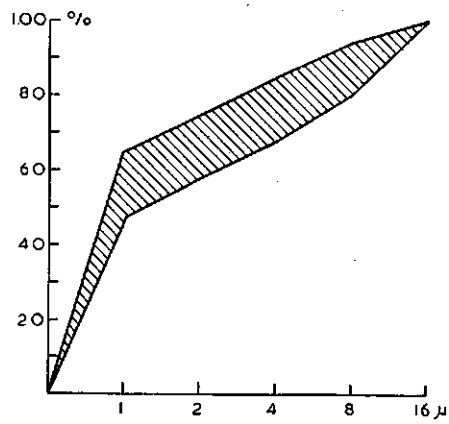

Fig. 7 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van het slib van 57 keileemmonsters, waaronder enkele van schollen- en oostnederlandse keileem (slibfractie 0—16 μ = 100).

gegeven in fig. 7. De korrelgrootte-verdeling van de slibfractie van de keileem uit verschillende plaatsen van het land is blijkens de verkregen resultaten praktisch constant. Hoewel een klein aantal monsters schollenkeileem en oostnederlandse keileem hetzelfde beeld vertoont, is het aantal gegevens over deze beide typen te gering, dan dat hieruit met enige zekerheid dezelfde constante korrelgrootte-verdeling van de slibfractie zou kunnen worden afgeleid.

Volledigheidshalve vermelden wij hier nog de gemiddelde procentuele verdeling over de verschillende subfracties van 57 monsters, (0—16 μ = 100):

$< 1\ \mu$	1—2 μ	$< 2\ \mu$	2—4 μ	4—8 μ	8—16 μ
59	9	68	9	10	13

De lutum/slibverhouding (0—2/0—16 × 100), die uit deze berekeningen eveneens naar voren komt, blijkt voor het betreffende materiaal te variëren van 58—76 met een gemiddelde waarde van 68. Bij 77 % van de onderzochte monsters ligt deze verhouding tussen 65 en 72. Het grootste gedeelte van de keileemmonsters heeft een lutum/slibverhouding, welke overeenkomt met die van de jonge zeekleigronden, o.a. uit Groningen. Van deze laatste sedimenten is nl. bekend, dat dit verhoudingsgetal vrij constant is en 65 à 70 % bedraagt. De variatie in deze verhouding is bij de keileem mogelijk iets groter dan bij de jonge zeekleiafzettingen, maar in het algemeen worden toch in de ons ter beschikking staande gegevens dezelfde waarden gevonden als bij deze mariene sedimenten.

De door Hooghoudt (1948) ontwikkelde „micro-pipetanalyse" (zie IV), maakt het mogelijk de subfracties van de lutumfractie te bepalen, waarbij de fractiegrenzen als volgt zijn gekozen: 0—1/16, 1/16—1/8, 1/8—1/4, 1/4—1/2, 1/2—1 en 1—2 micron.

Van 57 keileemmonsters werd met behulp van deze analysetechniek de samenstelling van

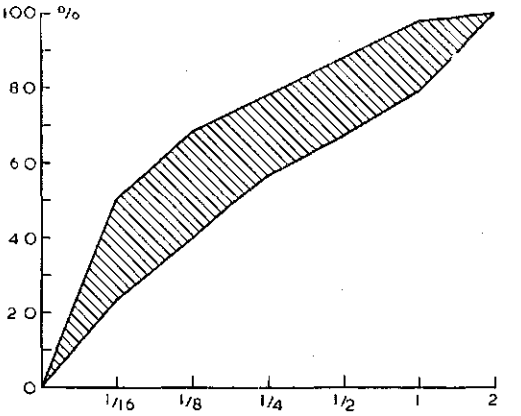

Fig. 8 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van het lutum van 57 keileemmonsters, waaronder enkele van schollen- en oostnederlandse keileem (lutumfractie 0—2 μ = 100).

de lutumfractie bepaald. Om vergelijkbare cijfers te verkrijgen, werden de verhoudingen der subfracties in procenten berekend, waarbij de lutumfractie (0—2 micron) op 100 werd gesteld. Uit de resultaten van deze berekeningen werd het duidelijk, dat de procentuele verdeling weliswaar voor de verschillende monsters nog vrij sterk kan variëren, maar dat in de meeste gevallen toch vrijwel uniforme waarden worden gevonden. Dit komt goed tot uiting in fig. 8, waar deze resultaten grafisch zijn weergegeven. De granulometrische samenstelling van de lutumfractie blijkt dus binnen betrekkelijk nauwe grenzen om een bepaalde constante waarde te schommelen. Dit geldt ook voor het kleine aantal monsters schollenkeileem en oostnederlandse keileem, die wat de samenstelling van de lutumfractie betreft, geen verschillen vertonen met de normale keileem.

Ter illustratie geven wij hier van elk der onderscheiden keileemtypen een voorbeeld van de procentuele verdeling van de lutumfractie, alsmede het gemiddelde over 57 monsters (tabel 1).

TABEL 1 — PROCENTUELE VERDELING VAN DE LUTUMFRACTIE IN VERSCHILLENDE KEILEEMTYPEN

Monster	*Lutum-gehalte in % op min. delen*	*100 g lutum bevatten g in de subfracties:*						
		0—1/16 μ	1/16—1/8 μ	1/8—1/4 μ	1/4—1/2 μ	1/2—1 μ	1—2 μ	0—2 μ = 100
35B 656	61	36	17	9	9	14	15	normale keileem
35B 667	66	36	19	12	10	9	14	schollen-keileem
B 5064	61	35	20	15	7	12	11	oostned. keileem
Gemidd. van 57 monsters	68	36	18	13	8	11	14	

6. *Beschouwingen naar aanleiding van de verkregen resultaten*

Uit het voorgaande is gebleken, dat de normale en de schollenkeileem in ons land ieder een eigen, vrijwel constante korrelgrootte-verdeling bezitten, waardoor beide typen van elkaar kunnen worden onderscheiden. De keileem uit Oost-Nederland heeft daarentegen een zeer heterogene samenstelling. Uit de beschikbare gegevens is tevens de homogene granulometrische samenstelling van het materiaal kleiner dan 16 micron naar voren gekomen.

De verklaring van deze typische eigenschappen is op zuiver theoretische gronden niet eenvoudig te geven, omdat de korrelgrootte-verdeling van een klei in suspensie van verschillende factoren afhankelijk is, die voor ons geval onbekend zijn. Behalve over de minerale samenstelling van het materiaal, ontbreekt ook ieder gegeven over het milieu, waarin het werd afgezet en over de wijze van sedimentatie.

De grote homogeniteit van de normale keileem wijst ons inziens op een intensieve menging van het materiaal door het ijs, gedurende het transport naar onze gebieden. Het onderweg opgenomen materiaal wordt in het ijs, dat in voortdurende, zij het ook langzame beweging is, volledig gehomogeniseerd, mits de afgelegde weg maar voldoende groot is en in het laatste traject geen vreemd materiaal wordt opgenomen. Wanneer dit laatste wel het geval is, kan hiervan plaatselijk een afwijkende korrelgrootte-verdeling het gevolg zijn. Tijdens de uitbreiding over de noordelijke provincies, waar de bodem althans in het gebied ten westen van de Hondsrug vrij vlak was, zal het landijs een betrekkelijk geringe weerstand hebben ondervonden. Tengevolge hiervan zal dan ook vermoedelijk weinig vreemd materiaal door het ijs uit de ondergrond zijn opgenomen. Na het uitsmelten van het materiaal zal het in het algemeen vrijwel onmiddellijk zijn afgezet en niet meer de selecterende invloed van het stromend water hebben ondergaan. Dit verklaart waarom de homogene samenstelling van de keileem gedurende de sedimentatie onveranderd kon blijven bestaan.

De aanwezigheid van schollenkeileem pleit echter tegen de opvatting, dat de normale keileem zijn homogeniteit aan intensieve menging door het ijs te danken heeft. Het is immers moeilijk voor te stellen, hoe een keileemschol in zijn geheel en volkomen gaaf over honderden kilometers verplaatst kan worden door het ijs, zonder tijdens dit transport uiteen te vallen en met de grondmorene vermengd te worden. Men zou eventueel aan transport in bevroren toestand kunnen denken.

Over de homogeniteit van de schollenkeileem, die wij op grond van de beschikbare gegevens met grote waarschijnlijkheid thans ook in Wieringen, Haren, Groningen, Havelte en Hoge Vuursche aantoonden, is zonder nadere kennis o.a. van de korrelgrootte-verdeling der moreneafzettingen in aangrenzende gebieden weinig met zekerheid te zeggen.

De grote heterogeniteit van de keileem in Oost-Nederland is waarschijnlijk voor een groot deel op de heterogene samenstelling van de ondergrond terug te voeren. De reliefverschillen in dit gebied zijn bovendien groter dan in Noord-Nederland. Miocene glauconietzanden, Oligocene kleien e.d. liggen hier aan, of dicht aan de oppervlakte. Sommige monsters uit Rijssen, Markelo en Oldenzaal, die een extreem hoog gehalte afslibbare delen hebben (tot ca. 92 %) zouden verklaard kunnen worden door aan te nemen, dat het voortschuivende ijs deze Tertiaire kleien uit de ondergrond heeft opgenomen en innig met de keileem heeft vermengd. In dit verband zij nog gewezen op de glauconietrijke keileemmonsters uit Losser, waaruit duidelijk de vermenging met Mioceen glauconietzand blijkt.

In overeenstemming hiermee zijn ook de resultaten van een palaeontologische studie van Van Voorthuysen (1947), die in sommige keilemen uit Oost-Nederland microfossielen vond, die eveneens bekend zijn uit de Oligocene klei in deze streek. Het aantal gegevens uit dit gebied is nog te gering om enig inzicht in de genese van deze keileem te verkrijgen.

Dit geldt eveneens voor de kleine groep afwijkende keileemmonsters, die noch typische normale, noch karakteristieke schollenkeilemen zijn. Over de oorzaak van deze verschillen kan voorlopig nog weinig met zekerheid gezegd worden, zodat het voortzetten van het onderzoek, ook van de mineralogische samenstelling van de zware fractie, ongetwijfeld nog nieuwe gezichtspunten kan openen.

