LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O., GRONINGEN
GEOLOGISCHE DIENST, HAARLEM
RIJKSINSTITUUT VOOR DRINKWATERVOORZIENING, 'S-GRAVENHAGE

AGROHYDROLOGISCHE PROFIELEN VAN ZEELAND

EEN GEOLOGISCHE EN HYDRO-LITHOLOGISCHE VERKENNING
VAN DE ONDERGROND VAN EEN ESTUARIEN GEBIED
TOT EEN DIEPTE VAN MAXIMAAL 40 METER

DR. N. A. DE RIDDER
IN SAMENWERKING MET
DR. J. H. VAN VOORTHUYSEN
DR. J. H. VAN DER GRIENT
IR. J. H. BELTMAN
EN
IR. J. A. VAN 'T LEVEN

HOOFDAFDELING DOCUMENTATIE EN PUBLIKATIES
MINISTERIE VAN LANDBOUW, VISSERIJ EN VOEDSELVOORZIENING

STAATSDRUKKERIJ UITGEVERIJBEDRIJF
1957

INHOUD[1]

Blz.

WOORD VOORAF 7

INLEIDING 9

I. OVERZICHT VAN DE BOORGEGEVENS (N.A.D.R.) 12
1. Het veldwerk 12
2. Boortechniek en wijze van bemonsteren 13
3. Verwerking van oudere boorgegevens 13
4. Het laboratoriumonderzoek 14

II. BESCHRIJVING VAN HET GEBIED (N.A.D.R.) 15
1. Topografie 15
2. Klimaat 15
3. Geomorfologie 16

III. ALGEMEEN GEOLOGISCH OVERZICHT TOT EEN DIEPTE VAN 40 METER (J.H.V.V.) 20
Stratigrafie 20
1. Boven-Eoceen (Bartonien) 20
2. Midden-Oligoceen (septariënklei) 20
3. Boven-Mioceen 20
4. Plioceen in Coralline Cragfacies 22
5. Poederlien 22
6. Icenien 23
7. Afzetting van Halsteren (Tiglien t/m Drenthien) 24
8. Afzetting van Vlissingen (Eemien t/m Tubantien) 25
9. Boreaal en vroeg-atlantisch veen 26
10. Midden-atlantische wadafzettingen 27
11. Laat-atlantisch en subboreaal veen 29
12. Opvulling van een vermoede holocene Scheldeloop 29
13. Subatlantische wadafzettingen, zeezand en duinen 31

IV. BESCHRIJVING VAN DE VERSCHILLENDE SEDIMENTEN (N.A.D.R.) 33
A. Tertiaire sedimenten 34
1. Midden-Oligoceen 34
2. Boven-Mioceen 38
3. Plioceen 40

[1] De initialen van de auteurs zijn tussen haakjes achter de titels der hoofdstukken geplaatst.

Blz.

B. Pleistocene sedimenten 42
1. Poederlien 42
2. Icenien 43
3. De Afzetting van Halsteren 48
4. De Afzetting van Vlissingen 51

C. Holocene sedimenten 55
1. Boreaal en vroeg-atlantisch veen 55
2. Midden-atlantische wadafzettingen 55
a. Oude zeeklei 61
b. Oude zeezanden 63
3. Laat-atlantisch en subboreaal veen 65
4. Jong-holocene Scheldeafzettingen 66
5. Subatlantische wadafzettingen 67
a. Jonge zeeklei 68
b. Jong zeezand 71
c. Jong duinzand 72

V. HET DOORLATEND VERMOGEN VAN DE DIEPERE ONDERGROND (N.A.D.R.) 73
1. Het begrip doorlatendheid en de verschillende factoren die erop van invloed zijn 73
2. Methode voor het bepalen van de doorlaatfactoren 74
3. Resultaten van het onderzoek naar het doorlatend vermogen van de diepere lagen 76
a. Waterkerende lagen 77
b. Watervoerende lagen 80
c. Lagen met sterk wisselende doorlaatfactoren 83

VI. CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN HET GRONDWATER (J.H.V.D.G. en J.H.B.) 85
1. Inleiding 85
2. De indeling in zoet, brak en zout water 86
3. Zoet grondwater 86
4. Brak en zout grondwater 88
a. Het grondwater beneden de septariënklei 88
b. Het grondwater boven de septariënklei 89

VII. GRONDWATERSTANDEN (J.H.B.) 95
1. Theoretische grondslagen 95
2. Grondwaterstandswaarnemingen 98

Blz.

VIII. DE ONTWIKKELING EN HET VOORKOMEN VAN ZOETWATERLAGEN (J.A.V.'T L.) 107

1. Ontstaan en ontwikkeling van zoetwaterlagen (freatisch water) . . . 109
   a. De situatie vóór de indijking van een schor 109
   b. De situatie nà de indijking 109
   c. De ontwikkeling van het zoetwaterpakket 110
   d. De verstoring van het evenwicht 114
2. Beschrijving van de eilanden en Zeeuws-Vlaanderen 114
   a. Schouwen-Duiveland 114
   b. St. Philipsland 115
   c. Tholen 115
   d. Noord-Beveland 115
   e. Zuid-Beveland 116
   f. Walcheren 116
   g. Zeeuws-Vlaanderen 117
3. Het voorkomen van zoet water op grotere diepte (fossiel water, spanningswater) 117
   a. De vindplaatsen 117
   b. De herkomst 118

LITERATUUR 120

LIJST DER 105 BIJLAGEN 123

WOORD VOORAF

Het aan vele geïnteresseerden toegezonden, gestencilde rapport „Verzameling van agrohydrologische profielen van Nederland - Schouwen-Duiveland" (Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen - Geologische Dienst, Haarlem) is als een voorloper te beschouwen van de thans voor ons liggende publikatie. Wijlen dr. S. B. HOOGHOUDT nam het initiatief om tot een systematische studie te komen van de hydrologische profielen, waarvan de kennis van grote betekenis is voor de waterbeheersing van onze cultuurgronden.

Dr. HOOGHOUDT verkreeg bij zijn streven de medewerking van dr. A. J. PANNEKOEK, toendertijd waarnemend directeur van de Geologische Stichting, afd. Geologische Dienst te Haarlem, en legde contacten met het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en met het Archief voor Grondwaterstanden T.N.O. om de resultaten der vele boringen zo vruchtdragend mogelijk te doen zijn. Zeeland werd als eerste object genomen, aangezien in de samenstelling van de „Commissie Verdroging en Ontzilting Zeeland" een teken werd gezien van de aldaar aanwezige belangstelling voor problemen van waterbeheersing.

Het onderzoek maakte deel uit van het werkprogramma van beide hieronder genoemde instituten. De Dienst Uitvoering Werken verleende medewerking, terwijl later steun uit de M.S.A. (voorheen E.C.A.)-fondsen werd verkregen. Wij betuigen hiervoor gaarne onze dank.

Na de voltooiing van het onderzoek in Zeeland is dit voortgezet in Limburg en op enkele plaatsen in Noord-Brabant en Utrecht. De resultaten worden gebruikt bij de voorbereiding van werken van hydrologische aard, welke de laatste jaren een zo grote vlucht hebben genomen. Het hydrologische onderzoek, dat door dr. HOOGHOUDT werd geleid, is thans een onderdeel van de taak van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen, terwijl het geologische onderzoek ook verder door de afd. Geologische Dienst van de Geologische Stichting verricht zal worden.

Dr. HOOGHOUDT hechtte veel waarde aan de voltooiing van systematisch opgezet onderzoek. Mogen, voorzover dit op het onderzoek naar de hydrologische profielen in Nederland betrekking heeft, nog vele geschriften op deze publikatie volgen.

De directeur van het
Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut
T.N.O. te Groningen
P. BRUIN

De directeur van de
Geologische Stichting, afd. Geologische Dienst
te Haarlem
A. A. THIADENS

INLEIDING

In de laatste jaren wordt de beheersing van de waterhuishouding van de bodem meer en meer beschouwd als een belangrijk onderdeel van landbouwkundige verbeteringen. Tot voor kort werden verbeteringen in de waterhuishouding van een gebied in de meeste gevallen slechts gezocht in een snelle afvoer van de overtollige neerslag of, met andere woorden, in ontwatering. Het tekort aan water in sommige gebieden in bepaalde tijden van het jaar was de reden waarom aan de watervoorziening, dus aan de wateraanvoer, meer aandacht moest worden geschonken. Van een goede waterbeheersing van de bodem kan dan ook slechts gesproken worden, wanneer in iedere tijd van het jaar de juiste grondwaterstand kan worden ingesteld. Om dit te kunnen verwezenlijken is inzicht in de bouw en doorlatendheid van het bodemprofiel een eerste vereiste. Het voorkomen van watervoerende lagen, hun verbreiding en dikte, alsmede de aanwezigheid van afsluitende, slecht doorlatende lagen in het bodemprofiel vormen evenzovele gegevens, die voor een hydrologische karakterisering van het profiel noodzakelijk zijn. In het bijzonder zijn het de lagen met een geringe doorlatendheid, die de intensiteit van de waterstroming in de grond beheersen en bij de instelling van een bepaalde grondwaterstand veelal een belangrijke rol spelen.

Het behoeft nauwelijks enige toelichting, dat bij problemen, die op de beheersing van de grondwaterstand betrekking hebben, het bodemprofiel tot grotere diepte dan tot waar de beworteling reikt van belang is. Nu is de kennis van de bouw en doorlatendheid van het diepere bodemprofiel in ons land in de meeste gevallen uiterst gering. Het is dan ook één van de vele verdiensten van wijlen dr. S. B. HOOGHOUDT geweest, het belang van een meer systematisch onderzoek van deze profielen te hebben bepleit. Onder zijn leiding kon enkele jaren geleden door het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen een begin met dit onderzoek worden gemaakt. De provincie Zeeland werd als eerste object hiervoor uitgekozen. In deze provincie deden en doen zich ook thans nog vele problemen voor ten aanzien van de waterbeheersing, waarbij in een typisch estuarien gebied als het onderhavige, het vraagstuk van de verzilting wel een zeer bijzondere plaats inneemt.

In tegenstelling met de behoeften van de industrie en van de drinkwaterleidingbedrijven, heeft de landbouw tot dusver slechts in beperkte mate aanspraken op het grondwater voor kunstmatige watervoorziening van de gewassen doen gelden. Het oppompen van grondwater voor kunstmatige beregening breidt zich echter in verschillende delen van ons land voortdurend uit. De vraag doet zich voor, welke gevolgen deze wateronttrekking voor het grondwaterreservoir zal hebben. Aan de hand van nauwkeurige waarnemingen van de grondwaterstanden in de loop van het jaar kan hierin mogelijk enig inzicht worden verkregen.

Indien in verschillende gebieden van ons land aanspraken op het diepere grondwater zullen worden gedaan, o.a. voor kunstmatige beregening van landbouwgewassen, dan verdient behalve de beschikbare hoeveelheid, ook de aard van dit water onze aandacht.

Het doel van dit onderzoek was dan ook, naast het verkrijgen van een inzicht in de bouw en samenstelling en doorlatendheid van het diepere bodemprofiel, gegevens te verzamelen over de chemische samenstelling van het grondwater en over het verloop van de grondwaterstanden in de loop der jaren.

Door het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen werd daartoe een groot aantal diepboringen verricht, waarvan de resultaten in hydrolithologische profielen werden verwerkt. De Geologische Dienst te Haarlem verleende, voorzover het het geologische gedeelte van het onderzoek betreft, zijn medewerking. Het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en het Archief voor Grondwaterstanden T.N.O., beide te 's-Gravenhage, verzorgden respectievelijk het chemisch-analytische onderzoek van het grondwater en de verwerking van de grondwaterstandswaarnemingen.

Enkele jaren geleden verscheen een rapport, waarin de resultaten van het onderzoek op Schouwen-Duiveland werden medegedeeld. In zijn inleiding tot dat rapport werden door dr. HOOGHOUDT uitvoerig doelstelling en organisatie van het onderzoek uiteengezet, zodat thans volstaan kan worden daarnaar te verwijzen.

In het volgende zijn de resultaten van het onderzoek van de gehele provincie Zeeland besproken. Schouwen-Duiveland is daarbij opnieuw in de beschouwingen betrokken. Ook in de kaarten en profielen is het eiland weer opgenomen. Behalve voor het behoud van een algemeen overzicht over het gehele gebied, was dit nodig omdat tengevolge van voortgezet onderzoek, de geologische interpretatie van sommige lagen op dit eiland sedert het verschijnen van bovengenoemd rapport moest worden herzien.

Achtereenvolgens is in hoofdstuk I een overzicht gegeven van de uitvoering van het veldwerk, de boortechniek, de verwerking van oudere boorgegevens en het verrichte laboratoriumonderzoek. Daarna volgt in hoofdstuk II een beschrijving van het gebied en in hoofdstuk III een overzicht van de geologie. Ten einde een inzicht in de bouw en samenstelling van de lagen en hun eigenschappen te verkrijgen, zijn de verschillende sedimenten en hun lithologische kenmerken beschreven in hoofdstuk IV. Vervolgens zijn in hoofdstuk V de methode voor het bepalen van de doorlaatfactoren en het doorlatend vermogen van de onderscheiden lagen behandeld.

In de hoofdstukken VI en VII vindt de bespreking plaats respectievelijk van de chemische samenstelling van het diepere grondwater en de grondwaterstandswaarnemingen.

Tenslotte is in hoofdstuk VIII uitvoeriger ingegaan op het ontstaan, de verbreiding en de dikte van de zoetwaterlagen in Zeeland. In de laatste jaren werden hierover door de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting Zeeland zeer veel gegevens verzameld, zodat voor een groot deel van het gebied een nauwkeuriger beeld van de zoetwatervoorkomens is te geven dan uit onze en oudere boringen mogelijk was.

Om misverstand te voorkomen moge erop gewezen worden, dat het hiernavolgende in hoofdzaak beoogt documentatiemateriaal te geven, waaruit de vakman, die met de problemen betreffende de waterhuishouding op de hoogte is, kan putten. Het valt buiten het kader van dit onderzoek diepgaand op deze problemen in te gaan of zelfs mogelijke oplossingen aan te geven.

Ten slotte zij opgemerkt, dat de meer geologisch geïnteresseerde lezer op verzoek bij de Geologische Dienst inzage kan verkrijgen van het uitvoerige geologische rapport met bijbehorende grafieken betreffende de zware mineralen-, schelpen- en foraminifereninhoud der lagen.

I. OVERZICHT VAN DE BOORGEGEVENS

1. Het veldwerk

De gegevens over de samenstelling en doorlatendheid der diepere lagen, welke voor het vervaardigen van de verschillende kaarten en profielen nodig waren, werden verkregen door het verrichten van boringen tot een diepte van maximaal 40 m. Deze boringen, waarvan de plaats na bestudering van oudere boorstaten zorgvuldig werd uitgekozen, werden door het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen met een eigen diepboorinstallatie uitgevoerd. De Dienst Uitvoering Werken verleende medewerking door drie arbeiders voor het veldwerk beschikbaar te stellen. Het onderzoek stond onder leiding van de geoloog drs. E. Wicherts.

De leiding van de veldploeg berustte aanvankelijk bij de assistent, de heer R. H. Sol, terwijl daarna de assistent, de heer H. J. Meijer alle overige boringen verricht heeft.

In oktober 1950 werd een begin gemaakt met het verrichten van boringen op het eiland Schouwen-Duiveland. Nadat achtereenvolgens de verschillende boringen op de overige eilanden en in Zeeuws-Vlaanderen werden afgewerkt, konden de veldwerkzaamheden in februari 1952 worden afgesloten. In totaal waren toen 61 boringen uitgevoerd tot een gemiddelde diepte van ca. 34 m en 1316 monsters genomen voor onderzoek op de laboratoria. Gemiddeld werden per boring dus 22 monsters genomen.

Op de overzichtskaart (bijlage no. 1) is de ligging van deze boringen, die met de letter K en een cijfer zijn aangeduid, weergegeven. Hierbij moge worden opgemerkt, dat twee boringen in Zeeuws-Vlaanderen niet door ons gemaakt zijn, maar wel in ons nummersysteem zijn opgenomen, nl. K 53 en K 54. Deze boringen werden verricht door de Waterleiding Mij. Zeeuws-Vlaanderen, welke maatschappij zo vriendelijk was ons de monsters van deze boringen ter beschikking te stellen.

Juist over de provinciegrens, bij St. Philipsland, werd tenslotte nog een boring (N 36) op het vasteland van Noord-Brabant uitgevoerd.

Ten behoeve van het geologische onderzoek van de doorboorde lagen, werd een gelijk aantal monsters genomen en naar de Geologische Dienst te Haarlem verzonden.

De meeste boringen werden voorzien van één of meer peilbuizen met filters op verschillende diepten, waardoor de stijghoogten van het grondwater kunnen worden waargenomen. Ten einde een inzicht in de chemische samenstelling van het water op verschillende diepten te verkrijgen werd uit deze peilbuizen het benodigde water gepompt voor onderzoek door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening te 's-Gravenhage.

Behalve deze nieuwe gegevens, stonden bij het vervaardigen van de kaarten en profielen nog gegevens van 23 oudere boringen ter beschikking, zodat het totaal aantal boringen op 84 kwam. Bij een totale landoppervlakte van 169 537 ha betekent dit gemiddeld één boring per 2 000 ha. Deze oudere boringen zijn op de overzichtskaart (zie bijlage no.1) aangegeven met meer cijfers, b.v. 54E 19.

2. Boortechniek en wijze van bemonsteren

Het boren in zandige formaties, die beneden het freatisch vlak liggen, vereist een aparte boortechniek. Gezien ook de diepte waartoe de boringen moesten worden voortgezet, werd gebruik gemaakt van een boorinstallatie volgens het zg. schudsysteem, waarbij het materiaal met de normale kleppuls naar boven wordt gebracht. De boorbuizen ter lengte van 40 m (verdeeld in 20 stukken van elk 2 m) hadden een diameter van ca. 12 cm en werden door middel van heen- en -weerschudden naar grotere diepte gebracht. Van het door de puls bovengebrachte materiaal werden monsters genomen en wel ten minste één monster van iedere 2 m. Veranderde het karakter van de laag, dan werden meer monsters genomen.

Aan de methode van bemonsteren in geroerde toestand, waarbij dus vermenging van materiaal uit opeenvolgende lagen heeft plaats gehad, kleven, juist in verband met de doorlatendheidsbepalingen bezwaren, waarvan moeilijk is aan te geven hoe groot deze zijn. Een boring tot 40 m diepte geheel in ongeroerde toestand bemonsteren zou echter zeer veel tijd en een aparte boortechniek vergen. Wanneer in het profiel zandlagen voorkwamen, moesten wij ons tevreden stellen met geroerde monsters. Bevatte het profiel kleiïge lagen of zware kleien, dan werden met een speciaal steekapparaat enkele monsters in ongeroerde toestand genomen ten einde het gehalte aan afslibbare delen nauwkeurig te kunnen bepalen.

3. Verwerking van oudere boorgegevens

In eerste instantie kan voor vele landbouwkundige problemen worden volstaan met boringen, die tot een diepte van 40 m reiken. Er kunnen zich evenwel gevallen voordoen, waarbij de bouw en doorlatendheid van het bodemprofiel tot aanzienlijk grotere diepten van betekenis zijn. In dit verband kunnen bijvoorbeeld problemen als de zoute kwel in het westen van het land genoemd worden. Ook bij verdrogingsverschijnselen, als gevolg van een intensieve wateronttrekking aan de bodem ten behoeve van de industrie en de drinkwatervoorziening, kan het bodemprofiel tot 100 m en meer van belang zijn.

Bij het vervaardigen van de profielen is er daarom vanuit gegaan, dat — waar dit mogelijk was — gegevens van oudere boringen van meer dan 40 m diepte werden opgenomen. Op deze wijze konden bepaalde lagen zeer fraai door het gehele gebied vervolgd worden, hetgeen met de 40 m boringen niet steeds het geval zou zijn geweest. Behalve voor een juist inzicht in de structuur van de diepere ondergrond, waren vele oudere boorgegevens eveneens voor het ondiepere bodemprofiel van groot nut. Daarom is ook een aantal oudere, ondiepe boringen in de profielen verwerkt.

De gegevens van deze oudere boringen zijn ontleend aan het boorarchief van de Geologische Dienst te Haarlem. In hoofdzaak bestaan deze gegevens uit boorbeschrijvingen en vermelding van de stratigrafie. De monsters zijn in de meeste gevallen niet bewaard, zodat bepalingen in het laboratorium niet meer konden plaatsvinden. Uit de beschrijvingen moest daarom een schatting gemaakt worden ten aanzien van de samenstelling en doorlatendheid van het materiaal. Bij beschouwing van de pro-

fielen dient er dus rekening mede gehouden te worden, dat van de oudere opgenomen boringen behalve de stratigrafie, alle overige gegevens, zoals over de lithologie en doorlatendheid, op schattingen berusten.

4. Het laboratoriumonderzoek

Van de bij de boringen genomen monsters werden aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen de granulometrische samenstelling en de doorlatendheid onderzocht. In deze monsters werd het slib-, grind-, humus- en koolzure kalkgehalte alsmede het U-cijfer van de zandfractie bepaald. Met behulp van de gegevens over de granulometrische samenstelling kon nu alleen de doorlatendheid van de zanden met een te verwaarlozen gehalte aan afslibbare delen worden vastgesteld. De doorlaatfactoren van andere dan deze zandige sedimenten kunnen niet uit de granulometrische samenstelling van de genomen grondmonsters worden afgeleid, maar moeten ter plaatse worden bepaald volgens andere methoden. Tot deze categorie behoren de afzettingen, die meer dan 6 à 7% afslibbare delen bevatten. Niettegenstaande nauwkeurige gegevens over de doorlatendheid van de betreffende afzettingen ontbreken, kan hierin toch enig inzicht verkregen worden. In de vervaardigde profielen werd daartoe ten aanzien van het gehalte aan afslibbare delen van een arcering gebruik gemaakt, die het de beschouwer mogelijk maakt zich een beeld te vormen van de meer of minder grote slibrijkdom in het profiel. De relatieve doorlatendheid van de betreffende lagen kan hieruit worden afgeleid.

Ten einde op verantwoorde wijze profielen te kunnen opstellen, is een goed inzicht in de geologische ontwikkelingsgeschiedenis van het gebied een eerste vereiste. In de laboratoria van de Geologische Dienst te Haarlem vond daarom een uitvoerig onderzoek plaats van de zware-mineraleninhoud en de macro- en microfossielen van de monsters.

Voor de ouderdomsbepaling van de lagen werden zeer veel monsters op microfauna en palynologisch onderzocht.

In bepaalde gevallen kan een juist inzicht in de korrelgrootte-verdeling van de slibfractie van kleiïge sedimenten van betekenis zijn voor de faciesbepaling van het sediment. Van een aantal kleimonsters van verschillende herkomst en ouderdom werd door het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen de granulometrische samenstelling van de slib- en lutumfractie bepaald. Uit deze analyseuitkomsten konden karakteristieke verschillen en overeenkomsten tussen de verschillende kleien worden aangetoond.

Aan de verwerking van al deze gegevens tot kaarten en profielen heeft de assistent, de heer P. Hondius, gedetacheerd te Haarlem bij de Geologische Dienst, een zeer werkzaam aandeel gehad.

II. BESCHRIJVING VAN HET GEBIED

Alvorens in de volgende hoofdstukken de resultaten van het geologische en hydrologische onderzoek te behandelen, is het gewenst een beschrijving van het gebied te geven. In verband met het karakter van dit onderzoek is daarbij het accent op enkele typische morfologische kenmerken van het landschap gelegd. Zoals reeds werd opgemerkt, kan niet uitvoerig worden ingegaan op de verschillende hydrologische vraagstukken van het gewest.

1. Topografie

De begrenzing van het gebied, dat een totale oppervlakte van 269 493 ha beslaat, wordt in het westen door de Noordzee en in het noorden door Brouwershavense Gat en Grevelingen gevormd. De oostgrens loopt door de jonge landaanwinningen in Slaak en Kreekrak gedeeltelijk over land, ten dele over water, waar zij bepaald wordt door Eendracht, Ooster- en Westerschelde. In het zuiden valt de grens samen met de Rijksgrens, die ten naaste bij de scheidingslijn vormt tussen het klei- en zandgebied.

De Ooster- en Westerschelde en de verschillende vertakkingen dezer zeearmen verdelen het gebied in de eilanden Schouwen en Duiveland, Tholen en Noord-Beveland, de schiereilanden Walcheren, Zuid-Beveland en St. Philipsland en het ten zuiden van de Westerschelde gelegen vasteland Zeeuws-Vlaanderen. Vrijwel het gehele gebied bestaat uit laaggelegen polderland, dat door dijken tegen het buitenwater beschermd moet worden. Dit ogenschijnlijk vlakke landschap vertoont echter plaatselijk duidelijke reliefverschillen. De laagst gelegen gronden vindt men veelal in de oude eilandkernen, die door inklinking van de bodem beneden N.A.P. zijn komen te liggen. De laagste delen van de polders Walcheren, Schouwen, Vierbannen, „de Poel" in de Brede Watering ten westen van Ierseke liggen van 1-1,5 m beneden N.A.P. De oudste kernen van Tholen liggen reeds iets hoger. De middeleeuwse bedijkingen bestaan in het algemeen uit polders, waarvan de oppervlakte ongeveer op N.A.P. hoogte of iets daaronder ligt. De jongere polders liggen op een peil van ongeveer 1 m boven N.A.P.

In Zeeuws-Vlaanderen bestaan minder grote hoogteverschillen, alleen de zg. Putting en enkele andere polders bij Hulst liggen 1 à 1,5 m — N.A.P. Bovendien bezit het terrein in deze streek een helling, die ongeveer van zuid naar noord loopt. De laagste delen van westelijk Zeeuws-Vlaanderen treft men aan in de Watering Groede, de polders bij Biervliet en in het centrum van het vroegere eiland Cadzand.

2. Klimaat

Zeeland heeft, evenals de rest van Nederland, een vochtig gematigd klimaat. Wat de jaarlijkse neerslaghoeveelheden betreft kan worden opgemerkt, dat deze in de verschillende delen van Zeeland duidelijk uiteenlopen. De westelijke helft van Walcheren en westelijk Schouwen zijn met een jaargemiddelde van 600-650 mm het droogst, waarbij in het uiterste westen van Walcheren, o.a. in Westkapelle zelfs

minder dan 600 mm regen per jaar valt. Landinwaarts volgt dan een zone, waarin het kustgebied van westelijk Zeeuws-Vlaanderen, oostelijk Walcheren, westelijk Zuid-Beveland, Noord-Beveland, Duiveland, oostelijk Schouwen en St. Philipsland ligt, die gemiddeld per jaar 650-700 mm neerslag ontvangt. Het overige deel van Zeeuws-Vlaanderen en van Zuid-Beveland en het eiland Tholen hebben een jaargemiddelde van 700-750 mm en behoren hiermede dus tot de natste delen van het gebied.

Beschouwt men de maanden afzonderlijk, dan blijkt februari, met gemiddeld over de jaren 1901-1940 een hoeveelheid neerslag van 30-40 mm, tot de droogste maand te behoren. In de drie daaropvolgende maanden valt gemiddeld slechts weinig meer dan in februari.

De natste maand is wel oktober, waarin gemiddeld 70-80 en in West-Zeeuws-Vlaanderen zelfs 80-90 mm neerslag valt. Doch ook augustus is nat. In deze maand valt in West-Zeeuws-Vlaanderen, Zuid-Beveland en Tholen eveneens gemiddeld 70-80 mm regen. In de overige delen van Zeeland valt in die periode 60-70 mm.

De warmste maanden zijn juni en juli met een gemiddelde over de jaren 1901-1930 in Vlissingen gemeten temperatuur van 16,8°C. Januari en februari met gemiddeld 3,4°C zijn de koudste maanden.

3. Geomorfologie

Uit fysisch geografisch oogpunt beschouwd, behoort de provincie Zeeland tot het zuidwestelijke zeekleigebied van Nederland. De wordingsgeschiedenis van het Zeeuwse land wordt in grote lijnen bepaald door zijn ligging in de overgangszone van twee geologische eenheden. Enerzijds is dit het in het zuiden gelegen zg. Massief van Brabant, een vaste kern uit cambrosilurische gesteenten bestaande, die ten minste reeds vanaf het Carboon als een vast blok heeft gefungeerd, anderzijds het in het noorden gelegen dalingsbekken van de Noordzee. Dientengevolge vertonen de oud-pleistocene en oudere lagen een duidelijke helling in noordelijke richting, terwijl bovendien de lagen in deze richting een grotere dikte bereiken. Naar het zuiden daarentegen wiggen zij uit tegen de vaste kern van het Massief van Brabant. De oudste afzettingen, die aan de oppervlakte zijn waar te nemen, komen dan ook in het uiterste zuiden van Zeeuws-Vlaanderen voor, o.a. bij Nieuw Namen, waar in groeven het Poederlien ontsloten is. Deze afzetting wordt tegenwoordig tot het oudste mariene Pleistoceen gerekend. Behalve in het uiterste zuiden van Zeeuws-Vlaanderen komt nergens het Pleistoceen in Zeeland aan de oppervlakte. Op de jong-pleistocene afzettingen (zg. Laag van Vlissingen) werden in het Holoceen de relatief dunne zeekleiafzettingen gesedimenteerd, onderbroken door een periode van veenvorming. Het zijn deze zeekleigronden, die voor het overgrote deel de oppervlakte van het Zeeuwse polderland vormen.

Om de morfologie van dit landschap te begrijpen kan het wellicht het best beschouwd worden als te zijn ontstaan uit een veenlandschap. Nadat in het Midden-Atlanticum de zandige wadafzettingen waren gevormd, waarop zich een strandwal ontwikkelde, ontstond achter deze wal een gebied waar de omstandigheden voor het bezinken van zeer fijne slibdeeltjes gunstig waren. Zo kon op de zandige wad-

vlakte een sliblaag gevormd worden, die algemeen bekend staat onder de naam van „oude zeeklei". Na het droogvallen van dit slibdek in het Laat-Atlanticum, vormde zich hierop aanvankelijk laagveen, bestaande uit riet en andere moerasplanten, waarna al spoedig hoogveen *(Sphagnetum)* ontstond. Dit veengebied vormde een onderdeel van het grote samenhangende veenlandschap, dat in het Subboreaal de kusten van Noord-België, Zeeland, Zuid- en Noord-Holland omvatte en dat ook in N.W.-Duitsland en Noord-Frankrijk is aangetroffen. De grote verbreiding van dit veen wijst op een regressie van de zee gedurende het Subboreaal. In de loop van de tijd kreeg dit veenlandschap inbraken van de zee te verduren, zodat het reeds in de Romeinse tijd met name in Zeeland, o.a. op Walcheren, niet meer geheel intact was. Er bestonden toen reeds enkele getijgeulen, welke het veenlandschap versneden. Aan het einde van de derde eeuw breidde zich dit geulenstelsel sterk uit, ten gevolge waarvan het veenlandschap in verschillende „eilanden" uiteenviel. De getijdestromen schuurden de geulen uit, zodat in de grotere, waarin het sterkste watertransport bestond, het veen zelfs werd opgeruimd. Maar ook de kleinere geulen sneden zich meer of minder diep in het veen in.

Het met zand en slib beladen zeewater drong de geulen en kreken binnen, waarbij slechts de grovere bestanddelen in het betrekkelijk snel stromende water tot afzetting konden komen. Op deze wijze werden de geulen met zandig materiaal, in sommige gevallen zelfs met zuiver zeezand opgevuld, terwijl het vloedwater het fijnere slib op het veenoppervlak bracht, waar het onder zeer rustige omstandigheden kon bezinken. De sedimentatie van deze wadafzettingen vond plaats in het Subatlanticum gedurende verschillende transgressiefasen van de zee, die omstreeks het begin van onze jaartelling aanvingen. Deze subatlantische wadafzettingen worden in het algemeen onderscheiden in jonge zeeklei en jong zeezand.

Toen de verzanding van de geulen vrijwel was voltooid, werd slibrijk materiaal of zelfs zware klei op het zand afgezet, zodat een min of meer aaneengesloten bedekking van jonge zeeklei ontstond.

De typisch morfologische kenmerken, zoals deze zich thans aan ons voordoen, kwamen eerst na de bedijking van het gebied tot ontwikkeling. Ten gevolge van de inklinking van de veenondergrond door de drooglegging zijn de kleigronden sterk gedaald, terwijl de zandopvulling van de kreken en geulen, als gevolg van het ontbreken van het veen, weinig zijn gezakt. De aanvankelijk ten opzichte van de omgeving lager liggende kreken, met hun zandopvulling, vertonen zich thans als ruggen in het terrein. Op deze wijze ontstond dus een „inversie van het landschap".

Het inversielandschap, zoals dit in het bovenstaande werd geschetst, vindt men in de oude eilandkernen. In deze oude kernen komen dus naast laaggelegen zeekleigronden, de kronkelende, hooggelegen zandige ruggen voor. De waterhuishoudkundige situatie in deze gebieden liet eertijds, maar ook thans nog wel, veel te wensen over. De afwatering van deze laaggelegen vlakke kommen moest meestal door de hogere ruggen heen plaatsvinden, hetgeen in de winter vaak tot wateroverlast aanleiding gaf. Deze laaggelegen gronden, ook wel poelgronden genoemd, waren dan ook hoofdzakelijk als grasland in gebruik. De hogere kreekruggen daarentegen dragen het bouwland, terwijl ook de bewoning en de wegen erop zijn aangelegd.

In latere jaren, toen een betere ontwatering mogelijk werd, ontstonden nieuwe moeilijkheden. Weliswaar konden de lagere gronden grotendeels van hun waterovertast worden bevrijd, de hoger liggende zandige ruggen, die in het algemeen sterker doorlatend zijn, werden hierdoor echter te diep ontwaterd en gingen aan verdroging lijden.

Daarnaast doet zich op verschillende plaatsen het probleem van de zoute kwel voor. Het zoute grondwater kan ten gevolge van de druk van het buitenwater soms tot ongewenste hoogten stijgen. Dit neemt vooral ernstige vormen aan in die gebieden, waar de afsluitende klei- en veenbedekking om een of andere reden ontbreekt. Een voorbeeld hiervan is het kanaal door Walcheren, dat een zoutwaterkanaal is en door een oude kern gegraven werd. Op meer plaatsen langs dit kanaal treedt ernstige verzilting op. Ook het perforeren van de afsluitende laag door boorputten werkt het gevaar van het opstijgen van zout water in de hand. Verzilting komt verder in de lage delen van Schouwen en Tholen voor.

Naast de oude landkernen met hun typische morfologie, kunnen de jongere bedijkingen, ook wel „Nieuwland" genoemd, worden onderscheiden. Deze jongere gebieden zijn gevormd, nadat het „Oudeland" was weggeslagen en door nieuwe klei- en kleiige afzettingen was vervangen. Het veen in de ondergrond ontbreekt dus in dit landschap en in plaats van een kreken- en kommenlandschap treft men er een vrij uniforme bodem aan. Deze jongere gronden treft men vooral aan in de middeleeuwse bedijkingen op Schouwen en Noord-Beveland, St. Philipsland en westelijk Tholen, maar ook in Zeeuws-Vlaanderen in de bedijkingen van de Braakman, het Land van Axel en bij Hulst.

Tussen de beide hier besproken landschappen komt een overgangsgebied voor, dat het „Middelland" genoemd wordt. Dit landschap ontstond door inbraken van de zee, die het Oudeland ten dele vernielden. De resten ervan werden met jongere afzettingen bedekt. Deze gebieden zijn dus als het ware „verjongd", maar tonen nog duidelijk sporen van de oude toestand. Deze landschappen komen o.a. voor bij de oude kernen en vroeg-middeleeuwse bedijkingen.

Het duinlandschap is slechts in enkele delen van Zeeland goed ontwikkeld o.a. op Schouwen en Walcheren. Op Schouwen komt een duinrand voor van Scharendijke aan de noordkust via Renesse en Haamstede tot Westen Schouwen aan de zuidkust. Aan de noordkust is deze duinrand vrij smal. In het westelijke deel strekt zich het duinlandschap tot een breedte van maximaal 5 km landinwaarts uit.

Walcheren is aan de zeezijde eveneens door een duinrand beschermd, behalve bij Westkapelle waar de duinen ontbreken of zeer smal zijn. Deze duinstrook bezit een wisselende breedte en strekt zich uit van Vrouwenpolder aan de noordkust via Domburg, Westkapelle, Zoutelande tot de Nolledijk ten noordwesten van Vlissingen.

Behalve op deze beide eilanden, vindt ook aan de noordkant van Noord-Beveland duinvorming plaats, evenals aan de westkust van Zeeuws-Vlaanderen o.a. bij Cadzand. De duinen zijn hier zeer jong. Hun ontstaan dateert eerst uit de 18e eeuw, toen de zeedijk door het duinzand werd overstoven. De duinstrook is ter plaatse dan ook nog maar zeer smal.

De zandgebieden in het zuiden van Zeeuws-Vlaanderen vormen slechts een smalle strook langs de Belgisch-Nederlandse grens. Zij zetten zich in zuidelijke richting op Belgisch grondgebied voort. Hun voorkomen in Zeeuws-Vlaanderen blijft beperkt tot een gebied bij de Clinge, Hulst, St. Jansteen en Nieuw Namen. Verder een smalle strook bij Heikant en Koewacht en bij Oudenpolder, Sterre en ten zuiden van Sas van Gent. Ten slotte komen zandgronden voor langs de zuidgrens van West-Zeeuws-Vlaanderen o.a. bij Eede en Sluis.

Deze zanden vormen de opvulling van de zg. Vallei van Gent, een jong-pleistoceen dal, dat althans in het bovenste deel van het profiel met continentale sedimenten is opgevuld, o.a. voornamelijk dekzanden. Het behoeft geen betoog, dat deze zandgebieden, met hun eigen vegetatie, bodemgebruik en bewoning, een scherp contrast vormen met de typische zeekleipolders, waaruit het overige deel van Zeeland bestaat.

III. ALGEMEEN GEOLOGISCH OVERZICHT TOT EEN DIEPTE VAN 40 METER

STRATIGRAFIE

1. Boven-eoceen (Bartonien)

Deze afzetting werd alleen in het uiterste zuidwesten van Zeeuws-Vlaanderen in een tweetal oude boringen te Sluis en Aardenburg micropaleontologisch vastgesteld.

Het sediment bestaat uit donkergrijs, fijn glauconiethoudend zand met veel schelpgruis, sponsresten, ostracoden, radiolariën, nummulieten en foraminiferen. De diepte, waarop dit Boven-Eoceen werd aangetoond, bedraagt ca. 50 m—N.A.P. (zie profiel Q, bijlage no. 97). Hierboven bevinden zich steriele zanden en kleien, die tot het Midden-Oligoceen worden gerekend. Vroeger werd deze afzetting eveneens tot het Eoceen gerekend, doch in verband met het feit dat in boring K 62 (zie profiel R, bijlage no. 98) op 25 m—N.A.P. een oligocene foraminiferenfauna kon worden aangetoond, lijkt de aanwezigheid van Oligoceen op het Eoceen in deze streek zeer waarschijnlijk.

2. Midden-oligoceen (septariënklei)

In Zeeuws-Vlaanderen is de bovenkant van deze vaak taaie klei in bijna alle boringen aangetroffen op een diepte variërend tussen 10,80 m en 31,75 m — N.A.P.

Slechts op enkele plaatsen bleek deze afzetting micropaleontologisch te kunnen worden vastgesteld. In navolging van de Belgische opvatting (Boomse klei) wordt echter aangenomen, dat deze sedimenten tot het Midden-Oligoceen behoren. Het oost-west-profiel Q (bijlage no. 97) geeft een goed beeld van de ligging van dit laagpakket.

Bij gebrek aan diepere boringen is in de provincie Zeeland van de dikte en helling dezer afzetting maar weinig bekend. Op kaart no. 1 (bijlage no. 79) zijn zeer schematisch enkele structuurlijnen aangegeven van de basis dezer laag.

3. Boven-mioceen

Vroeger werden deze groengrijze tot donkergroene, matig tot middelfijne, soms wat slibhoudende glauconietzanden met schelpgruis, meestal wat wormbuisjes en plaatselijk veel fijn grind bevattend, tot het zg. Diestien (Onder-Plioceen) gerekend.

Op kaart no. 1 (bijlage no. 79) zijn enkele structuurlijnen van de basis van deze afzetting getekend. De gegevens waarop deze lijnen berusten, zijn hoofdzakelijk aan oudere boringen in het westen van de provincie Noord-Brabant ontnomen (zie profiel M, bijlage no. 94). De 50 m – lijn verloopt ongeveer ten zuiden van de eilanden Walcheren en Zuid-Beveland, zodat slechts de boringen van 40 m diepte ten zuiden van deze lijn het Boven-Mioceen hebben bereikt. Uit deze schaarse lijnen blijkt evenwel, dat dit laagpakket vrij sterk in noordelijke richting helt. Op het

Dit hoofdstuk werd geschreven door dr. J. H van Voorthuysen, Geol Dienst te Haarlem met medewerking van J. W. Chr. Doppert, prof. dr. F. Florschütz, H. Harmsen, dr. S. van der Heide, dr. J. D. de Jong, W. H. Zagwijn en dr. J. I. S. Zonneveld.