III. KORRELGROOTTE-ANALYSES VAN PREMORENALE OF PROGLACIALE ZANDEN

1. *Inleiding*

Bij het vertrek van Wiggers in 1951 van het Landbouwproefstation, was weliswaar het ponskaartensysteem van het archief voor granulometrisch onderzoek grotendeels gereed, maar met het bewerken van de gegevens kon nog slechts een bescheiden begin worden gemaakt. Als een van de eerste onderwerpen werd destijds gekozen het premorenale of proglaciale zand. Het manuscript over de resultaten van dit onderzoek kwam in het begin van 1951 gereed. Door ver-

andering van werkkring werd destijds niet tot publikatie overgegaan. Wel werden in het voorjaar van 1951 voor de afdeling Geologisch-Geografische Wetenschappen van het XXXIIe Nederlandse Natuur- en Geneeskundig Congres te Eindhoven in een voordracht over het korrelgrootte-beeld van het Middenterras van de Peel en de Centrale Slenk, enkele resultaten van de studie van het proglaciale zand meegedeeld [4].

De aanleiding tot het publiceren van deze studie van het proglaciale zand vormde een artikel van De Roo (1952) over de oppervlaktegeologie van het Drentse plateau. Het manuscript van 1951 werd hiertoe iets omgewerkt, teneinde ook de beschouwingen van De Roo hierin te kunnen opnemen. Ook konden enkele nieuwere gegevens, afkomstig uit de Noordoostpolder, worden toegevoegd.

2. *Literatuurgegevens over het premorenale of proglaciale zand*

De Waard (1949) behandelde de literatuur tot 1949 vrij uitvoerig, zodat voor de oudere literatuur in hoofdzaak naar zijn publikatie kan worden verwezen. Hier moge worden volstaan met op te merken dat Lorié (1907) van „afzettingen in de neutrale ruimte" sprak, daarmee aangevende dat de genese van de sedimenten nog onduidelijk was. Tesch (1934) en Steenhuis (1937) beschouwden deze afzettingen onder de keileem als premorenale fluvioglaciale zanden. Hol (1949) sprak van „proglaciaal zand". Deze term werd door De Waard (1949) met instemming overgenomen, omdat zij uitdrukt dat het zand vóór het ijsfront is gesedimenteerd, terwijl tevens de gebondenheid aan het glaciale wordt uitgedrukt, zonder dat van echt fluvioglaciaal sprake behoeft te zijn. Bijmenging van oostelijk en zuidelijk materiaal is volgens De Waard namelijk op verschillende plaatsen in Noord-Nederland geconstateerd. De Waard (1949) bestudeerde het proglaciale zand in de Noordoostpolder en vermeldde het voorkomen van dit zand in enkele aangrenzende gebieden. Deze onderzoeker vat zijn opvatting omtrent de genese van het proglaciale zand aldus samen:

„1. Het ligt onder de keileem en vertoont sporen van stuwing door het ijs veroorzaakt, waaruit blijkt dat het vóór de afzetting van de keileem gesedimenteerd moet zijn.
2. Uit het sedimentpetrologisch onderzoek blijkt in hoofdzaak een noordelijke herkomst, aangezien het de mineraalassociatie bezit van de A-provincie, die ook kenmerkend is voor de keileem. Bovendien is de steeninhoud van het plaatselijk voorkomende grind typisch noordelijk. Dit wijst dus op een glaciale herkomst.
3. De lokale homogeniteit, welke gebleken is uit het korrelgrootte-onderzoek, de kris-krasgelaagdheid en de leemlaagjes, het ontbreken van schelpen en plantenresten, op zichzelf geen doorslaggevende argumenten, wijst op een fluviatiel ontstaan.
4. De ondergrens van het zand is in het veld niet waar te nemen. Uit boringen van de Voorst en Urk blijkt het zand daar de dikten van resp. 10 m en 25 m te bezitten. Er onder volgen sedimenten van het „Riss-interstadiaal met vaak veenachtige zoetwatersedimenten". Het zand is dus jonger dan Riss I.
Uit het bovenstaande volgt, dat het zand afgezet moet zijn in de tijd die ligt tussen het Riss-interstadium en de afzetting van de grondmorene van het Riss II, en wel gesedimenteerd als fluvioglaciale mantel vóór het naderende landijs uit".

In 1949 beschreef Vink een monster fijn preglaciaal zand uit Havelte (Dr.), verzameld onder de keileem. De korrelgrootte-verdeling bleek identiek te zijn aan die van een bepaald type fijn dekzand. Volgens Vink (1949) is het zeer goed mogelijk dat dit een dekzand uit het Riss-glaciaal is.

Brouwer (1950) vermeldt bij een bespreking van een palynologisch profiel van Bantega, dat onder de keileem zand werd aangetroffen, dat wegens het totaal ontbreken van grind eerder als stuifzand, dan als echt fluvioglaciaal zand moet worden beschouwd.

Waterbolk en Van Andel (1951) kwamen nog eens terug op hetzelfde monster als door Vink werd beschreven. Ook zij houden rekening met de mogelijkheid dat het zand als premorenaal dekzand moet worden beschouwd, hoewel het hun voorbarig leek uit een enkel gegeven te veel conclusies te trekken.

De Roo (1952) kwam na een uitgebreid onderzoek op het Drentse plateau en na bestudering van vele korrelgrootte-analyses tot de volgende conclusie:

„Evenals Waterbolk en Van Andel (1951) menen we in deze min of meer sterk gesorteerde premorenale fijne zanden van het Drentse plateau overwegend aeolische en plaatselijk ook niveo-aeolische sedimenten te zien, die onder invloed van wind en sneeuw bij de nadering van de Riss-landgletschers in het waarschijnlijk steeds kouder wordende klimaat tot afzetting kwamen".

Tijdens de voordracht op het Peel-symposium in 1951 werden door schrijver dezes korrelgrootte-curven getoond van proglaciale zanden uit de omgeving van Grollo (Dr.), waarbij werd opgemerkt dat het korrelgrootte-beeld van deze zanden niet te onderscheiden viel van dat van

[4] De publikatie van deze voordracht is vertraagd door een latere uitbreiding, die door de Geologische Dienst te Haarlem en de overige medewerkers aan het Peelsymposium aan dit onderzoek is gegeven.

Würmglaciale of Laatglaciale, ongetwijfeld eolische en niveo-eolische sedimenten.

3. *De herkomst van de gegevens*

Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt, werd voor dit onderzoek van het proglaciale zand geput uit de aanwezige korrelgrootte-analyses van het Landbouwproefstation en van het Bedrijfslaboratorium te Groningen. Er werden dus geen speciale monsters genomen of onderzocht. Volstaan werd met de bewerking van de resultaten van monsters, afkomstig uit een aantal, voor verschillende onderzoekingen verrichte, diepere boringen.

In de jaren 1939—1942 vond in de Veenkoloniën een onderzoek plaats naar de doorlatendheid van de watervoerende laag tot maximaal 20 m onder het maaiveld (Hooghoudt, 1943). Voor dit onderzoek werden o.a. in de winter 1939/'40 72 boringen tot 10 à 20 m diepte verricht. In één dezer boringen (boring 54, Oranjedorp) werd over een diepte van vele meters proglaciaal zand aangeboord en bemonsterd.

In het kader van het onderzoek door het Laboratorium voor Grondmechanica van de Nederlandse vliegvelden verleende het Landbouwproefstation o.a. medewerking aan het onderzoek van het vliegveld Eelde. Dit onderzoek, dat verband hield met de ontwatering van het vliegveld, vond plaats in 1946 en omvatte onder meer het verrichten van een groot aantal ondiepe boringen (tot 1.5 à 2 m) en van een 4-tal diepere boringen tot 6, 8, 10 en 20 m diepte.

Fig. 9 — Ligging van de bemonsterde boringen (zwarte blokjes) in de provincie Drenthe.

In overleg met de Rijkslandbouwconsulent en de Cultuurconsulent in Drente werd door wijlen Dr. Hooghoudt een onderzoek ingesteld naar de mogelijkheid tot aanleg van een grondwaterstandsproefveld op de Proefboerderij Kooyenburg te Rolde. Ten behoeve van de bepaling van de doorlatendheid van de diepere lagen werd een boring tot 20 m diepte verricht.
Op figuur 9 is de ligging van de bemonsterde diepere boringen aangegeven.

In hoofdzaak handelt het hierna volgende over de resultaten van het granulometrisch onderzoek van de monsters, genomen in deze boringen. Sinds 1951 zijn door Wiggers nadere gegevens verzameld omtrent het proglaciale zand in de Noordoostpolder, terwijl tevens monsters onderzocht werden uit het gebied van Vollenhove. Deze onderzoekingen zijn nog niet afgesloten, zodat hiervan slechts enkele gegevens vermeld zullen worden.

4. *De resultaten van het granulometrisch onderzoek*

a. *Boring Oranjedorp.* — Door veenafgraving gevolgd door ontginning, treft men op de plaats van de boring nog slechts veen aan tussen 25 en 65 cm beneden maaiveld. Daaronder volgt dekzand, rustend op een sterk gereduceerde grondmorene. Daar de monsters van de bovenste meters niet nauwkeurig omschreven zijn, vallen de diepte en de dikte van de keileem niet precies aan te geven. Van 3 m af volgde tot boordiepte (20 m) zeer homogeen zand, beschreven als fijn, grijs, soms iets groengrijs zand met wisselende hoeveelheid lemige bijmenging.

De monsters werden genomen als mengmonsters van lagen ter dikte van 1 m, aangezien noch op het oog, noch op het gevoel duidelijk onderscheid in samenstelling viel te constateren. In figuur 10 werden aan de linkerzijde de curven van de eerste 8 monsters ingetekend (diepte 3—11 m), aan de rechterzijde de curven van de monsters tussen 11 en 20 m (9 curven).

De monsters 9 en 10 wijken iets af van de overige, doch groot is dit verschil niet. Hetgeen sterk opvalt is de homogeniteit in korrelgrootte van het gehele doorboorde pakket tussen 3 en 20 m diepte. Getuige het verloop van de curven heeft men te doen met sterk gesorteerde, middelfijne zanden. Het U-cijfer variëert tussen 86 en 102, het M-cijfer beweegt zich veelal tussen 110 en 120. Het gehalte aan deeltjes < 16 micron bedraagt gemiddeld slechts 1.8 %; aan deeltjes tussen 16 en 43 micron bevatten de monsters gemiddeld 7.5 %. Grind werd, zoals uit de curven reeds duidelijk spreekt, nimmer aangetroffen; zelfs werden nauwelijks korrels met grotere

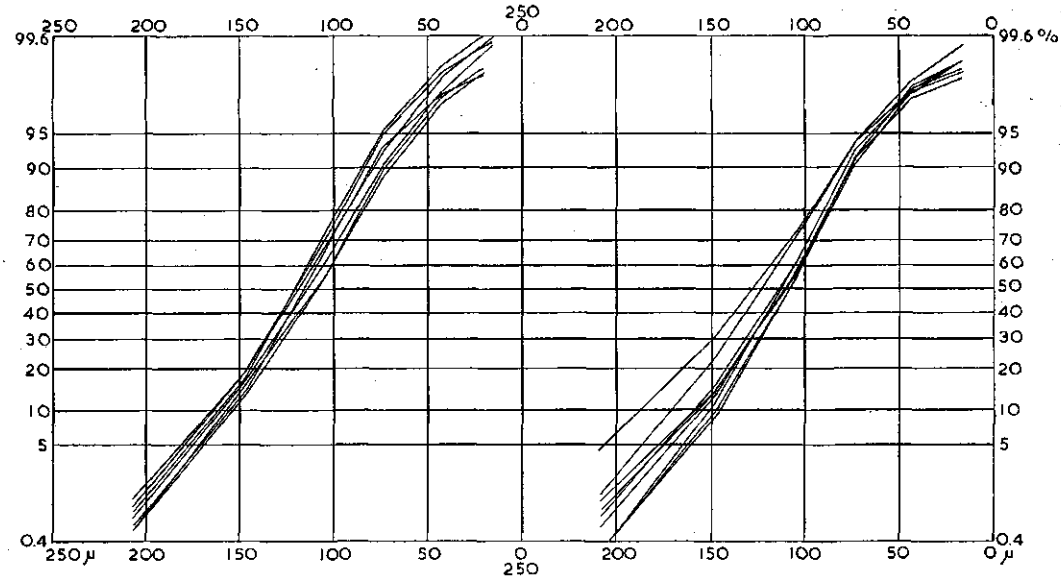

Fig. 10 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van proglaciaal zand uit de boring Oranjedorp. Links 8 monsters (3—11 m), rechts 9 monsters(11—20 m).

diameter dan 200 micron gevonden.

b. *Boringen Eelde.* — In boring 1 werd tussen 1.9 en 3.0 m keileem aangeboord. Daar beneden werden 3 monsters genomen (3—4; 4—5; 5—6 m) van het proglaciale zand. De curven zijn afgebeeld in figuur 11 (curven a, b en c). Het zand van deze 3 monsters bleek een in hoge mate uniforme korrelgrootte te bezitten.

In boring 2 werd geen keileem aangetroffen, hetgeen op het vliegveld op verschillende plaatsen het geval is. De bovenste meter is door anthropogene invloeden afwijkend van samenstelling. De overige 7 monsters (1—8 m) zijn afgebeeld in figuur 11 (curven d, e, f, g, h, k en l). De monsters kenmerken zich ten opzichte van die uit boring 1 door een iets groter gehalte aan grovere delen.

Boring 3 (*diepte* 10 *m*) *vertoont enkele bijzondere curven.* De laag 0—3 m, waarvan slechts 1 mengmonster werd genomen, kan gevoeglijk buiten beschouwing gelaten worden. Van de lagen 3—4 en 4—5 m vindt men de curven in figuur 12 (curven a en b). De monsters werden

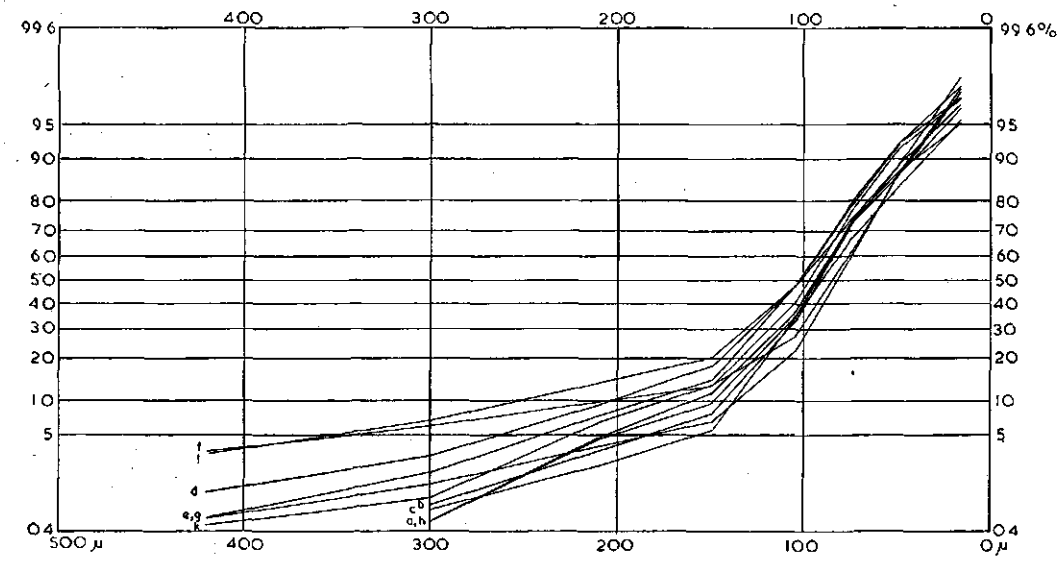

Fig. 11 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van proglaciaal zand uit de boring 1 (curven a-c) en uit de boring 2 curven d-l) op het vliegveld Eelde.

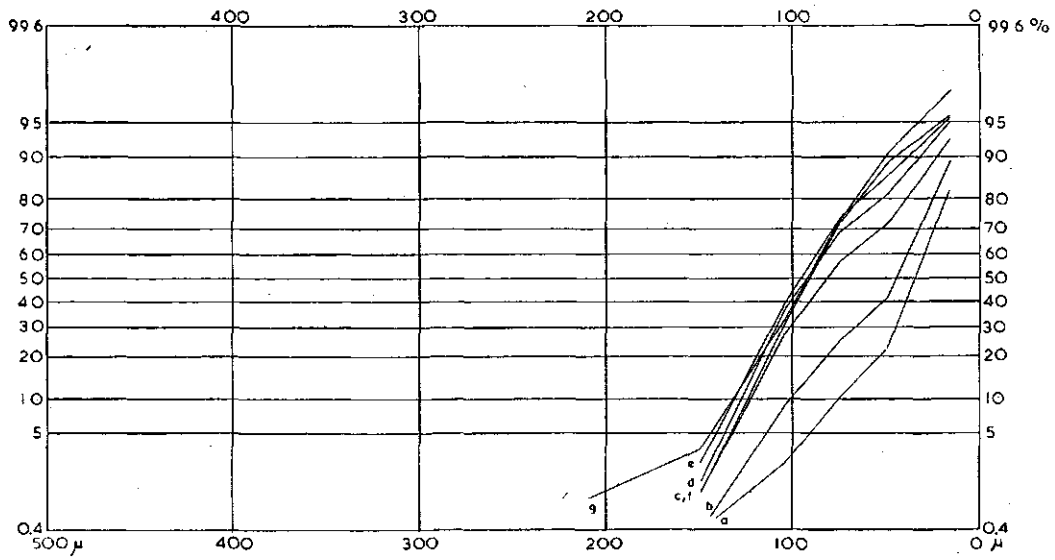

Fig. 12 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van proglaciaal zand en proglaciale leem uit de boring 3 op het vliegveld Eelde.

beschreven als leem. Zij bevatten respectievelijk 60 en 47 % aan deeltjes tussen 16 en 50 micron. Van de overige 5 monsters, genomen tussen 5 en 10 m, zijn de korrelgrootte-analyses weergegeven in curven c, d, e, f en g van figuur 12. Ook dit zijn sterk gesorteerde, fijne zanden. De fracties 75—105 en 105—150 micron bevatten tezamen gemiddeld 67 gewichtsprocenten. Het leemzandgehalte (gehalte aan deeltjes tussen 16 en 50 micron) loopt bij deze monsters uiteen van 7 tot 22 %.

Van het profiel van boring 4 werden in totaal 20 monsters genomen. De curven zijn niet alle afzonderlijk afgebeeld; van vrijwel samenvallende curven is slechts de gemiddelde lijn opgenomen (figuur 13). Onder een middelfijn zand (curve a) volgt op 2 m grover zand, dat wellicht het residu van de keileem vertegenwoordigt (curve b). Het zand wordt op een diepte van 3.25 m weer fijner (curve c) zodat de lijnen van de monsters van 4.0—4.5 m en van 4.5—5.5 m weer samenvallen met die van het eerste monster (curve a). Dit fijner worden van het zand zet zich ook in de diepere lagen voort:

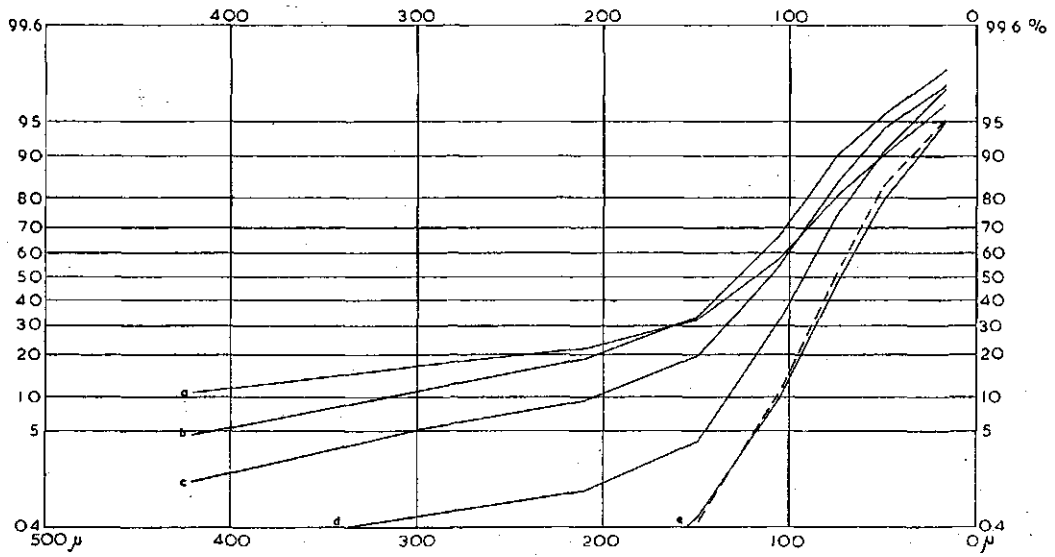

Fig. 13 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van postmorenaal en proglaciaal zand uit de boring 4 op het vliegveld Eelde.