STRATIGRAFISCH OVERZICHT VAN DE AANGEBOORDE SEDIMENTEN

Tijdperk	Stratigrafische indeling		Korte samenvatting van de afzonderlijke sedimentpakketten	Symbolen op de profielen
	HOLOCEEN	Recent	*Zeezand en duinen*	Jzz en Jd
		Subatlantisch	*Subatlantische wadafzettingen* (jonge zeeklei)	Jzk
700 v. C.			*Opvulling holocene Scheldeloop*	Jong-holocene Scheldeloop
3000 v. C.		Subboreaal	*Laat-atlantisch en subboreaal veen* (zg. oppervlakteveen)	Jv
5500 v. C.		Atlantisch	*Midden-atlantische wadafzettingen* (zg. oud-holocene wadafzettingen)	Ozk, OW en Ozz
7000 v. C.		Boreaal	*Boreaal en vroeg-atlantisch veen* (zg. veen-op-grotere-diepte)	Ov
8000 v. C.		Preboreaal		
	PLEISTOCEEN	Tubantien	*Afzetting van Vlissingen.* De Nederlandse voortzetting van de opvulling van de Vlaamse Vallei, aan de basis gedeeltelijk marien (Eemien), aan de top dekzand uit het Tubantien (Würmijstijd) met ingeschakelde veenlagen	A. v. Vl.
40000		Eemien		Pl. v.
		Drenthien	*Afzetting van Halsteren.* Opvulling met continentale afzettingen van de zg. Vallei van Zeeland, met ingeschakelde veenlagen	A. v. H.
		Needien		Pl. v.
		Taxandrien		
		Tiglien		
300000		Pretiglien	*Icenien.* Mariene kustfacies	Ic
600000			*Poederlien.* Mariene kustfacies en oudste pleistocene afzettingen	Poed
	TERTIAIR	Plioceen	*Plioceen in Coralline Cragfacies* (vroeger Scaldisien genoemd)	Plioc.
12 milj.		Mioceen	Alleen *Boven-Mioceen* aanwezig (vroeger Diestien genoemd en tot het Onder-Plioceen gerekend)	B. Mioc
28 milj.		Oligoceen	Alleen *Midden-Oligoceen* aanwezig (septariënklei)	Oligoc
40 milj.		Eoceen	Alleen *Boven-Eoceen* (Bartonien) in Zeeuws-Vlaanderen aangeboord	Eoceen
60 milj.				

noord-zuid-profiel M (bijlage no. 94), dat zich juist buiten de oostgrens van de provincie Zeeland uitstrekt, is het verloop van deze afzetting vanaf Kruisschans bij Antwerpen tot in de ondergrond van Halsteren te volgen.

In West-Zeeuws-Vlaanderen is geen Boven-Mioceen in de ondergrond meer aanwezig, terwijl in Oost-Zeeuws-Vlaanderen, behalve in het zuiden, nog wel bovenmiocene afzettingen voorkomen. Op profiel Q (bijlage no. 97) liggen deze als een dunne laag op de septariënklei, terwijl ze naar het noorden toe in dikte toenemen, zoals profiel R (bijlage no. 98) laat zien.

Uit dit laatstgenoemde profiel blijkt, dat in miocene tijd de septariënklei tot een bepaalde diepte is weggeërodeerd, waarna deze verdieping weer werd opgevuld met de boven-miocene afzetting. Het noord-zuid-profiel S (bijlage no. 99) demonstreert onder Goes een erosie van het Boven-Mioceen in pliocene tijd, welke verdieping werd opgevuld met Plioceen in Coralline Cragfacies. Op ditzelfde profiel is mede tot uitdrukking gebracht dat in Zeeuws-Vlaanderen, de Vallei van Gent in middenpleistocene tijd, ook boven-miocene sedimenten heeft weggenomen.

4. Plioceen in coralline cragfacies

In Nederland werd dit laagpakket tot voor kort Scaldisien genoemd. In verband met nieuwe in gang zijnde stratigrafische onderzoekingen, in samenwerking met de Belgische collega's, worden deze lagen thans voorlopig genoemd, zoals hierboven aangegeven.

Het Plioceen in Coralline Cragfacies bestaat uit slibhoudend, fijn tot matig grof zand met gave schelpen en schelpgruis, bryozoën en grind tot 2½ cm. Plaatselijk kunnen veel ditrupa's (wormbuizen) voorkomen, soms een enkele haaietand en verkiezeld hout.

De bijgevoegde structuurkaart no. 2 (bijlage no. 80) van de basis dezer afzetting, vertoont enkele bijzonderheden, doordat in de Vlaamse Vallei (Vallei van Gent), doch ook in de kop van Zuid-Beveland, vermoedelijk niet overal Plioceen in Coralline Cragfacies aanwezig is. In de kop van Zuid-Beveland kunnen we echter niet aannemen, dat deze afzetting tijdens het ontstaan van deze midden-pleistocene vallei is weggenomen, omdat hier het Poederlien nog direct op het Mioceen rust. Hier hebben we dus met een pre-poederlien erosieperiode te doen, waarover thans verder geen gegevens ten dienste staan.

Ten slotte is nog te vermelden, dat de nagenoeg oost-west verlopende oud-pleistocene vallei (de Vallei van Zeeland), die tot minstens 80 m — N.A.P. moet zijn ingesneden, de Coralline Crag vooral in het zuidelijke gebied geheel of gedeeltelijk kan hebben verwijderd (zie kaart no. 4, bijlage no. 82, Afzetting van Halsteren).

De boringen zijn te ondiep om de basis van deze vallei ook maar bij benadering aan te geven.

5. Poederlien

Het Poederlien wordt tegenwoordig gerekend tot de oudste mariene pleistocene afzetting. Het is in 't algemeen een grijs tot groenachtig, matig grof tot matig fijn

zand, soms slibhoudend. Het slibgehalte kan plaatselijk zo hoog zijn, dat we moeten spreken van een zandige klei. Meestal bevat dit sediment veel schelpgruis, gave schelpen, fijn grind (tot 5 mm) en kleijzersteenconcreties (tot 2 cm). Het is een typisch littoraal-estuarien sediment met veel geremanieerd materiaal van het eronder gelegen Scaldisien.

De afzetting heeft een geringe dikte, bij hoge uitzondering 25 m, meestal beduidend minder. Dit komt goed overeen met de dikte van de Red Crag in Engeland, die een synchrone afzetting voorstelt, waar een maximale dikte van 12 m wordt vermeld. Kaart no. 3 (bijlage no. 81) geeft de structuurlijnen van de basis van het Poederlien weer. Op de kaart staat tevens de omtrek van de holocene Scheldeloop aangegeven, waarbinnen het Poederlien geheel of gedeeltelijk is weggeërodeerd.

6. Icenien

Deze mariene afzetting bestaat uit een slibhoudend, middel tot matig fijn zandig sediment met enkele kleilaagjes, rijk aan foraminiferen, soms met wat schelpen.

Door de brede oost-west verlopende erosiegeul (de Vallei van Zeeland), die in deze afzetting is gesneden (zie kaart no. 4, bijlage no. 82) en waarop hierna uitvoerig wordt ingegaan bij de bespreking van de Afzetting van Halsteren, waarmede deze geul is opgevuld, is de ligging van het Icenien alleen in groter verband te volgen. Daartoe werden de profielen M en N (bijlagen nos. 94 en 95) vervaardigd, waarbij profiel M geheel buiten de provincie Zeeland valt. Op dit profiel, zich uitstrekkende van Sommelsdijk tot Antwerpen, komt de ligging van dit laagpakket het best tot zijn recht. Hieruit blijkt dat het Icenien bij Antwerpen ontbreekt. Bij Putte (kaartblad 704/6) ligt de basis op 22,70 m — N.A.P., terwijl de basis onder Sommelsdijk op Goeree-Overflakkee op 163 m is gelegen. Deze afzetting helt dus vrij regelmatig onder een geringe hoek in noordelijke richting. Door de zeer brede en diepe oud-pleistocene erosiegeul (zg. Vallei van Zeeland), waarvan het tot nu toe diepst bereikte gedeelte in boring Halsteren (kaartblad 640/39) op 78,30 m — N.A.P. wordt vermoed, is de top van het Icenien heel sterk aan erosieve krachten blootgesteld geweest. Een onderbreking van deze mariene sedimentatie kon aannemelijk worden gemaakt door de samenstelling van de bovenste lagen van het Icenien. We konden nl. een vermoedelijk vrij lang bestaand hebbende oud-pleistocene landoppervlakte aantonen met een verweringszone van plaatselijk wel 10 m dikte. Deze zone bevat veel ijzerhoudende concreties, terwijl ook de foraminiferen en mollusken meestal bruin zijn gekleurd, waardoor deze formatie sterk gaat lijken op de Engelse Red Crags, die immers eveneens een licht- tot donkerbruine kleur bezitten, vermoedelijk door het vele bijgemengde limoniet, afkomstig van in het Mioceen gevormd glauconiet.

Op Schouwen was deze sterk ijzerhoudende verweringsbodem in het Icenien meestal goed aantoonbaar. Voor de hele provincie Zeeland gaat dit echter niet op. Wel was dit op vele plaatsen mogelijk, doch lang niet overal. Houden we echter rekening met de grote erosieve kracht van de hierop volgende periode, waarbij o.a. de zeer diepe en brede erosiegeul is uitgeslepen (Vallei van Zeeland), dan is het

toch wel goed voor te stellen, dat de bruine verweringsbodem, al was deze soms 10 m dik en zelfs plaatselijk nog dikker, door het transporterend vermogen van een of meer rivieren, werd verwijderd.

Profiel L (bijlage no. 93), vanaf de noordpunt van Walcheren tot aan de oostkust van Tholen, verloopt ongeveer in de lengterichting van de diepe erosiegeul in het Icenien. Boring Oranjezon op de noordpunt van Walcheren doorboort de oever dezer geul. Hier bevindt zich het Icenien op de normale diepte van ongeveer 30 m. Boring K 35 op Walcheren en alle overige boringen waarlangs dit oost-west-profiel getrokken is en die tot 40 m diepte reiken, raken nergens het Icenien. Alleen boringen dieper dan 40 m zouden de bodem dezer geul kunnen aantonen, welke zich naar schatting op een diepte van 80 m zal bevinden, in analogie met de diepteligging onder Halsteren in West-Noord-Brabant.

Een structuurkaartje voor de top van het Icenien was in verband met het bovenstaande moeilijk te maken. Dit was dan ook de reden waarom profiel M (bijlage no. 94) werd gemaakt, dat juist buiten de provincie Zeeland is gelegen. Voornamelijk aan de hand van de daaruit verkregen gegevens werden enkele globale structuurlijnen van het Icenien door Zeeland geconstrueerd (zie kaart no. 4, bijlage no. 82).

Er wordt wellicht ten overvloede nog met nadruk op gewezen, dat de profielen M en N zijn samengesteld uit oude boringen, waarvan de monsters grotendeels niet onderzocht konden worden op de zeer nauwkeurige wijze, zoals dat voor de nieuwe 40 m boringen is toegepast. De waarde van deze profielen, vooral met betrekking tot de afzettingen jonger dan het Icenien, moet dan ook anders worden beoordeeld.

7. Afzetting van Halsteren (Tiglien t/m Drenthien)

De opvulling van de zg. Vallei van Zeeland is van fluviatiele oorsprong en bestaat uit middelfijne, matig slibhoudende zanden, met kleilagen, soms wat humeus.

Microlithologisch (bij afslibben van de fractie $< 150\ \mu$) laten de verschillende fracties een vrij homogeen geheel zien. Zij vertonen onder de microscoop in de eerste plaats geen autochthone mariene microörganismen. Daarentegen bevatten zij wel veel gelimonitiseerde deeltjes, pyrietbrokjes, vaak min of meer verkoolde plantenresten en soms veel geremanieerde mariene organismen uit oudere afzettingen.

Interessant is de ongeveer zuidoost-noordwest verlopende zeer brede en diepe erosiegeul welke met deze afzetting is opgevuld, waarbij het Icenien, en in het zuiden eveneens oudere mariene afzettingen, zijn aangetast (de zg. Vallei van Zeeland).

Op de noord-zuid gerichte profielen N, H, A, D, E, S, I, J en M (bijlagen nos. 95, 89, 85, 86, 87, 99, 90, 91 en 94) is deze geul, die op profiel M onder Halsteren tot bijna 80 m diepte reikt, aangegeven. Volgens mondelinge mededeling van Prof. Tavernier te Gent wordt de zuidoostelijke voortzetting ook op Belgisch gebied vermoed.

Helaas is nergens in Zeeland de diepte van deze vallei bekend. Op het isopachenkaartje van dit sedimentpakket (bijlage no. 82) wordt aangenomen, dat de vallei langzaam naar zee helt en dus in Zeeland minstens 80 m diep zal zijn. Het verdient aanbeveling de bodem van deze erosiegeul op enkele plaatsen in Zeeland aan te tonen door enkele boringen te slaan tot hoogstens 100 m.

Deze geul is opgevuld met de bovengenoemde pleistocene continentale afzetting, waarvan de ouderdom niet overal nauwkeurig vastgesteld kon worden, doch die gelegen is tussen Tiglien en Drenthien, d.w.z. van Oud- tot Midden-Pleistoceen.

Het pollenonderzoek heeft bij de ouderdomsbepaling dezer continentale laag verreweg het grootste aandeel gehad, want slechts op één plaats, en wel op ± 30 m diepte in boring K 15 op Schouwen, werden enkele kleine steenkernen gevonden van de zoetwaterslak *Vivipara glacialis*, zoals door de heer HARMSEN kon worden vastgesteld.

Maken we nu de paleontologische balans op, dan mogen we constateren, dat de ouderdom van deze continentale afzetting slechts op enkele plaatsen enigszins kon worden benaderd. Op alle andere punten is deze laag microlithologisch vastgelegd, waarbij de sediment-petrografie in de meeste gevallen niet in tegenspraak bleek te zijn. De moeilijkheid blijft dus bestaan, dat we nog niet overal de juiste ouderdom van deze continentale pleistocene afzetting kunnen aangeven. Dit is te betreuren, omdat we thans vaak niet weten of de bovengrens van deze laag, die immers jonger kan zijn dan Onder-Pleistoceen, aanwezig is. De al of niet aanwezigheid kan belangrijk zijn, omdat we daaruit zouden hebben kunnen concluderen of deze laag al of niet aan erosie is blootgesteld geweest.

8. AFZETTING VAN VLISSINGEN (Eemien t/m Tubantien)

De voorlopige naam van dit tamelijk gecompliceerd sedimentpakket is ontleend aan de sluisput te Vlissingen, waar op de Zeeuwse eilanden voor het eerst veen uit het jonger Pleistoceen, stratigrafisch het best met Tubantien overeenkomend, op 9,00 m — N.A.P. werd aangetoond. Hiermede was dus bewezen, dat in Zeeland hoog gelegen pleistocene opduikingen aanwezig zijn. Bij Vlissingen werd dus voor het eerst getwijfeld aan de oud-holocene ouderdom van de mariene afzettingen met een indifferente mariene fauna, die zich onder dit veen bevinden.

Deze afzetting kan men min of meer verdelen in een zuidelijk gedeelte, dat zich ongedwongen aanpast aan de Vallei van Gent (Vlaamse Vallei) en waarvan de begrenzing op Nederlands gebied op kaart no. 2 (bijlage no. 80) staat aangegeven, en een noordelijk gedeelte, waarop hieronder nader wordt teruggekomen. Een vrijwel volledige doorsnede vindt men op profiel Q (bijlage no. 97). De zwak golvende bodem van deze vallei heeft in het westen een diepte, die wisselt van 29,70 m (K 49) tot 20,15 m — N.A.P. (K 57), en bestaat meest uit oligocene klei (septariënklei). In het oostelijke gedeelte van Zeeuws-Vlaanderen ligt de basis hoger en heeft zich in het Poederlien ingeslepen.

De basis van deze vallei in West-Zeeuws-Vlaanderen, ongeveer tot aan de Braakman (zie vermoedelijke kustlijn gedurende de Eemtijd op kaart no. 5, bijlage no. 83) bestaat uit grove grindhoudende mariene lagen uit de Eemtijd; verder is de vallei opgevuld met continentale lagen. De laatstgenoemde sedimenten bevatten vaak dunne veenlagen, waaruit de pleistocene ouderdom kon worden vastgesteld. De opvullingscyclus wordt afgesloten door dekzanden uit de Würm-ijstijd (Tubantien), die vermoedelijk niet overal meer als zodanig duidelijk te herkennen zijn door latere om-

werkingen. Hierdoor is het mogelijk dat plaatselijk de top van de opvulling reeds uit holocene afzettingen bestaat. Alleen detailonderzoekingen zullen dit later kunnen uitmaken.

Als wij nu het noord-zuid-profiel A (bijlage no. 85) bekijken dan valt op, dat het door ons vermoede noordelijke equivalent van de Afzetting van Vlissingen op hetzelfde niveau gelegen is als het reeds besproken zuidelijke deel. De beide gedeelten zijn gescheiden door het Hoog van Vlissingen, de tegenwoordige Westerschelde, en een thans met zeezand opgevulde, vermoedelijk jong-holocene geul. Het noordelijke deel van de Afzetting van Vlissingen begint ook met een grove mariene grindhoudende laag, waarvan we aan de hand van de fossielinhoud aannemen, dat het in de Eemtijd is gesedimenteerd. De grens tussen de mariene en de continentale facies valt af te lezen van kaart no. 5 (bijlage no. 83), waarop de vermoedelijke kustlijn gedurende het Eemien staat aangegeven.

Resumerend zien wij de genese van de vrij heterogene sedimentatie van de Afzetting van Vlissingen aldus: Aan het begin van de Eemtransgressie vond de zee in het wat hoger gelegen Belgisch Vlaanderen een diepe vallei, waar zij over een zekere afstand kon binnentreden. Na de gedeeltelijke opvulling der vallei in Vlaanderen en Zeeuws-Vlaanderen trok de zee zich bij de nadering van de Würm-ijstijd (Tubantien) terug, want het grootste deel der dalopvulling is continentaal, en bezit deels zelfs het karakter van (eolisch) dekzand. Het naderen van een koudere tijd vindt zich fraai weerspiegeld in de veenvormingen in West-Zeeuws-Vlaanderen.

Ten noorden van het Hoog van Vlissingen is de toestand enigszins anders geweest; hier wordt het westelijke gedeelte van de Afzetting van Vlissingen, behalve plaatselijk aan de bovenkant, in zijn geheel genomen als min of meer littoraal-estuarien opgevat, hoewel ook hier continentale invloeden in de vorm van land- en zoetwatermollusken niet zeldzaam zijn. Het oostelijke deel (zie kaart no. 5, bijlage no. 85) is vanaf de basis continentaal.

Bekijken we nu dit heterogene laagpakket in zijn geheel, dan blijkt dat het in het Eemien moet zijn aangevangen en in het Boreaal reeds was beëindigd, want op vele plaatsen werd aan de bovenkant veenvorming geconstateerd, die in het Boreaal moet zijn begonnen en in het Vroeg-Atlanticum zijn beslag heeft gekregen, of anders gezegd: de Afzetting van Vlissingen wordt bedekt door boreaal en vroeg-atlantisch veen (zg. veen-op-grotere-diepte).

9. Boreaal en vroeg-atlantisch veen

Na de Würm-ijstijd gaat de zeespiegel opnieuw rijzen en nadert de zee onze tegenwoordige grenzen weer. Hierdoor komt ook de grondwaterspiegel veel hoger te liggen en een uitgestrekt veendek begint zich te vormen op de continentale afzettingen van de laatste ijstijd, hetgeen in Zeeland dus veenvorming betekent op de Afzetting van Vlissingen, zoals deze voorlopig werd genoemd.

Van dit zg. veen-op-grotere-diepte konden verscheidene monsters palynologisch onderzocht worden. Helaas liggen deze vrijwel uitsluitend in het oostelijke deel van Zeeland. De diepteligging wisselt van 13,95 m tot 9,50 m — N.A.P., waarbij het meest oostelijk gelegen veen in 't algemeen het hoogst gelegen is.

Het is duidelijk, dat we nog niet voldoende zijn georiënteerd over de ligging van dit op de Afzetting van Vlissingen gelegen veendek. De midden-atlantische transgressie overstroomde dit veendek en heeft aanleiding gegeven tot de sedimentatie van de zg. oud-holocene wadafzettingen. Het is mogelijk en zelfs waarschijnlijk, dat daardoor dit veendek plaatselijk is verwijderd, behalve in het zuidelijke deel van Zeeuws-Vlaanderen en in het oostelijke gedeelte van Zeeland. De uitbreiding van de midden-atlantische transgressie werd aangegeven op kaart no. 5 (bijlage no. 83).

10. Midden-atlantische wadafzettingen

Dit sedimentpakket bestaat hoofdzakelijk uit mariene middel-fijne tot zeer fijne soms slibhoudende zanden, rijk aan foraminiferen, vaak met schelpbanken en schelpgruis. Deze meer zandige laag wordt in 't algemeen bedekt door de zg. oude zeeklei, die genetisch bij de midden-atlantische wadafzettingen behoort. Hij wordt beschouwd als de slotfase van deze sedimentatiecyclus, waarbij de wadzanden achter de strandwal door een sliblaag bedekt worden, hetgeen een zeer rustige sedimentatie in weinig roerig water veronderstelt.

De normale dikte van de oude zeeklei wisselt van 2-4 m met enkele extreme waarden, die hier nog wat onder of boven kunnen liggen. Een dikte van 11 m (met meer zandige tussenlagen), zoals in de boringen K 17 en K 18 op Noord-Beveland, is merkwaardig en past niet in het beeld van het ontstaan van deze kleilaag. Wij geloven hier dan ook een verband te zien tussen de zeer dicht nabij gelegen pleistocene opduiking en de eventueel wat verplaatste strandwal op Walcheren (zie kaart no. 6, bijlage no. 84). Beschermd door de pleistocene opduiking en de hierna te bespreken strandwal op Walcheren zal hier vanaf het begin van de atlantische transgressie vermoedelijk de voorwaarde geheerst hebben voor een rustige sedimentatie, waardoor alleen kleien tot afzetting kwamen. Zeer typisch in de foraminiferendiagrammen, in het bijzonder in het midden en westen van het eiland Schouwen-Duiveland, is het relatief grote aandeel van de ingespoelde koudwatervorm *Elphidiella* cf. *arctica*, die als een vreemd element, afkomstig uit het Icenien, moet worden opgevat. Deze in dit beeld niet thuishorende vorm kan niet uit de direct eronder liggende Afzetting van Vlissingen omhoog zijn gewerkt, want deze is geheel of bijna geheel vrij van foraminiferen, terwijl in de mariene basislagen *Elphidiella* cf. *arctica* niet voorkomt. Het kan dus niet anders zijn of dit vreemde element moet van elders uit het Icenien zijn aangevoerd. Het meest waarschijnlijk lijkt, dat diep insnijdende stroomgeulen tot in het Icenien hebben geërodeerd, waarbij de zee deze koudwatervorm, die immers in het Icenien 80 à 90% van de foraminiferenfauna uitmaakt, heeft meegenomen tijdens de sedimentatie der midden-atlantische wadafzettingen.

Het is zonder meer duidelijk, dat zich in een langzaam dichtslibbend wadgebied onder de slibdeken (in dit geval de oude zeeklei) vele prielen en hoger gelegen zandplaten kunnen verbergen, waardoor de dikte van deze slibbedekking plaatselijk sterke verschillen kan vertonen, die verscheidene meters kunnen bedragen. Het is dan ook een niet geheel juiste voorstellingswijze om in de profielen de oude zeeklei als een ongeveer even dikke laag met rechte lijnen aan te geven. Hier en daar werd een

poging gedaan, vooral waar de dikte over relatief korte afstand sterk wisselt, zoals in noord-zuid-profiel M (bijlage no. 94) in de boringen Bruidsheul (kaartblad 561/10, gem. Sommelsdijk), Nieuwe Tonge (kaartblad 580/2) en Oude Tonge (kaartblad 580/7), de meer natuurlijke vorm van dit kleidek te benaderen. Slechts een gedetailleerd onderzoek kan hierin echter de noodzakelijke verbeteringen aanbrengen.

De kwantitatieve analyse der foraminiferenfauna gaf enkele aanwijzingen over het milieu, waarin het laagcomplex is afgezet. Er bestaat nl. een tendens van naar het oosten toe slechter wordende ecologische omstandigheden, die zich weerspiegelt in de verbreiding der foraminiferen en zich in groter verband voor heel Zeeland handhaaft. Dit werd op kaart no. 6 (bijlage no. 84) tot uitdrukking gebracht. Dit wil dus sedimentologisch zeggen dat, aangezien het mariene milieu in 't algemeen naar het oosten zuurstofarmer en brakker wordt, de kust met hier en daar kleine inhammen wordt genaderd, waar in rustiger water fijnere sedimenten tot afzetting kwamen.

Het oost-west-profiel K (bijlage no. 92) laat duidelijk de midden-atlantische wadafzettingen, met als restfase de oude zeeklei, naar het oosten vervolgen, ongeveer tot de huidige kust van het noordwestelijke deel van Noord-Brabant. Evenals in het westen in boring K 9 op Schouwen heeft ook boring K 68 op St. Philipsland een erosiegeul aangeboord, die opgevuld is met midden-atlantische wadafzettingen. Hij is echter minder diep dan in het westelijke uiteinde van profiel K (bijlage no. 92), nl. 29 m (zie kaart no. 6, bijlage no. 84).

In het oost-west gerichte profiel L (bijlage no. 93), dat zich uitstrekt vanaf de noordelijke punt van Walcheren over de lengteas van Noord-Beveland en Tholen, zijn ook enkele punten, betrekking hebbende op de ligging en samenstelling van de midden-atlantische wadafzettingen, nader te belichten. In de eerste plaats zijn in boring K 65 op Tholen de wadzanden abnormaal dik (basis op 23,80 m — N.A.P.). Het is dus logisch zich hier de zuidelijke voortzetting van de oud-holocene erosiegeul te denken, die we in boring K 68 op St. Philipsland ook aangetroffen hebben. Op kaart no. 6 (bijlage no. 84) is deze erosiegeul schematisch aangegeven. Aan de uiterste westzijde van het profiel in boring K 35 op Walcheren vinden we van 5,20 - 7,40 m — N.A.P. wèl de oude zeeklei, doch de foraminiferenfauna van het daaronder gelegen profiel tot 19,30 m — N.A.P. komt niet overeen met die, welke in de wadafzettingen voorkomt. Het aantreffen van een hoog percentage van *Quinqueloculina seminulum*, een meer neritische vorm, die slechts bij hoge uitzondering in de wadsedimenten, zowel fossiel als recent, wordt aangetroffen, gaf al dadelijk aanleiding tot de veronderstelling, dat we hier met een iets andere afzetting te doen hebben. Wij vermoeden dan ook, en hebben dit ook in het profiel tot uitdrukking gebracht, dat hier een uitloper van een strandwal aanwezig is, die tijdens de atlantische transgressie is gevormd. Deze opvatting vindt steun in de granulometrische analyse, die voor dit zeezand een wat grovere samenstelling aanwijst dan voor de midden-atlantische wadafzettingen. Deze meer mariene en wat grovere afzetting werd ook in een aantal andere boringen op Walcheren en West-Zeeuws-Vlaanderen aangetoond, zodat we op kaart no. 6 (bijlage no. 84) een soort strandwal schematisch hebben aangegeven, die min of meer synchroon met de midden-atlantische wadafzettingen ontstaan zou kunnen zijn.

11. Laat-atlantisch en subboreaal veen

Na het droogvallen van het slibdek, gevormd door de oude zeeklei ongeveer 4000 jaar geleden, vormde zich hier laagveen, bestaande uit riet en andere moerasplanten, waar bovenop veelal hoogveen gevormd werd *(Sphagnetum)*. Dit veenpakket is in Zeeland geen aaneensluitende laag van een bepaalde vrijwel gelijkblijvende dikte, hoewel dit in de profielen in 't algemeen wel als zodanig werd voorgesteld. Men moet het echter aldus interpreteren, dat op een bepaalde diepte genetisch een veenlaag verwacht kan worden, hoewel die op een bepaalde plaats door allerlei omstandigheden ontbreken kan. Dit behoeven nog geen natuurlijke omstandigheden te zijn, ook door mensenhanden is veel veen verwijderd (moernering). In 't algemeen wordt dit veen aangetroffen tussen 1 en 5 m — N.A.P. De dikte wisselt van sporen tot 2,50 m. De diepst gelegen veenpakketten zijn in 't algemeen ook de dikste en worden meestal meer naar het oosten aangetroffen. Heel duidelijk is dit te zien op het oost-west-profiel F (bijlage no. 88), zich uitstrekkende van Walcheren over Zuid-Beveland tot aan de Brabantse grens. De veenlagen op Walcheren zijn dun en liggen hoog. Tussen de boringen K 33 en K 30 komt geen veen voor, omdat zich hier vermoedelijk een oude loop van de Schelde bevindt (zie kaart no. 3, bijlage no. 81), die zich tot aan de afzetting van de jonge zeeklei heeft laten gelden. In de hals van Zuid-Beveland, in de boringen K 30, K 31 en K 32, komt echter een dik veenpakket voor, dat vooral in de meest oostelijk gelegen boring K 32 diep gelegen is. Deze zelfde tendens is ook te zien op het oost-west-profiel K (bijlage no. 92), zich uitstrekkende van Schouwen, over St. Philipsland tot in Brabant.

Op het oost-west-profiel L (bijlage no. 93) van noordpunt Walcheren over Noord-Beveland en Tholen, is deze tendens niet of nauwelijks aanwezig. Het diepst gelegen veen (dat niet palynologisch werd onderzocht) komt hier voor op Tholen (boring K 66 van 4,80-5,10 m — N.A.P.), maar is slechts 30 cm dik.

Een nauwkeurige bestudering van dit veendek, waarbij de boringen niet dieper behoeven te gaan dan hoogstens 6,00 m, doch in vele gevallen belangrijk minder, zou zeker aanbeveling verdienen.

Naast deze veenvorming op de oude zeeklei komt in Zeeuws-Vlaanderen ook nog een veenafzetting voor op de pleistocene oppervlakte (zie o.a. de boringen K 44 en K 41 op profiel R, bijlage no. 98).

12. Opvulling van een vermoede holocene Scheldeloop

Op kaart no. 6 (bijlage no. 84) is de uitbreiding van dit holocene Schelde-estuarium zeer schematisch aangegeven. De ruimtelijke constructie van de opvulling is zo goed mogelijk vermeld op de profielen D, E, F, I, P, Q, R, S, en T (bijlagen nos. 86, 87, 88, 90, 96, 97, 98, 99 en 100).

De grootste diepte van dit estuarium komt voor ongeveer midden in de kop van Zuid-Beveland in boring K 25 (profiel E, bijlage no. 87), nl. 29,35 m — N.A.P. In Zeeuws-Vlaanderen ligt de basis aanzienlijk hoger, nl. op ca. 10 m of minder (zie hiervoor eveneens profiel E).

Voor de ouderdomsbepaling van deze opvulling zijn twee verschijnselen van be-

lang. In de eerste plaats het voorkomen van jong-holocene veenvormingen (laat-atlantisch subboreaal) door het gehele profiel tot aan de basis, vermoedelijk alles min of meer verplaatst. In de tweede plaats is van belang dat de laat-atlantische tot subboreale veenlaag (het zg. oppervlakteveen) ter plaatse van deze vermoede holocene Scheldeloop niet aanwezig is. De subatlantische wadafzettingen (zg. jonge zeeklei) zijn wel tot afzetting gekomen, doch in 't algemeen zandiger dan normaal. De opvulling van dit Schelde-estuarium is dus begonnen in het Laat-Atlanticum-Subboreaal en heeft zich nog zwak doen gelden tijdens de afzetting van de jonge zeeklei (Subatlanticum).

De opvulling bestaat uit grijs, matig fijn tot middelfijn zand met schelpgruis en gave schelpen, meest van holocene ouderdom. Hier en daar is het sediment wat kleiïger, terwijl plaatselijk geringe veenvormingen optreden, die waarschijnlijk voor verslagen veen aangezien moeten worden.

Zeer typisch in dit sediment is de micropaleontologische inhoud, die voor ca. 70% uit verplaatste foraminiferen uit het Poederlien bestaat, afkomstig van het hoger gelegen Belgisch Zeeuws-Vlaanderen. Door deze eigenaardigheid werd reeds dadelijk getwijfeld aan de synchroniteit met de midden-atlantische (zg. oud-holocene) wadafzettingen, die trouwens ook granulometrisch hiervan te onderscheiden zijn door een grotere en verticaal meer regelmatige korrelfijnheid. Het werd duidelijk, dat deze holocene Scheldeloop ingesneden is in de midden-atlantische (zg. oud-holocene) wadafzettingen.

Ten noorden van Zuid-Beveland is het vervolg van deze holocene sedimentwaaier niet meer aan te geven. Enerzijds vindt dit zijn oorzaak in het feit, dat we het sediment microlithologisch niet goed meer kunnen aangeven, doordat het percentage ingespoelde Poederlien-foraminiferen te gering wordt, anderzijds is dit het gevolg van gebrek aan gegevens.

In dit verband is vermeldenswaard, dat op de kaart V^b van BEEKMAN (Nederland als polderland, Zutphen, W. J. Thieme en Co. 1932) „Zeeland in 1300", vooral op Zuid-Beveland dit Schelde-estuarium min of meer valt af te leiden van de toen nog uit afzonderlijke eilandjes bestaande kop van dit eiland.

Aangezien deze holocene Scheldeloop een sedimentwaaier heeft gemaakt, die voor een belangrijk deel uit Poederlien-sediment moet bestaan, blijft de vraag, waar dit materiaal vandaan is gekomen. Op kaart no. 6 (bijlage no. 84), waarop de structuurlijnen van de basis van het Poederlien, de Vallei van Gent en de vermoedelijke holocene Scheldeloop staan aangegeven, valt op dat in Zeeuws-Vlaanderen geen Poederlien meer aanwezig is ter plaatse waar zich thans de opvulling van de pleistocene vallei van Gent en de holocene Scheldeloop bevinden. Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat het Poederlien-sediment in het oudere Pleistoceen nog aan de oppervlakte heeft gelegen, zoals plaatselijk thans nog als erosierest bij Nieuw-Namen. Het grootste deel van het Poederlien zal vermoedelijk reeds ten tijde van het ontstaan van de Vallei van Gent zijn verwijderd, terwijl de rest door de erosieve kracht van de holocene Schelde zal zijn weggeërodeerd. Hierdoor althans zou het grote aandeel verklaard kunnen worden, dat het Poederlien-sediment aan de opvulling van de holocene Scheldeloop heeft gehad.

13. Subatlantische wadafzettingen, zeezand en duinen

Deze mariene sedimenten, die zijn ontstaan tijdens verschillende transgressiefasen die kort voor het begin van onze jaartelling aanvingen, worden jonge zeeklei en jong zeezand genoemd. Zij rusten bijna overal op het laat-atlantische en subboreale veen (het zg. oppervlakteveen). Door Bennema en van der Meer (1950) werd de eerste overstroming van het veenlandschap op Walcheren betrekkelijk kort voor het begin van onze jaartelling gesteld. De jonge zeeklei bestaat meestal uit vaste fijnzandige klei (soms slibrijk zand), vaak vergezeld van schelpbankjes en schelpresten. De foraminifereninhoud vertoont op de meeste eilanden een gering verschil met die van de midden-atlantische wadafzettingen, doordat de zandschalige vormen, die in deze oudere wadafzettingen op een slecht geventileerd milieu wijzen, nauwelijks of niet voorkomen, terwijl het gehalte aan de brakwatervorm *Nonion depressulus* in de jonge wadafzettingen meestal hoger is. De milieuomstandigheden zijn daarom wellicht het best te beschrijven als redelijk goed geventileerd brakwater.

De dikte van de jonge zeeklei wisselt van enkele dm tot bijna 5 m. De grootste dikte werd aangetroffen in boring K 32 in de hals van Zuid-Beveland vlak bij de Noord-Brabantse grens (profiel F, bijlage no. 88). In het hoofdstuk, handelende over het laat-atlantische en subboreale veen (het zg. oppervlakteveen) werd gezegd, dat dit veen in 't algemeen in het oosten van de provincie Zeeland het diepst is gelegen, waarbij naar de profielen F en K (bijlagen nos. 88 en 92) werd verwezen. Het oost-west-profiel L (bijlage no. 93) vertoont deze tendens niet zo duidelijk; hier komt het diepst gelegen veen meer naar het westen op Tholen voor (boring K 66 van 4,80-5,10 m — N.A.P.). Aangezien de diepteligging van het oppervlakteveen oorzakelijk verbonden is met de dikte van de jonge zeeklei, komen de dikste pakketten in 't algemeen meer in het oosten van de provincie Zeeland voor (zie ook profiel J, bijlage no. 91).

Het ingewikkelde genetische beeld, dat deze subatlantische wadafzettingen met hun met verschillende sedimenten opgevulde kreken en getijdegeulen, kweldergronden, etc. in werkelijkheid te zien geven, is hier zelfs niet getracht bij benadering weer te geven. Wanneer wij dan nog in aanmerking nemen, dat deze jong-holocene overstromingen van ons tegenwoordige grondgebied in verschillende fasen hebben plaats gehad, zoals door de Wageningse bodemkundigen op vele plaatsen langs onze Noordzeekust zo duidelijk kon worden aangetoond, dan spreekt het vanzelf, dat op onze geologische profielen het sedimentatiepatroon slechts zeer schematisch kon worden aangegeven. Slechts waar het sediment overwegend uit zand was opgebouwd, werd dit in de profielen tot uitdrukking gebracht. Op profiel K (bijlage no. 92) bv. komt tussen de vroegere eilanden Schouwen en Duiveland een jonge geul voor, die vermoedelijk deze eilanden vroeger gescheiden heeft gehouden. Een oudere boring heeft deze geul aangeboord en deze werd verder geheel hypothetisch op de profielen als jong zeezand aangegeven. In boring K 16 (in Oost-Duiveland) op hetzelfde profiel gelegen, is de meestal zeer kleiige facies van de jonge zeeklei vervangen door een uitgesproken zandig sediment. Mogelijk is dit een latere zandige opvulling van een kreek, in ieder geval is hij als zodanig op het betreffende profiel aangegeven.

Op Walcheren werd in de boring K 35 (zie profielen H en L, bijlagen nos. 89 en 93) op het niveau van de subatlantische wadafzettingen (jonge zeeklei), jong zeezand aangetoond, dat hier geologisch gesproken nagenoeg gelijktijdig met de jonge zeeklei zal zijn gesedimenteerd en vermoedelijk afkomstig is van het eronder liggende oude zeezand (midden-atlantisch). Op kaart no. 6 (bijlage no. 84) is dit oude zeezandcomplex aangegeven door de algemene benaming: „tijdens de midden-atlantische transgressie min of meer verplaatst zeezand", met als bijzondere aantekening voor Noordwest-Zeeuws-Vlaanderen: „Jong-holocene erosiegeulen gevuld met verplaatst zeezand en toegedekt door jonge zeeklei (subatlantische wadafzettingen)" (zie profiel U, bijlage no. 101). Plaatselijk ligt op het jonge zeezand een kleiïge afzetting, die we dus als jonge zeeklei interpreteren: het jonge zeezand kan dus lokaal wat ouder zijn dan de jonge zeeklei (zie boring Oranjezon op de noordpunt van Walcheren op profielen L en N, bijlagen nos. 93 en 95).

Bijna alle voor dit hydrologische onderzoek gemaakte K-boringen zijn buiten het duingebied geplaatst, behalve boring K 9 op het westelijke deel van Schouwen (profiel K, bijlage no. 92). De oudere boringen, die voor het vervaardigen van de profielen nodig waren, staan voor een groot gedeelte in het duingebied. Het zijn de boringen op Walcheren: W 75 Vlissingen (656/75), Oranjezon (615/73) en Biggekerke (656/39), en op Schouwen: Schouwen I en II (576/5 en 576/6).

IV. BESCHRIJVING VAN DE VERSCHILLENDE SEDIMENTEN

In de voorafgaande hoofdstukken kwamen de verschillende afzettingen waaruit het gebied is opgebouwd, terloops reeds in behandeling. Een meer uitvoerige beschrijving van de sedimenten en hun algemene lithologie is om twee redenen belangrijk. In de eerste plaats is het de enige manier om een totaalbeeld van de sedimentologische opbouw van het gebied te geven. In de tweede plaats verschaft deze beschrijving de basis voor een bespreking van het hydrologische gedrag van de lagen, dat immers nauw met de texturele eigenschappen van de verschillende samenstellende sedimenten verband houdt. In dit hoofdstuk zal daarom naast de verbreiding, diepteligging en dikte van de sedimenten, in het bijzonder hun granulometrische samenstelling worden besproken.

De korrelgrootte-analyses werden uitgevoerd in de laboratoria van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen, volgens de normale gecombineerde zeef- en pipetmethode (HOOGHOUDT, 1945). De resultaten van de analyses werden grafisch verwerkt in de vorm van horizontale staafdiagrammen ter lengte van 10 cm. De gewichtsprocenten van het materiaal in de verschillende subfracties werden hierin met aparte arceringen aangeduid. Boven elkaar geplaatst geven deze diagrammen in één oogopslag een beeld van de korrelgrootte-verdeling van het doorboorde profiel (zie bijlage 19 t/m 77).

Daarnaast werden op deze diagrammen de gehalten aan grind, humus en koolzure kalk aangegeven, alsmede de doorlaatfactoren en het U-cijfer van de onderzochte monsters.

Om een beeld te verkrijgen van de sedimentologische kenmerken van de onderscheiden lagen voldoen deze diagrammen uiteraard niet, daarvoor kan beter van sommeringskrommen (b.v. op waarschijnlijkheidspapier) gebruik gemaakt worden. In de tekst werd daarom waar nodig, o.a. deze grafische voorstellingswijze toegepast. Ter nadere karakterisering van sommige zware klei-afzettingen werd nog de granulometrische samenstelling van de slib- en lutumfractie (deeltjes $< 16\ \mu$ resp. $< 2\ \mu$) bepaald. De lutumfractie werd volgens de zg. micropipetanalyse onderzocht (zie voor een beschrijving van deze analyse-techniek, DE RIDDER, N. A., WIGGERS, A. J. en DEKKER, A., 1956).

De resultaten van de korrelgrootte-analyses, gecombineerd met die van het hydrologische onderzoek, werden verder verwerkt in 15 zogenaamde hydro-lithologische profielen (zie bijlage 2 t/m 16).