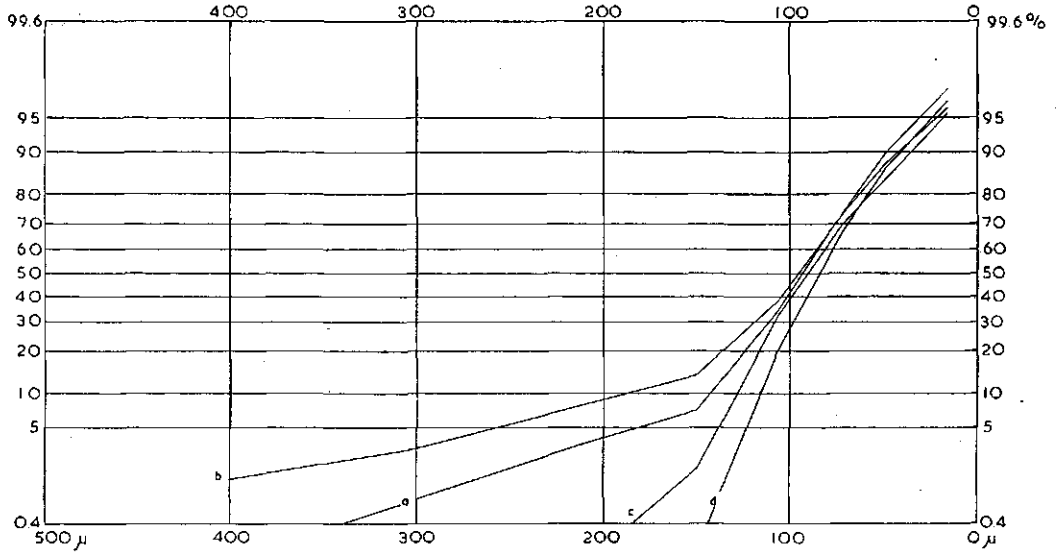

Fig. 14 — Gemiddelde sommatiecurven van de belangrijkste typen proglaciaal zand uit de boringen 1—4 op het vliegveld Eelde.

curve d, monsters 5.5—5.8 m en 5.8—7.0 m, curve e, monsters 7.0—8.0 m en 8.0—9.0 m. Op een diepte van 9 m wordt zeer fijn zand aangetroffen dat tot een diepte van minstens 20 m reikt, zonder dat enige noemenswaardige verandering in de korrelgrootte van het zand optreedt (curve f).

In het volgende zal nader worden ingegaan op de betekenis van het verloop van de zo juist genoemde curven. Teneinde de resultaten van de 4 boringen op het vliegveld Eelde onderling te vergelijken werden in figuur 14 enkele curven ingetekend die elk het gemiddelde aangeven van het belangrijkste type proglaciaal zand uit de afzonderlijke boringen. Curve a heeft betrekking op de monsters tussen 3 en 6 m uit boring 1, curve b op de monsters tussen 1 en 8 m uit boring 2, curve c op die van de lagen tussen 5 en 10 m uit boring 3 en curve d op de monsters afkomstig van de lagen tussen 9 en 20 m uit boring 4.

c. *Boring Rolde.* — Op een diepte van 1 m werd keileem aangetroffen, die zich voortzette tot omstreeks 1.3 m. Daaronder volgde tot 3 m nog iets grindhoudend, matig fijn zand, waaronder slechts middelfijn, zeer fijn en uiterst fijn zand voorkwam. Het pakket van 3.0 tot 8.75 m was uitermate homogeen, zodat van de 10 bemonsterde lagen slechts de gemiddelde curve (figuur 15, curve a) wordt weergegeven.

Van 8.75 m af neemt de sorteringsgraad van het zand toe. Het percentage aan grovere delen neemt snel af, terwijl het gehalte aan delen kleiner dan 16 micron zich weinig wijzigt. De curven b, c, d en e geven de korrelgrootte-verdeling weer, respectievelijk in de lagen 8.75—9.0 m; 9.0—12.0 m (2 monsters); 12.0—16.0 m (4 monsters) en 16.0—20.0 m (7 monsters).

Ter illustratie van de merkwaardige korrelgrootte-verdeling van dit zand vermelden wij van een enkel monster de verdeling over de verschillende fracties (tabel 2):

TABEL 2 — KORRELGROOTTE-VERDELING VAN EEN MONSTER PROGLACIAAL ZAND VAN ROLDE

Monster	*Diepte in m*	*subfracties in procenten op minerale delen*					
		0—16 μ	16—50 μ	50—75 μ	75—105 μ	105—150 μ	> 150 μ
25845	19.0—19.5	5.2	15.3	34.8	36.5	7.8	0.4

d. Noordoostpolder. — Door De Waard (1949) werd van enkele proglaciale zanden de korrelgrootte-verdeling van een grafiek weergegeven. Nadien zijn nieuwe gegevens verzameld. Dit onderzoek is nog niet afgesloten, zodat volstaan wordt met het weergeven van enkele curven, ontleend aan monsters genomen door De Waard (fig. 16). Het betreft hier een tweetal monsters proglaciaal zand, verzameld bij de Voorst.

Het onderzoek in de Noordoostpolder heeft aangetoond, dat er werkelijk premorenaal fluvioglaciaal zand voorkomt en wel dicht onder de

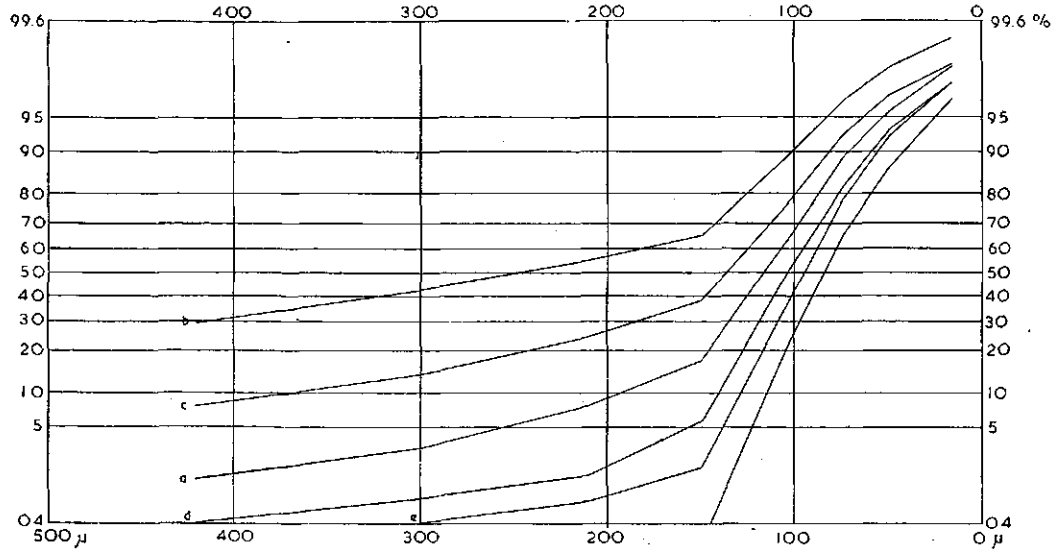

Fig. 15 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van monsters proglaciaal zand uit de boring Rolde. De gebroken lijn heeft betrekking op een monster marien zand uit de Noordoostpolder.

keileem. Aan dit contactvlak vindt men voorts veelal leemlenzen of leemlagen, die opgevat moeten worden als door smeltwaterbeken geërodeerde en elders afgezette keileem. Op een diepte van enkele meters vindt men echter steeds grindloos, fijn, vaak lemig zand met een korrelgrootteverdeling, zoals men in dekzand aantreffen kan.

5. *Bespreking van de resultaten*

Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt zijn er voor dit onderzoek geen aparte monsters genomen. Volstaan werd met het bewerken van aanwezige gegevens, hetgeen het voordeel heeft dat op deze wijze in een enkel geval nagegaan kon worden, in hoeverre een rangschikking en bestudering van korrelgrootte-gegevens van voor verschillende doeleinden verzamelde monsters, kon bijdragen tot de oplossing van vraagstukken betreffende de facies van sedimenten.

Aan de gebruikte monsters kleeft echter een bezwaar, waarvan moeilijk aan te geven valt hoe groot dit is. De monsters zijn namelijk niet in ongeroerde toestand, dus bijvoorbeeld met een steekapparaat, doch steeds met een puls geno-

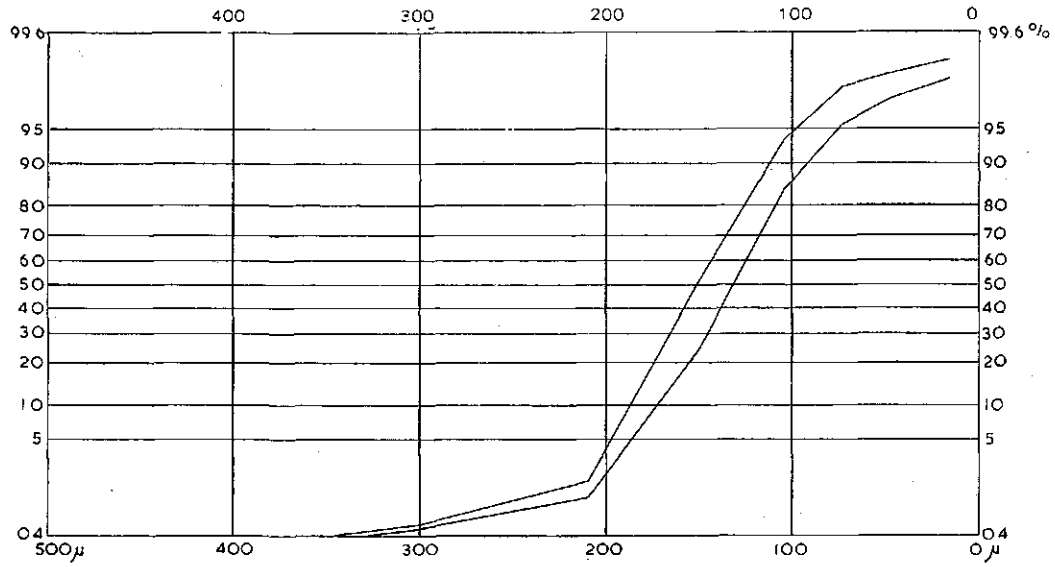

Fig. 16 — Sommatiecurven van de korrelgrootte-verdeling van twee monsters proglaciaal zand uit de Noordoostpolder.

men. Hierbij treedt onvermijdelijk enige verontreiniging op, doordat reeds doorboorde afzettingen niet geheel uit de boorbuis verwijderd kunnen worden. Bovendien werden steeds mengmonsters genomen van lagen ter dikte van 0.5 à 1 m, tenzij de aard van de afzettingen op het gezicht of op het gevoel sneller veranderden.