Van deze 15 profielen lopen 7 in oost-west-richting en de overige 8 ongeveer in noord-zuid-richting. De overzichtskaart (bijlage no. 1) geeft hiervan een beeld. Ten gerieve van de lezer werd deze kaart op verkleinde schaal op elk profiel opgenomen, waarbij het betreffende profiel met een zware lijn werd aangeduid.

In deze profielen werd de lithologie voorgesteld volgens de symbolen van het voorlopige normaalblad V 969. De indeling en benaming van het zand vinden hierbij plaats naar het soortelijk oppervlak (U) van de zandfractie.

Om misverstand te voorkomen zij de lezer erop attent gemaakt, dat de maaiveldhoogte van alle boringen, met uitzondering van die uit Zeeuws-Vlaanderen, in de

profielen op N.A.P.-hoogte werd aangenomen. Ten gevolge van het niet tijdig gereed komen van de waterpassingen, kon de juiste hoogteligging niet worden aangegeven. De hoogteligging van de boorpunten in Zeeuws-Vlaanderen werd uit de topografische kaart schaal 1 : 50 000 afgeleid. Te zijner tijd zullen de maaiveldhoogten t.o.v. N.A.P. in een supplement worden gepubliceerd. Achtereenvolgens zullen nu de volgende sedimenten meer of minder uitvoerig worden besproken:

A. Tertiaire sedimenten
1. Midden-Oligoceen
2. Boven-Mioceen
3. Plioceen

B. Pleistocene sedimenten
1. Poederlien
2. Icenien
3. Afzetting van Halsteren
4. Afzetting van Vlissingen

C. Holocene sedimenten
1. Boreaal-vroeg-atlantisch veen
2. Midden-atlantische wadafzettingen, oude zeeklei en -zeezand
3. Laat-atlantisch en subboreaal veen
4. Jong-holocene Scheldeafzettingen
5. Subatlantische wadafzettingen, jonge zeeklei en -zeezand.

A. TERTIAIRE SEDIMENTEN

1. MIDDEN-OLIGOCEEN

Naar algemeen mag worden aangenomen, komt het Midden-Oligoceen onder geheel Zeeland voor. Het is echter nergens aan de oppervlakte gelegen en slechts in enkele van de boringen aangetroffen. De diepteligging variëert sterk. In Zeeuws-Vlaanderen werd de afzetting vrijwel overal aangeboord, behalve in het noordoosten in de boringen K 44, K 41, K 38 en K45. In de profielen 5, 6 en 7 (bijlage 6, 7 en 8) is de ligging van het Oligoceen aangegeven.

De bovenkant van deze laag ligt hier op een diepte, die variëert van 10,80 m tot 31,75 m — N.A.P. Het minst diep werd de formatie aangetroffen in het zuidoosten van Zeeuws-Vlaanderen o.a. in de boringen K 54 en K 46, namelijk op ca. 10 resp. 15 m —N.A.P.

Over de ligging in de overige delen van Zeeland is bij gebrek aan diepere boringen weinig bekend. In boring 48C 79,81 bij Vlissingen komt Oligoceen op ca. 53,50 m — N.A.P. voor en in boring 48A 3 ten noordwesten van deze plaats op ca. 40,00 m — N.A.P. Op Schouwen werd in boring 42B 5 het Oligoceen eerst op ca. 137,50 m — N.A.P. aangetroffen, hetgeen erop wijst, dat de formatie in noordelijke tot noord oostelijke richting helt. Over deze helling, alsmede over de dikte van het Oligoceen, is bij gebrek aan gegevens weinig met zekerheid te zeggen.

Voorzover bekend is het Oligoceen in het algemeen kleiïg ontwikkeld, hetgeen uit bovengenoemde profielen is af te leiden. Het materiaal bestaat uit groeniggrijze zware klei met een hoog pyrietgehalte en wordt tot de zg. septariënklei (Boomse klei) gerekend, die in het aangrenzende Belgische gebied veelvuldig door de steenbakkerijen wordt gebruikt. Het gehalte aan afslibbare delen (deeltjes $< 16\ \mu$) variëert

sterk en schommelt voor de betreffende monsters tussen 10 en 86 %. Percentages van 60 à 70 komen echter vrij algemeen voor, hetgeen het materiaal tot de zware kleien stempelt. Zij werden vooral gevonden in de boringen K 40, K 42, K 43, K 54, K 55, K 56 en K 57.

Ook de lutumgehalten (lutum = deeltjes $< 2\ \mu$) vertonen grote variatie. Voor 22 monsters liepen deze uiteen van 14 tot 66 %, met een gemiddelde van 38 %.

Bij verschillende gelegenheden is reeds door onderzoekers gewezen op de betekenis, die de lutum/slib-verhouding heeft ter karakterisering van sommige sedimenten (HISSINK, 1929, ZUUR, 1936, WIGGERS, 1955, DE RIDDER en WIGGERS, 1956). Deze verhouding wordt aldus uitgedrukt:

$$\frac{\text{lutum (deeltjes} < 2\ \mu)}{\text{slib (deeltjes} < 16\ \mu)} \times 100.$$

Van de jong-mariene kleien in ons land is b.v. bekend, dat deze verhouding vrijwel constant is en ongeveer 65 à 70 bedraagt. Bij fluviatiele kleien worden veelal geheel andere waarden gevonden en is er geen sprake van een constante verhouding tussen deze beide fracties. Keileem daarentegen vertoont weer een meer constante verhouding, al is de variatie wat groter dan bij jonge zeeklei.

Van 22 monsters oligocene klei van zeer verschillende plaatsen uit Zeeuws-Vlaanderen werden de gehalten aan deeltjes 0-2, 2-4, 4-8 en 8-16 μ bepaald. Stelt men nu het gehalte aan deeltjes van 0-16 μ = 100, dan krijgt men de in onderstaande tabel 1 aangegeven waarden.

TABEL 1. De procentuele verdeling van de slibfractie over de verschillende subfracties in monsters oligocene klei

Omschrijving van het monster	100 g slib (0-16μ) bevatten g in de subfracties			
	0-2	2-4	4-8	8-16μ
K 39 no. 28B 708	70	9	8	13
K 40 no. 28B 731	68	8	8	16
K 42 no. 28B 847	75	8	7	10
K 43 no. 28B 865	77	6	8	9
K 46 no. 29B 056	74	9	7	10
K 47 no. 29B 078	77	2	10	11
K 49 no. 29B 150	80	1	13	6
K 53 no. 29B 296	73	8	13	6
K 56 no. 29B 531	80	6	6	8
K 63 no. 29B 898	81	11	4	4

Uit deze tabel, waarin slechts 10 monsters werden opgenomen, blijkt reeds dat de procentuele verhouding van de verschillende subfracties een tamelijk grote variatie vertoont. Dit komt nog duidelijker naar voren in fig. la, waarin de bundel van de cumulatieve curven van alle 22 monsters is weergegeven. Weliswaar vormen de curven een bundel, maar de spreiding is vrij groot, hetgeen op een minder homogene samenstelling van het materiaal wijst.

De lutum/slib-verhouding, die eveneens uit de tabel is af te leiden, bedraagt voor alle 22 monsters gemiddeld 77 %. Als uitersten werden 67 en 88 % gevonden. Van slechts 2 monsters was deze verhouding beneden 70 en van 6 monsters boven 80 % gelegen. In tegenstelling met de jonge zeeklei is de variatie in dit verhoudingsgetal bij de oligocene klei dus tamelijk groot, maar bovendien ligt de waarde ervan gemiddeld aanzienlijk hoger dan bij deze jong mariene kleien (zie jonge zeeklei pp. 68).

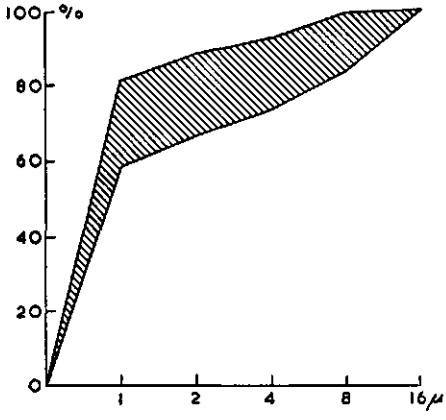


FIG. 1a.

Sommeringscurven van de granulometrische samenstelling van de *slib*fractie van 22 monsters oligocene klei uit Zeeuws-Vlaanderen

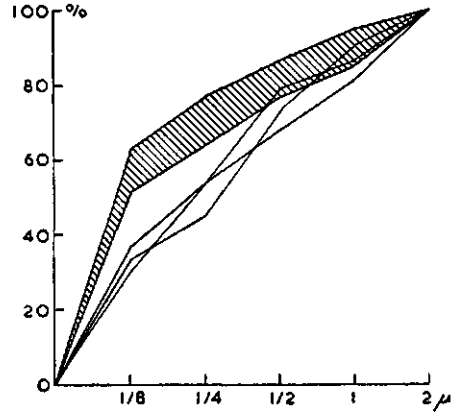


FIG. 1b.

Sommeringscurven van de granulometrische samenstelling van de *lutum*fractie van 20 monsters oligocene klei uit Zeeuws-Vlaanderen

In dit opzicht bestaat er dus blijkbaar een kenmerkend verschil tussen deze beide mariene sedimenten. Er zij evenwel op gewezen, dat een groot deel van de curven in de bundel van fig. 1*a* de neiging vertoont elkaar te overlappen, althans een zeer geringe spreiding te bezitten. Meer dan de helft van de curven vormt een smalle bundel binnen de grote, wat dus op een constante samenstelling van de slibfractie van deze monsters wijst. Wat de oorzaak is van het afwijkend gedrag der overige curven is moeilijk na te gaan. Naast primaire verschillen tijdens het ontstaan zou eventueel ook aan diagenetische veranderingen gedacht kunnen worden. Er kunnen omzettingen hebben plaats gehad en vorming van nieuwe mineralen, die de homogene samenstelling hebben kunnen verstoren. Gezien de grote ouderdom dezer kleien (30 à 40 miljoen jaren) is dit laatste niet denkbeeldig.

Door HOOGHOUDT (1948) werd een analysetechniek ontwikkeld, waarmee het mogelijk is de granulometrische samenstelling van de lutumfractie van de zwaardere gronden te bepalen. De fractiegrenzen zijn daarbij als volgt gekozen:
0-1/16, 1/16-1/8, 1/8-1/4, 1/4-1/2, 1/2-1 en 1-2 μ.

Van 20 monsters oligocene klei werd nu de samenstelling van de lutumfractie onderzocht. De resultaten van een 10-tal analyses zijn in tabel 2 weergegeven. De lutumfractie (0-2μ) werd daarbij op 100 gesteld.

TABEL 2. De procentuele verdeling van de lutumfractie over de verschillende subfracties in monsters oligocene klei

Monster	Lutum-gehalte in % op minerale delen	100 g lutum (0-2μ) bevatten g in de subfracties				
		0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-1	1-2μ
K 39, no. 28B 708	42	57	7	16	7	13
K 40, no. 28B 731	46	55	15	9	9	10
K 42, no. 28B 847	58	55	12	11	8	14
K 43, no. 28B 865	56	58	15	11	11	5
K 46, no. 29B 058	42	58	10	10	12	10
K 50, no. 29B 368	26	56	12	8	11	13
K 55, no. 29B 428	29	60	16	11	4	9
K 60, no. 29B 189	47	58	23	7	6	6
K 61, no. 29B 793	24	54	18	13	8	7
K 57, no. 29B 468	49	56	19	11	7	7

Uit deze tabel blijkt, dat de samenstelling van de lutumfractie van 10 monsters van zeer uiteenlopende plekken uit Zeeuws-Vlaanderen weliswaar enige variatie vertoont, doch dat deze niet zeer groot is. Ongeacht het lutumgehalte blijkt de samenstelling van de deeltjes < 2 μ binnen betrekkelijk nauwe grenzen vrijwel gelijk te zijn. In fig. 1*b* werd deze vrij homogene samenstelling van de lutumfractie nogmaals tot uitdrukking gebracht in de vorm van de bundel der cumulatieve curven van de gewichtshoeveelheden der verschillende subfracties van 20 monsters. Zoals uit de figuur duidelijk zal zijn, vormen op enkele uitzonderingen na de curven een vrij smalle bundel, hetgeen dus op een geringe variatie in samenstelling wijst.

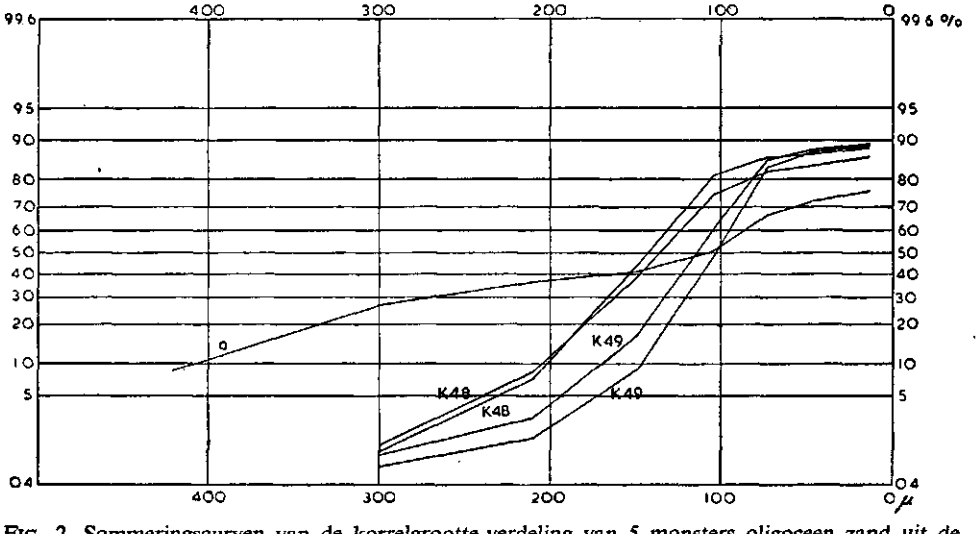


FIG. 2. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 5 monsters oligoceen zand uit de boringen K 48 en K 49 in Zeeuws-Vlaanderen. Curve a: gemengd type uit K 49 (diepte 38,50 m — m.v.).

Het Oligoceen is niet overal als een zware klei ontwikkeld. Er komen gebieden voor, waar een meer zandige facies overheerst. Dit is o.a. het geval in het grensgebied bij Sterre (K 48) zuidelijk van Axel en ten noordoosten van Philippine (K 49). Blijkens de analyses bestaat het Oligoceen in deze boringen uit middelfijne zanden met U-cijfers, die varieren tussen 80 en 100. Het gehalte aan afslibbare delen ligt tussen 10 en 24 %. Merkwaardig is de vrij goede sortering van de zandfracties in boring K 48 en het bovenste gedeelte van de laag in K 49. Ongeveer 80 % van het materiaal ligt in de subfracties 57-105, 105-150 en 150-210 μ. Het onderste gedeelte van het profiel in K 49 bestaat uit zand, dat zeer duidelijk tweetoppig is, wat erop wijst dat bij de sedimentatie een mengsel van twee verschillende typen zand tot afzetting kwam (zie fig. 2).

Oligoceen in zandige facies is eveneens bekend in de bovenste ca. 16 m van boring 48C 79.81 bij Vlissingen.

2. Boven-mioceen

De sedimenten van boven-miocene ouderdom werden in hun verbreiding aangegeven op kaart 1 (bijlage no. 79). Uit deze kaart wordt duidelijk, dat het Boven-Mioceen in Zeeland niet algemeen in de ondergrond aanwezig is. Het komt slechts voor in het noordoostelijke deel van Schouwen, St. Filipsland, oostelijk Tholen, de staart en zak van Zuid-Beveland, een groot gedeelte van Walcheren en het noordoostelijke deel van Oost-Zeeuws-Vlaanderen. In het westelijke deel van Zeeuws-Vlaanderen en op Noord-Beveland werd geen Boven-Mioceen aangetroffen. In onze boringen werd het echter slechts aangeboord op Zuid-Beveland en Noordoost-Zeeuws-Vlaanderen, waar de bovenkant van deze laag op resp. ca. 38 m en ca. 20 m — N.A.P. ligt. In de boringen 48G 7 en 48H 33 op Zuid-Beveland komt het Mioceen echter voor op een diepte van resp. ca. 24 m en 50 m — N.A.P. In boring K 43 in Zeeuws-Vlaanderen werd Mioceen reeds op 12 m — N.A.P. aangeboord.

Op Walcheren komt het echter op ca. 35 m — N.A.P. voor, o.a. bij Vlissingen (48C 79, 81).

Over de dikte van de afzetting is bij gebrek aan voldoende diepe boringen weinig bekend. In Zeeuws-Vlaanderen neemt de dikte van zuid naar noord toe. In de omgeving van Hulst (K 42, K 43 en K 39) werd 3 tot 6 m Mioceen aangetroffen, bij Nieuw-Namen (K 40) ca. 8 m, maar oostelijk van Terneuzen (54E 19 en K 45) en ten noordoosten van Zaamslag (K 44) meer dan 15 m. In Zuid-Beveland is niets over de laagdikte bekend. Op Walcheren daarentegen werd bij Vlissingen (48C 79, 81) ca. 16 m en in boring 48A 3 bij Zoutelande ca. 3 m Mioceen gevonden.

Uit oudere boringen op de vaste wal van Noord-Brabant is af te leiden, dat het Mioceen in noordelijke richting vrij sterk helt, terwijl ook de dikte in die richting toeneemt.

De sedimenten van het Boven-Mioceen zijn in het algemeen in zandige facies ontwikkeld. Plaatselijk komen echter sterk slibhoudende zanden en zelfs zware kleien voor. Het materiaal bestaat uit grijsgroen tot donkergroen, matig fijn tot middelfijn

zand met glauconiet en schelpgruis en plaatselijk soms vrij veel fijn grind. U-cijfers variëren van 55-110.

Het gehalte aan afslibbare delen varieert in deze zanden nog vrij sterk, maar ligt meestal tussen 2 en 15 %. De hoogste slibgehalten van ca. 15 % werden in Zeeuws-Vlaanderen in boring K 45 (op 34-40 m — mv.) aangetroffen.

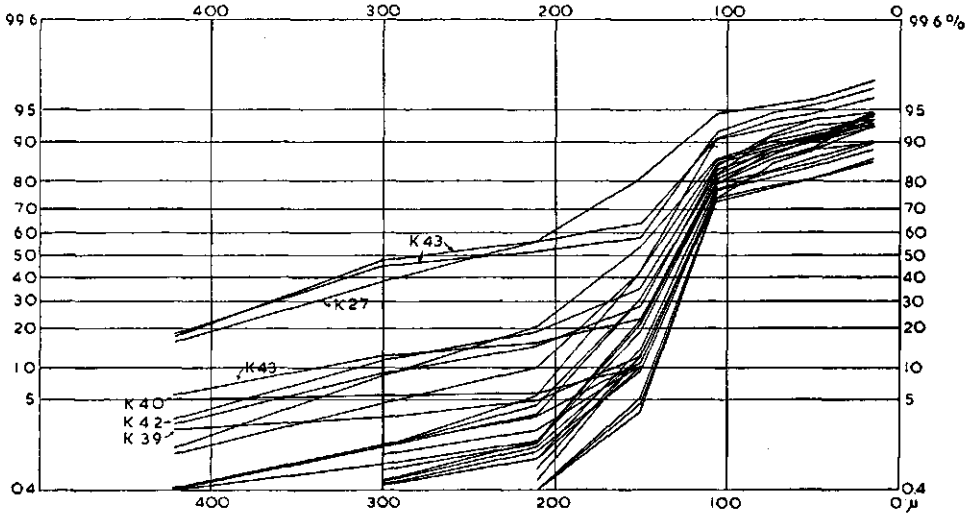


FIG. 3. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 27 monsters mioceen zand uit Zeeuws-Vlaanderen en Zuid-Beveland. K 39 en K 40 grove monsters van de basis van de laag (diepte 28,50-29,00 m resp. 31,60 -31,75 m — m.v.). K 27, K 42 en K 43 grove monsters betrekking hebbend op de gehele laag.

In figuur 3 zijn de curven van 27 monsters van zeer verspreide plaatsen weergegeven. Het betreft hier monsters uit de boringen K 39, K 40, K 42, K43, K 44 en K 45 in Zeeuws-Vlaanderen en K 24 en K 27 van Zuid-Beveland. Zoals uit de figuur duidelijk zal zijn, bezitten deze zanden een karakteristieke korrelgrootte-verdeling. In de eerste plaats valt sterk het uniforme verloop van de curven op. Op enige uitzonderingen na bevatten de zanden geen of bijna geen deeltjes groter dan 420μ. In sommige monsters ontbreken zelfs korrels groter dan 300μ of 210μ. Vanaf de grove zijde vertonen de meeste curven een vlak verloop om bij 210μ plotseling naar links om te buigen en steil op te lopen. Bij 105μ buigen alle curven vervolgens naar rechts, om daarna naar de fijne zijde vlak te verlopen. Deze scherpe knikken bij 210 en 105μ tezamen met het steile verloop der curven binnen dit traject duiden erop, dat zanden goed gesorteerd zijn. Het meeste materiaal bevindt zich in de subfractie 105-150μ, die op enkele uitzonderingen na 50-75 % van het zand kan bevatten. Wat de fijne zijde van de verdeling betreft valt op, dat de zanden nog 10 à 25 % deeltjes kleiner dan 105μ bevatten.

Deze typische korrelgrootte-verdeling is een gevolg van sterk selecterende processen van de zeestromen gedurende het transport van het materiaal. Slechts zand van een bepaalde korrelgrootte (deeltjes $< 2'0\mu$ en $> 105\mu$) werd aangevoerd en ge-

sedimenteerd. Het fijnere materiaal (deeltjes < 105μ) werd in de meeste gevallen door de stroom meegevoerd en kwam niet of in geringe hoeveelheden tot afzetting.

Op verschillende plaatsen waren de stroomsnelheden zo groot, dat ook grovere bestanddelen (deeltjes > 210μ) en zelfs grind konden worden getransporteerd en afgezet. Dit grovere materiaal werd o.a. gevonden aan de basis van de laag in boring K 39. In het bijzonder in geulen waar de stroomsnelheden groot kunnen zijn, kan dit grove materiaal worden aangetroffen.

Op sommige plaatsen waar zeer rustige omstandigheden heersten, was de situatie gunstig voor sedimentatie van zeer fijne deeltjes en zware klei. Dit was b.v. het geval op Walcheren, boring 48 C 79,81 bij Vlissingen, waar het Boven-Mioceen als een dikke, naar boven steeds zwaarder wordende kleilaag is ontwikkeld (zie profiel 4, bijlage 5) en in Zeeuws-Vlaanderen bij Terneuzen, boring 54E 2, 54E 7 en K 45 (zie profiel 11 en 12, bijlage 12 en 13).

Wanneer we aannemen, dat glauconiet gevormd wordt in de neritische zone op een diepte van ongeveer 50-100 m en in de regel in vrij rustig water, dan wordt het, gezien de resultaten van bovengenoemde korrelgrootte-onderzoekingen, wel zeer waarschijnlijk, dat deze zanden naderhand aanzienlijk zijn getransporteerd en zich dus thans op een secundaire ligplaats bevinden.

3. Plioceen

De verbreiding van de pliocene sedimenten is aangegeven op kaart 2 (bijlage 80). Het blijkt, dat het Plioceen niet meer overal in Zeeland voorkomt. Zo ontbreekt het, met uitzondering van het noordoostelijke deel, in Zeeuws-Vlaanderen, in de kop van Zuid-Beveland en op Noord-Beveland. Ook kan de Vallei van Zeeland uit het Oud-Pleistoceen plaatselijk, vooral in het zuiden, het Plioceen geheel of gedeeltelijk hebben verwijderd.

De nieuwe 40 m boringen waren veelal niet toereikend om het Plioceen aan te boren. Dit kan o.m. uit de dieptelijnen van kaart 2 worden afgeleid. Slechts in Noordoost-Zeeuws-Vlaanderen werd in de boringen K 38, K 39, K 40, K 42, K 43 en K 44 het Plioceen bereikt en op Walcheren alleen in K 37.

De diepte waarop de afzetting voorkomt variëert vrij sterk, maar ligt voor Zeeuws-Vlaanderen tussen 10 en 18 m — N.A.P., met uitzondering van K 38, waar eerst op ca. 31 m — N.A.P. Plioceen werd aangetroffen. In K 37 op Walcheren komt het op ca. 35 m — N.A.P. voor en ten slotte in boring 42B 5 op Schouwen op een diepte van ca. 105 m — N.A.P. Zoals uit de dieptelijnen van kaart 2 volgt, helt het Plioceen in noordelijke richting.

Over de dikte van de formatie is, behalve in Zeeuws-Vlaanderen, niet veel bekend. In laatstgenoemd gebied varieert deze van 2-7 m in de betreffende boringen, maar in de Perkpolder (K 38) is vermoedelijk het Plioceen dikker dan 7 m. Op Walcheren werd bij Vlissingen (48C 79.81) ca. 6 m, maar op Schouwen in boring 42B 5 daarentegen ruim 30 m Plioceen aangeboord. In noordelijke richting neemt dus de dikte van het Plioceen in belangrijke mate toe.

Het Plioceen bestaat uit matig fijne zanden (U = 55-76) met schelpen en schelp-

gruis en grind tot een grootte van 2½ cm. In sommige gevallen is het als een matig grof zand ontwikkeld (U = 46), o.a. in K 37 en K 38 resp. op Walcheren en Noord-oost-Zeeuws-Vlaanderen.

Het gehalte aan afslibbare delen is vrij laag en bedraagt meestal niet meer dan 2-5 %, soms echter aanzienlijk meer. De korrelgrootte-verdeling van de zandfractie van 17 monsters van deze formatie vertoont zekere overeenkomsten en verschillen met die der miocene sedimenten, zoals uit fig. 4 duidelijk wordt. De curven hebben eveneens een S-vormig verloop, en vertonen meestal een duidelijk „grove staart", die echter bij een gedeelte van de miocene zanden geheel ontbreekt. Dit verschil is vermoedelijk ontstaan, doordat het miocene zand nog meer verplaatst is geworden.

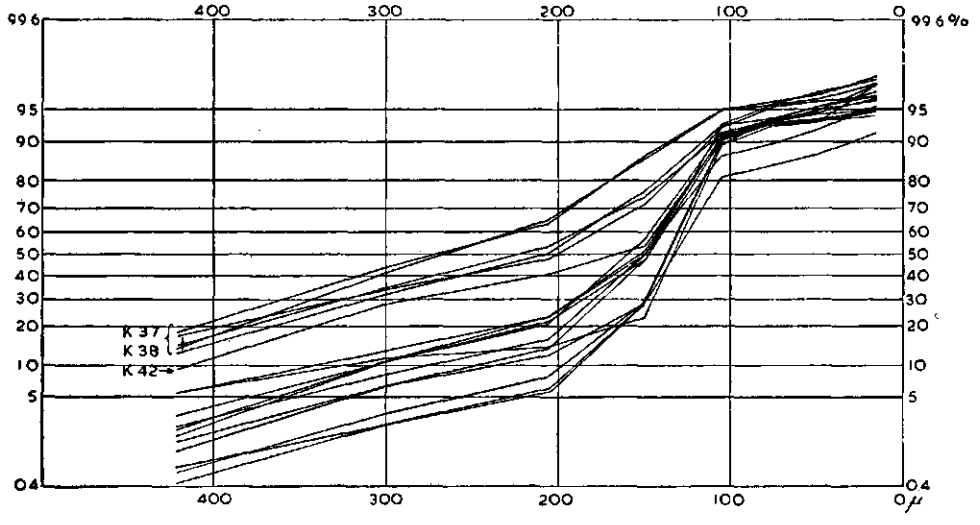


FIG. 4. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 17 monsters plioceen zand uit Oost-Zeeuws-Vlaanderen en Walcheren (boringen K 37, K 38, K 39, K 40, K 42, K 43 en K 44)

Bij 210μ buigen de curven naar links en bij 105μ vrij scherp naar rechts. Het steile verloop tussen beide fractiegrenzen wijst erop, dat ook dit zand vrij goed gesorteerd is. Uit de gedaante van de curven kan worden afgeleid, dat wij hier dus met een menging van een goed gesorteerd zand (rechte, steile deel der curven) met een maximale korrelgrootte van rond 150μ en grover materiaal te doen hebben. De spreiding in het percentage deeltjes groter dan 420μ is tamelijk groot en kan voor de betreffende monsters variëren tussen 0,5 en 18 %. In alle monsters komen voorts enkele procenten fijner materiaal en slib voor. Evenals bij de miocene sedimenten wijst de vorm van de curven op sterk wisselende sedimentatie-omstandigheden.

B. PLEISTOCENE SEDIMENTEN

1. Poederlien

Het Poederlien, dat het oudste mariene Pleistoceen vertegenwoordigt, komt overal in de ondergrond van Zeeland voor, behalve in het midden en westen van Zeeuws-Vlaanderen. Op kaart no. 3 (bijlage 81) is de verbreiding van deze formatie aangegeven.

Uit het verloop van de dieptelijnen van de basis van het Poederlien in deze kaart valt reeds af te leiden, dat op Schouwen-Duiveland, St. Filipsland, Tholen en Noord-Beveland de formatie te diep ligt, dan dat deze met de 40 m boringen kon worden bereikt. Het ondiepst werd Poederlien in het noordoosten van Zeeuws-Vlaanderen aangetroffen, waar het bij Nieuw Namen (K 40) plaatselijk zelfs aan de oppervlakte ligt (zie profiel 4, bijlage no. 5). Overigens duikt de formatie in noordelijke richting naar steeds grotere diepten weg. Zo ligt het bovenvlak in K 38 op de noordpunt van Zeeuws-Vlaanderen op ca. 25 m — N.A.P. evenals in K 27 op Zuid-Beveland. Op Walcheren werd aan de zuidzijde van het schiereiland, bij Vlissingen (48C 79.81), Poederlien op ca. 20 m — N.A.P. aangeboord, aan de noordzijde bij Domburg (42C 49) op ca. 45 m — N.A.P.

In de zeer diepe boring (42B 5) op Schouwen werd de bovenkant van de laag eerst op ca. 85 m — N.A.P. aangetroffen. Hieruit blijkt dus duidelijk de helling naar het noorden.

Wat de dikte betreft valt op te merken, dat deze in Zeeuws-Vlaanderen bij K 41, in het uiterste noordoosten van het gebied, het grootst is, nl. meer dan 15 m; in K 44 werd daarentegen niet meer dan 2 m Poederlien gevonden. Op Walcheren varieert de dikte in de betreffende boringen van ca. 5-8 m. Hetzelfde geldt voor Zuid-Beveland, behalve in K 27, waar ca. 13 m Poederlien voorkomt. Op Schouwen, in boring 42B 5, werd ca. 20 m gevonden.

Het Poederlien bestaat in het algemeen uit matig fijne, slibhoudende zanden met een grijze, groenachtige kleur en U-cijfers die wisselen van 50-80. In sommige boringen (K 32 en K 41) was het materiaal wat fijner en moeten we spreken van middelfijn zand blijkens de U-cijfers, die voor de betreffende monsters ongeveer de waarde 90 hebben. In enkele gevallen werd het Poederlien ten dele zelfs in kleiïge facies aangetroffen. Daarnaast komen in de afzetting veel schelpen voor en schelpgruis, soms ook grind en klei-ijzersteenconcreties.

In boring K 41 (profiel 5, bijlage 6) in Noordoost-Zeeuws-Vlaanderen is het Poederlien als een lichte klei ontwikkeld, met een gehalte aan afslibbare delen van gemiddeld 25 %, evenals in K 37, waar het bovenste deel van het profiel zelfs ongeveer 40 % afslibbare delen bevat (profiel 4, bijlage 5).

De korrelgrootte-verdeling van de zandfractie van 45 monsters is weergegeven in fig. 5. Op enkele afwijkende typen na (curve a t/m d), die zeer sterk gesorteerde zanden voorstellen (met tot 90 % en meer van het materiaal in de subfracties 105-150 en 150-210μ), bestaat het materiaal uit een min of meer goed gesorteerd zand met een maximale korrelgrootte van ca. 150μ, vermengd met grovere bestanddelen en

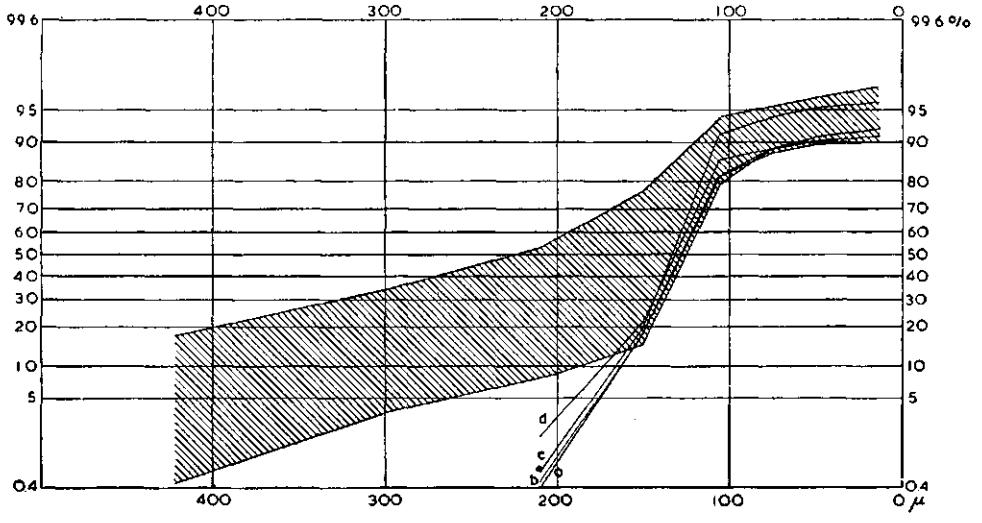


FIG. 5. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 45 monsters poederlien zand uit Oost-Zeeuws-Vlaanderen, Walcheren en Zuid-Beveland (boringen K 37, K 40, K 41, K 42, K 44, K 38, K 39, K 32, K 27, K 25 en K 24). Curve a en c uit K 32 (35,00 — 37,00 m — m.v.). Curve b en d uit K 41 (21,00-26,00 m — m.v.).

enkele procenten slib. Op de genoemde uitzonderingen na bezitten de meeste curven een „grove staart" en vertonen de reeds bij het miocene en pliocene zand besproken buiging bij 210 resp. 150μ naar links en bij 105μ naar rechts.

De samenstelling van de sedimenten van het Poederlien kan het best begrepen worden door uit te gaan van de basiscurven met een steil verloop (curve a, b, c en d). Deze curven stellen dus een uiterst sterk gesorteerd zand voor, met een maximale korrelgrootte van ca. 150μ en enkele procenten fijner materiaal, maar zonder grove bestanddelen (deeltjes groter dan 210μ ontbreken vrijwel). Dit type zand vormt het hoofdbestanddeel der betreffende sedimenten en is uiteraard door streng selecterende processen ontstaan. Vermoedelijk werd het geringe percentage fijn materiaal, dat zich in suspensie bevond, gelijktijdig met dit zand afgezet. Door vermenging met grover materiaal, dat ten gevolge van grotere stroomsterkten getransporteerd kon worden, ontstond het sediment-type van het Poederlien. In beginsel verschillen de drie genoemde afzettingen dan ook niet wezenlijk van elkaar, althans wat de samenstelling van de zandfractie betreft. Evenals dit bij de pliocene en miocene sedimenten het geval is, kan het grove bestanddeel in het zand van de betreffende monsters sterk variëren, nl. van 0,5-17 %.

2. ICENIEN

In het hoofdstuk over de geologie werd reeds uiteengezet waarom het moeilijk is nauwkeurig verbreiding en diepteligging van het Icenien in een kaart weer te geven. Een intensieve erosie in het Oud-Pleistoceen heeft het oppervlak van deze mariene afzetting sterk aangetast.

Voorzover bekend ontbreekt het Icenien in Zeeuws-Vlaanderen, behalve in het noordoostelijke deel van dit gebied, waar het in K 38, K 44 en 48H 2 in een dunne laag is aangetroffen (zie profiel 13 en 4; bijlage 14 resp. 5). In Noord-Beveland, Tholen en St. Filipsland werd in geen der boringen Icenien gevonden. Het ligt hier te diep, dan dat het met 40 m boringen bereikt kon worden. Wel werd de afzetting in Walcheren, Zuid-Beveland en Schouwen-Duiveland op de meeste plaatsen buiten de zg. Vallei van Zeeland aangeboord.

Wat de diepteligging betreft vindt men de vermoedelijke bovenkant van de laag, voordat de erosie optrad, in enkele structuurlijnen op kaart 4 (bijlage 82) aangegeven. Uit deze kaart blijkt, dat het oorspronkelijke oppervlak van zuid naar noord geleidelijk daalt, en wel van 0 m in Zeeuws-Vlaanderen tot een diepte van ca. 30 m — N.A.P. op Schouwen-Duiveland. Een erosiegeul (Vallei van Zeeland) heeft zich echter diep in deze afzetting ingesneden en plaatselijk de oppervlakte ervan sterk verlaagd. In het algemeen komt thans het Icenien op Walcheren op ca. 25 à 30 m — N.A.P. voor, in boring 48C 79,81 bij Vlissingen echter reeds op ca. 16 m — N.A.P. Op Zuid-Beveland varieert de diepte van 20 tot ruim 40 m — N.A.P., evenals trouwens op Schouwen-Duiveland. In de diepe boring 42B 5 op Schouwen komt Icenien op 44 m — N.A.P. voor (zie profiel 3, 4 en 8, bijlage 4, 5 en 9).

De doorboorde dikte van de afzetting bedraagt in de meeste boringen niet meer dan ca. 5 m. Aan de noordkust van Walcheren werd echter in boring 42C 49 (profiel 2, bijlage 3) ca. 13 m Icenien gevonden en in boring 42B 5 op Schouwen (profiel 8, bijlage 9) zelfs ca. 40 m. In de kop van Oost-Zeeuws-Vlaanderen bedraagt de werkelijke dikte niet meer dan 0,5 à 3 m (profiel 13, bijlage 14).

Het Icenien is in zandige en kleiïge facies bekend. De zandige facies bestaat uit

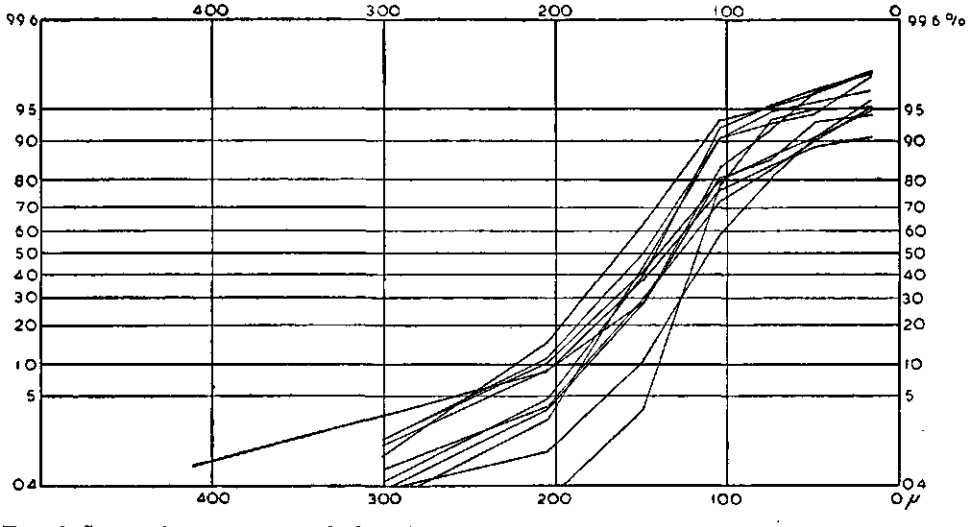


FIG. 6. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 11 monsters icenien-zand uit de boring K 11, K 12, K 13, K 14, K 30 en K 34 van Schouwen-Duiveland, Walcheren en Zuid-Beveland

middelfijne tot matig fijne zanden, met enkele procenten (2 à 5) afslibbare delen (in enkele gevallen ca. 10 %). Het materiaal vertoont een vrij sterke mate van sortering, zoals uit het verloop van de curven in fig. 6 is af te leiden. Ongeveer 50 % van het zand bezit een korrelgrootte van rond 150μ. Opmerkelijk is, dat in tegenstelling met b.v. de zanden van het Plioceen of Poederlien, het Icenien uit zanden bestaat, waarin deeltjes groter dan 300μ vrijwel niet aanwezig zijn. Enkele uitzonderingen komen echter voor, o.a. in de boringen K 24, K 34 en K 36 op Zuidwest-Zuid-Beveland en Walcheren, die enige grovere monsters bevatten.

Aangezien het, wat het algemene beeld betreft, om monsters gaat die van zeer verschillende plaatsen uit Zeeland afkomstig zijn, wijst de vorm van de curven, behalve op een selectieve invloed gedurende het transport, ook op vrij rustige omstandigheden in het sedimentatiemilieu. Ook de veelvuldige aanwezigheid van kleien in het Icenien wijst daarop. Icenien in zandige facies werd o.a. aangetroffen in de boringen K 11, K 12, K 13, K 14 en 42B 5 op Schouwen, 48C 79.81 en 42C 49 op Walcheren, K 30 op Zuid-Beveland (profiel 1, 2, 3, 8, 9, 10 en 11, bijlage 2, 3, 4, 9, 10, 11 en 12).

Icenien in kleiïge facies is op vele plaatsen in Zeeland aanwezig, o.a. in Zeeuws-Vlaanderen (boring K 38, K 44 en 48H 2, profiel 4 en 13, bijlage 5 en 14) op Zuid-Beveland (boring K 22, K 23, K 24, K 26, K 27, K 31, profiel 10, 11, 12 en 14, bijlage 11, 12, 13 en 15) en op Walcheren (boring K 34, K 36 en K 37, profiel 3 en 8, bijlage 4 en 9). Ook in de zandige facies van Icenien komen plaatselijk soms nog wel ingesloten kleilagen voor, o.a. op Schouwen (profiel 1, 10 en 11, bijlage 2, 11 en 12).

Het gehalte aan afslibbare delen van de icenien-klei wisselt vrij sterk, maar ligt voor de onderzochte monsters meestal boven 50 %. In sommige monsters, o.a. in

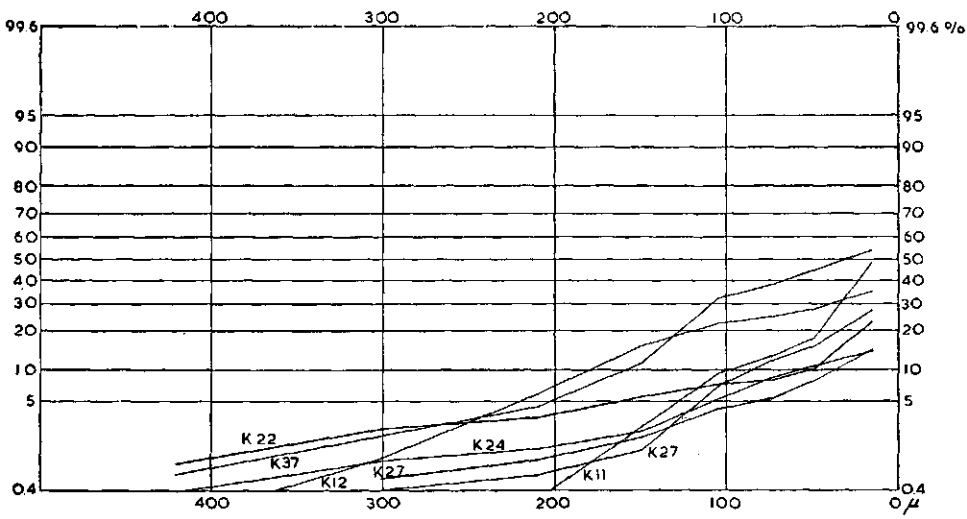


FIG. 7. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 7 monsters icenien-klei uit de boringen K 11, K 12, K 22, K 24, K 27, en K 37 van Schouwen-Duiveland, Walcheren en Zuid-Beveland

de boringen K 23, K 24 en K 27 in Z.W.-Zuid-Beveland (profiel 4 en 10, bijlage 5 en 11) werd zelfs 80 à 90 % gevonden, zodat het materiaal tot de zeer zware kleien behoort. In fig. 7 zijn de curven weergegeven van een aantal dezer kleien.

De samenstelling van de slib- en lutumfractie vertoont enige bijzonderheden, waarop thans nog nader zal worden ingegaan. Van een 17-tal monsters icenien-klei uit de boringen K 12, K 13, K 14 op Schouwen, K 22, K 23, K 24, K 26, K 27 en K 31 op Zuid-Beveland, K 34, K 36 en K 27 op Walcheren en K 38 uit Oost-Zeeuws-Vlaanderen werd de samenstelling van de slib- en lutumfractie bepaald. Tabel 3 illustreert de procentuele verdeling van de slibfractie over de verschillende subfracties.

TABEL 3. Procentuele verdeling van de slibfractie over de verschillende subfracties in monsters icenien-klei

Omschrijving		100 g slib (0-16μ) bevatten g in de subfracties			
		0-2	2-4	4-8	8-16μ
Schouwen	K 12 no. 27B 707	61	14	13	12
	K 13 no. 27B 732	62	12	13	13
Walcheren	K 34 no. 28B 446	64	12	14	10
	K 36 gem. 3 monsters	65	9	12	14
	K 37 no. 28B 593	65	11	11	13
Zuid-Beveland	K 24 no. 28B 205	65	13	11	11
	K 26 no. 28B 164	65	12	11	12
	K 27 gem. van 2 monsters	66	10	11	13
	K 31 gem. van 2 „	59	14	14	13
Zeeuws-Vlaanderen	K 38 no. 28B 642	64	10	13	13
Jonge zeeklei (Dollard)	gem. 10 monsters	68	6	11	15

Uit tabel 3 blijkt, dat de samenstelling van de slibfractie vrijwel homogeen is. Ter vergelijking werd de gemiddelde procentuele verhouding van een 10-tal monsters jonge zeeklei (Dollard) opgenomen. Uit deze cijfers wordt het duidelijk, dat het lutumgehalte van jonge zeeklei gemiddeld enkele procenten hoger ligt dan bij de icenien-klei en dat het gehalte aan deeltjes van 2-4μ gemiddeld tweemaal zo klein is. In fig. 8a zijn de sommeringskrommen van alle 17 monsters getekend. De betrekkelijk smalle bundel welke deze curven vormen, demonstreert duidelijk de vrijwel uniforme samenstelling van de slibfractie.

De lutum/slibverhouding, die eveneens uit de tabel is af te leiden, bedraagt voor 18 geanalyseerde monsters gemiddeld 65, een waarde die ongeveer overeenkomt met die van jonge mariene kleien. Deze verhouding bleek bovendien tamelijk constant te zijn.

Bij ca. 65 % van de monsters varieerde deze tussen 60 en 65. Als uitersten werden 57 en 70 gevonden. De constante samenstelling der slibfractie is een typische eigenschap van jong mariene kleien. Dat ook de icenien-klei deze eigenschap vertoont, is in overeenstemming met het mariene karakter, dat aan deze afzetting wordt toegekend. Vergeleken met de jonge zeeklei heeft de icenien-klei gemiddeld echter een iets lagere lutum/slibverhouding en een duidelijk hoger gehalte aan deeltjes van 2-4μ.

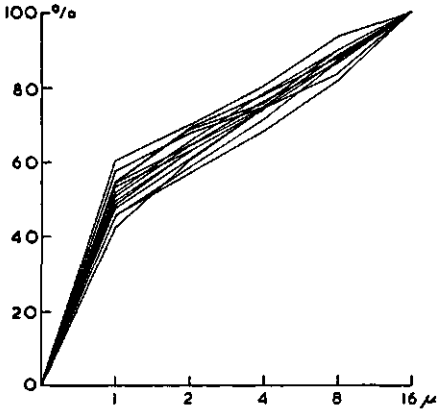


FIG. 8a.
Sommeringscurven van de korelgrootte-verdeling van de *slib*fractie van 17 monsters icenien-klei van verschillende plaatsen uit Zeeland

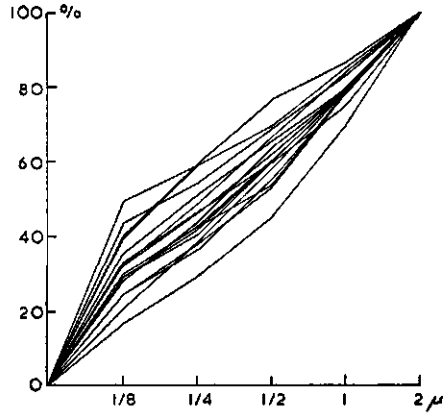


FIG. 8b.
Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van de *lutum*fractie van 17 monsters icenien-klei van verschillende plaatsen uit Zeeland

Van de boven besproken monsters werd eveneens de samenstelling van de lutumfractie bepaald. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 4, waarin 10 monsters zijn opgenomen. De lutumfractie (0-2μ) werd daarbij op 100 gesteld.

TABEL 4. Procentuele verdeling van de lutumfractie over de verschillende subfracties in monsters icenien-klei

Omschrijving		Lutum-gehalte in % op minerale delen	100 g lutum bevatten g in de subfracties				
			0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-1	1-2μ
Schouwen	K 12 no. 27B 707	34	16	20	16	25	23
	K 13 no. 27B 732	41	20	18	20	21	21
Walcheren	K 34 no. 28B 446	36	29	13	21	15	22
	K 36 no. 28B 569	33	28	15	21	14	22
	K 37 no. 28B 593	31	43	11	15	14	17
Zuid-Beveland	K 24 no. 28B 205	57	30	13	18	18	21
	K 26 no. 28B 164	37	24	14	15	26	21
	K 27 no. 28B 312	61	35	16	15	13	21
	K 31 no. 28B 396	47	29	13	18	18	22
Zeeuws-Vlaanderen	K 38 no. 28B 642	48	32	14	13	16	25

Bij een nadere beschouwing van deze tabel valt in de eerste plaats de weinig homogene samenstelling van de lutumfractie op. Er blijkt ook geen verband te bestaan tussen het lutumgehalte en de procentuele verdeling over de onderscheiden subfracties. Zoals in het volgende nog zal worden aangetoond, is bij de jong-mariene

kleien (pag. 70) de samenstelling van de lutumfractie wel zeer constant. Hetzelfde geldt voor de jonge rivierkleien, zij het ook, dat deze een iets andere samenstelling bezitten (zie pag. 52). Sommige oudere rivierkleien daarentegen schijnen een zeer heterogene lutumfractie te bezitten (zie Afzetting van Halsteren pag. 52). In dit opzicht verschilt de icenien-klei dus duidelijk van de jonge zee- en rivierkleiafzettingen. De zeer heterogene samenstelling van de lutumfractie komt wel treffend in fig. 8b tot uitdrukking. In deze figuur werden de cumulatieve curven van de 17 onderzochte monsters getekend; zij vormen een zeer brede bundel, hetgeen dus wijst op een heterogene samenstelling van het materiaal. Vergelijkt men deze figuur met de overeenkomstige van de jonge zeeklei, rivierklei of zelfs oligocene klei, dan spreekt het afwijkend gedrag van de lutumfractie van de icenien-klei voor zichzelf.

Hoewel de samenstelling van de slibfractie dus onmiskenbaar sedimentatie in een marien milieu verraadt, doet het heterogene karakter van de lutumfractie toch vermoeden dat andere dan zuiver mariene omstandigheden (invloed van rivieren of verweringsprocessen?) van invloed zijn geweest op de samenstelling van de zeer fijne deeltjes. Ten gevolge van het voortdurend ondieper worden van het sedimentatiebekken is het inderdaad niet uitgesloten, dat het door de rivieren aangevoerde slib niet voldoende kon worden „gehomogeniseerd" in het ondiepe zeewater.

Ten slotte zij nog gewezen op het verschil in samenstelling van de lutumfractie van de icenien-klei en b.v. van de oligocene klei (zei tabel 2, pag. 37) en van de oude- en jonge zeeklei (tabel 8 en 11, pag. 62 en 70). Het gehalte aan deeltjes $< 1/8\ \mu$ bedraagt bij laatstgenoemde afzettingen ca. 55 à 60 %, tegen 20 à 40 % bij de icenienklei. De lutumfractie van de icenien-klei is dus „grover" van samenstelling dan die van de oligocene, oude en jonge zeeklei. Sommige fluviatiele kleien (zie Afzetting van Halsteren, pag. 51) worden eveneens gekenmerkt door een „grove" samenstelling van de lutumfractie, dus door een laag gehalte aan deeltjes $< 1/8\ \mu$. Op grond hiervan zou men met andere dan zuiver mariene sedimentatie-omstandigheden tijdens het Icenien in dit gebied rekening moeten houden.

3. De Afzetting van Halsteren

De Afzetting van Halsteren is een verzamelbegrip voor een serie continentale sedimenten, die het Tiglien t/m het Drenthien omvat. De verbreiding van deze sedimenten, die de zeer diepe Vallei van Zeeland opvullen is weergegeven op kaart 4 (bijlage 82). Met uitzondering van het grootste deel van Zeeuws-Vlaanderen en van Schouwen-Duiveland en van enkele plaatsen op Walcheren en de zuidpunt van Zuid-Beveland komt deze formatie in de ondergrond van geheel Zeeland voor, zij het ook in zeer verschillende dikten. Uit het oost-west verloop van deze oud-pleistocene vallei volgt, dat de grootste dikte vermoedelijk eveneens in deze richting te vinden is, al is hierover slechts bij Halsteren iets meer bekend. In deze plaats werd een dikte van bijna 80 m gevonden. Met behulp van isopachen werden op bovengenoemde kaart 4 de verschillende dikten schematisch aangegeven. De grootste dikte komt waarschijnlijk onder Tholen en Noord-Beveland voor en onder de Oosterschelde. In noordelijke en zuidelijke richting neemt zij snel af, zoals ook uit de noord-zuidprofielen blijkt.

De diepteligging van de bovenkant van de afzetting varieert in het algemeen van ca. 20 tot 35 m — N.A.P. In de staart van Zuid-Beveland, in de boringen K 30, K 31 en K 32, ligt het bovenvlak van de laag reeds op 15 à 19 m — N.A.P., evenals op Walcheren in boring 48C 79.81 bij Vlissingen. De afzetting komt verder oostelijk minder diep voor, b.v. in boring N 36 op de kust van Noord-Brabant reeds op ca. 7 m — N.A.P. (zie profiel 1, bijlage 2) en in boring K 41 in Zeeuws-Vlaanderen aan de mond van de Schelde zelfs op 5 m — N.A.P. Dat niettemin de bovenzijde van de afzetting in deze gebieden soms vrij diep ligt, is een gevolg van de erosie, die plaatselijk geulen in de afzetting uitschuurde en dientengevolge het oppervlak verlaagde. Dit is b.v. het geval op St. Philipsland in boring K 68 (profiel 1, bijlage 2). Over de oorspronkelijke helling van het oppervlak van de afzetting, kan mede als gevolg van de erosie niet veel met zekerheid gezegd worden, al zal deze, gezien het het verloop van de Vallei van Zeeland, vermoedelijk een westelijke geweest zijn.

De Afzetting van Halsteren is van fluviatiele oorsprong en is zowel in zandige als in kleiïge facies ontwikkeld. Plaatselijk komen in de zanden kleilagen voor. Zandig ontwikkeld is de afzetting o.a. op St. Philipsland (K 68), Noord-Beveland (K 17, K 18, K 19 en K 20) en Zeeuws-Vlaanderen (K 38 en K 41). Als een klei treft men de afzetting o.a. aan op Walcheren in K 36, op Zuid-Beveland in K 23 en K 25, op Schouwen in K 10 en in Noord-Brabant in N 36.

De zandige facies bestaat in het algemeen uit matig fijne tot middelfijne zanden, met één of enkele procenten afslibbare delen. Soms is het materiaal matig tot sterk slibhoudend.

Het feit dat de afzetting van fluviatiele oorsprong is laat geen grote verwachtingen toe ten aanzien van homogeniteit van het materiaal. Er kunnen dan ook verschillende

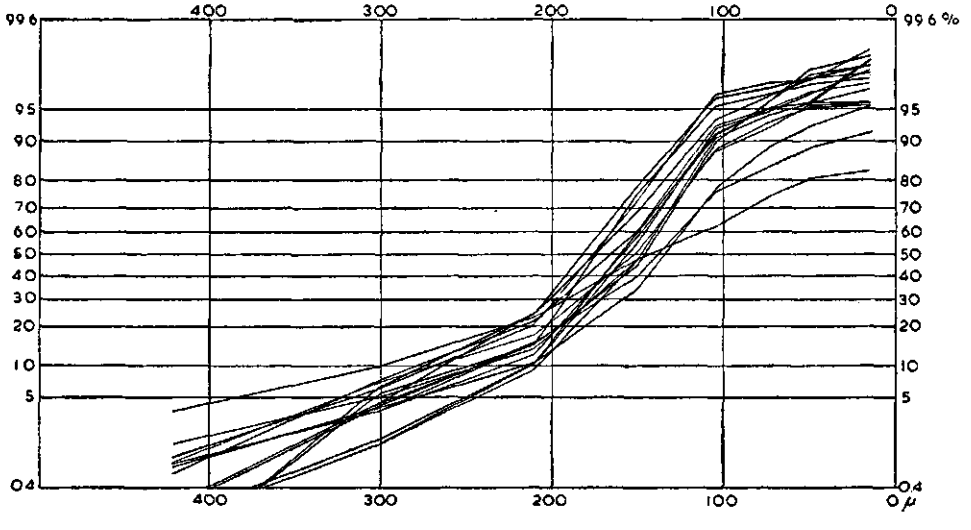


FIG. 9. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 16 zandmonsters van de Afzetting van Halsteren uit de boringen K 18, K 22, K 26, K 28, K 30, K 31, K 65, K 66, K 67 en K 68

typen zand onderscheiden worden: goed gesorteerde en slecht gesorteerde zanden, zanden met veel en zonder grove bestanddelen, met een aanzienlijk gehalte afslibbare delen en vrijwel slibvrij.

Opmerkelijk is evenwel, dat de meeste zanden goed tot zelfs zeer goed gesorteerd zijn. De belangrijkste subfracties zijn 105-150 en 150-210μ, die tezamen 50 à 80 en in sommige gevallen zelfs meer dan 90 % van het materiaal bevatten (zie fig. 9). Zoals uit deze figuur blijkt, vertonen de meeste curven een min of meer uniform verloop. Sommige bezitten echter duidelijk een „grove staart", andere daarentegen bevatten geen deeltjes groter dan 300 resp. 420μ. Zolang geen nadere stratigrafische indeling van de afzetting kan worden gegeven, zal met het bovenstaande volstaan worden.

Wat de kleiïge facies van de afzetting betreft kan worden opgemerkt, dat het gehalte aan afslibbare delen sterk kan variëren, maar meestal boven 40 % is gelegen. Zeer zware kleien, met meer dan 80 % afslibbare delen, komen in enkele gevallen voor. Percentages van 50 à 60 zijn echter vrij algemeen.

De lutum/slib verhouding, die ook voor deze monsters werd berekend, gaf sterk wisselende waarden te zien. Dit blijkt o.a. duidelijk uit tabel 5, waarin de procentuele verhouding van de gehalten aan verschillende subfracties van de slibfractie is weergegeven.

TABEL 5. Procentuele verdeling van de slibfractie over de verschillende subfracties in monsters klei van de Afzetting van Halsteren

Omschrijving		Slibgehalte in % op min. delen	100 g slib (0-16μ) bevatten g in de subfracties			
			0-2	2-4	4-8	8-16μ
Schouwen-Duiveland	K 10 no. 27B 620	50	45	20	14	21
	no. 27B 621	59	54	15	14	17
	K 15 no. 27B 775	74	64	13	9	14
Zuid-Beveland	K 22 no. 28B 136	70	69	7	10	14
	K 23 no. 28B 249	51	67	11	10	12
	K 31 no. 28B 396	78	60	14	15	11
Walcheren	K 36 no. 28B 567	50	68	10	12	10
Tholen	K 64 no. 29B 916	62	63	8	11	18
	K 67 no. 29B 995	13	60	8	8	24
Noord-Brabant	N 36 no. 30B 031	48	50	16	9	25
	no. 30B 033	69	34	21	21	24
	no. 30B 034	49	35	17	21	27

Uit deze tabel valt geen homogeniteit van het materiaal af te leiden, hetgeen ook nog eens duidelijk door fig. 10a wordt gedemonstreerd.

De samenstelling van de lutumfractie is in tabel 6 weergegeven.

TABEL 6. Procentuele verdeling van de lutumfractie over de verschillende subfracties in monsters klei van de Afzetting van Halsteren

Omschrijving		Lutum-gehalte in % op min. delen	100g lutum (0-2μ) bevatten g in de subfracties				
			0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-1	1-2μ
Schouwen	K 10 no. 27B 620	22	17	6	14	30	33
	no. 27B 621	31	18	7	16	32	28
	K 15 no. 27B 775	47	20	9	32	21	18
Zuid-Beveland	K 22 no. 28B 136	48	25	18	25	18	14
	K 23 no. 28B 249	34	31	19	21	16	13
	K 31 no. 28B 396	47	29	13	18	18	22
Walcheren	K 36 no. 28B 567	34	35	15	20	12	18
Tholen	K 64 no. 29B 916	39	19	16	27	24	14
	K 67 no. 29B 995	8	28	10	17	20	25
Noord-Brabant	N 36 no. 30B 031	24	16	11	16	28	29
	no. 30B 033	20	12	12	12	28	36
	no. 30B 034	17	14	10	15	27	34

Uit deze tabel blijkt duidelijk de heterogene samenstelling van de lutumfractie. De variatie in de percentages binnen iedere subfractie is voor de verschillende monsters aanzienlijk. Dit wordt ook nog eens gedemonstreerd in fig. 10b, die een grote spreiding van de verschillende curven te zien geeft.

Wanneer deze uitkomsten worden vergeleken met die van de jonge rivierkleiafzettingen, dan valt het volgende op. Uit fig. 11a, die de samenstelling van de slibfractie van 30 monsters rivierklei uit midden-Nederland weergeeft, blijkt dat de korrelgrootteverdeling van het slib niet homogeen is. Dit is af te leiden uit de grote spreiding van de curven. Daar de Afzetting van Halsteren eenzelfde beeld vertoont, zou men op grond daarvan tot een fluviatiele oorsprong van deze afzetting kunnen besluiten. Beschouwt men echter de samenstelling van de lutumfracties van de rivierklei in fig. 11b, dan wordt het duidelijk, dat deze blijkbaar nagenoeg constant is, zulks in tegenstelling met de lutumfractie van de kleien uit de Afzetting van Halsteren (fig. 10b). Een ander typisch verschil is het gehalte aan deeltjes $< 1/8\mu$, dat voor de recente rivierkleien veel hoger is dan voor de klei van de Afzetting van Halsteren. De lutum/slib verhouding, die uit tabel 5 is af te leiden, blijkt voor enkele monsters, o.a. uit de boringen K 10 en N 36, zeer lage waarden te hebben, nl. 34, 35 en 45. In ons land zijn dergelijke lage waarden alleen bekend bij de zg. sloef, een brakwaterafzetting uit de Noordoostpolder (WIGGERS, 1955).

4. DE AFZETTING VAN VLISSINGEN

De Afzetting van Vlissingen is een voorlopige naam voor een complex van sedimenten, dat gedurende het Eemien tot en met het Tubantien werd afgezet. Het verspreidingsgebied van dit complex werd aangegeven op een aparte kaart (zie bijlage no. 18). Uit deze kaart blijkt de afzetting in vrijwel geheel Zeeland voor te komen, met uitzondering van enkele plaatsen in Zeeuws-Vlaanderen (boring K 63,

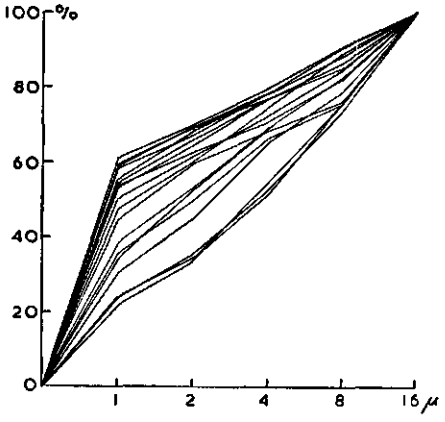


FIG. 10a.
Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van de *slib*fractie van 18 kleimonsters van de Afzetting van Halsteren

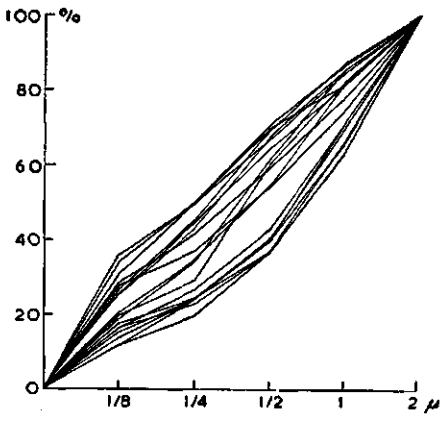


FIG. 10b.
Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van de *lutum*fractie van 18 kleimonsters van de Afzetting van Halsteren

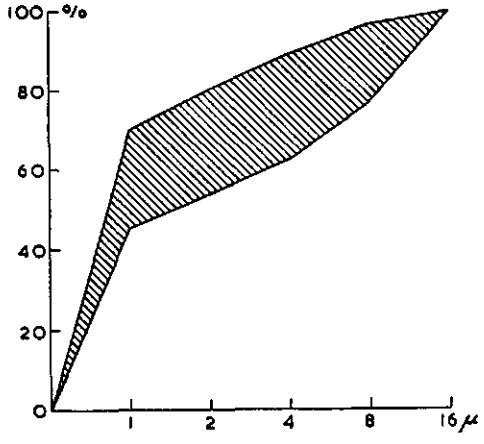


FIG. 11a.
Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van de *slib*fractie van 30 monsters rivierklei uit Midden-Nederland

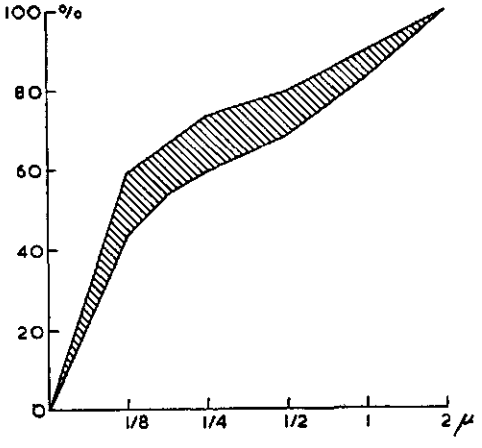


FIG. 11b.
Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van de *lutum*fractie van 30 monsters rivierklei uit Midden-Nederland

K 38, K 41, K 42, K 43 en K 46) en een smalle strook op Zuid-Beveland, Tholen en St. Philipsland, waar zij door latere erosie is verdwenen.

Wat de dikte betreft valt het op, dat deze in het westen van de provincie het grootst is (zie bijlage no. 18). In westelijk Zeeuws-Vlaanderen, Walcheren en westelijk Schouwen komen laagdikten voor van 20 à 25 m. Naar het oosten nemen deze af tot 5 à 10 m.

Bij gebrek aan voldoende gegevens is het niet mogelijk geweest de begrenzing aan boven- en onderkant van de afzetting nauwkeurig vast te stellen. De diepteligging van de bovenkant van de laag is dan ook slechts globaal weer te geven.

Op Schouwen-Duiveland ligt de bovenkant van de afzetting op 10 à 15 m — N.A.P., behalve in boring K 10, waar door latere erosie de oppervlakte werd verlaagd en de diepteligging thans ruim 20 m bedraagt. Op Walcheren, Noord-Beveland en Tholen en op Zuid-Beveland vindt men de afzetting in het algemeen op 10 à 20 m — N.A.P. In Zeeuws-Vlaanderen varieert de diepteligging sterk. Plaatselijk, o.a. in het zuiden in de boringen K 39, K 48, 55A/1, K 56, 55A/162, K 54, 54A/14, K 40, K 55, ligt de laag aan of bij de oppervlakte. Elders daarentegen op ca. 15 à 20 m — N.A.P., o.a. in boring K 58, K 59, waar jonge erosiegeulen zich in de afzetting hebben ingesneden.

In het hoofdstuk over de geologie werd reeds gewezen op het heterogene karakter van deze afzetting, die in continentale, mariene en in estuariene facies voorkomt. De gegevens zijn nog te schaars, dan dat enigszins betrouwbare facieskaarten zijn te vervaardigen. Wij zullen dan ook bij de bespreking van de korrelgrootte-verdeling van deze sedimenten volstaan met enkele voorbeelden van monsters waarover geen twijfel bestaat.

De Afzetting van Vlissingen bestaat in het algemeen uit zandige sedimenten. Op sommige plaatsen werden meer of minder dikke kleilagen in de zanden aangetroffen, o.a. in de boringen K 47, K 48, K 49, K 50 en K 59 (zie profiel 6, 7 en 13, bijlage no. 7, 8 en 14) in Zeeuws-Vlaanderen en in K 24 en K 34 op Zuid-Beveland resp. Walcheren (zie profiel 3 en 4, bijlage 4 en 5). Deze kleien hebben een wisselend gehalte aan afslibbare delen, nl. van 10-40 %; slechts in K 24 en K 47 ligt dit boven 40 %. Het aantal zware kleimonsters is dus uiterst klein, zodat ook geen verder onderzoek naar de samenstelling van deze kleien werd gedaan. Bij beschouwingen van de granulometrische samenstelling van de zanden zij er in de eerste plaats op gewezen, dat deze zeer sterke verschillen zal vertonen, indien alle onderzochte monsters tezamen zouden worden weergegeven in de gebruikelijke waarschijnlijkheidsdiagrammen. Immers de afzetting heeft een zeer heterogene ontstaanswijze. In het algemeen bestaat de laag uit matig fijne tot middelfijne zanden met U-cijfers die variëren van 50-120. Het gehalte aan afslibbare delen is laag en bedraagt meestal niet meer dan enkele procenten; in sommige gevallen zelfs minder dan 2 %. Op verschillende plaatsen wordt de basis van de afzetting gevormd door slibarme, matig grove zanden met U-cijfers, die variëren van 30-50. Deze grove zanden komen vooral voor in West-Zeeuws-Vlaanderen in boring K 57, K 58, K 60 en 53 F/9 (zie profiel 5, 6, 8 en 9, bijlage 6, 7, 9 en 10), op Walcheren in boring K 33 en K 36 (profiel 3, bijlage 4), op Noord-Beveland in boring K 17 en 42D/32 (profiel 9, bijlage 10) en op Schouwen-Duiveland in boring 42B/5, K 10, K 11, K 12, K 13, K 14 en K 15 (zie profiel 1, 9, 10 en 11, bijlage 2, 9, 11 en 12).

Ter illustratie geven wij hier twee voorbeelden van de korrelgrootte-verdeling van de afzetting in mariene en continentale facies. Daartoe werden monsters uitgezocht, waarover geen twijfel bestond omtrent hun ontstaan. Figuur 12 geeft enige curven van de korrelgrootte-verdeling van de mariene facies van de laag, figuur 13 van de continentale facies. Het verloop van de curven in beide figuren vertoont duidelijke verschillen. In de eerste plaats bevatten de mariene monsters (fig. 12) in de meeste gevallen enkele procenten deeltjes groter dan 420μ, zij bezitten dan ook een „grove

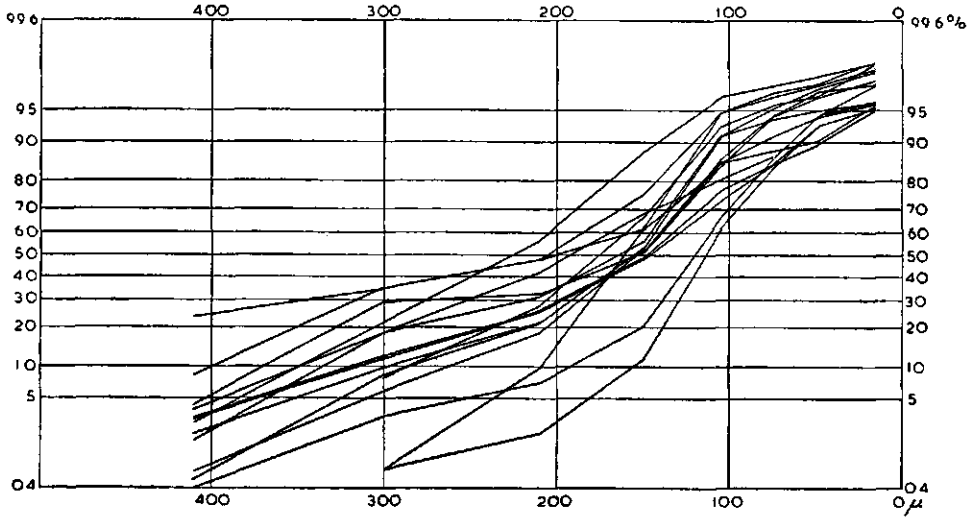


FIG. 12. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 15 monsters marien zand van de Afzetting van Vlissingen

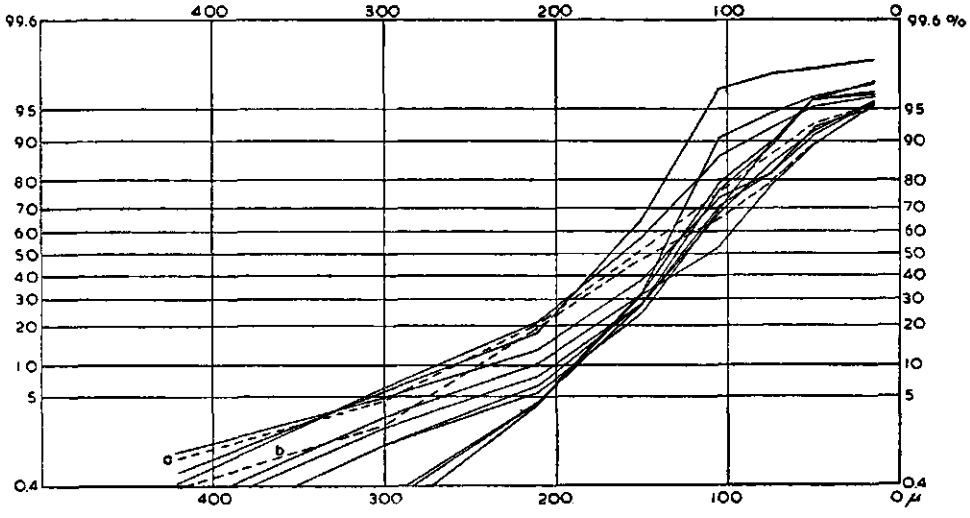


FIG. 13. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 10 monsters continentaal zand van de Afzetting van Vlissingen. Curve a en b: dekzand uit Noord-Brabant en Limburg.

staart". Bij de continentale monsters ontbreekt deze. In de tweede plaats verlopen de curven in fig. 13 veel steiler dan in fig. 12. De sortering van de continentale zanden is dus groter dan die van de mariene. De continentale monsters hebben een dekzandkarakter, hetgeen duidelijk blijkt uit enkele curven, die betrekking hebben op een dekzand uit Limburg en Noord-Brabant, welke ter vergelijking in fig. 13 werden

opgenomen. Volledigheidshalve geven wij hieronder een overzicht van de herkomst en diepteligging van beide typen monsters.

Afzetting van Vlissingen (mariene facies)		*Afzetting van Vlissingen* (continentale facies)	
Schouwen	K 10: 26,00-28,00 m-mv.	Z.-Beveland	K 31: 16,00-18,00 m
	K 11: 19,00-21,00 m-mv.	Walcheren	K 33: 9,50-12,20 m
	K 12: 15,65-17,00 m-mv.	Zeeuws-Vlaanderen	K 39: 3,00- 5,50 m
	K 14: 15,00-17,00 m-mv.		K 44: 6,80-11,50 m
	K 14: 23,00-25,00 m-mv.		K 48: 3,80- 6,20 m
Z.-Beveland	K 28: 27,50-29,20 m-mv.		K 51: 10,50-13,50 m
	K 30: 13,00-14,00 m-mv.		K 55: 4,50- 7,00 m
Walcheren	K 35: 21,40-24,00 m-mv.		K 57: 13,80-17,10 m
Zeeuws-Vlaanderen	K 52: 19,00-21,00 m-mv.		K 60: 10,63-14,00 m
	K 55: 23,10-24,00 m-mv.		K 50: 6,20-10,00 m
	K 56: 18,00-20,00 m-mv.		
	K 57: 19,80-21,45 m-mv.		
	K 60: 19,00-19,70 m-mv.		
N.-Beveland	K 20: 22,00-26,00 m-mv.		

C. HOLOCENE SEDIMENTEN

1. Boreaal en vroeg-atlantisch veen

Dit veen, ook wel „veen-op-grotere-diepte" genoemd, werd slechts op enkele plaatsen in de boringen aangetroffen, o.a. op Tholen in K 64, K 66 en K 67 waar het als een dunne laag op ca. 9,50 à 11,50 m — N.A.P. voorkomt (zie profiel 2 en 13, bijlage 3 en 14). Verder op Schouwen-Duiveland in de boringen K 15 en K 16 waar het veen op ca. 11,50 à 13,50 m — N.A.P. ligt (zie profiel 12, bijlage 13) en op Zuid- en Noord-Beveland in de boringen K 18, K 21 en K 30 waar het eveneens op ca. 12 à 14 m — N.A.P. gevonden werd (zie profiel 2, 3 en 10, bijlage 3, 4 en 11).

2. Midden-atlantische wadafzettingen

De midden-atlantische wadafzettingen bestaan uit middelfijne tot zeer fijne, soms slibhoudende zanden met schelpresten. In sommige gevallen kunnen de sedimenten zelfs slibrijk of kleiïg ontwikkeld zijn. De oude zeeklei, die eveneens tot deze afzettingen wordt gerekend, vormt de afsluiting van deze sedimentatieperiode. Weliswaar veronderstelt deze kleilaag een vrij rustige sedimentatie in water met geringe of in het geheel geen stroming, maar plaatselijk, en dan vooral in het westen van het gebied, komen meer zandige afzettingen voor, zg. oude zeezanden, die vermoedelijk deel uitmaken van de strandwal.

In kaart 6 (bijlage 84) is de facies van de wadafzettingen weergegeven evenals de kustlijn aan het einde van de oude-zeekleifase. Deze kustlijn valt in het oosten ten naaste bij samen met de vastewal van Noord-Brabant en loopt in het zuiden ongeveer midden door Zeeuws-Vlaanderen.

De diepte waarop de oude wadafzettingen voorkomen varieert nogal, evenals trouwens de dikte.

Op Schouwen ligt de bovenzijde van de laag op ca. 3 à 5 m — N.A.P., maar daalt naar het oosten op Duiveland en St. Philipsland tot ca. 7 à 10 m — N.A.P. (zie b.v. profiel 1, bijlage 2).

Onder Tholen vindt men de afzettingen op ca. 6 à 8 m — N.A.P., behalve in boring K 64, waar zij reeds op ca. 2,5 m — N.A.P. voorkomen (zie profiel 2, bijlage 3). In dit profiel is eveneens de ligging op Noord-Beveland af te leiden. In boring K 20 werden de wadafzettingen reeds op ca. 5 m — N.A.P. gevonden, maar naar het westen in K 18 op ca. 15 m — N.A.P. In het uiterste westen van het eiland (K 17) ontbreken zij geheel, de oude zeeklei treft men hier echter in een uitzonderlijk dikke laag aan. Vervolgt men deze afzetting verder westelijk op dit profiel, dan ziet men op Walcheren (boring 42D 28) eerst nog een zeer dik pakket oude zeeklei, dat echter geleidelijk in zandiger sedimenten van de strandwal overgaat (boring K 35 en 42C 49). Op Zuid-Beveland ligt de bovenzijde van de oude wadafzettingen op gemiddeld 6 à 9 m — N.A.P.

De dikte van dit sedimentcomplex varieert in het algemeen van ongeveer 5 tot 10 m. Plaatselijk komen echter aanzienlijk dikkere lagen voor, hetgeen vooral het geval is in diepe erosiegeulen. Fraaie voorbeelden hiervan vindt men op Schouwen en St. Philipsland in de boringen K 9 en K 68 in profiel 1 (bijlage 2), waar de wadafzettingen resp. meer dan 32 m en 18,5 m dik zijn, en op Tholen in boring K 65 in profiel 2 (bijlage 3), waar een ca. 17 m dikke laag werd aangeboord.

De oude wadafzettingen bestaan in het algemeen uit zeer fijne tot middelfijne zanden met U-cijfers variërend van 80-160. Het gehalte aan afslibbare delen in deze

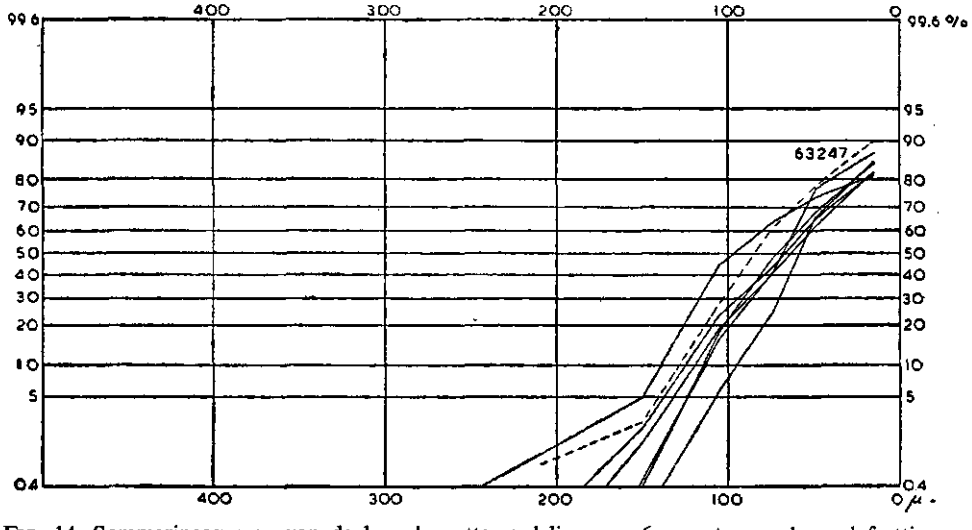


FIG. 14. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 6 monsters oude wadafzettingen van Tholen en Schouwen-Duiveland (boringen K 10, K 16, K 64, K 66 en K 67). Curve 63247: wadzand 40 m uit de kust bij Makkum (DE VRIES, 1942).

zanden bedraagt meestal niet meer dan 2 à 4 %, maar hogere percentages worden soms ook gevonden.

Deze wadzanden bezitten een karakteristieke korrelgrootte-verdeling, zoals uit fig. 14 en 15 moge blijken. De curven in beide figuren, betrekking hebbende op monsters uit Schouwen-Duiveland, St. Philipsland, Tholen en Noord-Beveland, bezitten alle een steil verloop tussen 50 en 150μ, en vertonen een zwakke buiging naar rechts, die naar de fijne zijde meestal sterker wordt. Sommige curven hebben echter ook aan de fijne zijde nog een steil verloop. Wat verder opvalt is, dat de maximale korrelgrootte van deze slibhoudende zanden 210μ niet overschrijdt. Zelfs kleine percentages grovere korrels komen niet voor, zodat een „grove staart" aan de curven geheel ontbreekt. Zoals in het volgende nog zal blijken, komen echter ook grovere wadzanden voor en wel in geulen of andere plaatsen waar grotere stroomsnelheden heersten.