Dit neemt echter niet weg, dat naar onze mening de aanwezige gegevens, vooral van homogene afzettingen als de proglaciale zanden, een nadere bestudering waard zijn, daar het resultaat een stimulans kan vormen voor nader onderzoek, waarbij dan aan het nemen van de monsters meer aandacht kan worden besteed.

Wanneer de resultaten thans nader onderling vergeleken worden, wijzen wij er allereerst nogmaals op, dat volgens de aanvankelijke mening de proglaciale of premorenale zanden in het noordoosten van ons land waren afgezet door smeltwaterstromen vóór het naderende landijs, zodat de naam premorenale fluvioglaciale afzettingen gekozen werd.

De Waard (1949) stelde zich ook nog op dit standpunt. Daarna werd door enkele onderzoekers, min of meer afhankelijk van elkaar (Vink, 1949; Waterbolk en Van Andel, 1951; Brouwer, 1950; De Roo, 1952; Wiggers, 1951) de mogelijkheid geopperd, dat de sedimenten althans ten dele langs eolische of niveo-eolische weg waren afgezet. De Roo (1952), die de premorenale zanden het uitvoerigst heeft onderzocht, acht het eolische of niveo-eolische karakter van deze afzettingen, althans wat betreft het bovenste gedeelte van het pakket, wel bewezen.

De boring Oranjedorp toonde ons een pakket fijne zanden ter dikte van minstens 17 m, waarin vrijwel geen variatie in korrelgrootte optrad. Ook al betreft het hier mengmonsters van lagen ter dikte van 1 m, toch zou enige variatie van betekenis zich ongetwijfeld in deze uniforme serie duidelijk doen gevoelen. Het korrelgroottebeeld vertoont een grote overeenkomst met fijne, eolische, Würmglaciale of Laatglaciale zanden. De homogeniteit van dit gehele pakket valt moeilijk te verklaren indien men de fluvioglaciale wijze van afzetting aanneemt. Wel dient men rekening te houden met de mogelijkheid van een fluviatiele omwerking van reeds afgezette sedimenten.

Ook al vertoont het proglaciale zand wat betreft zijn korrelgrootte-verdeling een treffende gelijkenis met dekzand, toch mag hieruit niet zonder meer geconcludeerd worden tot een eolische wijze van afzetting. In figuur 15 werd een curve ingetekend van een marien zand uit de Noordoostpolder. De curve van dit zand is geheel gelijk aan die van het proglaciale zand uit de boring Rolde (curve e, diepte 16.0—20.0 m).

De boringen op het vliegveld Eelde vertoonden een grotere variatie in het korrelgrootte-beeld van de onderzochte monsters. Toch valt bij een beschouwing van figuur 14 de uniformiteit van de zanden weer duidelijk op. In deze boringen bevat het proglaciale zand naar boven veelal een groter percentage aan grovere delen. Deze toeneming kan in verband staan met de nadering van het ijsfront en daarmee met een bijmenging van fluvioglaciaal materiaal. Doch ook bij een stationaire toestand in het ijsfront en bij een zuiver eolisch transport zal het gehalte aan grovere delen toenemen, aangezien de grovere korrels eenzelfde weg veel langzamer afleggen dan de fijnere fracties.

Dat plaatselijk inderdaad vóór de nadering van het ijsfront zuiver fluvioglaciaal materiaal is afgezet, is gebleken bij het onderzoek in de Noordoostpolder.

De gegevens van Rolde wijzen in dezelfde richting als die van Eelde. Ook hier treft de grote homogeniteit van het dikke pakket proglaciaal zand en het toenemen van het aandeel van de grovere fracties.

Gezien het resultaat van dit onderzoek van de korrelgrootte van het proglaciale zand lijkt de conclusie, die door verschillende auteurs is getrokken aangaande de eolische oorsprong van dit zand, wel gerechtvaardigd, hoewel o.i. een andere wijze van sedimentatie niet uitgesloten is. Een nader onderzoek in ontsluitingen en in speciaal voor sedimentologische studies genomen monsters blijft gewenst. De korrelgrootte-verdeling vormt dan slechts één van de vele grootheden, die bepaald moeten worden. Ook de korrelvorm, de mate van afronding en mattering, de oriëntatie in de korrels en de gelaagdheid zullen in het onderzoek moeten worden betrokken, teneinde de wijze van sedimentatie tot klaarheid te brengen, terwijl een uitgebreid sedimentpetrologisch onderzoek inzicht in de herkomst van het materiaal zal moeten verschaffen.

Wanneer dan voorts bedacht wordt, dat noch de datering van het zand, noch de samenhang tussen dit proglaciale zand en de potklei tot dusver opgelost zijn, moge het duidelijk zijn dat de „afzettingen in de neutrale ruimte" nog steeds een nadere bestudering ten volle waard zijn.

IV. BEPALING VAN DE GRANULOMETRISCHE SAMENSTELLING VAN DE GROND VOLGENS DE MICROPIPETMETHODE [5]

1. *Inleiding*

Door Hooghoudt (1945) werd voor de bepa-

[5] Deze methode werd aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen onder leiding van wijlen Dr. S. B. Hooghoudt uitgewerkt door de laboratoriumassistent A. A. Dekker.

ling van de granulometrische samenstelling van gronden een gecombineerde zeef- en pipetmethode ontwikkeld, waarbij de gronddeeltjes < 2 mm in 18 fracties worden verdeeld. De fracties $> 35\ \mu$ worden door zeven, die beneden $35\ \mu$ door middel van een pipetmethode bepaald. De fijnste fractie bevat deeltjes $< 2\ \mu$.

In principe is de door Hooghoudt beschreven pipetmethode ook bruikbaar voor de bepaling van fijnere fracties, bv. $< 1\ \mu$ of $< 0{,}5\ \mu$. De dimensies van de gebruikte pipet zijn echter zodanig, dat dit zeer lange bezinkingstijden zou vereisen, terwijl de temperatuur van de suspensie bij het bepalen van zeer fijne fracties zo goed mogelijk constant gehouden zou moeten worden.

De micropipetmethode maakt het mogelijk de subfracties van de fractie $< 2\ \mu$, met als fijnste de fractie 0—0,063 μ, met voldoende nauwkeurigheid te bepalen. Terwijl bij de gecombineerde zeef- en pipetmethode een pipet van 20 cm^3, een slibcilinder van ruim 1 liter (diameter 6 cm) en een rembalans met een nauwkeurigheid van 0,5 mg worden gebruikt, worden bij de micropipetmethode een pipetje van ongeveer 1 cm^3, slibcilindertjes van ongeveer 50 cm^3 (diameter 2,5 cm) en een microrembalans met een nauwkeurigheid van 0,01 mg toegepast.

De cilindertjes met de te onderzoeken suspensie worden in een waterthermostaat met elektrische temperatuurregeling geplaatst, waardoor de temperatuur met een nauwkeurigheid van 0,1° C op 25° C gehouden kan worden. Om trillen te voorkomen is deze thermostaat (diameter 100 cm, hoogte 35 cm), die 160 slibcilindertjes kan bevatten (fig. 17), op een afzonderlijke fundering geplaatst.

Boven de thermostaat is, radiaal en tangentieel verplaatsbaar, de micropipet gemonteerd, zodat deze boven een willekeurig slibcilindertje gebracht kan worden. Bovendien is de pipet in verticale richting verschuifbaar en door middel van een schaalverdeling met noniusaflezing tot op 0,01 mm nauwkeurig in te stellen. De punt van de pipet bestaat uit een nikkelen injectienaald (Acidex, voor vee).

Evenals bij de gecombineerde zeef- en pipet-

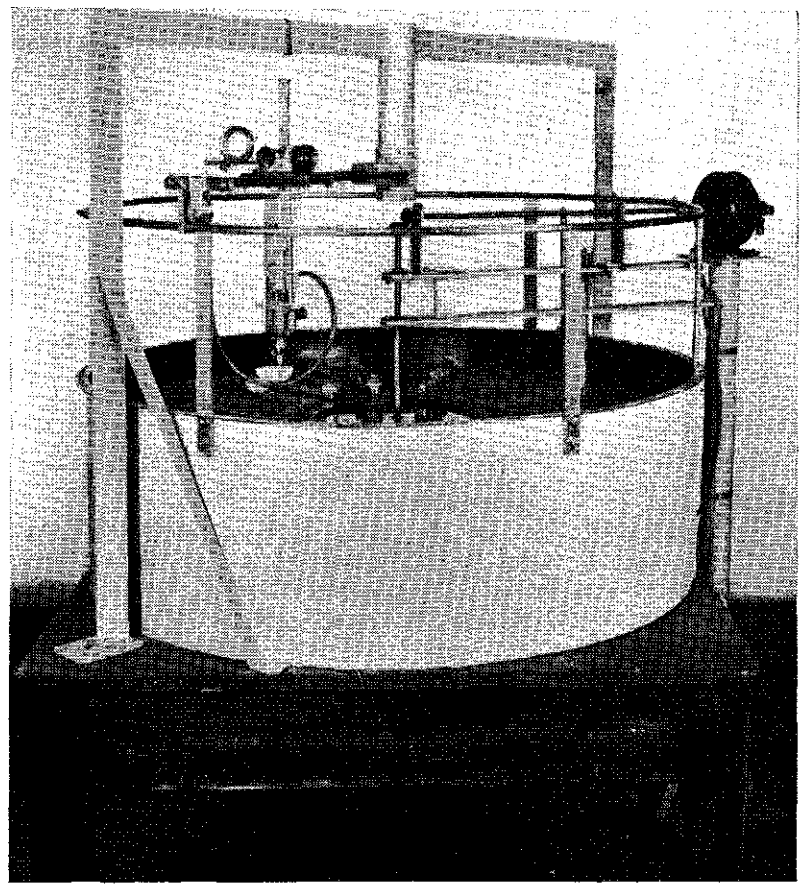

Fig. 17 — Apparaat voor de micropipetanalyse. De micropipet is vertikaal en radiaal verschuifbaar op een draaibare arm boven de thermostaat met slibcilindertjes aangebracht. De motor (rechts) drijft de roerinrichting van de water-thermostaat.

methode onderscheid wordt gemaakt tussen de behandeling van monsters met meer en met minder dan 20 % organische stof, moet de micropipetmethode bij monsters met een gehalte aan organische stof van meer dan 10 % enigszins anders worden uitgevoerd dan bij monsters met lagere percentages.

2. *Werkwijze*

a. *Voor gronden met minder dan 10 % organische stof.* — De micropipetmethode wordt meestal toegepast als verlengstuk van de gecombineerde zeef- en pipetmethode. De voorbehandeling van de monsters is voor beide methoden dezelfde (Hooghoudt, 1945).

Nadat met de gecombineerde zeef- en pipetmethode van een grondmonster de fracties $< 2\ \mu$ zijn bepaald, worden na omschudden van de suspensie — die desgewenst tijdelijk in een kolf van 1 liter, gesloten met een gummistop, kan worden bewaard — vier slibcilindertjes hiermee gevuld. De buisjes worden met een gummistop gesloten en in de thermostaat geplaatst. Het oppervlak van de suspensie moet nu juist beneden dat van het water in de thermostaat staan.

De fracties, die in duplo worden bepaald, zijn met de bijbehorende bezinkingstijden en insteldiepten van de pipet vermeld in tabel 3.

(inhoud ongeveer 4 cm^3, gewicht 3 à 4 g). Het buisje met suspensie wordt zo nodig direct omgeschud en weer in de thermostaat geplaatst ter bepaling van een volgende fractie.

De kroesjes met de fracties worden op een waterbad tot droog ingedampt, vervolgens een uur in een droogstoof bij 105° C geplaatst, afgekoeld in een exsiccator boven $CaCl_2$ en daarna gewogen op de microrembalans. Vooraf zijn ook de lege kroesjes bij 105° C gedroogd, afgekoeld boven $CaCl_2$ en op de microrembalans gewogen, zodat nu de gewichten van de fracties $< 2\ \mu$, $< 1\ \mu$, $< 0{,}5\ \mu$, $< 0{,}25\ \mu$, $< 0{,}125\ \mu$ en $< 0.063\ \mu$ kunnen worden berekend. Het gewicht van laatstgenoemde fractie wordt gecorrigeerd voor de aanwezigheid van een hoeveelheid peptisator in de droogrest in het kroesje. De gewichten van de fracties 2—1 μ, 1—0,5 μ, 0,5—0,25 μ, 0,25—0,125 μ, 0,125—0,063 μ en $< 0{,}063\ \mu$ zijn daarna te berekenen. Deze worden eerst omgerekend op procenten van luchtdroge grond en vervolgens op droge stof, waarna ze zodanig worden herleid, dat hun som overeenkomt met het percentage fractie $< 2\ \mu$, dat gevonden is bij de gecombineerde zeef- en pipetmethode.

Tenslotte moet nog een correctie aangebracht worden op de verdeling van de fractie $< 0{,}125\ \mu$

TABEL 3 — BEZINKINGSTIJDEN EN DIEPTEN ONDER HET OPPERVLAK VAN DE SUSPENSIE, WAAROP DE ONDERZIJDE VAN DE MICROPIPET MOET WORDEN INGESTELD TER BEPALING VAN DE FRACTIE $< 2\ \mu$ EN HAAR SUBFRACTIES (TEMPERATUUR: 25° C).

Fractie (micron)	*Bezinkingstijd*	*Insteldiepte (cm)*
< 2	60 min.	1,48
< 1	4 uur	1,48
$< 0{,}5$	18½ uur	1,71
$< 0{,}25$	48 uur	1,11
$< 0{,}125$	4 dagen	0,555
$< 0{,}063$	12 dagen	0,416

Van de vier cilindertjes, die per monster in de thermostaat worden geplaatst, zijn twee bestemd voor de bepaling van de fracties $< 2\ \mu$ t.e.m. $< 0{,}125\ \mu$, de overige voor bepaling van de fractie $< 0{,}063\ \mu$. Dit gebeurt om de analyse in zo kort mogelijke tijd te doen verlopen.

Van elk paar wordt eerst het ene buisje opgeschud en in de thermostaat geplaatst en twee minuten later het andere. Deze periode van twee minuten dient, om aan het einde van de bezinkingstijd gelegenheid te hebben voor het pipetteren van een fractie uit het eerste van het paar duplo-buisjes, alvorens het tijd is om dit ook bij het tweede buisje te doen.

De inhoud van het pipetje wordt na het pipetteren overgebracht in een glazen kroesje

in de subfracties 0,125—0,063 μ en $< 0{,}063\ \mu$. Door de bezinkingstijd bij de bepaling van laatstgenoemde fractie nl. aan de korte kant (12 dagen) te houden, is de dikte van de laag suspensie met deeltjes $< 0{,}063\ \mu$ nog wat te klein om bij het pipetteren een afzuigen van enige suspensie uit de aangrenzende laag (fractie $< 0{,}125\ \mu$) geheel te vermijden.

De correctie voor de peptisator behoeft alleen op de fijnste fractie te worden aangebracht, daar ze bij de fracties 2—1 μ enz. door hun ontstaan als verschil van twee bepaalde fracties is geëlimineerd. De grootte van de correctie werd bepaald door 10 keer een pipetje vol peptisatievloeistof (0,003 M $Na_4P_2O_7 . 10\ H_2O$) te ledigen in telkens een ander glazen kroesje. De

TABEL 4 — FRACTIE $< 0{,}063\ \mu$, BEPAALD BIJ 3 VERSCHILLENDE BEZINKINGSTIJDEN EN BIJBEHORENDE INSTELDIEPTEN. GEMIDDELDE VAN 10 VERSCHILLENDE MONSTERS.

bezinkingstijd (dagen)	12	16	18
insteldiepte (cm)	0,416	0,555	0,644
fractie $< 0{,}063\ \mu$ (% op droge stof)	24,3	22,7	22,8
standaardafwijking (van gem. van 10 bepalingen in duplo)	0,1	0,2	0,1
correctie	—1,6	—	—

inhoud van elk der 10 kroesjes werd op dezelfde wijze gedroogd en gewogen als boven is beschreven voor de korrelfracties. De gemiddelde gewichtstoename van de kroesjes bleek 0,85 mg te bedragen. Het gevonden gewicht van de fractie $< 0{,}063\ \mu$ moet dus met dit bedrag worden verminderd.

Voor omrekening van de fractiegewichten in procenten van luchtdroge grond moet de inhoud van het pipetje bekend zijn. Deze werd bepaald door wegen van een vulling uitgekookt gedestilleerd water en bleek 1,1198 cm³ te bedragen. Aangezien uitgegaan wordt van een suspensie van 20 g luchtdroge grond in 1 liter water, moet de grootte van het gevonden fractiegewicht in mg vermenigvuldigd worden met een factor

$$\frac{100}{20.1{,}1198} = 4{,}465$$

om het percentage van de fractie op luchtdroge stof te krijgen.

Bij het aanbrengen van de correctie voor de te korte insteltijd bij de bepaling van de fractie $< 0{,}063\ \mu$ gelden de volgende overwegingen.

Volgens Kühn (1928) wordt bij het pipetteren een bolvormig volume suspensie rond de punt van de pipet aangezogen. Uit een pipetinhoud van 1,1198 cm³ volgt voor de straal van dit bolvormig volume 0,64 cm. Gebruikt men een geringe insteldiepte (dus kortere bezinkingstijd), dan wordt bij het pipetteren meer suspensie beneden deze diepte weggezogen dan er boven, waardoor te veel grotere deeltjes in het monstertje terecht komen en een te groot fractiegewicht wordt gevonden.

Aangezien een bezinkingstijd van ruim 18 dagen, die bij een insteldiepte voor de pipet van 0,64 cm wordt vereist, voor seriewerk hinderlijk lang is, wordt in de praktijk gebruik gemaakt van een bezinkingstijd van 12 dagen bij een insteldiepte van 0,416 cm.

Door het aanbrengen van een correctie wordt het gevonden fractiegewicht herleid tot dat, war bij een bezinkingstijd van minstens 18 dagen en een bijbehorende insteldiepte zou zijn gevonden

De correctieterm, die van het gevonden gewicht der fractie $< 0{,}063\ \mu$ moet worden afgetrokken en dus bij de gevonden fractie 0,125—0,063 μ moet worden opgeteld, werd bepaald door van een 10-tal verschillende monsters bij verschillende bezinkingstijden de fractie $< 0{,}063\ \mu$ te bepalen. Het gemiddelde resultaat is weergegeven in tabel 4, waaruit blijkt, dat pipetteren na 16 dagen op een diepte van 0,555 cm praktisch hetzelfde resultaat geeft als pipetteren na 18 dagen op 0,644 cm.

Nemen we het gemiddelde van de bij bezinkingstijden van 16 en 18 dagen gevonden hoeveelheden fractie $< 0{,}063\ \mu$ als juist aan, dan blijkt bij een bezinkingstijd van 12 dagen de correctie voor een gevonden fractiegewicht van 24,3 % op droge stof —1,6 te bedragen. Nu zal deze correctie voor een gevonden fractiegewicht nul ook nul moeten zijn. Nemen we aan, dat de grootte van de correctie lineair met het gevonden fractiegewicht toeneemt, dan kan op grond van deze evenredigheid de volgende correctietabel (tabel 5) worden samengesteld.