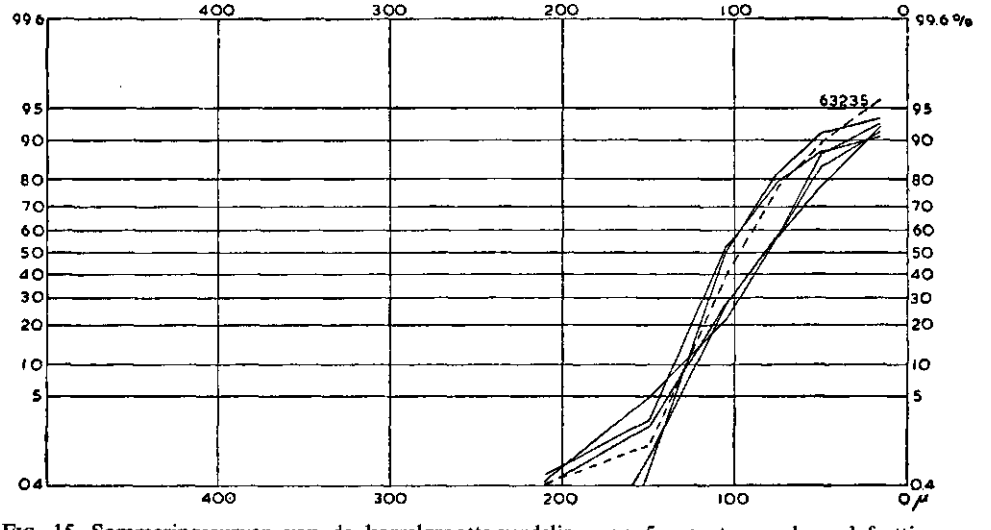


FIG. 15. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 5 monsters oude wadafzettingen van Schouwen, St. Philipsland, Tholen en Noord-Beveland (boringen K 10, K 68, K 64 en K 19). Curve 63235: wadzand 45 m uit de kust bij Workum (DE VRIES, 1942).

Ter vergelijking werden in de fig. 14 en 15 twee curven van recent gevormde wadzanden ingetekend. Deze gegevens zijn ontleend aan de publikatie van DE VRIES (1942) en hebben betrekking op twee monsters afkomstig van de wadden voor de kust bij Makkum en Workum. Beide monsters werden op 40 en 45 m afstand van de kust genomen en komen blijkens het verloop der curven geheel overeen met de betreffende Zeeuwse monsters. DE VRIES vond dat het zand in het algemeen grover en het gehalte aan afslibbare delen kleiner is, naarmate het monster verder uit de kust genomen is.

De fijnere bestanddelen worden het verst door het opdringende water meegevoerd en kunnen hoger op het wad, waar de stroomsnelheid veel geringer is dan b.v. verder van de kust of in de geulen, tot bezinking komen. Ook op ondiepe plaatsen en op

of achter zandbanken, kan de stroomsnelheid zover afnemen, dat nog slechts het fijnere materiaal, i.c. deeltjes < 210μ, getransporteerd kan worden. Gedurende de kentering kan dit fijne zand dan tot afzetting komen. De overeenkomst van de curven met die van de wadzanden voor de kust bij Workum en Makkum wijst erop, dat de sedimentatie onder zeer rustige omstandigheden plaats gevonden moet hebben. De sterke sorteringsgraad van dit fijne zand, waarbij deeltjes > 210μ geheel ontbreken, duidt op geringe stroomsnelheid van het water, zodat ten tijde van het ontstaan dezer sedimenten ter plaatse reeds een hoog wad bestaan moet hebben of in ieder geval een door zandbanken beschermd, rustig gebied. Voor deze zienswijze pleit ook het kleiïge karakter van de oude wadafzettingen in dit deel der provincie.

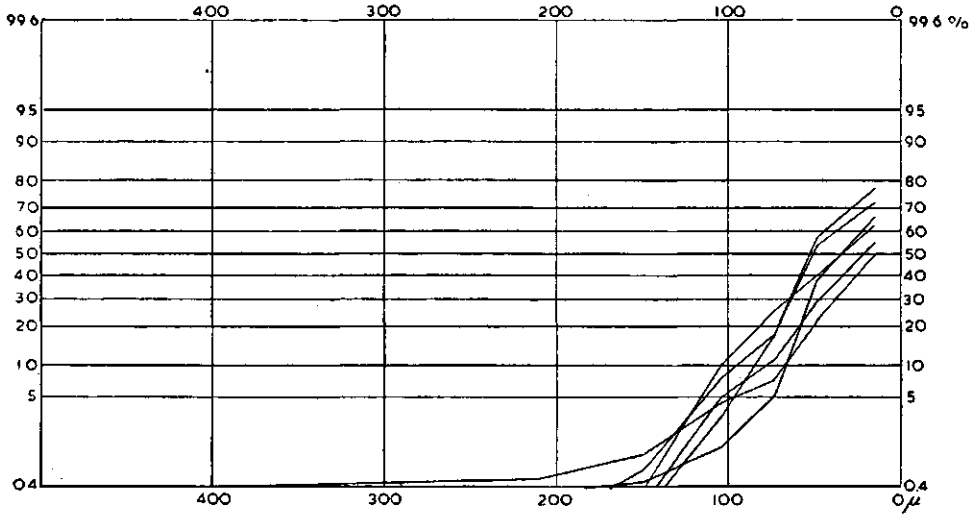


FIG. 16. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 6 monsters oude wadkleien van Schouwen-Duiveland en Tholen (boringen K 10, K 11, K 13, K 16, K 66 en K 67)

Figuur 16 geeft hiervan een beeld. In deze figuur zijn de curven van een 6-tal monsters oude wadkleien getekend. Deze monsters zijn afkomstig van Schouwen-Duiveland en Tholen, waar de betreffende afzettingen sterk kleiïg zijn ontwikkeld (zie boringen K 10, K 11, K 13, K 16, K 66 en K 67). Het ontstaan dezer kleien veronderstelt sedimentatie in zeer rustig water.

In fig. 17 en 18 is een ander type wadafzetting weergegeven. De curven in deze figuren bezitten een steil verloop tussen 210 en 105μ, hetgeen op een sterke sortering van het materiaal wijst. Voorbij 105μ buigen zij geleidelijk sterker naar rechts, om tussen 95 en 100 % nagenoeg horizontaal te lopen. Materiaal van 16-75μ is weinig aanwezig, hetgeen vooral in fig. 18 duidelijk uitkomt. Het gehalte aan deeltjes < 16μ is eveneens zeer gering en bedraagt ca. 2 à 4 %. De maximale korrelgrootte van deze slibarme zanden overschrijdt 420μ niet. Voor de meeste monsters ligt de grens zelfs bij 300μ. In tegenstelling met het boven besproken type (fig. 14 en 15) ligt de maximale korrelgrootte bij deze zanden dus duidelijk hoger. Als gevolg van, zij

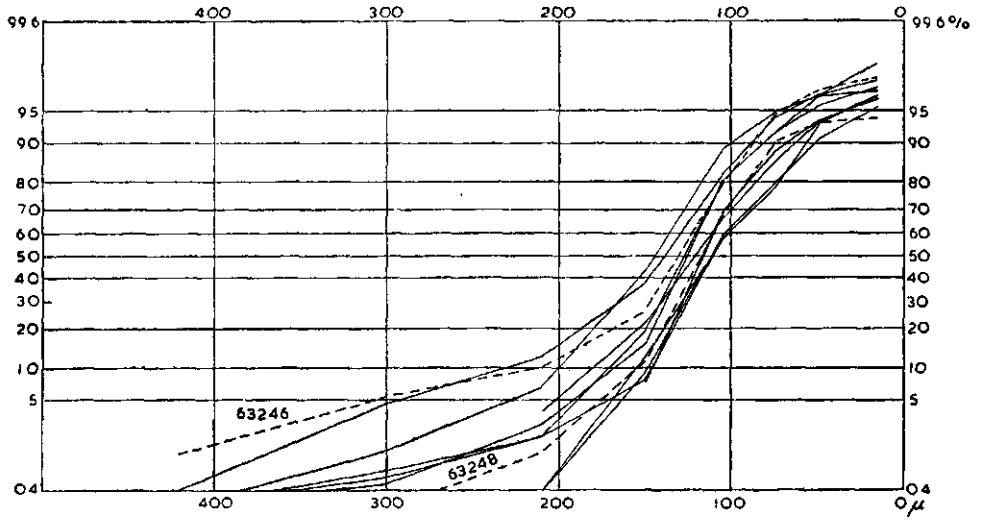


FIG. 17. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 9 monsters oude wadzanden van Schouwen, St. Philipsland, Noord- en Zuid-Beveland (boringen K 9, K 10, K 11, K 12, K 20, K 28 en K 68). Curven 63246 en 63248: Wadzanden 140 resp. 110 m uit de kust bij Makkum (DE VRIES, 1942).

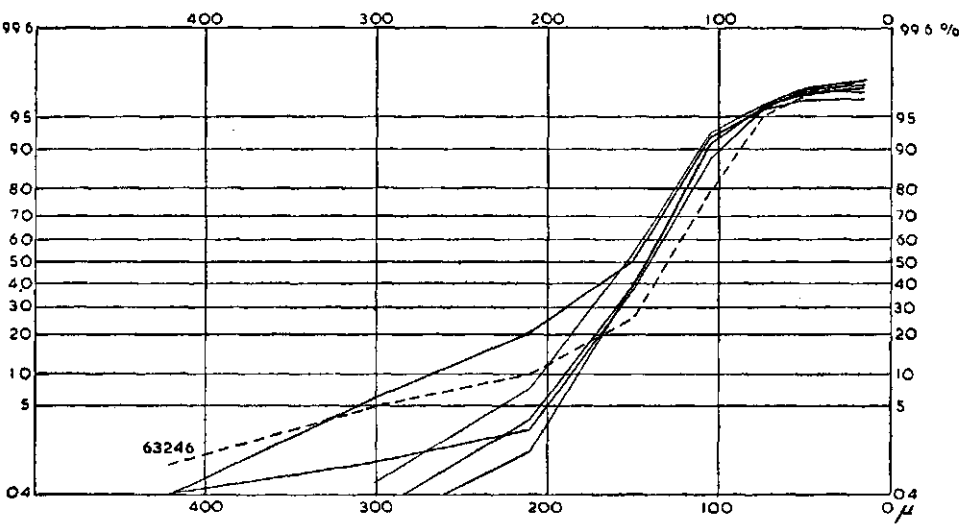


FIG. 18. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 5 monsters oude wadzanden van Schouwen en Tholen (boringen K 9 en K 65). Curve 63246: Wadzand 140 m uit de kust bij Makkum (DE VRIES, 1942).

het ook geringe percentages, grove korrels, ontstaat aan de grove zijde der sommatiecurven een „staart". Ter vergelijking werden in beide figuren de curven van recente wadsedimenten ingetekend. Deze curven hebben betrekking op monsters wadzanden, afkomstig van de wadden bij Makkum, 140 m uit de kust (DE VRIES, 1942). De

overeenkomst tussen de curven is zeer groot. Op grond van deze overeenkomst zal de sedimentatie van de betreffende zanden dan ook vermoedelijk in water met wat grotere stroomsnelheden hebben plaatsgevonden. Dit doet zich behalve verder uit de kust, ook in geulen voor. De betreffende curven in de fig. 17 en 18 hebben dan ook bijna alle betrekking op monsters die afkomstig zijn uit diepe geulen, welke of geheel òf alleen, in het onderste deel met grover materiaal werden opgevuld (b.v. boring K 9, K 28, K 65 en K 68, zie profiel 1, 2 en 3, bijlage no. 2, 3 en 4).

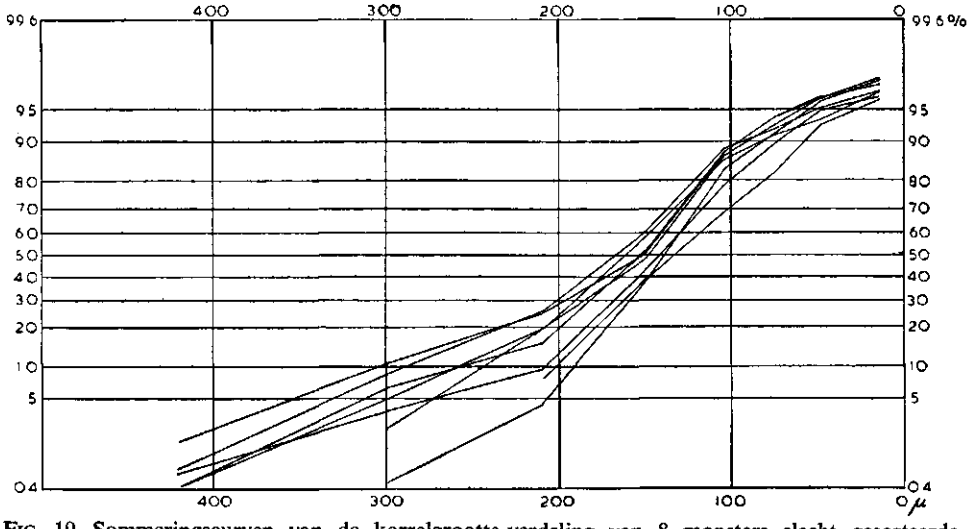


FIG. 19. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 8 monsters slecht gesorteerde oude wadzanden van Schouwen, Zuid-Beveland en Tholen (boringen K 9, K 13, K 28, K 29, K 32 en K 65)

Ten slotte geeft fig. 19 nog een 8-tal curven van wadzanden, die minder sterk gesorteerd zijn. Deze zanden komen van Schouwen, Tholen en Zuid-Beveland (boringen K 13, K 9, K 65, K 29, K 28 en K 32). De geringere sorteringsgraad is af te leiden uit het minder steile verloop van de curven tussen 75 en 210μ. Enkele procenten grove korrels komen voor, waardoor de curven een „grove staart" bezitten. Tussen 16 en 50μ is weinig materiaal aanwezig en ook het gehalte aan afslibbare delen bedraagt niet meer dan 3 à 5 %.

De vorm van deze curven wordt ook wel bij sommige zeezanden gevonden. Vele Noordzee-zanden hebben dergelijke naar links gebogen curven. Tot 105μ buigen de curven naar links, daarna naar de fijne zijde, naar rechts, om vervolgens meer horizontaal te verlopen. Ongeveer 80 à 90 % van het materiaal is groter dan 105μ. Deze grootte is eveneens kenmerkend voor de zanden afkomstig uit erosiegeulen (zie fig. 18). Vermoedelijk vormen deze zanden dan ook het oorspronkelijke materiaal van de typische wadsedimenten, welke hiervoor werden besproken. Het zand zal in zijn geheel door diepe geulen kunnen zijn aangevoerd, waarna bij een geringe afname der stroomsnelheid de grofste korrels uitvielen. Bij nog verder teruglopen van de stroom-

snelheid konden nog slechts de fijnste fracties van het zand vervoerd worden en tenslotte op rustige, stroomstille plaatsen bezinken. Op deze wijze ontstonden de scherp gesorteerde zanden van de fig. 14 en 15.

Om een enigszins duidelijk beeld van de sedimentatie der oude wadafzettingen te verkrijgen, zouden veel meer gegevens dan wij thans beschikbaar hebben, nodig zijn. Over het verloop van geulen, die op enkele plaatsen werden aangeboord, is verder niets bekend. In het bovenstaande hebben wij dan ook slechts nader willen ingaan op de karakteristieke samenstelling van de op verschillende plaatsen in het gebied aangetroffen wadsedimenten die, naar wij menen te hebben kunnen aantonen, grote overeenkomst bezitten met de recent gevormde wadafzettingen.

a. Oude zeeklei

Deze afzetting ontstond op de midden-atlantische wadzanden als slotfase van deze sedimentatiecyclus. De strandwal zal vermoedelijk in die tijd een meer gesloten geheel gevormd hebben, waardoor de omstandigheden in het achterliggende gebied gunstig waren voor het afzetten van een dikke sliblaag.

Het verbreidingsgebied is op kaart 5 (bijlage 83) aangegeven. Uit dit kaartje blijkt de oude zeeklei in geheel Zeeland voor te komen, met uitzondering van de zuidelijke helft van Zeeuws-Vlaanderen.

De diepte waarop de afzetting is aangetroffen varieert in de betreffende boringen van ca. 1 tot ca. 6 m — N.A.P. Meestal ligt het bovenvlak van de kleilaag op 2 à 4 m — N.A.P. Het ondiepst werd de klei op Schouwen in de boringen K 11 en K 12 gevonden, nl. ca. 1,5 m — N.A.P. (zie profiel 1, bijlage 2). Op Walcheren in de boringen K 33 en K 34 en in West-Zeeuws-Vlaanderen in boring K 63 komt de afzetting reeds op 2 m — N.A.P. voor (zie profiel 3 en 7, bijlage 4 en 8). In het oosten van de provincie ligt de kleilaag dieper. De diepste ligging werd in boring K 32 in oostelijk Zuid-Beveland waargenomen, nl. ruim 6 m — N.A.P.

De dikte van de kleilaag wisselt van 2-4 m. In sommige gevallen bedraagt deze minder, b.v. in de boringen K 20 op Noord-Beveland (profiel 2 bijlage 3) waar ca. 0,5 m en 48 H 2 in Oost-Zeeuws-Vlaanderen (profiel 4, bijlage 5, waar ca. 1 m oude zeeklei gevonden werd. Plaatselijk komen echter ook veel dikkere lagen voor, zoals op Noord-Beveland (boring K 17, K 18, K 19 en 42D 32). De klei is hier tot ca. 13 m dik (zie profiel 2, 9 en 10, bijlage 3, 10 en 11).

De oude zeeklei behoort tot de zware kleien. Van een 13-tal monsters, die afkomstig zijn van verschillende plaatsen uit Zeeland, werd de granulometrische samenstelling bepaald. Het betreft de monsters uit de boringen K 11, K 15, K 17, K 19, K 20, K 21, K 32, K 33, K 35, K 51, K 65 en K 67. Het gehalte aan afslibbare delen kan sterk wisselen, meer bedroeg voor het betreffende materiaal meestal 40 à 50 %. Bij twee monsters werd ca. 33 % en bij één 77 % gevonden. Het lutumgehalte (deeltjes $<2\mu$) varieerde van 23-48 %. Van deze 13 monsters werd de samenstelling van de slib- en lutumfractie bepaald. Om vergelijkbare cijfers te verkrijgen werden de beide laatste op 100 gesteld.

Tabel 7 geeft enkele analyseresultaten van het granulometrisch onderzoek van de slibfractie.

TABEL 7. De procentuele verdeling van de slibfractie over de verschillende subfracties in monsters oude zeeklei

Omschrijving monsters		100 g slib bevatten g in de subfracties			
		0-2	2-4	4-8	8-16μ
Schouwen	K 11 no. 27B 630	65	9	12	14
	K 15 no. 27B 765	66	7	9	18
Noord-Beveland	K 17 no. 28B 010	64	8	10	18
	K 19 no. 27B 925	63	10	11	16
Walcheren	K 33 no. 28B 456	60	10	12	18
	K 35 no. 28B 480	64	9	12	15
Zuid-Beveland	K 21 no. 28B 085	65	9	10	16
	K 32 no. 28B 403	63	7	9	21
Tholen	K 65 no. 29B 931	66	7	10	17
Zeeuws-Vlaanderen	K 51 no. 29B 376	65	6	10	19

Uit deze tabel blijkt, dat de procentuele verhouding van de verschillende subfracties slechts zeer geringe variatie vertoont. Ongeacht de herkomst van het monster en het gehalte aan afslibbare delen, steeds wordt ongeveer dezelfde onderlinge verhouding gevonden, m.a.w. de samenstelling van de slibfractie van de oude zeeklei is constant. De lutum/slibverhouding ($\frac{0-2}{0-16} \times 100$), die eveneens uit deze tabel te voorschijn komt, blijkt ongeveer de waarde 65 te hebben en dus ook voor de betreffende monsters constant te zijn. De samenstelling van de lutumfractie werd eveneens bepaald. De analyseuitkomsten zijn in tabel 8 weergegeven.

TABEL 8. De procentuele verdeling van de lutumfractie over de verschillende subfracties in monsters oude zeeklei

Omschrijving monster		Lutumgehalte in % op minerale delen	100 g lutum bevatten g in de subfracties (0-2μ = 100)				
			0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-1	1-2μ
Schouwen	K 11 no. 27B 630	31	55	7	19	4	15
	K 15 no. 27B 765	29	52	18	11	10	9
Noord-Beveland	K 17 no. 28B 010	34	59	11	11	8	11
	K 19 no. 27B 925	49	53	10	15	16	6
Walcheren	K 33 no. 28B 456	34	52	11	19	2	16
	K 35 no. 28B 480	27	53	7	20	3	17
Zuid-Beveland	K 21 no. 28B 085	36	52	9	16	9	14
	K 32 no. 28B 403	30	53	12	9	12	14
Tholen	K 65 no. 29B 931	37	48	15	9	12	16
Zeeuws-Vlaanderen	K 51 no. 29B 376	37	52	10	18	6	14

Uit de in deze tabel weergegeven procentuele verhoudingen blijkt, dat de samenstelling van de lutumfractie weliswaar enige variatie vertoont, maar dat deze op een

enkele uitzondering na toch niet zeer groot is. Er is geen verband met het lutumgehalte uit af te leiden.

In de fig. 20a en b is de constante samenstelling van de slib- en lutumfractie nog eens in grafieken weergegeven. De verklaring voor dit gedrag is vermoedelijk te vinden in de homogeniserende invloed van de zee. Het slib in zeewater blijft tengevolge van de beweging van het water in suspensie en er ontstaat hierdoor een homogeen mengsel van deeltjes $< 16\mu$. Onder invloed van bepaalde krachten kunnen de deeltjes tot grotere worden samengeklonterd, die op stroomstille plaatsen kunnen bezinken. Hun constante samenstelling blijft hierbij echter bestaan (zie ook HISSINK, 1929; ZUUR, 1936; DOEGLAS, 1950 en FAVEJEE, 1951)

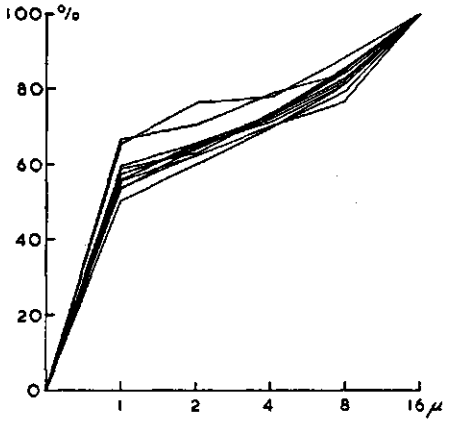


FIG. 20a.

Sommeringscurven van de korrelgrootteverdeling van de *slib*fractie van 13 monsters oude zeeklei van verschillende plaatsen in Zeeland

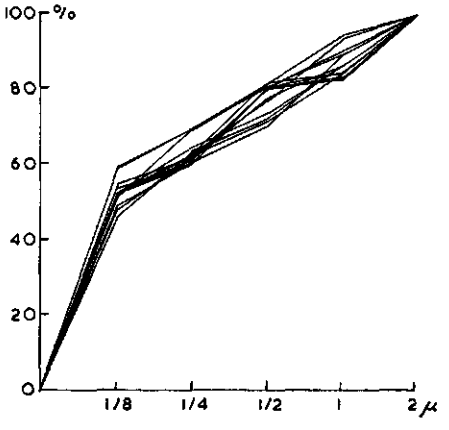


FIG. 20b.

Sommeringscurven van de korrelgrootteverdeling van de *lutum*fractie van 13 monsters oude zeeklei uit verschillende plaatsen in Zeeland

b. Oude zeezanden

Het oude zeezand is evenals de oude zeeklei een facies van de midden-atlantische wadafzettingen. Deze zanden vormden het materiaal waaruit de strandwal werd opgebouwd. Zij worden dan ook vooral in het westen van het gebied gevonden, o.a. op Schouwen en Walcheren in de boringen K 35, 42C 49, K 34, K 36, 48A 3, 42D 40, 42D 50 en K 9, profiel 1, 2, 3, 4, en 8 (bijlage 2, 3, 4, 5 en 9). Maar ook vindt men deze zanden in het achterliggende gebied, waar plaatselijk in geulen in de oude zeeklei dit materiaal werd afgezet, o.a. boring 48B 38 op Walcheren (profiel 9, bijlage 10), 48F 11 op Zuid-Beveland (profiel 12, bijlage 13), K 18 op Noord-Beveland (profiel 2, bijlage 3).

De diepte waarop het oude zeezand voorkomt, stemt uiteraard ongeveer overeen met die der oude zeeklei en varieert van 1 tot 4 à 5 m — N.A.P. Plaatselijk ligt het enkele meters dieper, b.v. op Walcheren in boring K 35 op ca. 7,5 m — N.A.P.

De dikte kan sterk wisselen en wel van 1 tot 20 m. Zeer dunne lagen oud zeezand treft men op Schouwen aan (boring K 9, K 13 en 42D 10, 42B 5). De dikste afzettingen worden op Walcheren gevonden in boring 48A 3, waar een pakket van ca. 20 m voorkomt.

Het oude zeezand bestaat in het algemeen uit matig fijne tot middelfijne zanden (U-cijfers wisselend van 60 tot 100) met enkele procenten afslibbare delen.

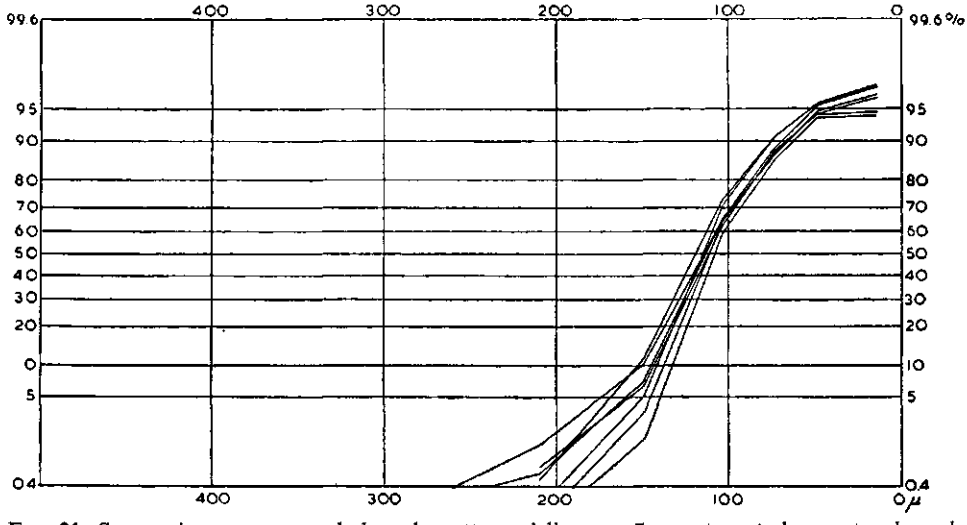


FIG. 21. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 7 monsters sterk gesorteerde oude zeezanden, afkomstig van Walcheren en Zuid-Beveland (boringen K 34 en K 28)

Granulometrisch kunnen duidelijk twee typen onderscheiden worden. In fig. 21 zijn de curven van 7 monsters weergegeven, afkomstig uit de boringen K 28 en K 34 resp van Zuid-Beveland en Walcheren. (De curven van de monsters van K 34 hebben betrekking op de zanden uit de bovenste 5 m oud zeezand). Tot 105μ buigen de curven naar links, vervolgens vindt een zwakke buiging naar rechts plaats, om ten slotte naar de fijne zijde horizontaal te verlopen. Tussen 50 en 150μ lopen de curven zeer steil op. In dit traject bevindt zich ongeveer 90 % van het materiaal. Tussen 16 en 50μ is vrijwel geen materiaal aanwezig, terwijl de maximale korrelgrootte 210μ niet of niet noemenswaard overschrijdt. De uniforme korrelgrootte-verdeling van deze zanden is wel sprekend en de overeenkomst met de zanden van fig. 15 is groot. Aan deze karakteristieke granulometrische samenstelling liggen scherp selecterende processen ten grondslag. De stroomsnelheden zullen zo sterk verminderd zijn, dat de grove korrels uitvielen, waardoor een uitgewassen fijn zand ontstond. Deeltjes $< 50\mu$ bleven gedurende het transport en de sedimentatie grotendeels in suspensie. Het tweede type oud zeezand heeft een enigszins andere samenstelling, zoals fig. 22 doet zien. In deze figuur zijn de curven van 10 monsters oud zeezand uit de boringen K 34, K 35 en K 36 ingetekend. Ook deze curven buigen aanvankelijk naar links tot 105μ,waarna zij naar rechts ombuigen om naar de fijne zijde horizontaal te ver-

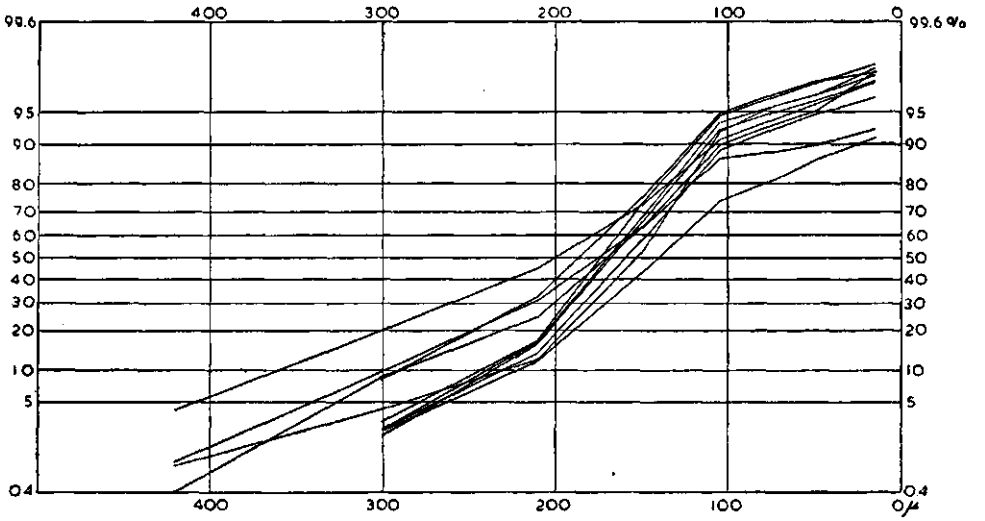


FIG. 22. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 10 monsters minder sterk gesorteerde oude zeezanden van Walcheren (boringen K 34, K 35 en K 36)

lopen. Het gehalte aan deeltjes < 105μ is gering. De maximale korrelgrootte ligt bij 420μ, hetgeen groter is dan bij het voorgaande type. Een klein gehalte grovere korrels geeft de curven dan ook een „staart" aan de grove zijde. Dit type benadert meer het oorspronkelijke, nog niet zo sterk gesorteerde zeezand, zoals wij dat ook reeds ontmoetten bij de bespreking van de zanden van het Mioceen, Plioceen en Poederlien (zie fig. 3, 4 en 5). Typisch voor al deze mariene zanden is de knik in de curven bij 105μ. Tijdens het transport van dit materiaal zal de stroomsnelheid zo groot geweest zijn, dat ook grovere deeltjes vervoerd konden worden. Tijdens de kentering of op stroomstille plaatsen kon dit materiaal tot afzetting komen.

3. LAAT-ATLANTISCH EN SUBBOREAAL VEEN

Dit veenpakket kwam tot ontwikkeling toen door regressie van de zee de oude wadafzettingen, i.c. de oude zeeklei, droogvielen. Hoewel het veen geen aaneengesloten laag vormt, maar door geulen is versneden of door moernering is verdwenen, is dit in onze profielen wel als zodanig aangegeven. De boringen liggen onderling op te grote afstand om de verbreiding nauwkeurig te kunnen aangeven in profielen en kaarten. In het algemeen kan men dus in geheel Zeeland op de oude zeeklei en in zuidelijk Zeeuws-Vlaanderen op de Afzetting van Vlissingen het veen verwachten. In onze profielen 1 t/m 15 werd het dan ook als een doorlopende meer of minder dikke zwarte band of met veentekens aangegeven.

De diepte waarop de veenlaag is aangetroffen, wisselt in het algemeen van 1 tot 5 m — N.A.P., maar bedraagt meestal 2 à 3 m — N.A.P. Op Schouwen (boring K 11, K 12 en K 13) ligt het veen op ca. 1 m — N.A.P. evenals op Walcheren (boring K 33 en K 34) waar het op ca. 1,5 m — N.A.P. werd aangeboord. Het diepst komt

het echter voor in het oosten van de provincie, o.a. in de boringen 43C 9 op Schouwen-Duiveland, K 66 op Tholen, K 32 op Zuid-Beveland en K 41 in oostelijk Zeeuws-Vlaanderen, waar het veen op 4 à 5 m — N.A.P. ligt.

De dikte varieert van enkele centimeters tot ca. 2,5 m. Het dikst is de veenlaag in het oosten van het gebied, waar ruim 2 m gevonden is, o.a. in de boringen N 36, K 32 en K 41 (zie profiel 15, bijlage 16).

4. Jong-holocene Scheldeafzettingen

In het hoofdstuk over de geologie kwamen reeds uitvoerig het ontstaan en de vermoedelijke loop van deze voorloper van de Schelde ter sprake. In kaart 3 en 6 (bijlage 81 en 84) is de begrenzing van deze vroegere loop, die zich vooral op Zuid-Beveland diep in de oudere afzettingen heeft ingesneden, aangegeven. In Zeeuws-Vlaanderen, zuidelijk van Terneuzen, vormt ze een breed, vrij vlak en ondiep dal, dat in de oud-holocene wadafzettingen resp. de Afzetting van Vlissingen is ingesneden. Plaatselijk sneed dit dal zich tot op het Oligoceen in, o.a. ter plaatse van boring K 46. In de oost-west profielen 5, 6 en 7 (bijlage 6, 7 en 8) is de ligging van deze voormalige Scheldeloop duidelijk af te leiden.

Een veel dieper dal werd echter op Zuid-Beveland gevormd. In dit gebied heeft deze Scheldeloop zich tot 20 à 25 m diep in de oud-holocene wadafzettingen en de Afzetting van Vlissingen ingesneden. In de profielen 3, 4, 10 en 11 (bijlage 4, 5, 11 en 12) is het ruimtelijk voorkomen van de erosiegeulen zo goed mogelijk aangegeven. Hierbij werd gebruik gemaakt van topografische en morfologische kaarten, waaruit de oude landkernen met een ongestoorde ondergrond van een klei-veen-klei-profiel zijn af te leiden. Ook in het terrein konden in de talrijke nieuw gegraven sloten voor de herverkaveling deze oude landkernen gemakkelijk herkend worden, waardoor de begrenzing in de profielen en kaarten nauwkeuriger was te geven.

De opvulling van dit voormalige Scheldedal bestaat uit grijze, matig fijne tot middelfijne zanden (U-cijfer 50-100) met schelpen of schelpgruis. Het gehalte afslibbare delen is gering en bedraagt in de meeste gevallen niet meer dan een paar procenten. Soms worden hier en daar meer kleiïge sedimenten gevonden en een enkele maal resten van vermoedelijk verslagen veen.

Wanneer thans nader wordt ingegaan op de korrelgrootte-verdeling van deze sedimenten, dan wordt er a priori aan herinnerd, dat op geologische gronden (zie hoofdstuk III, pag. 21) wordt vermoed, dat de opvulling van dit Schelde-estuarium, althans ten dele, uit sedimenten van het Poederlien bestaat. Het hoge percentage poederlienforaminiferen wijst daar o.a. op. Dit vermoeden wordt door de korrelgrootte-analysen van deze sedimenten volkomen bevestigd.

In fig. 23 zijn de curven van een 15-tal van deze jong-holocene Scheldezanden ingetekend. Aan de grove zijde lopen de curven aanvankelijk min of meer horizontaal om bij 210μ naar links om te buigen en tot 105μ steil op te lopen. Vanaf 105μ buigen zij plotseling naar rechts om naar de fijne zijde weer horizontaal te verlopen. Ongeveer 70-90 % van het materiaal bestaat uit deeltjes van 105-210μ, enkele monsters uitgezonderd. Het materiaal $< 75\mu$ is in de meeste monsters nagenoeg afwezig

of in geringe percentages vertegenwoordigd. Het opmerkelijkst zijn wel de beide buigpunten in de curven bij 105 en 210μ, wat een typisch kenmerk is voor sommige mariene zanden en waarop in het voorgaande herhaaldelijk is gewezen (zie fig. 3,

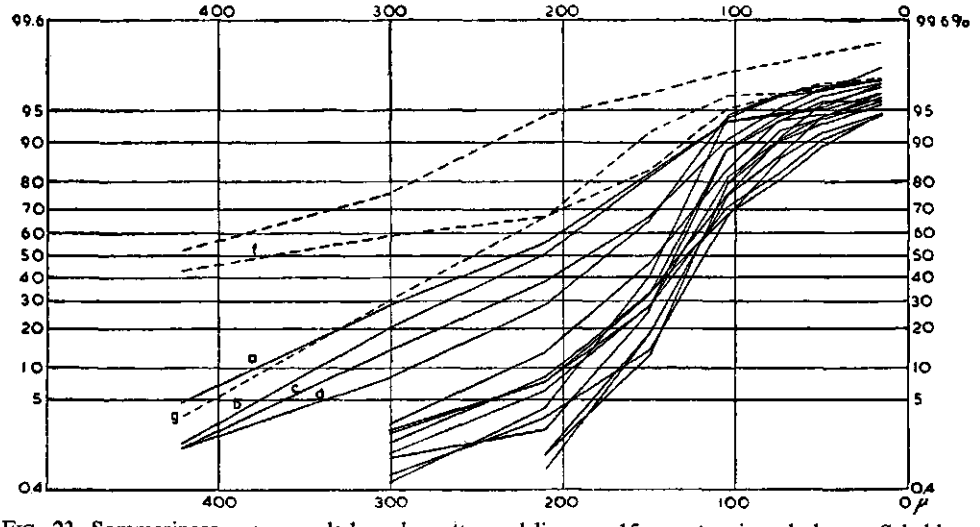


FIG. 23. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 15 monsters jong-holocene Scheldezanden uit de boringen K 22, K 23, K 25, K 26, K 38, K 42, K 45, K 46 en K 49. Curven a, b, c en d: grover, minder goed gesorteerd type uit K 23, K 25 en K 26. Curven e, f en g: Rijnzanden.

4, 5, 6 e.a.). De gelijkenis in de vorm van de curven der Scheldezanden met die der besproken mariene zanden is evident. Er is een uitgesproken verschil met de curven van normale rivierzanden, waarvan enkele voorbeelden van Rijnzanden in fig. 23 zijn opgenomen. In wezen bestaat er dus geen verschil tussen de betreffende jong-holocene Scheldezanden en de besproken mariene zanden. Vergeleken met het Poederlien is het Scheldezand echter iets minder grof (zie fig. 5 en 23). Vermoedelijk heeft dan ook omwerking van het poederlienzand plaatsgehad, waarbij ten gevolge van de geringere stroomsnelheden vergeleken met die tijdens het transport gedurende het Poederlien, minder grof materiaal kon worden verplaatst.

Het is evenwel niet uitgesloten dat opvulling van deze estuaria uit geheel andere richting, b.v. vanuit zee, met zeezand heeft plaatsgehad. De korrelgrootte-verdeling pleit daar niet tegen. Het hoge gehalte aan poederlien-foraminiferen wijst er echter op, dat bij de opvulling van deze estuaria de sedimenten van het Poederlien een groot aandeel gehad hebben.

5. SUBATLANTISCHE WADAFZETTINGEN

Tot deze sedimenten worden de jonge zeeklei en het jonge zeezand gerekend, die tijdens verschillende transgressiefasen van de zee werden afgezet. Zij bedekken in

een laag van wisselende dikte het laat-atlantisch en subboreaal veen (het zg. jongveen of oppervlakteveen) en vormen in het grootste deel van de provincie de oppervlaktelagen. Op enkele plaatsen ontbreken de jonge zeeklei en het jonge zeezand, o.a. in het uiterste zuiden van Zeeuws-Vlaanderen, waar de oppervlakte gevormd wordt door de zanden van de Afzetting van Vlissingen.

De dikte van de jonge zeeklei wisselt van enkele decimeters tot 4 à 5 m. In de meeste boringen werd echter een dikte van 1-3 m gevonden. De grootste dikte kwam voor in de boringen 43C 9 op Schouwen-Duiveland, waar ca. 4,5 m en in K 32 op Zuid-Beveland, waar bijna 5 m werd aangetroffen (zie profiel 1 en 3 bijlage 2 en 4).

Het sedimentatiebeeld is in de lithologische profielen 1 t/m 15 slechts zeer schematisch weergegeven. De monsters uit de betreffende boringen werden granulometrisch onderzocht, zodat het mogelijk was in de profielen middels de gebruikelijke arcering de zwaarte van de klei aan te geven. Er is niet getracht een beeld te geven van het ingewikkelde sedimentatiepatroon, van kreken, geulen en ruggen. Tussen de boorpunten kan de situatie dus geheel anders zijn dan in de profielen is getekend. Dit onderzoek behoort tot het arbeidsterrein van de bodemkundigen.

a. Jonge zeeklei

Uit de resultaten van het granulometrisch onderzoek van de jonge zeeklei-monsters uit de betreffende boringen bleek, dat zowel in horizontale als in verticale zin grote verschillen in samenstelling voorkomen. Zo varieert het gehalte aan afslibbare delen in beide richtingen zeer sterk. In sommige gevallen ziet men een duidelijke toename van dit gehalte met de diepte, maar regel is dit geenszins. Ook het omgekeerde komt voor. Hierop zal thans niet verder worden ingegaan, mede omdat daarvoor het aantal gegevens te klein is.

Wat de samenstelling van de slib- en lutumfractie betreft moge nog het volgende worden opgemerkt. Het is reeds lang bekend, dat de slibfractie van de mariene kleigronden in ons land een constante samenstelling blijkt te bezitten. In verschillende publikaties werd daarbij gewezen op de constante verhouding, die tussen de lutum-

TABEL 9. De procentuele verdeling van de slibfractie over de onderscheiden subfracties in monsters jonge zeeklei uit Zeeland

Omschrijving der monsters	100 g slib (0-16μ) bevatten g in de subfracties			
	0-2	2-4	4-8	8-16μ
Gem. van 3 monsters v. Schouwen	71	7	10	12
„ „ 6 „ v. Noord-Beveland	68	8	8	16
„ „ 12 „ v. Zuid-Beveland	69	7	8	16
„ „ 6 „ v. Walcheren	68	9	10	13
„ „ 6 „ v. Oost Zeeuws-Vlaanderen	69	7	10	14
„ „ 22 „ v. West-Zeeuws-Vlaanderen	70	7	8	15
„ „ 3 „ v. Tholen	62	6	12	20
Gemiddelde van 58 monsters	68	7	10	15

fractie en de slibfractie van deze sedimenten bestaat. In vol-mariene afzettingen vindt men voor deze verhouding waarden die meestal tussen 65 en 70 liggen.

In een 58-tal monsters jonge zeeklei, afkomstig uit verschillende delen van Zeeland, zijn de gehalten aan deeltjes van 0-2, 2-4, 4-8 en 8-16μ bepaald. Om vergelijkbare cijfers te verkrijgen werd de slibfractie (0-16μ) op 100 gesteld. De berekende gemiddelde waarden zijn in tabel 9 gegeven.

De procentuele verdeling in deze 58 monsters vertoont uiterst weinig variatie, zoals uit deze tabel moge blijken. Slechts het gemiddelde der 3 monsters van Tholen wijkt enigermate van het algemene beeld af door een wat lager gehalte in de fractie 0-2μ.

Vergelijkt men deze uitkomsten met die van jonge zeekleianalyses uit andere delen van Nederland, dan blijkt er een treffende overeenkomst te bestaan. Ook de oude zeeklei bezit nagenoeg dezelfde procentuele verdeling over de verschillende subfracties van de slibfractie, terwijl er van een verband met het lutumgehalte geen sprake is.

In onderstaande tabel 10 worden hiervan nog enkele voorbeelden gegeven.

TABEL 10. De procentuele verdeling van de slibfractie over de verschillende subfracties in monsters oude en jonge zeeklei in Nederland

Omschrijving der monsters	100 g slib (0-16μ) bevatten g in de subfracties			
	0-2	2-4	4-8	8-16μ
Gemiddelde van 10 monsters jonge zeeklei uit de Dollard	68	6	11	15
Gemiddelde van 15 monsters oude zeeklei uit de Haarlemmermeer	66	8	11	15
Gemiddelde van 10 monsters oude zeeklei uit Zeeland (tabel 7)	64	8	11	17

Ondanks grote verschillen in de granulaire samenstelling van de jonge zeeklei, die immers als een lichte zavel en als een zeer zware klei kan zijn ontwikkeld, blijken toch steeds de verhoudingen tussen de hoeveelheden deeltjes in de subfracties beneden 16μ tussen zeer nauwe grenzen te variëren.

De lutum/slib verhouding, die eveneens uit deze tabellen is af te lezen, bedraagt voor de jonge zeeklei gemiddeld 68. De variatie in deze verhouding is echter klein. De constante samenstelling van de slibfractie van deze mariene sedimenten is moeilijk anders te verklaren dan door aan te nemen, dat de zee een sterk homogeniserende invloed heeft op deze fijne deeltjes. Ten gevolge van de voortdurende beweging van het zeewater blijft dit materiaal in suspensie en ontstaat een homogeen mengsel van deeltjes $< 16\mu$, misschien zelfs van de fractie 0-25μ (FAVEJEE 1951). Dit materiaal voert een zelfstandig bestaan, ook bij de sedimentatie. Door bepaalde krachten zullen de fijnste deeltjes tot grotere vlokken worden samengebonden om daarna in rustig water te kunnen bezinken. De constante samenstelling in deze grovere vlokken blijft daarbij onveranderd bestaan. Ook door ZUUR (1936), DOEGLAS (1950), FAVEJEE (1951) en WIGGERS (1955) wordt dit aangenomen.

Van de 58 monsters jonge zeeklei werd eveneens de samenstelling van de lutumfractie bepaald volgens de zg. micropipetanalyse, waarbij de fractiegrenzen als volgt zijn gekozen: 0-1/8, 1/8-1/4, 1/4-1/2, 1/2-1, 1-2μ. In tabel 11 zijn de gemiddelde waarden van de procentuele verdeling weergegeven, waarbij de lutumfractie 0-2μ op 100 werd gesteld.

TABEL 11. De gemiddelde procentuele verdeling van de lutumfractie over de verschillende subfracties in jonge zeekleimonsters van Zeeland

Omschrijving der monsters	Aantal monsters	100 g lutum bevatten g in de subfracties				
		0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-1	1-2μ
Schouwen Duiveland	3	56	15	9	13	7
Noord-Beveland	6	58	13	12	9	8
Zuid-Beveland	12	56	11	12	11	10
Walcheren	6	61	9	13	4	13
Tholen	3	57	10	10	12	11
Oost-Zeeuws-Vlaanderen	6	60	6	9	12	13
West-Zeeuws-Vlaanderen	22	59	12	11	10	8

De gemiddelde verhoudingen zijn voor de betreffende monsters ongeveer aan elkaar gelijk, zodat dus ook de samenstelling van de lutumfractie binnen nauwe grenzen blijkt te variëren. Voor enkele monsters is het berekenen van gemiddelde verhoudingen niet verantwoord. Hiervoor dient men de beschikking te hebben over een meer uitgebreid materiaal, zodat toevallige afwijkingen de uitkomsten niet onjuist beïnvloeden. Van sommige gebieden beschikten wij echter slechts over een

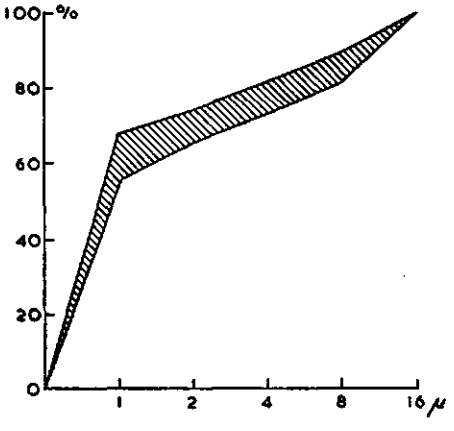


FIG. 24a.

Sommeringscurven van de korrelgrootteverdeling van de *slib*fractie van 58 monsters jonge zeeklei uit verschillende plaatsen van Zeeland

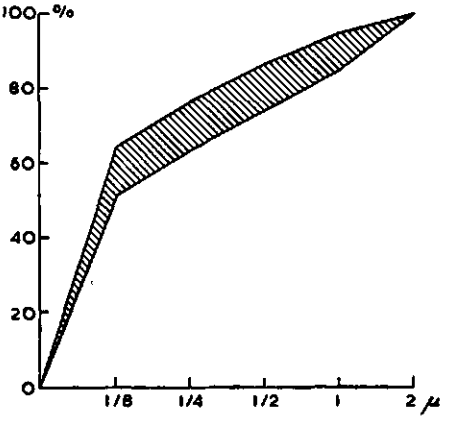


FIG. 24b.

Sommeringscurven van de korrelgrootteverdeling van de *lutum*fractie van 58 monsters jonge zeeklei uit verschillende plaatsen van Zeeland

zeer klein aantal monsters. Dat de samenstelling van de slib- en lutumfractie van de jonge zeeklei in Zeeland vrijwel constante verhoudingen te zien geeft over de onderscheiden subfracties, wordt nog eens geïllustreerd in de fig. 24a en b. Deze hebben op 58 monsters betrekking, waarvan de curven een overeenkomstig verloop hebben en een smalle bundel vormen.

b. Jong zeezand

De subatlantische wadafzettingen zijn niet alleen in kleiïge facies ontwikkeld. Lokaal kan de jonge zeeklei ten dele door een zandige afzetting zijn vervangen. In de meeste gevallen wordt dit jonge zeezand echter door een dunne kleilaag bedekt. Hoewel niet altijd, vindt men het toch vaak als opvulling van meer of minder diepe erosiegeulen. Voorbeelden hiervan zijn gevonden in de boringen K 14, K 58, K 59 en K 63 (profiel 5, 7 en 11, bijlage 6, 8 en 12). In deze geulen kan dit zand een dikte van 10 tot 25 m bereiken. Elders komt het jonge zeezand als een 1 à 2 m dikke afzetting onder de jonge zeeklei voor.

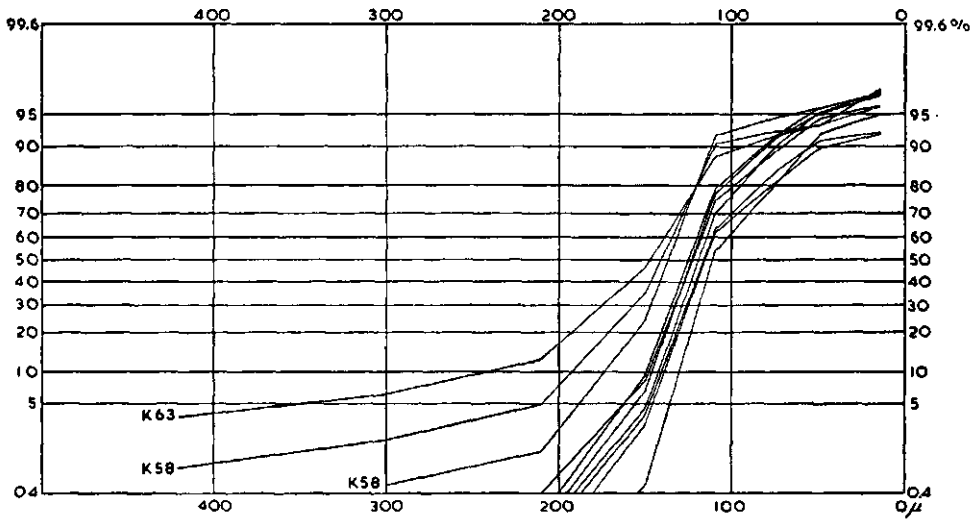


FIG. 25. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 10 monsters jong zeezand uit de boringen K 14, K 16, K 20, K 36, K 58, K 63 en K 67

In de fig. 25 en 26 zijn enkele curven ingetekend, die de korrelgrootte-verdeling van dit zand aangeven. De curven in fig. 25 vertegenwoordigen twee typen, nl. van een fijn, sterk gesorteerd zand (K 14, K 16, K 19, K 20 en K 67) en van een eveneens fijn, vrij goed gesorteerd zand met wat grovere bestanddelen (K 58 en K 63). Het eerste type bevat geen materiaal groter dan 210μ. Tot 105μ lopen de curven steil op, waarna zij naar rechts ombuigen om daarna min of meer horizontaal te verlopen naar de fijne zijde. Dit type wordt vooral gevonden op Schouwen, Tholen en Oost-Noord-Beveland. Het is een typische wadafzetting, die overeenkomt met

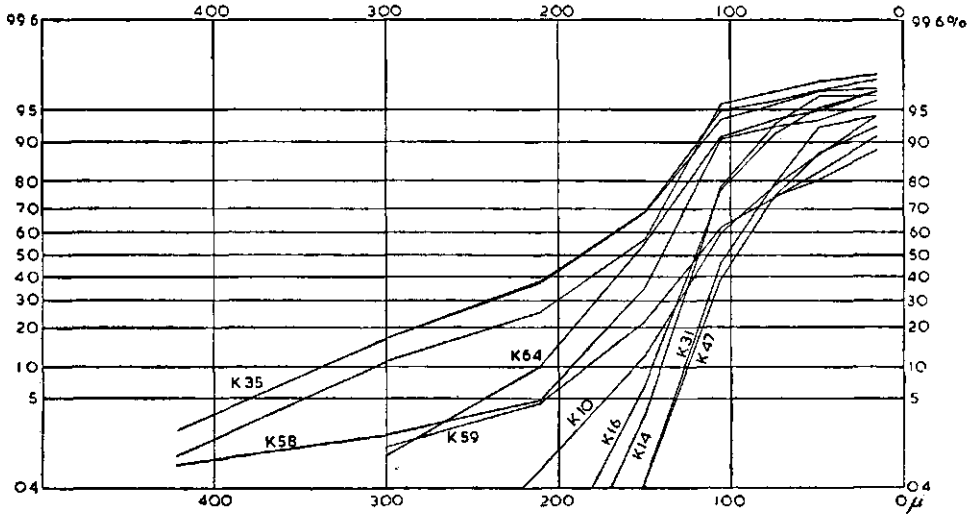


FIG. 26. Sommeringscurven van de korrelgrootte-verdeling van 10 monsters jong zeezand uit de boringen K 10, K 14, K 16, K 31, K 35, K 47, K 58 en K 59

met de reeds besproken oude wadafzettingen (zie fig. 17) en onder streng selecterende processen is ontstaan. Wanneer bij grotere stroomsnelheden ook grovere korrels vervoerd kunnen worden, ontstaat het zand van het tweede type. De curven van dit type verschillen van de vorige door de aanwezigheid van een wisselend gehalte grovere bestanddelen, waardoor een „grove staart" aan de curven ontstaat. Overigens hebben zij een analoog verloop. In tegenstelling met het eerste type is het gehalte aan materiaal van 16-105μ zeer klein, blijkens het horizontale verloop der curven tussen 16 en 105μ. Dit zand wordt vooral in West-Zeeuws-Vlaanderen gevonden.

Fig. 26 toont nog enkele curven waarbij dezelfde twee typen zijn te onderscheiden. Het fijne, sterk gesorteerde zand zonder grove korrels is afkomstig van Schouwen-Duiveland, oostelijk Zuid-Beveland en oostelijk Zeeuws-Vlaanderen. Het grovere zand komt uit West-Zeeuws-Vlaanderen, oostelijk Tholen en Walcheren. In het algemeen zou men uit het bovenstaande kunnen afleiden, dat het grovere zand in het uiterste westen van de provincie voorkomt. Naar het oosten neemt de korrelgrootte af en werd hoofdzakelijk fijn zand zonder grove korrels gesedimenteerd, hetgeen gezien de grotere afstand tot zee en de rustige omstandigheden t.a.v. de stroming geheel verklaarbaar is. Dicht bij de kust zullen de stroomsnelheden groter zijn, zodat grover materiaal kon worden aangevoerd en gesedimenteerd.

c. Jong duinzand

Met betrekking tot dit sediment zijn de gegevens zo schaars, dat hierop thans niet verder ingegaan zal worden.

V. HET DOORLATEND VERMOGEN VAN DE DIEPERE ONDERGROND

Na de wat uitvoerige behandeling van de lithologische en sedimentologische kenmerken van de verschillende afzettingen is het thans mogelijk nader in te gaan op de hydrologische gesteldheid van de diepere ondergrond. Verschillende uit landbouwkundig oogpunt belangrijke hydrologische aspecten van het diepere bodemprofiel zullen worden besproken. In dit hoofdstuk zal de doorlatendheid van de onderscheiden afzettingen worden behandeld, terwijl in de hoofdstukken VI en VII respectievelijk de chemische samenstelling van het diepe grondwater en de grondwaterstanden worden besproken.

In de laatste jaren werd door ir. VAN 'T LEVEN, landbouwkundige bij de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting in Zeeland, een groot aantal gegevens verzameld over de verbreiding en dikte van de zoetwaterlagen in deze provincie. Hierdoor kon voor een groot gedeelte van dit gewest een meer gedetailleerd beeld van de zoetwatervoorkomens worden samengesteld, dan alleen op grond van het betrekkelijk geringe aantal diepboorgegevens mogelijk was. Daarom wordt door laatstgenoemde auteur in hoofdstuk VIII uitvoeriger ingegaan op de ontwikkeling en verbreiding van de zoetwaterlagen in Zeeland.

1. HET BEGRIP DOORLATENDHEID EN DE VERSCHILLENDE FACTOREN DIE EROP VAN INVLOED ZIJN

De doorlatendheid van de grond is een fysische eigenschap, die bij de oplossing van verschillende hydrologische vraagstukken een belangrijke rol speelt. In het algemeen wordt onder doorlatendheid de eigenschap van de grond verstaan een vloeistof door te laten zonder dat de structuur erdoor veranderd wordt of de deeltjes verplaatst worden. Gewoonlijk wordt de doorlatendheid gedefinieerd door de doorlatendheidscoëfficient k uit de wet van Darcy:

$$Q = k \frac{h}{l} F = k I F$$

Hierin stelt Q de hoeveelheid water voor, die per tijdseenheid door een kolom grond met een doorsnede F en een lengte l gestroomd is, terwijl h het drukverschil is aan de uiteinden van de kolom grond. $I = \frac{h}{l}$ wordt het verval genoemd.

De grond bezit een aantal eigenschappen, die de doorlatendheid meer of minder sterk beïnvloeden. Als belangrijkste kunnen genoemd worden:
(1) de gemiddelde korrelgrootte, (2) de sorteringsgraad, (3) de korrelvorm, (4) het poriënvolume, (5) de rangschikking der korrels.

Behalve van de grond en de hydrostatische druk, is de doorlatendheid ook afhankelijk van de aard van de vloeistof. HOOGHOUDT (1934) heeft erop gewezen, dat door de viscositeit ook de temperatuur van invloed is op de doorlatendheid. Daarom behoort in bovengenoemde definitie de temperatuur waarbij de bepaling plaats had, vermeld te worden.

Door verschillende onderzoekers is getracht een formule op te stellen, waardoor het verband tussen doorlatendheid en de haar bepalende factoren kwantitatief wordt uitgedrukt.

Zo werd o.a. door ZUNKER (1930) de volgende formule afgeleid:

$$Q = \frac{\mu h}{\varepsilon l U^2_{cm}} \cdot \left(\frac{p_0}{1-p}\right)^2 . F$$

Hierin stelt Q de hoeveelheid water voor die door de grond gestroomd is, ε de viscositeit van de vloeistof, h het drukverschil, l de lengte van de kolom grond, F de doorsnede van de kolom grond, U_{cm} het specifiek oppervlak, p het totaal poriëngehalte, p_0 het spanningsvrije en luchtvrije poriëngehalte, en μ een constante.

Uit deze vergelijking, die gedeeltelijk theoretisch, gedeeltelijk empirisch werd afgeleid, volgt o.a., dat de hoeveelheid water die per tijdseenheid door een kolom grond stroomt, omgekeerd evenredig is met het kwadraat van het specifieke oppervlak.

KRUMBEIN en MONK (1942) hebben eveneens experimenteel aangetoond, dat de doorlatendheid met het kwadraat van de korreldiameter verandert, mits alle andere factoren, zoals sortering, korrelvorm e.d. dezelfde blijven. Door deze onderzoekers is er bovendien op gewezen, dat de sortering van het zand bij doorlatendheidsbepalingen een belangrijke rol speelt. Gebleken is, dat bij een minder goede sortering van het materiaal de doorlatendheid afneemt.

De vorm van de zandkorrels schijnt ook van invloed te zijn op de doorlatendheid, hierover is echter nog weinig bekend,

TICKELL en HIATT (1938) vonden, dat de hoekigheid van de korrels van invloed is. GRATON en FRASER (1935) hebben aangetoond, dat de aanwezigheid van stenen en grote blokken de pakking verstoort en hoge doorlaatfactoren tot gevolg heeft. Tot op zekere hoogte veroorzaakt de aanwezigheid van grind een dergelijk effect.

De doorlatendheid is sterk afhankelijk van de grootte, vorm en continuïteit van de poriën. En daar vorm en grootte van de poriën weer verband houden met de grootte van de korrels en hun rangschikking, is de doorlatendheid in belangrijke mate van de pakking der korrels afhankelijk (HOOGHOUDT, 1934).

Verder is bekend, dat in werkelijk gelaagde afzettingen de doorlatendheid evenwijdig aan de gelaagdheid groter is, dan loodrecht hierop. Als gevolg van verkitting van het materiaal kan de doorlatendheid drastisch afnemen, hetgeen eveneens het geval is bij aanwezigheid van slib in de poriën. Daarbij kan de aard van de kleimineralen uiteraard nog verschil maken, aangezien van montmorillonietkleien bekend is, dat deze bij bevochtiging sterker zwellen dan b.v. kaolinietklei (DUCKER, 1939).

2. METHODE VOOR HET BEPALEN VAN DE DOORLAATFACTOREN

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn, dat voor nauwkeurige doorlatendheidsbepalingen van sedimenten zeer veel eigenschappen van het betreffende materiaal bekend dienen te zijn. Het behoeft nauwelijks enige toelichting, dat het bij dit onderzoek niet mogelijk was de verschillende aangeboorde sedimenten op al deze eigenschappen te onderzoeken. Nodig was een methode, die het mogelijk maakte binnen redelijke

tijd voldoende betrouwbare gegevens betreffende de doorlatendheid der afzettingen te verkijgen.

Deze methode werd door drs. L. F. ERNST, fysicus aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen ontworpen. De doorlatendheid wordt volgens deze methode berekend uit een aantal in het laboratorium bepaalde eigenschappen van het sediment.

Door ERNST kon uit een groot aantal laboratoriumproeven in geroerde monsters een eenvoudig verband worden afgeleid tussen de doorlatendheid en de korrelgrootte van het onderzochte materiaal. Stelt men de doorlaatfactor voor door k en de korrelgrootte door het gebruikelijke U-cijfer, dan bleek het produkt van k en het kwadraat van het U-cijfer een constante te zijn, of in formule:

$$kU^2 = 27\,000$$

Daar de meeste pompproeven voor k een rond tweemaal grotere uitkomst gaven, is deze vergelijking voor praktisch gebruik vervangen door:

$$kU^2 = 50\,000$$

Uit het voorgaande hoofdstuk is wel gebleken, dat in de natuur zelden homogene zanden gevonden worden, zodat verschillende eigenschappen van het zand noodzakelijkerwijze in de berekeningen betrokken moeten worden, wil men niet tot onjuiste uitkomsten komen. In het bovenstaande is er reeds op gewezen, dat er verschillende factoren zijn, die de doorlatendheid meer of minder sterk beïnvloeden.

Door ERNST werd dan ook met de volgende drie factoren rekening gehouden:

1. de sortering van het zand,
2. het gehalte aan afslibbare delen,
3. het gehalte aan grind.

De invloed van de sorteringsgraad op de doorlatendheid is vrij groot bij klastische sedimenten. Zo heeft FRASER (1935) experimenteel reeds aangetoond, dat toevoeging van materiaal van verschillende korrelgrootten aan een goed gesorteerd zand, de doorlatendheid sterk doet afnemen. Uit de proeven van ERNST is dit eveneens gebleken. Wat de sortering betreft werd steeds de som van de drie topfracties van het zand bepaald en nagegaan welke invloed deze op de doorlatendheid had. Uit het archief voor granulometrisch onderzoek van het Landbouwproefstation werd gevonden, dat een hoeveelheid van ongeveer 70 % in de drie topfracties als een gemiddelde voor Nederlandse zandgronden beschouwd mag worden. Voor slibarme monsters die deze sorteringsgraad hebben, geldt dus in genoemde vergelijking de constante 50 000.

Bij een minder goede sortering van het zand, dus bij minder dan 70 % in de drie topfracties, bleek de doorlatendheid duidelijk af te nemen, om bij 55 % reeds tot ongeveer de helft gedaald te zijn. Bevatte het zand meer dan 70 % van het materiaal in de drie topfracties, dan nam de doorlatendheid toe. Bij 90 % bleek deze reeds ongeveer 1,5 maal groter te zijn.

Van zeer grote invloed op de doorlatendheid is het gehalte afslibbare delen ($< 16\mu$) in het zand. In vergelijking met een slibvrij zandmonster bleek uit proeven, dat bij

een gehalte aan afslibbare delen van 2,5 % de doorlatendheid met ongeveer de helft was afgenomen.

Wat het grindgehalte betreft kan worden opgemerkt, dat dit bij minder dan ca. 45 % weinig invloed heeft op de doorlatendheid, al is met stijgende percentages een geleidelijke toename van de doorlatendheid waar te nemen. Boven 45 % wordt de invloed groter, om bij 60 % tweemaal en bij 70 % reeds viermaal hogere doorlaatfactoren te geven.

Voor de sortering, het grind- en slibgehalte werden correctietabellen opgesteld, zodat op eenvoudige wijze de k-factoren berekend kunnen worden.

Aan deze methode voor het bepalen van de doorlatendheid kleven uiteraard bezwaren, omdat met bepaalde eigenschappen van het materiaal geen rekening gehouden is, nl. met vorm, hoekigheid, rangschikking en pakking van de korrels. De beide eerstgenoemde zijn vermoedelijk niet van groot belang, laatstgenoemde echter wel. Als gevolg van de boortechniek werden slechts sterk geroerde monsters verzameld, zodat over de natuurlijke rangschikking en pakking der korrels geen gegevens konden worden verkregen. Er worden thans aan het Landbouwproefstation te Groningen proeven genomen om van ongeroerde monsters de doorlatendheid te bepalen.

Opgemerkt moge worden, dat de bovengenoemde methode voor het bepalen van de doorlatendheid slechts voor zandgronden met een gering gehalte aan afslibbare delen gebruikt kan worden. Voor leem- en klei-afzettingen zullen andere methoden gevolgd moeten worden. Aangenomen werd dat afzettingen met meer dan 6 à 7 % afslibbare delen, reeds tot de slechter doorlatende sedimenten behoren. Hoe hoger het gehalte aan afslibbare delen, hoe slechter doorlatend de afzetting wordt. In de profielen 1 t/m 15 (bijlage 2 t/m 16) werd het gehalte aan afslibbare delen in verschillende arceringen aangegeven en wel bij toenemende gehalten, nauwere arceringen. Ook al ontbreken exacte gegevens, op deze wijze kan men zich toch een beeld vormen van de relatieve permeabiliteit der slibrijke afzettingen.

Vanzelfsprekend kunnen als gevolg van droogte, bepaalde, vooral zware kleigronden krimpscheuren gaan vertonen, zodat zij tijdelijk doorlatender zijn dan grove zandgronden. Dit kan plaatselijk het geval zijn bij de jonge zeeklei. Bij dit onderzoek kon hieraan echter geen verdere aandacht besteed worden.

Ten slotte zij gewezen op het feit, dat bij de verrichte pulsboringen natuurlijk gemakkelijk vermenging van materiaal uit twee boven elkaar gelegen lagen kan optreden. Geologisch en hydrologisch heeft dit de consequentie van een minder exacte bepaling van laaggrenzen en van zonegrenzen van de doorlatendheid. De lezer zij hierop bedacht bij beschouwing van de profielen.

3. Resultaten van het onderzoek naar het doorlatend vermogen

Uit de berekeningen van de doorlaatfactoren van de verschillende monsters werd het duidelijk, dat het doorlatend vermogen van de onderscheiden afzettingen vrij sterk kan variëren. Sommige lagen bleken zeer geringe doorlaatfactoren te bezitten, nl. minder dan 0,5 m/dag, voor andere daarentegen werd 50 m/dag berekend. Ten einde de geringere of grotere doorlatendheid van de afzettingen in de profielen tot

uitdrukking te kunnen brengen, werden vier trappen van doorlatendheid ingevoerd, die in kleuren zijn aangegeven (zie legenda, bijlage 1a). Ongekleurd zijn die lagen, waarin doorlaatfactoren kleiner dan 3 m/dag voorkomen. Hiertoe kunnen gerekend worden alle ondoorlatende klei- en leemlagen en slecht tot matig doorlatende, meer of minder slibrijke zandlagen. Met een gele kleur werd een matige tot vrij goede doorlatendheid aangegeven, waarbij de k-factoren kunnen varieren van 3-15 m/dag. Groen geeft een goede doorlatendheid aan, met k-factoren die wisselen van 15-30 m/dag, terwijl ten slotte blauw een zeer goede doorlatendheid voorstelt met k-factoren groter dan 30 m/dag.

Met behulp van deze onderscheiding werd in de hydrolithologische profielen 1 t/m 15 (bijlagen 2 t/m 16) het doorlatend vermogen van de ondergrond in beeld gebracht. Een onderscheiding van de doorlatendheid in slechts 4 trappen is uiteraard vrij grof, maar werd om praktische redenen voorlopig toegepast. De meer in details geïnteresseerde lezer moge verwezen worden naar de bijgevoegde boorgrafieken (bijlagen 19 t/m 77), waarin naast andere gegevens, nauwkeurig het verloop van de doorlatendheid van laag tot laag is te vervolgen.

Zoals uit de hydro-lithologische profielen (bijlagen 2 t/m 16) is af te leiden, kunnen in de ondergrond van Zeeland naast enige slecht doorlatende of waterkerende lagen, ook verschillende lagen met een groter doorlatend vermogen, zg. watervoerende lagen, worden onderscheiden. Daarnaast komen afzettingen voor, die uit hydrologisch oogpunt beschouwd een heterogeen karakter hebben. De doorlaatfactoren in deze lagen wisselen sterk zowel in horizontale als in verticale richting.

a. Waterkerende lagen

Deze lagen kenmerken zich door een uiterst gering doorlatend vermogen, zodat zij vrijwel als ondoorlatend zijn te beschouwen. In het algemeen is deze eigenschap het gevolg van de fijne textuur van deze sedimentpakketten. Kleilagen, maar ook slibrijke, fijne zanden kunnen hiertoe gerekend worden. De volgende waterkerende lagen kunnen worden onderscheiden:

1. de holocene oppervlaktelagen,
2. de midden-oligocene klei (septariënklei),
3. de kleilagen van het Icenien.

ad 1. Deze afzettingen beslaan het grootste gedeelte van de provincie en bestaan uit jonge zeeklei met daaronder in het algemeen een veenlaag, welke rust op de oude zeeklei. Wanneer dit profiel volledig is ontwikkeld, vormt het een sterk afsluitend lagenpakket, waarin slechts zeer lage doorlaatfactoren optreden. De aanwezigheid van een veenlaag tussen de beide kleiafzettingen zal de verticale waterbeweging in dit profiel extra belemmeren. Niet alleen verhindert deze ondoorlatende oppervlaktelaag het indringen van de neerslag en zoet oppervlaktewater in de diepere ondergrond, hetgeen uiteraard een nadeel is, maar ook vormt hij als het ware een hindernis, die het opstijgen van eventueel zout- of brakwater uit de ondergrond belet, wat als een groot voordeel beschouwd moet worden.

Op de meeste plaatsen op Schouwen-Duiveland, Tholen, St. Philipsland, Walcheren en Noord- en Zuid-Beveland komt dit afsluitende klei-veen-kleiprofiel aan de oppervlakte voor, zoals b.v. uit de profielen 1, 2 en 3 (bijlagen 2, 3 en 4) moge blijken.

De dikte van deze ondoorlatende zone wisselt in het algemeen van ca. 2-15 m. Op sommige plaatsen is het profiel echter tot veel grotere diepten slecht doorlatend. wat vooral voorkomt in die gebieden, waar aan de basis van de oude zeeklei fijnzandige, slibrijke wadafzettingen aanwezig zijn. Dit is b.v. het geval op St. Philipsland, waar in boring K 68 het profiel tot ca. 24 m — m.v. ondoorlatend tot slecht doorlatend is; zie profiel 1 (bijlage 2).

Uit de arcering in de profielen blijkt, dat deze mariene kleien niet overal even zwaar zijn, terwijl in sommige gevallen zandige afzettingen de kleilagen hebben vervangen. Deze zandige lagen vindt men veelal als opvulling van erosiegeulen. Het gehalte aan afslibbare delen is vaak zo gering, dat deze zanden vrij goed doorlatend kunnen zijn. In profiel 1 (bijlage 2) is een voorbeeld van een erosiegeul ingetekend, die met tamelijk goed doorlatend jong zeezand is opgevuld. In boring K 16 op Duiveland en N 36 in Noord-Brabant zijn in ditzelfde profiel eveneens jonge zeezanden met een vrij goede doorlatendheid gevonden.

Het behoeft geen betoog, dat dergelijke, soms met vrij zuiver zand opgevulde geulen hydrologisch van betekenis zijn, omdat zij tot op zekere hoogte „lekken" vormen in de sterk afsluitende deklagen, in het bijzonder wanneer zij tot in de goed doorlatende ondergrond zijn ingesneden. Als zoetwateropslagplaatsen zijn deze zandruggen van belang, zoals in de hoofdstukken VI en VIII nog nader zal blijken.

De onderlinge afstand der boringen is echter zo groot, dat over het verloop van deze met zand opgevulde erosiegeulen geen nadere gegevens ter beschikking staan. In de profielen werden zij dan ook niet nader aangegeven. Uit de betreffende bodemkaarten en morfologische kaarten zijn deze geulsystemen gemakkelijk af te leiden, zodat hiernaar verwezen kan worden.

Het voorgaande had in hoofdzaak betrekking op de gebieden ten noorden van de Westerschelde. In Zeeuws-Vlaanderen is de ondoorlatende deklaag in het algemeen minder dik, omdat daar op de meeste plaatsen de onder het veen gelegen oude zeeklei ontbreekt. De jonge zeeklei rust òf direct op een vrij goed doorlatende ondergrond, òf zij ligt op een veenlaag van overigens vrij aanzienlijke dikte (zie profielen 4, 5 en 6; bijlagen 5, 6 en 7). Naar het zuiden verdwijnt het veen, profiel 6 (bijlage 7), en wigt ook de zeeklei ten slotte uit (noord-zuid-profielen), zodat in dit gebied de afsluitende deklaag eindigt en beter doorlatende gronden aan de oppervlakte liggen.

ad 2. De genoemde oligocene klei (septariënklei) kan als een zeer belangrijke waterkerende laag in de ondergrond van Zeeland beschouwd worden. Hoewel deze afzetting — naar mag worden aangenomen — onder het gehele gebied voorkomt, heeft zij door haar geringe diepteligging in Zeeuws-Vlaanderen de grootste betekenis. Zoals uit de profielen 5, 6 en 7 (bijlagen 6, 7 en 8) kan worden afgeleid, bevindt zich de kleilaag in dit zuidelijke gedeelte van Zeeland op een diepte van ca. 20 à 30 m — m.v. en in het zuidoosten zelfs op ca. 10 à 15 m — m.v. Naar het noorden duikt de formatie snel naar grotere diepten weg. Op Schouwen ligt de bovenkant

van de septariënklei reeds op ca. 140 m — m.v. en verliest daardoor hydrologisch aan betekenis. In het voorgaande hoofdstuk werd reeds medegedeeld, dat over de dikte van dit kleipakket weinig bekend is. De meeste boringen zijn niet verder dan dan enkele decimeters in deze zeer zware klei doorgezet. Uit oudere gebruikte boringen bleek evenwel, dat de kleilaag tot ca. 25 m dik kan zijn (zie boring 53F 9, profiel 8; bijlage 9). Gezien deze dikte en het zware karakter van de septariënklei (zie pag. 34 t/m 37) is de laag in het algemeen als sterk waterkerend te beschouwen.

Er moet evenwel op gewezen worden, dat op sommige plaatsen het oligocene kleipakket minder zwaar is, terwijl lokaal de klei zelfs ten dele door zandige sedimenten kan zijn vervangen (zie profiel 4, bijlage 5; boringen 48C/79,81). Dit zandige Oligoceen kan matig tot vrij goed doorlatend zijn. Over het voorkomen van deze beter doorlatende zanden in het Oligoceen is bij gebrek aan voldoende gegevens weinig bekend. In het algemeen kan wel worden aangenomen, dat het Oligoceen een aaneengesloten, sterk waterkerende laag vormt van vrij aanzienlijke dikte, waarin uiterst geringe waarden van k-factoren optreden.

ad 3. Als derde waterkerend niveau werden de kleilagen van het Icenien genoemd. Deze hebben om reeds eerder genoemde redenen (zie hoofdstuk II) slechts een beperkte verbreiding in de ondergrond van Zeeland. In hydrologisch opzicht hebben zij dan ook niet die betekenis, die b.v. aan de holocene oppervlaktelagen kan worden toegekend. Daarbij komt, dat ook de dikte van deze kleilagen meestal niet meer dan enkele meters bedraagt. Waar echter dergelijke relatief dunne kleilagen aanwezig zijn, zullen zij de verticale waterbeweging sterk remmen, zo niet geheel verhinderen.

Onder een groot gedeelte van Zuid-Beveland en vermoedelijk ook van Schouwen-Duiveland komt het Icenien geheel of ten dele als een slecht doorlatende laag voor, hetgeen uit de profielen 1, 3, 4, 10, 11 en 12 (bijlagen 2, 4, 5, 11, 12 en 13) duidelijk moge blijken.

Vooral profiel 4 (bijlage 5) geeft een goed beeld van de ligging van deze waterkerende kleilaag. De laag, die een dikte van 2 à 4 m bezit, verloopt nagenoeg horizontaal in west-oostrichting door de zak van Zuid-Beveland en is tot in het noordoostelijke deel van Zeeuws-Vlaanderen te vervolgen, waar hij ten slotte uitwigt. In noordelijke richting helt de laag geleidelijk naar grotere diepte, om nog vóór de Oosterschelde abrupt te eindigen, omdat de diepe insnijding van de zg. Vallei van Zeeland het Icenien hier heeft opgeruimd (zie profiel 12; bijlage 13). Op Walcheren is het Icenien plaatselijk eveneens vrij slecht doorlatend (zie profielen 3 en 8; bijlagen 4 en 9).

Elders in het gebied komt het Icenien niet meer voor of is het sterk gereduceerd, zodat het hydrologisch van weinig of geen betekenis is. Niet overal waar het Icenien voorkomt is het echter als waterkerend niveau ontwikkeld. Op sommige plaatsen bestaat de formatie uit zandig materiaal, dat wanneer het gehalte aan afslibbare delen gering is, een matige tot vrij goede doorlatendheid kan bezitten. Dit is b.v. op Schouwen-Duiveland het geval. Al zullen de verticale weerstanden in deze zanden

als gevolg van de erin voorkomende dunne kleilaagjes nog vrij groot zijn, voor de horizontale waterbeweging zijn zij vermoedelijk wel van betekenis.

In zijn geheel genomen kan het Icenien, gezien zijn lithologische opbouw plaatselijk als een niet onbelangrijk waterkerend niveau beschouwd worden.

b. Watervoerende lagen

In de eerste plaats valt op te merken dat in tegenstelling met de meeste tertiaire en holocene sedimenten, de pleistocene afzettingen, met uitzondering van het Icenien, in het algemeen vrij sterk doorlatend zijn. Tot de belangrijkste watervoerende lagen kunnen gerekend worden:

1. de Afzetting van Halsteren
2. de Afzetting van Vlissingen
3. de jong-holocene Scheldezanden en zeezanden
4. de zanden van het Poederlien
5. de zanden van het Plioceen
6. de duinzanden.

ad 1. De Afzetting van Halsteren heeft als gevolg van zijn heterogene samenstelling sterk uiteenlopende doorlaatfactoren. Toch kan dit complex van sedimenten in het algemeen als goed tot vrij goed doorlatend beschouwd worden. Hierbij moet worden opgemerkt, dat deze kwalificatie alleen op het bovenste deel van de afzetting betrekking heeft. Over de lithologische en hydrologische gesteldheid van het lager gelegen deel in de 80 m diepe erosiegeul van de Vallei van Zeeland, is niets bekend.

Op sommige plaatsen, o.a. op Zuid-Beveland, is de afzetting aan de basis kleiïg ontwikkeld, waardoor dit gedeelte van de laag slecht of moeilijk doorlatend is (zie profielen 3, 4, 11, 12 en 14; bijlagen 4, 5, 12, 13 en 15). In boring N 36 profiel 1 (bijlage 2) bestaat de afzetting zelfs uit een zeer dikke kleilaag, die sterk waterkerend zal werken.

Het bovenste gedeelte van de laag is in het algemeen beter doorlatend. Hierin komen doorlaatfactoren voor van 3-15 m/dag, zoals uit bovengenoemde profielen moge blijken.

Het sterkst doorlatend is de afzetting in de bovenste meters van het profiel, waarvoor doorlaatfactoren van 15-30 m/dag en plaatselijk zelfs meer dan 30 m/dag werden berekend. Dit vindt zijn oorzaak in de grove, slibarme zanden waaruit dit gedeelte van het profiel is opgebouwd (zie profielen 3, 10 en 12; bijlagen 4, 11 en 13).

Ten einde een inzicht in het hydrologisch gedrag van de Afzetting van Halsteren in zijn gehele verspreidingsgebied te verkrijgen, werden de doorlaatfactoren in een kaart (bijlage 17) weergegeven d.m.v. verschillende arceringen. Uit deze kaart is behalve het verspreidingsgebied, ook de dikte van het sedimentcomplex af te leiden. Verder blijkt eruit, dat de afzetting aan de noordkust van Schouwen en Noord-Beveland, in het centrum van Walcheren, de zak van Zuid-Beveland en in de noordpunt van Oost-Zeeuws-Vlaanderen, slecht tot matig doorlatend is. Goed doorlatend (k-factoren 15-30 m/dag) is de afzetting slechts in een klein gebied in het noord-

westen van Zuid-Beveland. Overigens treft men de verschillende combinaties van doorlaatfactoren vrij willekeurig verspreid over het gebied aan.

ad 2. Evenals dit met de Afzetting van Halsteren het geval is, bezit ook die van Vlissingen een heterogene samenstelling, hetgeen uiteraard sterk wisselende doorlaatfactoren tot gevolg heeft. Toch kan de Afzetting van Vlissingen als één der belangrijke watervoerende lagen van het gebied beschouwd worden.