TABEL 5 — CORRECTIETABEL VOOR HERLEIDING VAN DE NA 12 DAGEN GEVONDEN FRACTIE $< 0{,}063\ \mu$ TOT DIE, WELKE NA 16 OF MEER DAGEN ZOU ZIJN GEVONDEN (GEWICHTSPROCENTEN OP DROGE STOF)

fractie $< 0{,}063\ \mu$	*correctie*	*fractie* $< 0{,}063\ \mu$	*correctie*	*fractie* $< 0{,}063\ \mu$	*correctie*	*fractie* $< 0{,}063\ \mu$	*correctie*
0,0— 0,7	0,0	11,4—12,9	—0,8	20,6—22,0	—1,4	31,2—32,6	—2,1
0,8— 2,3	—0,1	13,0—14,4	—0,9	22,1—23,5	—1,5	32,7—34,2	—2,2
2,4— 3,8	—0,2	14,5—15,9	—1,0	23,6—25,0	—1,6	34,3—35,7	—2,3
3,9— 5,3	—0,3	16,0—17,4	—1,1	25,1—26,6	—1,7	35,8—37,2	—2,4
5,4— 6,8	—0,4	17,5—18,9	—1,2	26,7—28,1	—1,8	37,3—38,7	—2,5
6,9— 8,3	—0,5	19,0—20,5	—1,3	28,2—29,6	—1,9	38,8—40,2	—2,6
8,4— 9,8	—0,6			29,7—31,1	—2,0		
9,9—11,3	—0,7						

b. *Werkwijze voor gronden met meer dan 10 % organische stof.* — Aangezien door de voorbehandeling met H_2O_2 niet alle organische stof wordt verwijderd uit de fijnere fracties van gronden met hogere humusgehalten, moeten deze fracties worden gegloeid (Hooghoudt, 1945). Hierbij verdwijnt echter ook het vastgebonden water, waarvoor een correctie moet worden aangebracht.

De voorbehandeling van de monsters en de bepaling der bij 105° C gedroogde fracties $< 2\ \mu$, $< 1\ \mu$, $< 0{,}5\ \mu$, $< 0{,}25\ \mu$, $< 0{,}125\ \mu$ en $< 0{,}063\ \mu$ geschiedt op dezelfde wijze als bij gronden met lagere gehalten aan organische stof, alleen worden in plaats van glazen kroesjes, kroesjes van kwarts gebruikt. Hierin worden bovengenoemde fracties gedurende 6 uren bij 800° C gegloeid en na afkoeling boven $CaCl_2$ nogmaals op de rembalans gewogen. Bij de nu gevonden gewichten moet een correctieterm voor het verloren gegane vastgebonden water worden opgeteld.

Deze correctie moet bepaald worden door van een groot aantal humusarme gronden bovengenoemde subfracties op de beschreven wijze te gloeien en te wegen. Op de gevonden gewichtsverminderingen wordt nog een kleine correctie (0,5 %) voor het resterende humusgehalte aangebracht (Hooghoudt, 1945). Om de hoeveelheid vastgebonden water met voldoende nauwkeurigheid te bepalen moet van elke fractie van elk monster een flinke hoeveelheid worden verzameld, waartoe herhaaldelijk pipetteren noodzakelijk is.

In verband daarmee konden tot dusver slechts bij 9 monsters in de fracties $< 2\ \mu$, $< 1\ \mu$, $< 0{,}5\ \mu$, $< 0{,}25\ \mu$, $< 0{,}125\ \mu$ en $< 0{,}063\ \mu$ de hoeveelheden vastgebonden water worden bepaald. Tabel 6 geeft de resultaten weer. Hieruit blijkt, dat de correctie voor het vastgebonden water van de orde van grootte van 9 à 13 % van het fractiegewicht is en met het fijner worden der deeltjes toeneemt.

Verder blijkt, dat de correctie voor een bepaald monster of voor het gemiddelde van een bepaalde groep monsters voldoende nauwkeurig te bepalen is, maar van monster tot monster nog tamelijk sterk kan variëren. In de groep onderzochte monsters lopen de waarden voor de correctie per fractie nog 4 à 5 % uiteen. Dit betekent, dat door gebruik van een gemiddelde correctie voor elke fractie, indien een fractie ongeveer 50 % van de grond uitmaakt, in de bepaling van deze fractie gemakkelijk een fout van 1,3 gewichtsprocent kan optreden. Het gebruik van één gemiddelde correctieterm voor het vastgebonden water heeft dus zekere bezwaren. Nader onderzoek zal moeten uitmaken, hoe deze te ondervangen zijn. In de meeste gevallen (gronden met minder dan 10 % organische stof of fracties, minder dan ongeveer 25 % van de grond uitmakend) speelt deze moeilijkheid echter geen rol en kan voor elke fractie één correctieterm worden gebruikt. De waarden van deze correctietermen zullen echter nog op het onderzoek van meer monsters gebaseerd moeten worden, dan op die van de negen bovengenoemde.

3. *Nauwkeurigheid van de micropipetmethode*

Om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid van de micropipetmethode werden voor een serie van 12 monsters met uiteenlopende gehalten aan de verschillende fijnere fracties uit de (gebruikelijke) duplobepalingen de standaardafwijkingen van de duplo-gemiddelden bere-

TABEL 6 — HOEVEELHEID VASTGEBONDEN WATER IN DE FRACTIE $< 2\ \mu$ EN IN EEN AANTAL SUBFRACTIES DAARVAN

Monster no.	*Grondsoort*	*Gehalte aan org. stof (%)*	*Vastgebonden water in % van droge stof in de fractie*					
			$< 2\ \mu$	$< 1\ \mu$	$< 0{,}5\ \mu$	$< 0{,}25\ \mu$	$< 0{,}125\ \mu$	$< 0{,}063\ \mu$
26B 705	Knip (Friesland)	0,7	8,1	8,6	9,2	9,6	10,6	12,4
841?	idem	0,9	9,7	10,1	10,6	11,2	12,9	13,4
7030/31	leem (Esbeek)	0,4	11,6	12,1	12,7	13,2	14,4	16,1
23B 062	klei (Brunsum)	0,6	8,7	9,9	10,5	10,8	11,6	12,8
20B 860	spierklei (Ellerwoutsdijk)	1,0	8,9	9,0	9,6	11,7	12,2	12,7
26B 646	zeeklei (Leegkerk)	5,7	8,3	8,3	8,9	11,1	11,3	12,7
7979	knik (Oldehove)	1,0	9,4	9,9	10,3	11,5	12,3	11,8
8053	idem	1,8	7,5	7,8	8,4	10,2	10,8	11,2
23B 055	rivierklei (Haaften)	2,8	8,3	10,0	11,0	11,6	13,2	15,1
gemiddelde van bovenstaande monsters			8,9	9,5	10,1	11,2	12,1	13,1
standaardafwijking van dit gemiddelde			0,06	0,05	0,06	0,07	0,08	0.06

TABEL 7 — STANDAARDAFWIJKINGEN (IN % VAN DROGE STOF) VAN DE FRACTIE $< 2\,\mu$ EN HAAR SUBFRACTIES (BEPAALD ALS DUPLO-GEMIDDELDEN), BEREKEND UIT HET GRANULOMETRISCH ONDERZOEK VAN 12 MONSTERS

Fractie	*Standaard-afwijking duplo-gemiddelde*	*Fractie*	*Standaard-afwijking duplo-gemiddelde*
$< 2\,\mu$	0,5	2 —1 μ	0,9
$< 1\,\mu$	0,7	1 —0,5 μ	0,8
$< 0{,}5\,\mu$	0,3	0,5 —0,25 μ	0,5
$< 0{,}25\,\mu$	0,4	0,25 —0,125 μ	0,6
$< 0{,}125\,\mu$	0,3	0,125—0.063 μ	0,7
$< 0.063\,\mu$	0,6	$< 0{,}063\,\mu$	0,6

kend. Het resultaat is samengevat in tabel 7, waaruit blijkt, dat de subfracties van de fractie $< 2\,\mu$ nauwkeuriger dan tot op één gewichtsprocent kunnen worden bepaald, hetgeen voor de meeste doeleinden voldoende is.

4. *Rekenvoorbeeld*

Monster 31B 121. Knipklei uit Oosterlittens (laag 18—28 cm ÷ m.v.; januari 1953; fractie $< 2\,\mu$ volgens gecombineerde zeef- en pipetmethode 46,3 %).

Gewicht der gepipetteerde en bij 105° C gedroogde fracties in mg:

fractie	*bepaling no.* 1	2	*gemiddeld*	*verschil van de opeenvolgende fracties*
$< 2\,\mu$	10,47	10,86	10,67	
$< 1\,\mu$	9,46	9,54	9,50	1,17
$< 0{,}5\,\mu$	8,71	8,71	8,71	0,79
$< 0{,}25\,\mu$	7,38	7,31	7,35	1,36
$< 0{,}125\,\mu$	6,20	6,42	6,31	1,04
$< 0{,}063\,\mu$	4,84	5,33	5,09	1,22

Fractie $< 0{,}063\,\mu$ wordt na toepassing der peptisatorcorrectie 5,09 — 0,85 = 4,24 mg, waarna de berekening der gezochte fractiegewichten als volgt verloopt:

fractie	*gewicht fractie (mg)*	*× 4,465 = gewichtsprocenten van lucht-droge grond*	*omgerekend in gewichtsprocenten van droge stof*	*× 46,3 / 46,9 voor herleiding op som 46.3*	*na correctie voor te korte bezinkingstijd bij bepaling fractie $< 0{,}063\,\mu$*	*in % van de fractie $< 2\,\mu$*
2 —1 μ	1,17	5,22	5,6	5,5	5,5	12
1 —0,5 μ	0,79	3,53	3,8	3,8	3,8	8
0,5 —0,25 μ	1,36	6.07	6,5	6,4	6,4	14
0,25 —0,125 μ	1,04	4,64	5,0	4,9	4,9	11
0,125—0,063 μ	1,22	5,45	5,8	5,7	7,0	15
$< 0{,}063\,\mu$	4,24	18,93	20,2	20,0	18,7	40
Som			46,9	46,3	46,3	100

SAMENVATTING

Met behulp van het archief voor granulometrisch onderzoek, waarvan de inrichting werd besproken, kon een groot aantal gegevens over de korrelgrootte-verdeling van de keileem en het proglaciale zand worden verzameld en bestudeerd. Van bijna 60 keileemmonsters werd de granulometrische samenstelling van de lutumfractie (deeltjes $< 2\,\mu$) tot $1/16\,\mu$ bepaald volgens de z.g. micropipetanalyse, waarvan een beschrijving werd gegeven. Op grond van de gegevens was het mogelijk drie keileemtypen in ons land te onderscheiden: (1) normale keileem, (2) schollenkeileem, (3) oostnederlandse keileem.

De normale keileem van Rissglaciale ouderdom, bleek niet slechts in de Noordoostpolder,

zoals De Waard (1949) vond, maar ook in verschillende andere gebieden van het land een praktisch constante korrelgrootte-verdeling te bezitten, hetgeen was af te leiden uit het uniforme verloop van de curven van 170 monsters. Deze constante samenstelling is vermoedelijk een gevolg van een intensieve menging van het materiaal door het ijs gedurende het transport naar onze gebieden.

De aanwezigheid van schollenkeileem, een typisch rood gekleurde, zware leem met een veelal hoog gehalte aan koolzure kalk, kon behalve in de Noordoostpolder (De Waard, 1949) ook in verschillende andere delen van het land worden aangetoond, o.a. in Groningen, Drente, Utrecht en Noord-Holland. De korrelgrootteverdeling van deze keileem bleek zeer constant en volkomen identiek met die uit de Noordoostpolder te zijn, maar duidelijk van de normale keileem te verschillen.

De oostnederlandse keileem daarentegen, vertoonde een uiterst heterogeen korrelgrootte-beeld. Dit is vermoedelijk een gevolg van vermenging van deze keileem met vreemd heterogeen materiaal uit de ondergrond, door de grotere reliefverschillen in dit gebied. De zeer zware keilemen (met ca 90 % afslibbare delen) zouden verklaard kunnen worden door aan te nemen, dat vermenging van de leem met Tertiaire kleien, die hier plaatselijk aan of dicht aan de oppervlakte voorkomen, heeft plaats gehad.

Tenslotte kon worden aangetoond, dat de granulometrische samenstelling van de slib- en lutumfractie van de keileem tamelijk constant is. Hoewel de variatie bij de keileem iets groter is dan bij de jonge-zeekleigronden, komt de lutum/slibverhouding van de meeste keileemmonsters waarvan deze verhouding bekend is, overeen met die van de jonge-zeekleiafzettingen.

Het proglaciale zand, bekend uit enkele boringen in Drente en Groningen, bleek eveneens een uniforme korrelgrootte-verdeling te bezitten. Uit het verloop van de curven kon worden afgeleid, dat het zand in het algemeen vrij sterk gesorteerd was en slechts in enkele gevallen in het bovenste deel van het profiel wat grovere bestanddelen bevatte. Het korrelgrootte-beeld vertoonde grote overeenkomst met de fijne, eolische Würmglaciale of Laatglaciale zanden. In plaats van een fluvioglaciale wijze van sedimentatie zoals vroeger werd verondersteld, lijkt een eolische- of niveo-eolische wijze van afzetting van deze zanden dan ook meer waarschijnlijk. De aanwezigheid van een klein percentage grovere bestanddelen in sommige monsters duidt er echter op, dat ook een andere wijze van sedimentatie plaats gehad kan hebben. Deze grovere bestanddelen zouden in verband kunnen staan met de nadering van het ijsfront en daarmee met een bijmenging van fluvioglaciaal materiaal.

BIBLIOGRAFIE

Aarnio, B. (1938) — Die mechanische Zusammensetzung der Moräne in Finnland. Agrogeol. Julkaisuja no. 45, pp. 1-14.

Baden Powell, D. F. W. (1948) — Long distance correlation of boulder clays. Nature 161, pp. 287-288.

Baren, J. van (1927) — De bodem van Nederland, II. Amsterdam.

Brouwer, A. (1950) — De IJstijd in Nederland. Sporen der IJstijd. Public. VIII v. d. Ned. Geol. Ver.

Burck, H. D. M. (1938) — Over smeltwatervormingen in Oostelijk Overijssel. Med. Rijks Geol. Dienst, Serie A, no. 5.

Calker, F. J. P. van (1884) — Beiträge zur Kenntnis des Groninger Diluviums. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. Bd. XXXVI, pp. 713-736.

——, (1885) — Diluviales aus der Gegend von Neu-Amsterdam. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. Bd. XXXVII, pp. 792-802.

Doeglas, D. J., en Brezesinska Smithuysen. W. C. (1941) — De interpretatie van de resultaten van korrelgrootte-analysen. Geol. en Mijnb. 3, pp. 273-296.

——, (1950) — De interpretatie van korrelgrootte-analysen. Verh. Ned. Geol. Mijnb. Gen. Geol. Serie XV, pp. 247-329.

Dreimanis, A., and Reavely, G. H. (1953) — Differentiation of the lower and the upper till along the north shore of Lake Erie. Journ. Sed. Petr., vol. 23, pp, 238-259.

Favejee, J. Ch. L. (1951) — The origin of the „Wadden" mud. Med. Landb. Hogeschool, Wageningen 51, 5, pp. 113-141.

Hissink, D. J. (1929) — De bodemkundige gesteldheid van den Andijker Proefpolder in het jaar 1927-1928.

Hol, J. B. L. (1949) — Geomorfologie, in: Handboek der Geografie van Nederland, Dl. I, Zwolle.

Hooghoudt, S. B. (1943) — De bodemgesteldheid van de Veenkoloniën: de doorlatendheid van de watervoerende laag tot maximaal 20 m onder het maaiveld en de daaruit af te leiden algemene conclusies met betrekking tot de ontwatering van de Veenkoloniën. V.L.O. 49 (16) A, 's-Gravenhage.

——, (1945) — Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, no. 9. Een gecombineerde zeef- en pipetmethode voor de bepaling van de granulaire samenstelling van gronden. Versl. Landbk. Ond. 50 (13) A, pp. 671-993.

——, (1948) — Enige resultaten van de bepaling der gehalten van gronden aan lutum subfracties. Maandbl. Landb. Voorl. 58, pp. 355-357.

Järnefors, B. (1952) — A sediment petrographic study of glacial till from the Pajala district, N. Sweden. Geol. Fören. Förhandlingar 74, pp. 185-211.

Jong, J. D. de (1951) — Duin- en zeezand. V.L.O. 57, 5, 's-Gravenhage.

Jonker, H. G. (1913) — De betekenis van de kleur der keileem in Nederland. Verh. Geol. Mijnb. Gen. Geol. Serie I, pp. 273-281.

Kivekäs, E. K. (1946) — Zur kenntnis der mechanischen, chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Finnischen Moränen. Acta Agralia Fennia 60, 2. 122 pp.
Koning, A. (1950) — Observations concerning sedimentation in the Wadden Sea Area, in the light of some granular analyses. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. LXVII, pp. 342-349.
Krumbein, W. C. (1933) — Textural and lithological variations in glacial till. J. of Goology 41, pp. 382-408.
——, (1936) — The use of quartile measures in describing and comparing sediments. Amer. J. Sc. 32, pp. 98-111.
Kühn, M. (1928) — Beiträge zur Theorie und Praxis der mechanischen Bodenanalyse. Landw. Jahrb. 67, pp. 485-546.
Leopold, G. H. (1910) — Over het keileem in het Nederlands Diluvium. Versl. v. Landb. Onderz. der Rijkslandbouwproefstations no. VIII, 99 pp.
Lorie, J. (1907) — De voorgestelde eenheid van het ijstijdvak. T.A.G. 2e serie, dl XXIV.
——, (1913) — Rode keileem en rood zand in Nederland. Versl. Geol. Mijnb. Gen. Geol. Serie I, pp. 255-271.
Richter, K. (1933) — Gefüge und Zusammensetzung des norddeutschen Jungmoränengebietes. Abh. Geol. Pal. Inst. Univ. Greifswald XI, pp. 1-63.
Roo, H. C. de (1952) — Over de oppervlakte-geologie van het Drentse plateau. Boor en Spade, dl. V, pp. 102-118.
Sherman, I. (1953) — Flocculant structure of sediment suspended in Lake Mead. Trans. Amer. Geoph. Union 34, 3, pp. 394-406.
Shepps, V. C. (1953) — Correlation of the tills of northeastern Ohio by size analysis. Journ. Sed. Petr., vol. 23, pp. 34-48.
Steenhuis, J. F. (1937) — Nieuwe bijdrage tot de stratigrafie van het Nederlandsche Pleistoceen. Geol. en Mijnb. XVI, 1, pp. 7-8.
Tesch, P. (1932) — Geologisch overzicht. Verzamelwerk „Overijssel", Deventer.
——, (1934) — De opeenvolging van de oud-plistocene lagen in Nederland. T.A.G. 2e serie, dl. II, pp. 649-675.
Vink, A. P. A. (1949) — Bijdrage tot de kennis van loess en dekzanden in het bijzonder van de zuid-oostelijke Veluwe. Diss. Wageningen.
Voorthuysen, J. H. van, en Lagaay, R. (1950) — Micropalaeontologisch onderzoek van keileem. Sporen der IJstijd, pp. 80-93. Red. Dr D. de Waard, Zutphen.
Vries, O. de (1942) — De granulaire samenstelling van Nederlandse grondsoorten. Versl. Landb. Onderz. 48 (11) A, pp. 565-709.
Waard, D. de (1944) — Twee keileemsoorten in Nederland. Geol. en Mijnb. VI, pp. 63-64.
——, (1949) — Glacigeen Pleistoceen. Verh. Geol. Mijnb. Gen. Geol. Serie XV, pp. 75-246.
Wascher, H., and Winters, E. (1938) — Textural groups of Wisconsin till and their distribution in Illinois. Amer. J. Sci. XXXV, no. 205, pp. 14-22.
Waterbolk, T. Tj., en T. H. van Andel (1951) — Stuifzandprofielen te Havelte. Nieuwe Drentse Volksalmanak 69, pp. 141-156.
Wiggers, A. J. (1955) — De wording van het Noordoostpoldergebied. Diss. Amsterdam.
Winters, E., and Wascher, H. (1935) — Local variability in the physical composition of Wisconsin drifts. Journ. Amer. Soc. Agron. 27, pp. 617-622.
Zuur, A. J. (1936) — Over de bodemkundige gesteldheid van de Wieringermeer.