Op verschillende plaatsen blijkt de afzetting aan de basis uit vrij grof zand te bestaan met meer of minder grind vermengd. Het doorlatend vermogen van het onderste gedeelte van dit sedimentcomplex is dan ook het grootst. Voorbeelden hiervan worden o.a. op Walcheren, Schouwen-Duiveland en andere plaatsen gevonden waar voor de basislagen doorlaatfactoren van 15-30 en > 30 m/dag werden berekend (zie o.a. profielen 1, 3, 8 en 9; bijlagen 2, 4, 9 en 10).

Zeeuws-Vlaanderen vormt op dit algemene beeld, althans ten dele, een uitzondering. Op verschillende plaatsen in dit gebied is de basis van de Afzetting van Vlissingen namelijk slibrijk tot kleiig ontwikkeld, waardoor het doorlatend vermogen ervan zeer gering is (zie profielen 6, 7, 10 en 13; bijlagen 7, 8, 11 en 14).

Het heterogene karakter van de Afzetting van Vlissingen heeft noodzakelijkerwijs tot gevolg, dat de doorlatendheid zowel in horizontale als in verticale zin duidelijke verschillen vertoont. De afzetting, die als geheel beschouwd matig tot vrij goed doorlatend is, bestaat niet alleen op sommige plaatsen aan de basis, maar ook op andere niveaus van het profiel uit grove sedimenten, die sterk doorlatend zijn (k-factoren 15-30 m/dag). Voorbeelden zijn o.a. te vinden in de boringen K 59 en 55 A 1 in Zeeuws-Vlaanderen en K 14 en 42B 5 op Schouwen (zie profielen 8, 11 en 14; bijlagen 9, 12 en 15).

Evenzo zijn ook minder goede tot moeilijk doorlatende zones uit de afzetting bekend. Hiervan zijn in vrijwel alle profielen voorbeelden aan te wijzen, het fraaist echter in profiel 6 (bijlage 7), waar de afzetting in West-Zeeuws-Vlaanderen voor het grootste deel slecht of weinig doorlatend blijkt te zijn (k-factoren < 3 m/dag). De hydrologische gesteldheid van de afzetting is uit de kaart (bijlage 18) af te leiden. Behalve het verspreidingsgebied en de dikte van het sedimentcomplex zijn ook de doorlaatfactoren erop aangegeven. Uit het verloop van de isopachen blijkt, dat de Afzetting van Vlissingen zijn grootste dikte in het westen van de provincie bereikt, nl. 20 tot 25 m. Naar het oosten neemt de dikte in het algemeen sterk af. Verder blijkt de afzetting op de vaste wal van Noord-Brabant, bij St. Philipsland en in een beperkt gebied ten zuidwesten van de Braakman het slechtst doorlatend te zijn (k-factoren < 3 m/dag). Afwisselend goed tot vrij goed doorlatend (k-factoren 3-15 m en 15-30 m/dag) is het lagencomplex vooral op Schouwen, oostelijk Zuid-Beveland en in het uiterste oosten en westen van Zeeuws-Vlaanderen. Ten slotte is de afzetting in een belangrijk deel van het verspreidingsgebied slecht tot matig doorlatend (k-factoren 0-3 m en 3-15 m/dag).

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn, dat het doorlatende vermogen van de Afzettingen van Halsteren en Vlissingen vrij groot is. Wanneer verder in aanmerking wordt genomen de grote diepte tot waar de tegenwoordige zeearmen zich hebben

ingesneden, waardoor genoemde afzettingen plaatselijk zelfs geheel worden doorsneden (zie noord-zuid-profielen), dan zal duidelijk zijn dat de verzilting van continentale afzettingen, zoals de Afzetting van Halsteren, een gevolg kan zijn van het gemakkelijk binnendringen van het zoute water uit deze zeearmen in genoemde lagen. Latere transgressies kunnen uiteraard eveneens het zoete water uit deze goed doorlatende lagen hebben verdrongen.

ad 3. De jong-holocene Scheldezanden en zeezanden, die erosiegeulen opvullen, kunnen in het algemeen eveneens als niet onbelangrijke watervoerende afzettingen beschouwd worden. Zij bestaan veelal uit wat grover, meestal slibarm materiaal, waardoor doorlaatfactoren van 3-15 m/dag en soms zelfs 15-30 m/dag worden gevonden.

Een duidelijk voorbeeld hiervan geeft profiel 10 (bijlage 11), waar de boringen K 22 en K 23 op Zuid-Beveland in deze jong-holocene Scheldezanden werden geplaatst. Ook op de meeste andere profielen komen voorbeelden van dergelijke met vrij goed doorlatende zanden opgevulde geulen voor. Aangezien vele dezer geulen slechts door een dun kleidek zijn afgedekt, dringt althans een gedeelte van de neerslag hierin gemakkelijk door. De betekenis dezer geulen voor het ontstaan van zoetwatervoorraden zal in hoofdstuk VIII besproken worden.

ad 4. De sedimenten van het Poederlien bleken eveneens vrij goed doorlatend te zijn. Ten gevolge van de noordelijke hellingsrichting van de lagen is dit oudste pleistocene laagpakket slechts in het zuidelijke deel van het gebied door de 40 m boringen bereikt en wel op Walcheren, Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen. Op Schouwen ligt het Poederlien reeds op ca. 85-105 m — m.v. in boring 42B 5 (zie profiel 8, bijlage 9).

Hoewel op sommige plaatsen in het Poederlien slecht doorlatende zones voorkomen, is het doorlatend vermogen van de laag, in het algemeen beschouwd, vrij goed te noemen. De doorlaatfactoren variëren meestal van 3-15 m/dag, plaatselijk zelfs van 15-30 m/dag, o.a. op Zuid-Beveland boring 48H 33 profiel 12, bijlage 13).

In boring K 40 bij Nieuw Namen (zie profiel 4, bijlage 5) werd voor het bovenste gedeelte van het Poederlien zelfs een k-factor van ruim 30 m/dag berekend, een waarde die tot de hoogste behoort welke gevonden zijn voor de verschillende afzettingen. Onder deze zeer goed doorlatende zone komen een leemlaag en een slibrijke zandlaag voor, die een gering doorlatend vermogen hebben (< 3 m/dag.) De basis van het Poederlien is in boring K 40 daarentegen weer matig tot vrij goed doorlatend (k-factoren van 3-15 m/dag).

Behalve deze weinig doorlatende leemlagen komen in het Poederlien soms ook verkitte ijzeroerlagen voor, zoals zeer fraai is waar te nemen in de groeven bij Nieuw Namen. Deze verkitte lagen zullen uiteraard de waterbeweging sterk belemmeren.

ad 5. In het voorgaande hoofdstuk werd reeds medegedeeld, dat het Plioceen niet meer algemeen verbreid in de ondergrond van Zeeland voorkomt. Het werd slechts in Oost-Zeeuws-Vlaanderen en op enkele plaatsen van Walcheren en Zuid-Beveland in een enkele meters dikke laag aangetroffen. Verder noordelijk komt het o.a. op

Schouwen voor op ca. 105 m — m.v. Uit hydrologisch oogpunt heeft het Plioceen daarom niet die betekenis als de sub 1 en 2 genoemde afzettingen.

Als watervoerende laag is het Plioceen echter wel van enig belang. Er worden nl. op vrijwel alle plaatsen waar het werd aangeboord vrij hoge doorlaatfactoren in gevonden. Deze laatste variëren in het algemeen van 3-15 m/dag. Op Walcheren komen in boring K 37 zelfs waarden voor van 15-30 m/dag, zodat het Plioceen hier dus goed doorlatend is (zie profiel 8, bijlage 9). In dit profiel is eveneens op te merken, dat het Plioceen onder Schouwen vermoedelijk uit lagen met afwisselend slechte, matige en goede doorlatendheid bestaat.

ad 6. De duinzanden vormen een hydrologisch belangrijke formatie. Het doorlatende vermogen van deze vrijwel slibvrije zanden is vrij hoog, zoals uit oudere boorgegevens valt af te leiden. Van de nieuwere boringen werd slechts K 9 op Schouwen in het duingebied geplaatst (zie profielen 1 en 8, bijlagen 2 en 9). De doorlaatfactoren van het duinzand in deze boring variëren van 15-30 m/dag, waaruit de goede doorlatendheid dus duidelijk blijkt. De neerslag dringt daarom gemakkelijk in deze zanden door, waardoor zich een zoetwaterzak onder deze duingebieden vormt, welke voor de drinkwatervoorziening van grote betekenis is (zie hoofdstuk VI en VIII).

c. Lagen met sterk wisselende doorlaatfactoren

De volgende formaties zijn hiertoe te rekenen:

1. de oud-holocene wadafzettingen
2. het Boven-Mioceen

ad. 1. Deze oude wadafzettingen kenmerken zich hydrologisch door een zeer wisselend doorlatend vermogen. Eensdeels zijn zij als waterkerende, anderdeels als watervoerende laag ontwikkeld, terwijl op verscheidene plaatsen combinaties van deze beide in één boorprofiel gevonden worden. In profiel 1 (bijlage 2) vindt men hiervan een goed voorbeeld, in boring K 9 op Schouwen blijken de oude wadafzettingen nl. in het gehele ca. 30 m dikke profiel matig tot vrij goed doorlatend te zijn (k-factoren van 3-15 m/dag). In de boringen K 11 en K 12 is de doorlatendheid aan de basis vrij goed, aan de top daarentegen slecht (k-factoren <3 m/dag). In boring K 16 is de gehele afzetting slecht doorlatend, terwijl in boring K 68 het bovenste gedeelte slecht, de basislaag daarentegen matig tot vrij goed doorlatend is.

Zoals ten slotte uit de boringen K 28 en 42B 5 op Zuid-Beveland en Schouwen blijkt, komen in de oude wadafzettingen soms zelfs lagen voor met k-factoren van 15-30 m/dag (zie profielen 3 en 8; bijlagen 4 en 9). Uit deze enkele voorbeelden, die met verschillende andere uit de overige profielen zijn aan te vullen, wordt het hydrologisch weinig homogene beeld van deze formatie dus wel duidelijk gedemonstreerd.

ad 2. Zoals reeds in het voorgaande hoofdstuk is gebleken, komt het Boven-Mioceen nog slechts plaatselijk in de ondergrond van Zeeland voor. Hydrologisch heeft het

dan ook alleen lokale betekenis. Het doorlatende vermogen van de formatie vertoont bovendien nog zekere variaties. In verschillende delen van het gebied werd het Boven-Mioceen als een sterk waterkerende laag aangetroffen, zoals b.v. in de boringen 48C 79,81 bij Vlissingen waar het als een dikke kleilaag is ontwikkeld (zie profiel 4; bijlage 5). In dit profiel is verder op te merken, dat ook de slibrijke zanden in de boringen 48A 3 op Walcheren, K 24 op Zuid-Beveland en K 40 in Oost-Zeeuws-Vlaanderen slecht doorlatend zijn (k-factoren 0-3 m/dag).

Ook op andere plaatsen in Oost-Zeeuws-Vlaanderen, o.a. in de boringen K 39, K 42 en K 44, is het doorlatende vermogen van het Boven-Mioceen gering. Daarnaast zijn ook beter doorlatende zanden in het mioceen gevonden, o.a. in K 27 op Zuid-Beveland, waar de top van de formatie nog juist werd bereikt en waarin k-factoren van 3-15 m/dag voorkomen. Ook bij Terneuzen, in de boringen 54E 2 54E 7, 54E 19 en K 43, werden matig tot vrij goed doorlatende zones in het Boven-Mioceen gevonden (zie profielen 5, 6, 11 en 12; bijlagen 6, 7, 12 en 13).

VI CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN HET GRONDWATER

1. Inleiding

In het kader van de samenwerking tussen het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. (L.B.I.), de Geologische Dienst (G.D.), het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (R.v.D.) en het Archief van Grondwaterstanden T.N.O. (A.v.G.), ten behoeve van het onderzoek naar de hydrologische profielen van Nederland, werd het chemische onderzoek van het grondwater uitgevoerd door de Chemisch Bacteriologische Afdeling van het R.v.D.

Doordat de genoemde samenwerking met R.v.D. en A.v.G. eerst tot stand kwam nadat de boringen op Schouwen-Duiveland waren uitgevoerd (december 1950), werden deze boringen niet tot waarnemingsputten afgewerkt.

In de overige boringen, welke tot maximaal 40 m — m.v. reiken, zijn 1 of 2 waarnemingsfilters geplaatst — afhankelijk van de aanwezigheid van moeilijk doorlatende lagen in de ondergrond — ter lengte van 1 m en opwaarts verlengd met stijgbuizen. De filters zijn van roodkoper, omwikkeld met tressengaas, de stijgbuizen van geasfalteerd staal. Filters en stijgbuizen hebben een inwendige diameter van 25 mm.

Waarnemingsfilters en stijgbuizen werden ter beschikking gesteld door het A.v.G. en door het L.B.I. in de boringen gesteld.

De watermonsters werden aan de waarnemingsputten onttrokken door middel van een handpompje, nadat voldoende was schoongepompt.

Zij werden, met uitzondering van sporenelementen, volledig onderzocht. De gehalten aan anionen (Cl', SO_4'' en HCO'_3) en kationen ($Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $K^{\cdot}$ en $Na^{\cdot}$) werden zowel in milligrammen en milligramaequivalenten (m val) per liter als in % m val uitgedrukt, waarbij het totale aantal m val op 100 % werd gesteld.

In de hydro-lithologische profielen 1 t/m 15 (bijlagen 2 t/m 16) is de chemische samenstelling van het grondwater, uitgedrukt in % m val, bij elk filter weergegeven in de vorm van een staafdiagram; voorts is in dit diagram aangegeven het aantal milligrammen en m val per liter, de pH, het Fe-gehalte in mg/l, de hardheid in Duitse graden, de plaats van het filter in meters — m.v. en het jaar van monsterneming.

De volledige analysen zijn niet aan het rapport toegevoegd. Zij zijn aanwezig in het geo-hydrologisch archief van het R.v.D., Parkweg 13 te 's-Gravenhage, waar zij op verzoek kunnen worden geraadpleegd.

Op de overzichtskaart (bijlage 102) is de chemische samenstelling van het grondwater, uitgedrukt in % m val, eveneens weergegeven in de vorm van een staafdiagram, terwijl daarnaast het totale aantal m val per liter is uitgezet.

Op de overzichtskaart is voorts aangegeven de chemische samenstelling van het grondwater in een aantal boringen welke niet in de profielen voorkomen, m.n. in de duingebieden van Haamstede op Schouwen-Duiveland, Oranjezon, Domburg en Biggekerke op Walcheren en in het gebied bij St. Jansteen en Clinge in Zeeuws-Vlaanderen.

Ook werd de ligging in westelijk Zeeuws-Vlaanderen aangegeven van enkele

Dit hoofdstuk werd geschreven door dr. J. H. van der Grient en ir. J. H. Beltman, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.

op 46-47 m — m.v. 11 538 mg/liter). De diepteligging van de grens tussen zoet en brak water varieert tussen ca. 25 en 46 m — m.v., niet alleen ten gevolge van de wateronttrekking door het pompstation van het Gemeente-waterleidingbedrijf Middelburg, doch ook, doordat de kleilaag, welke in het duingebied op een diepte van ca. N.A.P. voorkomt, plaatselijk ontbreekt.

In het *duingebied van Domburg* ligt de grens tussen zoet en zout water vermoedelijk iets minder diep dan bij Oranjezon. In boring 48A/56 (overzichtskaart, bijlage 102) bedraagt het chloridegehalte op 22 m — m.v. 50 mg/l, op 43 m — m.v. 4190 mg/liter (de hoogte van maaiveld t.o.v. N.A.P. is niet bekend).

In het *duingebied bij Biggekerke* ligt de grens tussen zoet en zout water daar waar de duinenrij het breedst is op ca. 25 m — N.A.P. Naar de einden neemt deze diepte af tot ca. 10 m — N.A.P. of minder.

In boring 48A/3 (profiel 4, bijlage 5; overzichtskaart, bijlage 102) bedraagt het chloridegehalte op ca. 26 m — N.A.P. 51 mg/liter, op 32 m — N.A.P. 5502 mg/liter.

Het pompstation te Biggekerke van de N.V. Waterleiding Mij. „Midden Zeeland" onttrekt het water aan het duingebied t.b.v. de drinkwatervoorziening van Midden-Zeeland.

4. Brak en zout grondwater

Met uitzondering van de bovengenoemde zoetwatervoorkomens is het grondwater in Zeeland brak tot zout.

Indien de midden-oligocene septariënklei wordt beschouwd als een zeer moeilijk doorlatende laag, kan onderscheid worden gemaakt tussen het grondwater beneden deze laag en daarboven.

a. Het grondwater beneden de septariënklei

Na de afzetting van de septariënklei zal het grondwater daarbeneden aanvankelijk zout zijn geweest, omdat de oudere formaties werden afgezet in een marien milieu.

Trans- of regressies jonger dan de midden-oligocene septariënklei konden, in verband met de zeer geringe doorlatendheid van de septariënklei, geen verzilting of verzoeting meer veroorzaken van het water daarbeneden.

Uit gegevens van diepe boringen in West-Zeeuws-Vlaanderen blijkt nu, dat het grondwater beneden de septariënklei een betrekkelijk laag chloridegehalte bezit, dat naar het noorden toeneemt (tabel 12).

Zeer waarschijnlijk moet de verklaring hiervoor worden gezocht in een verdringing van het oorspronkelijk zoute water door zoet water uit het zuiden, uit België. Het water beneden de septariënklei in Zeeuws-Vlaanderen is spanningswater; de stijghoogte reikt veelal tot N.A.P.

Het infiltratiegebied van het zoete water moet worden gezocht in hoger gelegen gebieden in België, waar de tertiaire lagen aan of dichtbij de oppervlakte komen. Het oorspronkelijk zoute water in deze lagen werd verzoet door de in de grond dringende neerslag. Ten gevolge van de hogere potentiaal van dit water t.o.v. het water onder de septariënklei in Zeeuws-Vlaanderen kon het water in noordelijke richting stromen en het zoute water verdringen. Dit verdringings- proces zal zich slechts

TABEL 12. Gegevens van diepe boringen in West-Zeeuws-Vlaanderen

Boring	Locatie	Filter-diepte in m-m.v.	Cl' in mg/ltr	Totale hardheid in °D	$NaHCO_3$ in mg/ltr
47H/1	Retranchement	87	1400		
48C/33	Groede; Nieuwvlietseweg	71	3621		
53F/9	Sluis	60	295	3,8	1084
53F/14	Sluis	70-80	270	3,6	1085
53F/27	Aardenburg	37-41	22	7,7	487
54A/1	Zuidzande	96	1130	10	
54B/11	IJzendijke	112	1682		
54B/30	Biervliet; Angelinapolder	112	1854		
54B/31	Biervliet;Angelinapolder	69	1046		
54E/13	Terneuzen	118	507	7,9	689
54E/24	Terneuzen; Zevenaarpolder	133	239	4,6	21
54E/52	Hoek; Wijckhuysepolder	124	2280		
54E/61	Driekwart; Elektr. Centrale	110	1718	11,0	670
54G/20	Sas van Gent	87-97	1590		

zeer langzaam hebben voltrokken, omdat het potentiaalverschil gering was en de lagen betrekkelijk fijn zijn. De stromingsrichting van het zoete water zal meer noordwestelijk dan noordoostelijk zijn, in verband met de noordoostelijke hellingsrichting van de basis van het Oligoceen (zie de dieptelijnen basis Oligoceen op kaart 1, bijlage 79).

Of in de aanwezigheid van een lage hardheid bij een toch betrekkelijk hoog chloridegehalte en hoge gehalten aan natriumbicarbonaat een bewijs mag worden gezien van een nog steeds voortgaan van het verdringingsproces, zoals vroeger werd gedacht (VERSLUIJS, 1915 en 1931; STEENHUIS en KRUL, 1925), moet op grond van nieuwere inzichten worden betwijfeld (RUTTEN, 1949 a en b). Waarschijnlijker is, dat tussen het zoete en het zoute water een (dynamische) evenwichtstoestand is ingetreden, d.w.z. dat de verdringing haar uiterste grens heeft bereikt in Zeeuws-Vlaanderen; de stroming van het zoete water in hoofdzakelijk noordwestelijke richting gaat uiteraard voort.

Het voorkomen van een lage hardheid van het water naast een hoog gehalte aan natriumbicarbonaat moet veeleer worden gezien als een uitwisseling van calciumionen tegen natriumionen in kleilagen.

Het diepe, slechts weinig brakke grondwater in West-Zeeuws-Vlaanderen is van belang voor de watervoorziening van fabrieken. Voor onttrekking op enigszins grote schaal, b.v. ten behoeve van een centrale drinkwatervoorziening, heeft het geen betekenis; de samenstelling is weinig gunstig, terwijl het waterleverend vermogen van de lagen gering is. Bovendien bestaat bij onttrekking op grote schaal het gevaar van verzilting.

b. Het grondwater boven de septariënklei

Boven de septariënklei komt zowel brak als zout grondwater voor. De chloridegehalten variëren tussen ca. 1 500 en 23 000 mg/liter.

Chloridegehalten in het brakke of zoute water van minder dan 17 640 mg/liter (d.i. het chloridegehalte van zeewater) zijn het gevolg van menging van zoet water met zeewater.

Deze menging kan het gevolg zijn van een transgressie, waarbij het zoete water in de lagen waarover de zee zich uitbreidde werd verzilt door het zeewater, dan wel van een regressie, waarbij het zoute water in de lagen, waarvan de zee zich terugtrok, werd verzoet door de neerslag of door het zoete grondwater in de zich afzettende fluviatiele lagen.

Het chloridegehalte van het brakke of zoute water kan worden beschouwd als een maat voor de mengverhouding van het zoete water en het zeewater, omdat geen uitwisseling plaatsvindt van Cl-ionen tegen andere ionen uit het water of uit de bodem, terwijl evenmin op andere wijze Cl-ionen in het water worden opgenomen dan wel uit het water worden afgescheiden.

Indien het chloridegehalte van het oorspronkelijke zoete water bekend zou zijn, kan de mengverhouding worden berekend uit de betrekking:

$$x_{Cl} \cdot a + y_{Cl} \cdot b = (x_{Cl} + y_{Cl})\, c \qquad (1)$$

waarin x_{Cl} en y_{Cl} respectievelijk voorstellen de hoeveelheden zoet water en zeewater, a, b en c het aantal m val Cl′ per liter van respectievelijk het zoete water, het zeewater en het mengwater. Ter vereenvoudiging kan $y_{Cl} = 1$ worden gesteld, in welk geval uit (1) volgt:

$$x_{Cl} = \frac{b - c}{c - a} \qquad (2)$$

De index Cl betekent, dat de mengverhouding wordt berekend uit de chloridegehalten.

Uiteraard is het chloridegehalte van het oorspronkelijk zoete water, dat werd verzilt of dat de verzoeting teweegbracht, niet bekend. Indien men hiervoor echter aanneemt het chloridegehalte van het zoete water in een naburig gebied, zo mogelijk van dezelfde lithologische en stratigrafische opbouw, dan is de fout, welke wordt gemaakt door in vergelijking (2) voor a het chloridegehalte van dit zoete water aan te nemen klein, omdat het chloridegehalte van zoet water slechts weinig varieert en voorts a klein is t.o.v. c.

Het is uiteraard evenmin juist aan te nemen, dat het zoete grondwater werd verzilt door zuiver zeewater.

In plaats van zeewater kan zout water aanwezig zijn geweest, zodat voor de factor b in vergelijking (2) een — onbekende — lagere waarde zou moeten worden ingevuld om de juiste mengverhouding te berekenen. Door voor b het chloridegehalte van zeewater in te vullen, wordt een waarde voor x_{Cl} gevonden, welke te groot is.

De grootte van deze fout hangt af van het verschil in chloridegehalte tussen het zeewater en het zoute water dat werkelijk aanwezig was. Omdat echter dit zoute water reeds is te beschouwen als een mengsel van zoet water en zeewater, zal de gemaakte fout klein zijn.

De orde van grootte van de volgens (2) berekende mengverhouding zal derhalve in ieder geval juist zijn.

Indien geen chemische reacties in de bodem of in het water plaats vonden, zou vergelijking (2), toegepast op de andere bestanddelen van het aangetroffen grondwater, dezelfde mengverhouding moeten opleveren welke werd gevonden uit het chloridegehalte.

Wordt derhalve een andere mengverhouding aangetroffen, dan zal de oorzaak moeten worden gezocht in chemische processen als ionen-uitwisseling, oplossing uit of precipitatie in de bodem. Veelal zullen zich in een bepaald geval verschillende mogelijkheden voordoen, welk aantal mogelijk op grond van geologische overwegingen kan worden beperkt.

Voor het onderhavige rapport werden voor enkele gevallen de mengverhoudingen berekend, uitgaande van de gehalten aan Cl', $Mg^{\cdot\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$ en $Na^{\cdot}$.

Daarbij bleek, dat veelal de mengverhoudingen x_{Mg}, berekend uit het $Mg^{\cdot\cdot}$-gehalte slechts weinig verschillen van x_{Cl}. Deze afwijkingen kunnen zowel een gevolg zijn van de aangenomen — dus niet geheel juiste — samenstelling van het zoete water, als van een ionen-uitwisseling. De mengverhoudingen x_{Ca}, berekend uit het $Ca^{\cdot\cdot}$-gehalte, bleken zowel veel groter als kleiner te kunnen zijn dan x_{Cl}.

Indien $x_{Ca} < x_{Cl}$ is, betekent dit, dat $Ca^{\cdot\cdot}$ uit de bodem in het water is opgenomen, hetzij door uitwisseling, b.v. tegen $Na^{\cdot}$, hetzij door oplossing, b.v. in de vorm van $Ca(HCO_3)_2$. Uiteraard kan x_{Ca} zóveel kleiner zijn dan x_{Cl}, dat een negatieve waarde wordt gevonden.

Is $x_{Ca} > x_{Cl}$, dan zou dit wijzen op een opname van $Ca^{\cdot\cdot}$ uit het water door de klei, of op precipitatie van $CaCO_3$. Het is ten slotte ook mogelijk, dat x_{Ca} afwijkt van x_{Cl}, omdat de samenstelling van het aanvankelijk aanwezige zoete resp. zoute water anders is dan werd verondersteld.

Voor de berekening van de onderstaande gevallen werden voor het Cl'-, $Mg^{\cdot\cdot}$-, $Ca^{\cdot\cdot}$- en $Na^{\cdot}$-gehalte van het zeewater de volgende waarden aangenomen, uitgedrukt in m val per liter:

$Cl' = 497$; $Mg^{\cdot\cdot} = 95{,}4$; $Ca^{\cdot\cdot} = 21{,}6$; $Na^{\cdot} = 443$.

Voor de samenstelling van het zoete water werden twee typen gekozen, nl. het water uit boring 600/14 (profiel 1, bijlage 2; plaats van het filter 35-40 m — m.v.) en het water uit boring 662/22 (waterwinplaats Bergen op Zoom; plaats van het filter 92,1 — 118,1 m — m.v.).

De gehalten aan Cl', $Mg^{\cdot\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$ en $Na^{\cdot}$ van het water uit deze boringen, uitgedrukt in m val per liter bedragen:

600/14: $Cl' = 0{,}6$; $Mg^{\cdot\cdot} = 1{,}2$; $Ca^{\cdot\cdot} = 5{,}3$; $Na^{\cdot} = 2{,}7$

662/22: $Cl' = 0{,}4$; $Mg^{\cdot\cdot} = 0{,}1$; $Ca^{\cdot\cdot} = 3{,}1$; $Na^{\cdot} = 0{,}7$

1. BORING 43C/28 (= K 68); PROFIEL 1, BIJLAGE 2

Samenstelling van het water uit deze boring (plaats van het filter 36,5-37,5 m — m.v.), uitgedrukt in m val per liter:

$$Cl' = 81{,}1;\ Mg^{\cdot\cdot} = 16{,}6;\ Ca^{\cdot\cdot} = 16{,}8;\ Na^{\cdot} = 57{,}3$$

Uitgaande van een samenstelling van het oorspronkelijke zoete water gelijk aan die van het water uit a) boring 600/14 en b) boring 662/22, worden de volgende mengverhoudingen gevonden:

a) $x_{Cl} = 5{,}16$ $x_{Mg} = 5{,}1$ $x_{Ca} = 0{,}41$ $x_{Na} = 7{,}1$ $x_{Mg+Ca+Na} = 5{,}7$

b) $x_{Cl} = 5{,}15$ $x_{Mg} = 4{,}8$ $x_{Ca} = 0{,}35$ $x_{Na} = 6{,}8$ $x_{Mg+Ca+Na} = 5{,}4$

Vermoedelijk komt de samenstelling van het oorspronkelijke zoete water het meest overeen met die van het water uit boring 662/22; het verschil tussen $x_{Mg+Ca+Na}$ en x_{Cl} is in dit geval minder groot dan in geval a).

Uit de mengverhoudingen berekend voor geval b) blijkt, dat $Ca^{\cdot\cdot}$ en $Mg^{\cdot\cdot}$ uit de bodem werden opgenomen in het water ($x_{Ca} < x_{Cl}$; $x_{Mg} < x_{Cl}$) en uitgewisseld tegen $Na^{\cdot}$ uit het water ($x_{Na} > x_{Cl}$; $x_{Mg+Ca+Na}$ verschilt slechts weinig van x_{Cl}).

De Afzetting van Halsteren waarin het filter van boring 43C/28 werd geplaatst, is van fluviatiele oorsprong (zie profiel K-K, bijlage 92). Het grondwater hierin zal derhalve zoet zijn geweest. De jongere formaties (oude wadafzettingen, oude zeeklei en jonge zeeklei) werden afgezet in een marien milieu, waardoor verzilting van het zoete water in de Afzetting van Halsteren kon plaats vinden. Het is niet waarschijnlijk, in verband met het vrij dikke, moeilijk doorlatende sedimentpakket van jonge zeeklei, veen en oude zeeklei, dat eerst volledige verzilting plaats vond, weer gevolgd door gedeeltelijke verzoeting na afzetting van de jonge zeeklei.

2. Boring 49B/2 (= K 64); profiel 2, bijlage 2

A. Plaats van het filter: 12,0-13,0 m — m.v.

Samenstelling van het water, uitgedrukt in m val per liter:

$$Cl' = 58{,}0;\ Mg^{\cdot\cdot} = 12{,}9;\ Ca^{\cdot\cdot} = 5{,}7;\ Na^{\cdot} = 48{,}5$$

Uitgaande van een samenstelling van het oorspronkelijke zoete water gelijk aan die van het water uit a) boring 600/14 en b) boring 662/22, werden de volgende mengverhoudingen gevonden:

a) $x_{Cl} = 7{,}6$ $x_{Mg} = 7{,}0$ $x_{Ca} = 40$ $x_{Na} = 8{,}6$ $x_{Mg+Ca+Na} = 8{,}8$

b) $x_{Cl} = 7{,}6$ $x_{Mg} = 6{,}4$ $x_{Ca} = 6{,}1$ $x_{Na} = 8{,}2$ $x_{Mg+Ca+Na} = 8{,}0$

Uit de mengverhouding x_{Ca} blijkt, dat de samenstelling van het oorspronkelijke zoete water niet kan overeenkomen met die van het water uit boring 600/14; immers $x_{Ca} >>> x_{Cl}$, hetgeen zou betekenen, dat $Ca^{\cdot\cdot}$ in belangrijke mate uit het water in de bodem werd opgenomen. Er moet echter bedacht worden, dat de waarde van x_{Ca} zeer aan schommelingen onderhevig is, wanneer het veronderstelde calciumgehalte van het zoete water het gevonden calciumgehalte bij de thans bestaande mengverhouding nadert. Immers, dan nadert de noemer van het quotient $\frac{b-c}{c-a}$ nul. Het calciumion is in dat geval eigenlijk niet te gebruiken voor de berekening van een mengverhouding. Men zal dan de concentraties van de andere kationen moeten gebruiken. In het onderhavige geval blijkt op basis van de magnesiumcijfers een lagere en op grond van de natriumcijfers een hogere mengverhouding gevonden te worden in vergelijking met de chloorbalans. Beide verhoudingen wijzen op een verzouting van zoet water.

De samenstelling van het oorspronkelijke zoete water kan wel overeenkomen met die van het water uit boring 662/22. In dit geval werden $Ca^{\cdot\cdot}$ en $Mg^{\cdot\cdot}$ uit de bodem uitgewisseld tegen $Na^{\cdot}$ uit het water ($x_{Ca} < x_{Cl}$; $x_{Mg} < x_{Cl}$; $x_{Mg+Ca+Na}$ verschilt slechts weinig van x_{Cl}).

B. Plaats van het filter: 36,5-37,5 m — m.v.

Samenstelling van het water, uitgedrukt in m val per liter:

$$Cl' = 82{,}5;\ Mg^{\cdot\cdot} = 16{,}6;\ Ca^{\cdot\cdot} = 6{,}7;\ Na^{\cdot} = 67{,}8$$

Uitgaande van een samenstelling van het oorspronkelijke zoete water gelijk aan die van het water uit a) boring 600/14 en b) boring 662/22, werden de volgende mengverhoudingen gevonden:

a) $x_{Cl} = 5{,}1$ $x_{Mg} = 5{,}1$ $x_{Ca} = 10{,}6$ $x_{Na} = 5{,}8$ $x_{Mg+Ca+Na} = 5{,}7$

b) $x_{Cl} = 5{,}0$ $x_{Mg} = 4{,}8$ $x_{Ca} = 4{,}1$ $x_{Na} = 5{,}6$ $x_{Mg+Ca+Na} = 5{,}3$

Ook in dit geval kan de samenstelling van het oorspronkelijke zoete water niet zijn overeengekomen met die van het water uit boring 600/14 ($x_{Ca} >> x_{Cl}$), wel daarentegen met die van het water uit boring 662/22. In dit geval vond uitwisseling plaats van $Ca^{\cdot\cdot}$ en $Mg^{\cdot\cdot}$ uit de bodem tegen $Na^{\cdot}$ uit het water ($x_{Ca} < x_{Cl}$; $x_{Mg} < x_{Cl}$; $x_{Na} > x_{Cl}$; $x_{Mg+Ca+Na}$ vrijwel gelijk aan x_{Cl}).

Het bovenste filter in boring 49B/2 staat in de Afzetting van Vlissingen, welke hier van continentale oorsprong is (profiel L-L, bijlage 93). Het onderste filter staat in de Afzetting van Halsteren, welke

van fluviatiele oorsprong is. Oorspronkelijk is derhalve het grondwater in beide afzettingen zoet geweest. Verzilting vond plaats tijdens de vorming van de oude wadafzettingen. Mogelijk vond tijdens de daarop volgende regressieperiode — vorming van het jong-holocene veen — gedeeltelijke verzoeting plaats, gevolgd door verzilting tijdens de afzetting van de jonge zeeklei.

Dat de verzilting in het onderste gedeelte van het watervoerende pakket iets verder voortschreed dan in het bovenste deel, kan, mede in verband met de opvulling van de erosiegeul in de Afzetting van Vlissingen met de mariene oude wadafzettingen, een gevolg zijn van grotere of geringere doorlatendheid van lagen en van de aanwezigheid van het boreale en vroeg-atlantische veendek, alsook van de verzoeting tijdens de genoemde regressieperiode.

3. Boring 49A/2 (= K 65); profiel 2, bijlage 3

Plaats van het filter: 27,1- 28,1 m — m.v.

Samenstelling van het water, uitgedrukt in m val per liter:

$$Cl' = 295{,}8;\ Mg^{\cdot\cdot} = 62{,}7;\ Ca^{\cdot\cdot} = 26{,}8;\ Na^{\cdot} = 236{,}1$$

Uitgaande van een samenstelling van het oorspronkelijke zoete water gelijk aan die van het water uit de boringen a) 600/14 en b) 662/22, werden de volgende mengverhoudingen berekend:

a) $x_{Cl} = 0{,}7$ $x_{Mg} = 0{,}5$ $x_{Ca} = -0{,}24$ $x_{Na} = 0{,}9$ $x_{Mg+Ca+Na} = 0{,}7$

b) $x_{Cl} = 0{,}7$ $x_{Mg} = 0{,}5$ $x_{Ca} = -0{,}23$ $x_{Na} = 0{,}9$ $x_{Mg+Ca+Na} = 0{,}7$

Uit de berekende mengverhoudingen blijkt, dat de samenstelling van het oorspronkelijke zoete water zowel overeengekomen kan zijn met die van het water uit boring 600/14, als uit boring 662/22.

$Ca^{\cdot\cdot}$ en $Mg^{\cdot\cdot}$ uit de bodem werden uitgewisseld tegen $Na^{\cdot}$ uit het water ($x_{Ca} < x_{Cl}$; $x_{Mg} < x_{Cl}$; $x_{Na} > x_{Cl}$; $x_{Mg+Ca+Na} = x_{Cl}$).

De verzilting van het oorspronkelijke zoete water in de fluviatiele Afzetting van Halsteren vond plaats tijdens de vorming van de mariene oude wadafzettingen, oude en jonge zeeklei.

Doordat de oude wadafzettingen werden afgezet in een diepe erosiegeul, kon de verzilting hier verder voortgaan dan op hetzelfde niveau ter plaatse van boring 49B/2 (= K 64).

4. Boring 49D/9 (= K 32); profiel 3, bijlage 4

Plaats van het filter: 13,8- 14,8 m — m.v.

Samenstelling van het water, uitgedrukt in m val per liter:

$$Cl' = 99{,}6;\ Mg^{\cdot\cdot} = 19{,}4;\ Ca^{\cdot\cdot} = 11{,}6;\ Na^{\cdot} = 90{,}9$$

Uitgaande van een samenstelling van het oorspronkelijke zoete water gelijk aan die van het water in de boringen a) 600/14 en b) 662/22 werden de volgende mengverhoudingen berekend:

a) $x_{Cl} = 4{,}0$ $x_{Mg} = 4{,}2$ $x_{Ca} = 1{,}6$ $x_{Na} = 4{,}0$ $x_{Mg+Ca+Na} = 3.9$

b) $x_{Cl} = 4{,}0$ $x_{Mg} = 4{,}0$ $x_{Ca} = 1{,}2$ $x_{Na} = 3{,}9$ $x_{Mg+Ca+Na} = 3{,}8$

Het blijkt, dat het er weinig toe doet van welke der beide samenstellingen van het zoete water men uitgaat. Het valt echter op, dat er wel sprake is van lagere x_{Ca}-cijfers t.o.v. x_{Cl}-cijfers, maar niet van hogere x_{Na}-cijfers. Dit zou kunnen wijzen op een in oplossing gaan van carbonaten.

Het oorspronkelijke zoete water van de Afzetting van Halsteren en Vlissingen werd verzilt tijdens de vorming van de mariene oude wadafzettingen, oude en jonge zeeklei.

5. Boring 49/C9 (= K 30); profiel 3, bijlage 4

Plaats van het filter: 23,7-24,7 m — m.v.

Samenstelling van het water, uitgedrukt in m val per liter:

$$Cl' = 219{,}2;\ Mg^{\cdot\cdot} = 46{,}7;\ Ca^{\cdot\cdot} = 14{,}3;\ Na^{\cdot} = 190$$

Uitgaande van een samenstelling van het oorspronkelijke zoete water gelijk aan die van het water uit de boringen a) 600/14 en b) 662/22, werden de volgende mengverhoudingen berekend:

a) $x_{Cl} = 1{,}3$ $x_{Mg} = 1{,}1$ $x_{Ca} = 0{,}8$ $x_{Na} = 1{,}3$ $x_{Mg+Ca+Na} = 1{,}4$

b) $x_{Cl} = 1{,}3$ $x_{Mg} = 1{,}0$ $x_{Ca} = 0{,}6$ $x_{Na} = 1{,}3$ $x_{Mg+Ca+Na} = 1{,}3$

Uit de berekende mengverhoudingen blijkt, evenals in geval 4, dat het er weinig toe doet van welke

samenstelling van het zoete water men bij de berekening uitgaat. Het frappeert ook hier, dat de x_{Na}-cijfers zozeer overeenkomen met de x_{Cl}-cijfers, terwijl zowel de x_{Ca}- als de x_{Mg}-cijfers relatief lager zijn. Er zou ook hier sprake kunnen zijn van een oplossing van carbonaten tijdens de menging.

Het oorspronkelijke zoete water van de Afzetting van Halsteren werd verzilt tijdens de vorming van de mariene Afzetting van Vlissingen en de jongere mariene afzettingen.

6. Boring 48F/55 (= K 28); profiel 3, bijlage 4

Het oorspronkelijke zoete water van de Afzetting van Halsteren werd geheel verzilt ten gevolge van de vorming der jongere mariene afzettingen. Na de opvulling van de door getijdestromen in het subboreale veenlandschap gevormde kreken en geulen met zandig materiaal werd hierin het zoute water verdrongen door zoet water (neerslag), onder vorming van een „zoetwaterzak".

In het bovenstaande werden de berekingen van de mengverhoudingen slechts uitgevoerd voor de bestanddelen Cl', $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$ en $Na^{\cdot}$. Zij zijn uiteraard ook uit te voeren voor de overige bestanddelen van het water, als HCO_3', SO_4'', en $K^{\cdot}$

Verwacht mag worden dat hieruit nog verdere conclusies zullen zijn te trekken omtrent de reacties welke hebben plaats gevonden tussen water en bodem.

Samenvattend kan worden gezegd, dat bij verzilting van oorspronkelijk zoet water, uit het chloridegehalte van het brakke water de mengverhouding van het zoete en het zoute water kan worden berekend, waarbij voor het zoete water wordt uitgegaan van de samenstelling van het op geo-hydrologische gronden meest waarschijnlijk daarmede overeenkomende water, voor het zoute water van de samenstelling van het Noordzeewater. De overige ionen geven geen basis voor de berekening van de mengverhouding, omdat de oorspronkelijke hoeveelheden door verschillende chemische processen in de bodem gewijzigd kunnen zijn. In bepaalde gevallen kunnen echter de uit deze ionen berekende mengverhoudingen wèl een aanwijzing geven over de juistheid van de aangenomen samenstelling van het zoete water en over de aard van de processen welke hebben plaats gevonden (uitwisseling, precipitatie, oplossing e.d.).

VII. GRONDWATERSTANDEN

Zoals in de inleiding van hoofdstuk VI werd medegedeeld, stelde het Archief van Grondwaterstanden T.N.O. filters en stijgbuizen ter beschikking, welke door het Landbouwproefstation werden gesteld in de boringen die verricht werden t.b.v. het onderzoek naar de Hydrologische profielen van Nederland.

Het waarnemen van de grondwaterstand in de aldus verkregen peilputten werd georganiseerd door ir. J. A. VAN 'T LEVEN, landbouwkundige bij de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting in Zeeland. Behalve de door het Landbouwproefstation tot peilputten ingerichte K-boringen, werden ook andere, daartoe geëigende peilputten in het grondwaterstandsonderzoek betrokken.

Het waterpassen van de peilputten, d.w.z. het bepalen van de hoogte van bovenkant stijgbuis t.o.v. N.A.P., werd door verschillende instanties uitgevoerd.

Overeenkomstig de bij het Archief van Grondwaterstanden gebruikelijke gang van zaken werden de waarnemingsputten tweemaal per maand gepeild, nl. op de 14e en 28e van elke maand (of op de daaropvolgende werkdag voorzover deze data op een zondag vallen). De waarnemingen werden toegezonden aan het Archief van Grondwaterstanden en hier bewerkt, d.w.z. dat het lineair-mathematische verband werd berekend tussen de fluctuaties in de grondwaterstanden in de verschillende waarnemingsputten, ten einde op grond daarvan één of meer „stamputten" en „controleputten" te kunnen aanwijzen.

Doel en betekenis van stamputten en controleputten, uitvoerig besproken in *Mededeling 1* van het Archief, kunnen als volgt kort worden samengevat.

1. THEORETISCHE GRONDSLAGEN

Uit waarnemingen blijkt, dat tussen de fluctuaties van de grondwaterstanden, waargenomen in verschillende peilputten in een bepaald gebied — „statistisch homogeen gebied" genoemd — veelal een lineair-mathematisch verband bestaat, op grond waarvan het mogelijk is de grondwaterstanden in die peilputten te berekenen uit de waarnemingen in één daarvan, „stamput" genoemd. De tijdstijghoogtelijnen in een dergelijk gebied hebben een gelijkvormig verloop. De gemiddelde niveaus zijn echter verschillend — de krommen liggen boven elkaar —, terwijl bovendien de afwijkingen van de gemiddelde grondwaterstanden voor de verschillende peilputten niet gelijk zijn. Elk der tijdstijghoogtelijnen kan echter uit één der — als norm gebruikte — lijnen worden afgeleid door zowel een verticale verschuiving als een uitrekking (of samendrukking) in verticale zin toe te passen. De geringe afwijkingen welke dan nog overblijven zullen veelal aan toevalligheden kunnen worden toegeschreven.

De grootte van de verticale verschuiving — de verschuivingswaarde — en van de uitrekking of samendrukking — de vergrotingsfactor of grondwaterstandsschommelingsmaat — van elke tijdstijghoogtelijn kunnen worden verkregen door de waarnemingen van de grondwaterstand in één der peilputten uit te zetten tegen

Dit hoofdstuk werd geschreven door ir. J. H. BELTMAN, m.i., Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Conservator Archief van Grondwaterstanden T.N.O., 's-Gravenhage.

de op dezelfde tijdstippen verrichte waarnemingen in elk der overige peilputten. De in deze „spreidingsdiagrammen" verkregen punten liggen vrijwel op een rechte lijn. De hellingshoek α, welke deze lijn maakt met de x-as, bepaalt de vergrotingsfactor, terwijl het stuk p, dat door deze lijn wordt afgesneden van de y-as, gerekend van de oorsprong af, de verschuivingswaarde voorstelt.

De rechte lijn, welke zich het best bij de punten aanpast, kan in sommige gevallen vrij nauwkeurig op het oog worden getrokken. Exacter is het uiteraard α en p te berekenen, in welk geval tevens de mate van nauwkeurigheid kan worden bepaald. Een algemeen gebruikelijke methode daarvoor is de methode der kleinste vierkanten.

Hierbij wordt de lijn, welke zich het best bij de punten aanpast, gedefinieerd als de lijn, waarvoor de som der kwadraten van de afstanden v der punten tot de lijn minimum is.

Toepassing van deze methode leidt tot de betrekking

$$\operatorname{tg} 2 = \frac{2\,[x_1\,y_1]}{[x_1^2] - [y_1^2]} \qquad (1)$$

waarin $x_1 = x - \bar{x}$ en $y_1 = y - \bar{y}$ en $\bar{x}$ en $\bar{y}$ de gemiddelde waarden van alle x- respectievelijk y-waarden voorstellen.

In de algemene vergelijking van de lijn: $y = mx + p$ (2) is $m = \operatorname{tg}\alpha$, de vergrotingsfactor, terwijl de verschuivingswaarde p wordt gevonden door voor x en y de rekenkundige gemiddelden $\bar{x}$ en $\bar{y}$ in te vullen.

Hieruit volgt, dat de verschuivingswaarde p afhankelijk is van het vergelijkingsvlak waarop de metingen worden betrokken. Immers, bij verschuivingen van de x-as over een afstand b, verandert zowel y als $\bar{y}$ met dit bedrag b; hetzelfde geldt voor een verschuiving van de y-as.

Het is dus noodzakelijk alle waarnemingen op eenzelfde vergelijkingsvlak te betrekken. Daarvoor wordt gebruikt het N.A.P. (Normaal Amsterdams Peil).

Daar $x_1 = x - \bar{x}$ en $y_1 = y - \bar{y}$, veranderen x_1 en y_1 niet bij de verschuiving van het assenkruis, zodat de richtingscoëfficiënt $m = \operatorname{tg}\alpha$, of wel de vergrotingsfactor, onveranderd blijft.

Wanneer van een peilput eenmaal de vergrotingsfactor en de verschuivingswaarde t.o.v. de stamput bekend zijn, dan behoeft deze peilput niet meer te worden waargenomen, om tòch uit de waarnemingen van de stamput de waterstanden ter plaatse te kunnen berekenen. Immers, voor elke stand x van het grondwater in de stamput kan de gelijktijdige stand y in de peilput worden berekend met behulp van formule (2).

De nauwkeurigheid waarmede de lijn wordt bepaald, d.w.z. de nauwkeurigheid waarmede de grondwaterstanden in de waarnemingsput kunnen worden berekend uit de waarnemingen in de stamput, kan worden uitgedrukt in de middelbare fout in de bovengenoemde afstanden v:

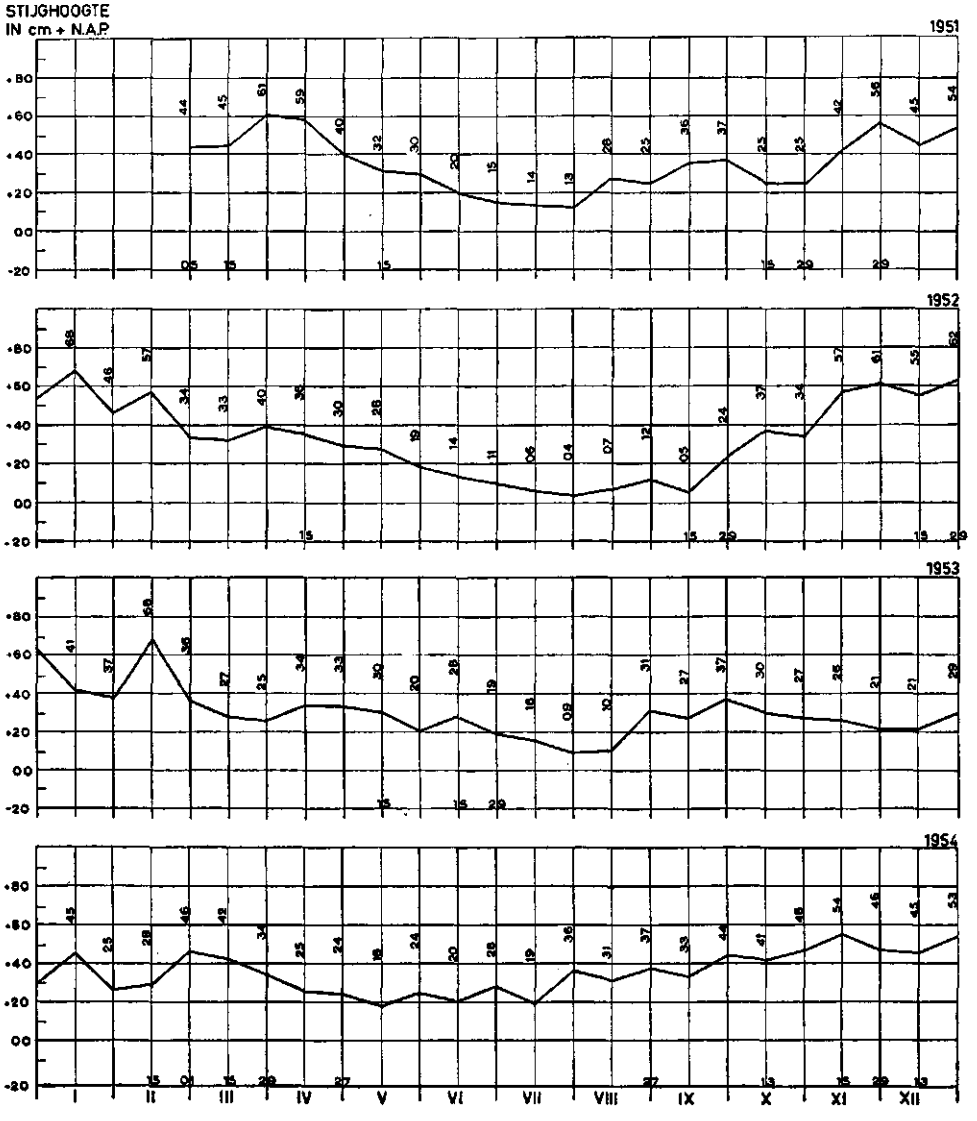
$$M_v = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-2}}$$

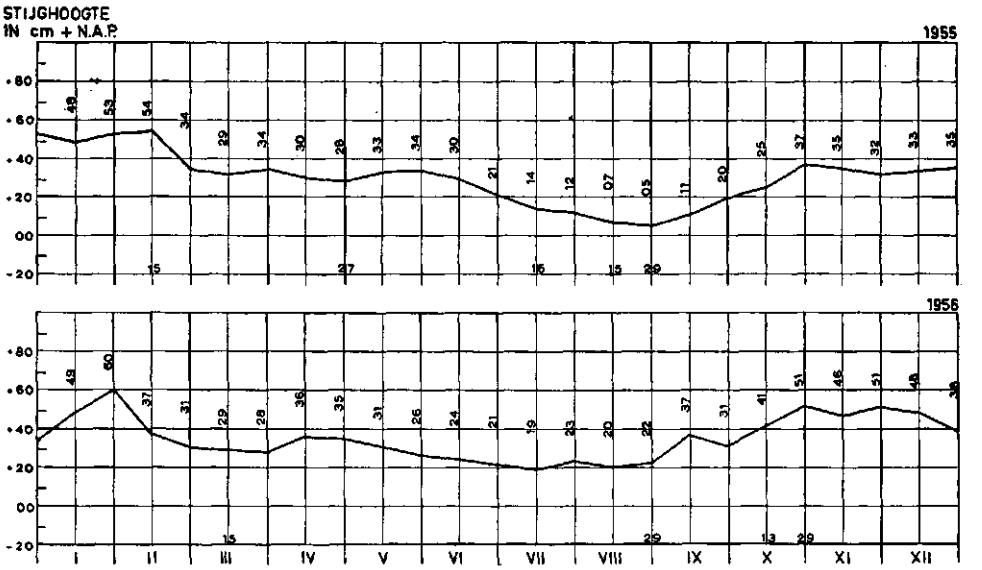
Voor een voldoende nauwkeurige berekening van m en p worden ca. 70 waar-

nemingen nodig geacht, d.w.z. dat alle peilputten minstens ca. 3 jaar moeten worden waargenomen.

Ten einde in het geval dat de stamput in het ongerede zou geraken, dan wel de grondwaterstand in de stamput zou worden beïnvloed door kunstmatige oorzaken (b.v. aanleg van een kanaal in de omgeving, wateronttrekking aan putten nabij de

FIG. 27. Tijdstijghoogtelijnen van „stamput" K 17 in 1951 t/m 1956 (gemeente Wissekerke). Maaiveldshoogte 113 cm + N.A.P. Waarnemingsdata 14 en 28 van elke maand, tenzij anders is vermeld.





stamput, wezenlijke verandering in de cultuur in de omgeving van de putten), toch de grondwaterstanden in de peilputten te kunnen blijven berekenen, worden enkele ervan als controleputten aangewezen, waarin de grondwaterstand, evenals in de stamput, blijvend wordt waargenomen. De onbruikbaar geworden stamput kan alsdan door één der controleputten worden vervangen.

Om een blijvende controle te hebben op de juistheid van de berekende tijdstijghoogtelijnen worden alle overige peilputten tweemaal per jaar waargenomen.

2. Grondwaterstandswaarnemingen

In totaal wordt in Zeeland de grondwaterstand in 104 peilputten tweemaal per maand waargenomen. In 7 van deze peilputten zijn 2 filters gesteld op verschillende diepte. Voorts wordt aan 9 peilschalen de waterstand waargenomen. De ligging van alle peilputten en peilschalen staat aangegeven op de kaart bijlage 103.

Op grond van de bovengenoemde theorie werd het verband berekend tussen de grondwaterstanden in alle peilputten en de als stamput gekozen peilput K 17 in de gemeente Wissekerke op Noord-Beveland. Voor elke peilput is dit verband aangegeven in kolom 8 van tabel 13. De middelbare fout is aangegeven in kolom 9. Deze varieert tussen 3,8 en 13,8 cm. Doordat op het tijdstip waarop dit rapport werd geschreven nog niet voor alle peilputten over een voldoende aantal waarnemingen werd beschikt, kon voor een aantal putten het verband nog niet nauwkeurig worden berekend. Wel bleek uit de reeds verrichte waarnemingen, dat ook voor de grondwaterstanden in deze putten een lineair verband bestaat met de grondwaterstand in stamput K 17. De ontbrekende formules worden t.z.t. gepubliceerd in de jaarverslagen van het Archief.

In kolom 4 van de tabel staan de peilputten aangegeven, welke als controleputten

Volgnr.	Statistisch homogeen gebied	Put			Stafkaart nr.	Gemeente waarin de putten zijn gelegen	Formule voor berekenen grondwaterstand in controleput en peilput y = m.x + p	Middelb. fout M_v in cm	Toestand van het grondwater	Bijzonderheden
		stam-	controle-	peil- (tweemaal per jaar waar te nemen)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Wisselkerke									
		K 17			42D	Wissekerke			spannings	
			K 56I		54A	Aardenburg	y = 3,07839.x — 2,67	7,0	„	
			K 56II		54A	„	y = 2,99936.x — 2,67	6,7	„	
			K 33		48B	Arnemuiden	y = 0,92952.x — 0,72	5,8	„	
			18		54F	Axel	y = 3,05719.x — 1,50	8,1	„	
			K 46		54F	„	y = 5,22704.x — 4,89	12,1	freatisch	
			K 27		48H	Baarland	y = 1,18348.x — 0,89	5,2	spannings	
			733/46		55C	België	y = 1,67943.x — 0,15	6,5	freatisch	
			K 51		54B	Biervliet	y = 2,89495.x — 2,41	6,6	„	
			719/15		55A	Clinge	y = 2,42228.x — 0,97	9,8	spannings	
			K 39		55A	Graauw en Langendam	y = 2,01834.x — 1,87	8,4	„	
			K 23		48E	Heer Arendskerke, 's-	y = 2,11772.x — 0,72	6,1	„	
			K 49		54E	Hoek	y = 1,84332.x — 0,72	6,8	freatisch	
			a		55A	Hulst	y = 3,37556.x — 1,21	8,6	niet bekend	
			K 55		54A	IJzendijke	y = 3,89757.x — 4,31	9,0	spannings	
			K 37		48A	Koudekerke	y = 1,31214.x — 1,08	6,6	„	
			K 30		49C	Kruiningen	y = 1,16412.x + 0,09	4,4	„	
			K 48I		54H	Overslag	y = 2,33055.x — 1,30	5,4	freatisch	
			K 48II		54H	„	y = 2,35025.x — 1,46	6,3	„	
			K 32		49D	Rilland-Bath	y = 0,61939.x + 0,75	13,8	spannings	
			K 42		54F	Sint Jansteen	y = 2,53536.x — 1,48	10,7	freatisch	
			K 68		43C	Sint Philipsland	y = 0,54384.x + 0,31	12,6	spannings	
			K 57		53F	Sluis	y = 3,94464.x — 3,81	9,0	„	
			K 66I		49A	Stavenisse	y = 0,57187.x — 0,09	5,4	„	
			K 66II		49A	„	y = 0,56538.x — 0,13	5,1	„	
			K 64I		49B	Tholen	y = 0,85230.x + 0,44	3,8	„	
			K 64II		49B	„	y = 0,87984.x + 0,27	5,5	„	
			K 43		54F	Vogelwaarde	y = 2,90691.x — 1,95	9,2	„	
			598/8		42H	Zierikzee	y = 1,15816.x + 0,94	10,1	„	

Volgnr.	Statistisch homogeen gebied	Put			Stafkaart nr.	Gemeente waarin de putten zijn gelegen	Formule voor berekenen grondwaterstand in controleput en peilput y = m.x + p	Middelb. fout M_v in cm	Toestand van het grondwater	Bijzonderheden
		stam-	controle-	peil- (tweemaal per jaar waar te nemen)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Wissekerke *(vervolg)*		K 58		53F	Zuidzande	y = 3,00553.x — 2,11	9,4	spannings	
				K 47	54E	Axel	y = 2,33255.x — 1,80	4,6	freatisch	
				19	54F	„	y = 2,59631.x — 0,98	8,9	spannings	
				733/39	55A	België	y = 1,90456.x — 0,66	6,8	freatisch	
				733/47	55A	„	y = 2,17916.x — 1,08	9,7	„	
				733/24	55C	„	y = 2,11528.x + 2,38	8,5	„	
				733/25	55C	„	y = 2,89695.x + 1,87	10,1	„	
				733/26	55C	„	y = 1,78846.x + 2,42	8,7	„	
				733/30	55C	„	y = 2,11822.x + 0,26	10,3	„	
				733/31	55C	„	y = 1,98864.x + 0,96	9,1	„	
				733/40	55C	„	y = 2,06992.x + 1,64	8,1	„	
				733/41	55C	„	y = 1,83279.x — 0,15	7,4	„	
				733/45	55C	„	y = 1,94820.x — 0,54	7,6	„	
				K 52	54B	Biervliet	y = 2,81268.x — 2,07	5,0	spannings	
				K 24	48G	Borssele	y = 1,29375.x — 0,42	4,2	„	
				K 59	47H	Cadzand	y = 1,41228.x — 0,34	7,2	„	
				719/9	55A	Clinge	y = 2,09124.x — 1,10	8,4	freatisch	
				719/16	55A	„	y = 2,13002.x — 1,21	8,7	„	
				K 40	55A	„	y = 1,71446.x + 0,03	7,4	spannings	
				733/101	55A	„	y = 2,37557.x — 0,59	8,6	freatisch	
				K 36	48A	Grijpskerke c.a.	y = 1,61759.x — 0,16	9,2	spannings	
				K 63	48C	Groede	y = 1,87887.x — 0,37	7,6	„	
				K 22	48E	Heer Arendskerke, 's-	y = 2,23875.x — 1,17	7,7	„	
				K 38I	48H	Hontenisse	y = 1,76522.x — 0,59	4,8	„	
				K 38II	48H	„	y = 1,11356.x — 0,24	7,3	„	
				K 62	54B	IJzendijke	y = 2,65584.x — 1,44	6,7	„	
				K 28I	48F	Kapelle	y = 2,17049.x — 1,38	5,5	spannings	
				K 28II	48F	„	y = 2,21027.x — 1,03	6,8	„	
				K 19	42G	Kortgene	y = 1,38834.x — 0,39	6,8	„	
				K 31	49C	Krabbendijke	y = 0,91178.x + 0,26	10,8	„	
				K 60	54A	Oostburg	y = 3,03013.x — 1,98	10,1	„	

Volgnr.	Statistisch homogeen gebied	Put			Stafkaart nr.	Gemeente waarin de putten zijn gelegen	Formule voor berekenen grondwaterstand in controleput en peilput y = m.x + p	Middelb. fout M_v in cm	Toestand van het grondwater	Bijzonderheden
		stam-	controle-	peil- (tweemaal per jaar waar te nemen)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Wissekerke *(vervolg)*			K 65	49A	Poortvliet	y = 0,71203.x + 0,24	5,1	„	
				K 61	54A	Schoondijke	y = 3,15776.x — 2,30	9,1	„	
				K 35	42C	Serooskerke	y = 1,22887.x — 0,31	6,4	„	
				K 67	43C	Sint Annaland	y = 0,50516.x — 0,40	6,6	„	
				K 34	48B	Sint Laurens	y = 1,25303.x — 0,59	4,2	„	vervallen
				K 44I	54F	Vogelwaarde	y = 2,01780.x + 0,38	9,9	„	
				K 44II	54F	„	y = 2,46603.x — 0,18	9,8	„	
				K 21	48E	Wolphaartsdijk	y = 0,44464.x + 1,06	5,9	„	
				K 26	48E	„	y = 2,00838.x — 1,25	9,3	„	
				K 29	48F	Yerseke	y = 0,58564.x + 0,75	7,3	„	
				K 45	54E	Zaamslag	y = 3,23015.x — 1,74	8,3	„	
				a	53F	Aardenburg				wordt niet opgenomen
				a	54A	„	y = 3,35699.x — 2,85	7,5	spannings	
				w-d	48A	Biggekerke	y = 2,13289.x — 0,55	4,8	niet bekend	
				577/6I	42E	Burgh	y = 0,99360.x + 0,47	6,9	freatisch	
				577/6II	42E	„	y = 1,00172.x + 4,07	4,4	spannings	
				577/6III	42E	„	y = 0,98397.x + 4,08	4,4	„	
				peilsch.	48A	Domburg	y = 0,41653.x + 0,64	3,9	freatisch	
				peilsch.	48A	Grijpskerke c.a.	y = 3,86536.x — 3,52	11,8	„	
				576/3	42B	Haamstede	in bewerking			
				576/4I	42B	„	y = 2,59278.x + 0,17	9,4	freatisch	
				576/4II	42B	„	y = 1,33133.x + 4,36	6,6	„	
				576/7I	42B	„	y = 1,87201.x + 0,52	10,2	„	
				576/7II	42B	„	y = 3,67308.x — 0,68	12,2	spannings	
				576/7III	42B	„	y = 2,97777.x + 0,20	11,8	„	
				576/7IV	42B	„	y = 3,41850.x — 0,73	11,2	„	
				576/7V	42B	„	y = 2,83932.x + 0,12	11,2	„	
				576/8	42D	„	in bewerking			
				576/9I	42D	„	y = 0,67596.x + 6,43	5,4	freatisch	
				567/9II	42D	„	y = 0,84121.x + 6,48	5,6	spannings	
				576/9III	42D	„	y = 1,00589.x + 5,87	8,3	„	

Volgnr.	Statistisch homogeen gebied	Put			Stafkaart nr.	Gemeente waarin de putten zijn gelegen	Formule voor berekenen grondwaterstand in controleput en peilput $y = m.x + p$	Middelb. fout M_v in cm	Toestand van het grondwater	Bijzonderheden
		stam-	controle-	peil- (tweemaal per jaar waar te nemen)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Wissekerke *(vervolg)*			576/9IV	42D	Haamstede	y = 0,94090.x + 6,03	8,6	spannings	
				576/9V	42D	„	y = 1,39259.x + 5,48	9,9	„	
				576/9VI	42D	„	y = 1,58139.x + 6,39	10,5	„	
				576/10I	42D	„	y = 2,51346.x — 1,18	10,9	„	
				576/10II	42D	„	y = 0,82826.x + 5,52	3,8	„	
				576/11	42D	„	in bewerking			
				577/5I	42E	„	y = 1,95486.x — 0,50	9,5	freatisch	
				577/5II	42E	„	y = 1,28789.x + 5,08	5,1	spannings	
				577/5III	42E	„	y = 1,33039.x + 4,99	8,7	„	
				577/18	42E	„	in bewerking			
				577/19	42E	„	„ „			
				577/20	42E	„	„ „			
				peilsch.	48F	Heer Abtskerke, 's-	y = 2,05539.x — 2,50	9,4	freatisch	
				peilsch. I	48E	Heer Arendskerke, 's-	y = 1,78112.x — 1,65	4,2	„	
				peilsch. II	48E	idem	y = 1,67200.x — 1,64	6,3	„	
				peilsch. III	48E	idem	y = 1,73082.x — 1,85	7,3	„	
				699/15	54B	Hoek	in bewerking			
				716/20	54B	„	„ „			
				700/22	54E	„	„ „			
				700/23	54E	„	„ „			
				700/24	54E	„	„ „			
				w-a	48D	Hoofdplaat	y = 1,72385.x — 0,95	3,9	niet bekend	
				w-a	48F	Kapelle	y = 1,95340.x — 1,28	6,0	„ „	
				w-e	48A	Meliskerke	y = 2,70412.x — 1,86	7,1	„ „	
				636/26	48B	Middelburg	y = 0,72892.x + 2,70	4,1	spannings	
				636/28	48B	„	y = 0,69539.x + 1,96	4,2	„	
				peilsch. I	42C	Oostkapelle	y = 2,16881.x + 1,40	8,0	freatisch	

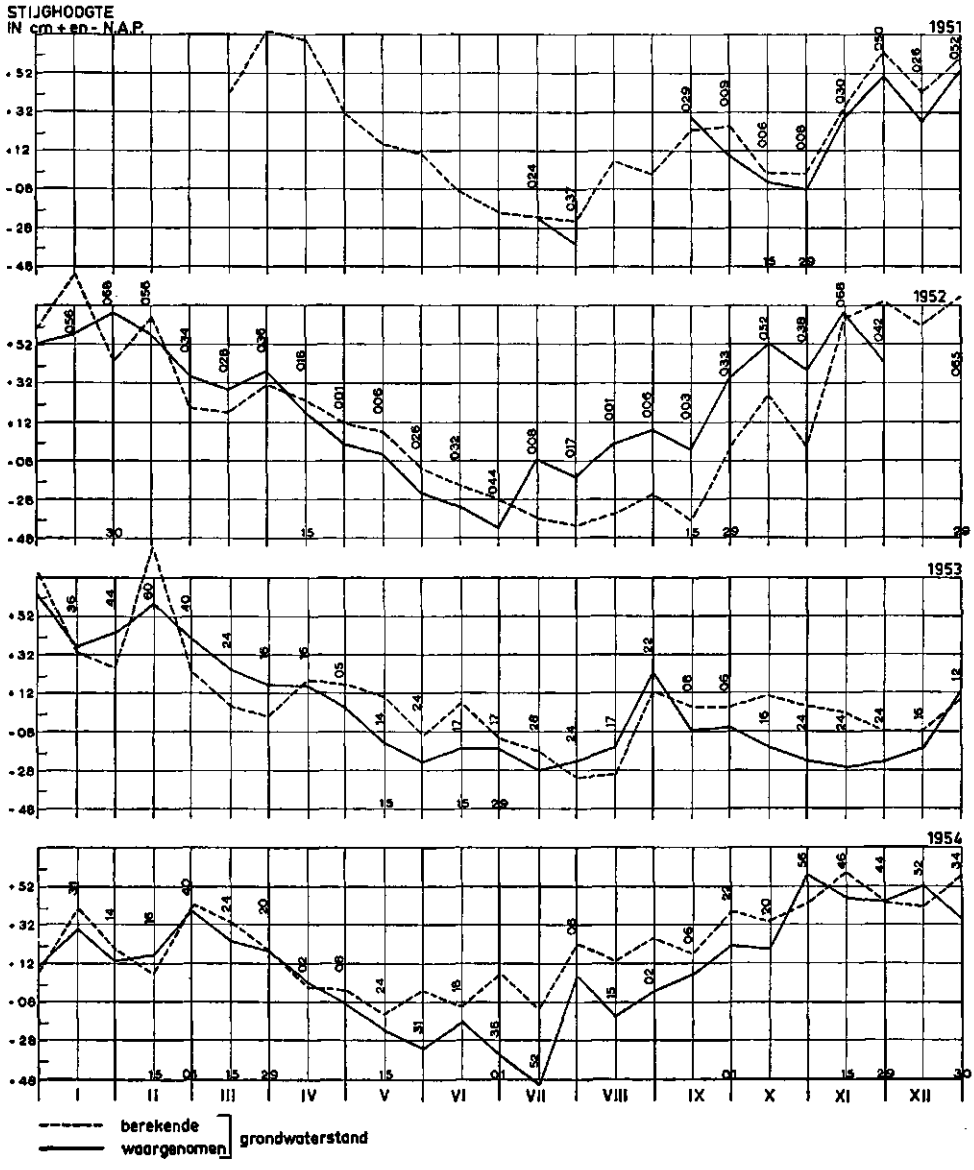
Volgnr.	Statistisch homogeen gebied	Put			Staf-kaart nr.	Gemeente waarin de putten zijn gelegen	Formule voor berekenen grond-waterstand in controleput en peilput $y = m.x + p$	Mid-delb. fout M_v in cm	Toestand van het grondwater	Bijzonderheden
		stam-	con-trole-	peil- (twee-maal per jaar waar te nemen)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Wissekerke *(vervolg)*			peilsch. II	48A	Oostkapelle				wordt niet op-genomen
				w-c	49B	Oud-Vossemeer	y = 0,64726.x — 0,36	5,9	niet bekend	
				w-d	49B	,,	y = 1,43253.x — 1,29	6,9	,, ,,	
				716/21	54B	Philippine	in bewerking			
				716/22	54B	,,	,, ,,			
				558/3	42E	Renesse	,, ,,			
				peilsch.	48B	Serooskerke	y = 1,47685.x + 2,06	5,7	freatisch	
				w-b	54A	Waterlandkerkje	y = 3,28684.x — 2,07	10,7	niet bekend	
				w-b	48F	Wemeldinge	in bewerking			
				a	47F	Westkapelle	y = 6,80475.x — 6,46	8,3	spannings	
				b	47F	,,	y = 0,88429.x + 0,52	4,5	,,	
				w-a	48A	,,	y = 0,79158.x — 0,26	4,3	niet bekend	
				w-f	42F	Zonnemaire	in bewerking			
				w-g	42F	,,	,, ,,			
				w-h	42F	,,	,, ,,			
				w-b	48A	Zoutelande	y = 1,24022.x + 0,21	7,2	niet bekend	
				w-c	48A	,,	y = 0,77217.x + 0,42	5,8	,, ,,	

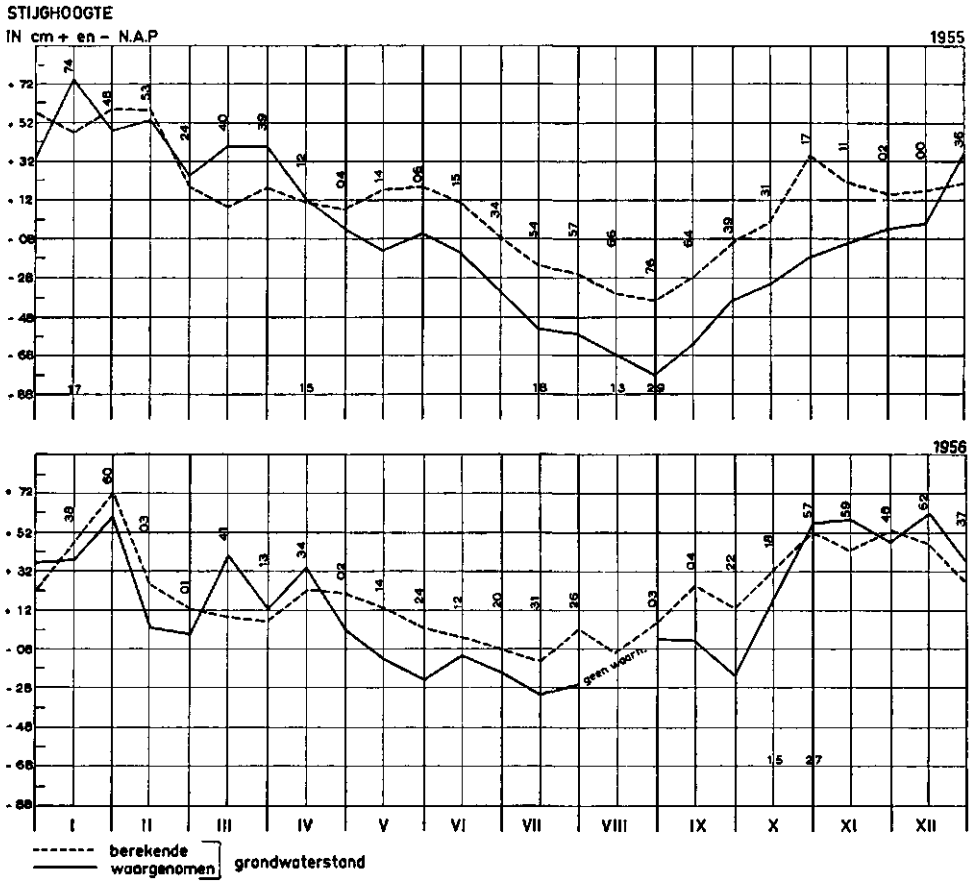
TABEL 13. Verband tussen de grondwaterstanden in alle peilputten en de stamput K 17 in de gemeente Wissekerke

werden aangewezen. In kolom 5 staan de overige peilputten vermeld, welke t.z.t. nog slechts tweemaal per jaar zullen worden waargenomen. Momenteel worden ook deze nog tweemaal per maand waargenomen.

In kolom 10 staat aangegeven of het grondwater spanningswater of freatisch water is.

FIG. 28. Tijdstijghoogtelijnen van „controleput" K 39 in 1951 t/m 1956 (gemeente Graauw en Langendam). Maaiveldshoogte + 15 cm N.A.P. Waarnemingsdata 14 en 28 van elke maand, tenzij anders is vermeld.





In figuur 27 is de tijdstijghoogtelijn van de stamput K 17 in tekening gebracht. Voorzover de waarnemingen niet op de 14e en 28e werden verricht, staan de waarnemingsdata vermeld.

In figuur 28 is de tijdstijghoogtelijn van controleput K 39, gelegen in de gemeente Graauw en Langendam in Oost-Zeeuws-Vlaanderen, in tekening gebracht, evenals de tijdstijghoogtelijn zoals deze werd berekend op grond van de waarnemingen in de stamput K 17.

Op de kaart, bijlage 103, staat voor alle peilputten de hoogste, laagste en gemiddelde grondwaterstand t.o.v. maaiveld aangegeven. Deze werden voor elke peilput berekend uit alle verrichte waarnemingen. De stand t.o.v. maaiveld werd gekozen, omdat deze voor praktische gevallen het meest gebruikt zal worden. Omrekening t.o.v. N.A.P. is echter mogelijk, doordat de hoogte van maaiveld t.o.v. N.A.P. bij elke peilput op de kaart staat aangegeven.

De verstrekte gegevens in zake grondwaterstanden maken het desgewenst mogelijk

isohypsenkaarten van het grondwater te vervaardigen, b.v. de hoogste, laagste en gemiddelde stand, of ook van de stand op een bepaalde datum sedert 5 maart 1951 (eerste waarneming in stamput K 17). In het laatste geval dient de grondwaterstand in de peilputten op de gewenste datum te worden berekend uit de grondwaterstand in de stamput op die datum, met behulp van de in tabel 13 aangegeven formules.

Bij het vervaardigen van dergelijke kaarten zal onderscheid moeten worden gemaakt tussen freatisch- en spanningswater (zie kolom 10, tabel 13).

Uit berekeningen blijkt, dat een lineair-mathematisch verband bestaat niet alleen tussen de grondwaterstanden in de stamput K 17 en de in tabel 13 genoemde peilputten, doch ook tussen de grondwaterstanden in K 17 en in peilputten in West-Noord-Brabant. Hoever het statistisch homogene gebied van stamput K 17 zich buiten Zeeland uitstrekt is nog niet bekend; de desbetreffende berekeningen zijn nog niet gereed. De resultaten worden t.z.t. gepubliceerd in de jaarverslagen van het Archief.

VIII. DE ONTWIKKELING EN HET VOORKOMEN VAN ZOETWATERLAGEN

Eén van de problemen waarvoor de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting zich in 1950 gesteld zag, was het onderzoek naar het zoutgehalte van het polderwater. Enerzijds was het zoutgehalte van belang in verband met de vraag of er in Zeeland sprake was van een steeds verdergaande verzilting, zoals enige decennia geleden in het Westland werd geconstateerd (RIEMENS, 1951), anderzijds was het noodzakelijk over gegevens te kunnen beschikken omtrent de bruikbaarheid van het beschikbare polderwater voor de land- en tuinbouw.

De conclusies, die uit dit onderzoek getrokken konden worden, zijn als volgt samen te vatten:

1. Van een steeds verdergaande verzilting van het polderwater is in het algemeen geen sprake. Veeleer moet gedacht worden aan een evenwichtstoestand, die slechts door belangrijke ingrepen (ontwatering, aanslibbing) kan worden verstoord.
2. Het zoutgehalte van het in de zomer nog aanwezige water is te hoog voor gebruik bij beregening van gewassen en ziektebestrijding in de tuinbouw.
3. Plaatselijk kan het polderwater als infiltratiewater nog wel bruikbaar zijn (VAN DEN BERG, 1952).
4. Als drinkwater voor het vee is het zoutgehalte van het polderwater in de weidegebieden te hoog.

Uit deze conclusies blijkt, dat de mogelijkheden om polderwater in de land- en tuinbouw te gebruiken slechts zeer beperkt zijn.

De resultaten zullen worden opgenomen in het binnenkort verschijnende rapport van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (C.O.L.N.).

De behoefte aan zoet water in Zeeland is echter om verschillende redenen plaatselijk vrij groot.

In de eerste plaats bestaat er op sommige gronden een meer of minder ernstig vochttekort in het doorwortelde deel van het bodemprofiel in droge perioden gedurende het groeiseizoen. Het betreft hier voornamelijk zandgronden en zavelgronden, waarvan het slibdek, rustend op grof zand, niet dikker is dan ca. 70 cm (VELDMAN, 1948). De hoeveelheid in deze gronden opgeslagen vocht is onvoldoende om in droge perioden het tekort, door verdamping ontstaan, aan te vullen. De groei van de plant ondervindt hierdoor een terugslag en in ernstige gevallen sterven plantendelen af, zodat een opbrengstdepressie hiervan het gevolg is. In de landbouw heeft men ten gevolge van droogte voornamelijk te maken met opbrengstdepressies; in de tuinbouw ontstaat, behalve een lagere opbrengst, bovendien een achteruitgang in de kwaliteit van de oogst.

In de tweede plaats kan een tijdelijke extra aanvoer van water bij ondiep wortelende gewassen, zoals vroege aardappelen, aardbeien, frambozen, bessen, in het laatste

Dit hoofdstuk werd geschreven door ir. J. A. VAN 'T LEVEN, landbouwkundige aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen en werkzaam bij de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting in Zeeland.

ontwikkelingsstadium vóór de oogst aanleiding geven tot een aanmerkelijke apbrengststijging, ook op de diep ontwaterde, vochthoudende zavel- en kleigronden.

Ten slotte kan de waterbehoefte genoemd worden, die in de land- en tuinbouw ontstaat als gevolg van het streven naar meer dan één teelt per jaar. Na de oogst van het eerste gewas is de grond geheel of gedeeltelijk uitgedroogd, zodat water dient te worden aangevoerd om het vochttekort op te heffen.

Ten einde aan de vraag naar zoet water te kunnen voldoen moest, gezien de ongeschiktheid van het polderwater, naar andere mogelijkheden van watervoorziening worden gezocht.

Naast het gebruik van het zoete open water dat op sommige plaatsen voorkomt, kan wateronttrekking aan plaatselijk aanwezige zoetwaterlagen overwogen worden.

De hoeveelheden open water zijn, althans binnendijks, in Zeeland gering. Plaatselijk komen echter in de voormalige kreken hoeveelheden van grotere omvang voor, die gebruik op beperkte schaal mogelijk maken.

Voor de beregening van verdrogende grond is gemiddeld per ha ca. 200 mm water nodig. Per hectare betekent dit een hoeveelheid van 2 000 m^3. Voor beregening van een droogtegevoelige grond ligt het gemiddelde op ca. 100 mm. Voor infiltratie is per groeiseizoen een hoeveelheid vereist van meer dan 2 000 m^3 per ha. Een wateroppervlak van 1, 10, 25 50 en 100 ha kan bij onttrekking van een waterschijf ter dikte van 1m een oppervlakte van respectievelijk 5, 50, 125, 250, en 500 ha verdrogend land van water voorzien.

Het merendeel der Zeeuwse kreken heeft een oppervlak van 10 tot 25 ha. De toepassingsmogelijkheden voor de landbouw zijn dus beperkt uit hoofde van de inhoud der kreken. Bovendien zijn de voornaamste kreken te zout (Othene, Schenge, Braakman, Sloe) en liggen de kreken soms te ver van het object verwijderd voor een economisch verantwoord watergebruik.

Uit de praktijk is bekend, dat bij onttrekking van enigszins belangrijke hoeveelheden grondwater (ca. 10 m^3/uur gedurende enige dagen tot weken) het Cl′-gehalte van het water toeneemt. In vele gevallen wordt de grens van bruikbaarheid overschreden, waardoor schade aan de gewassen optreedt (bladverbranding).

De bruikbaarheid van water wordt gesteld binnen de volgende grenzen:

1. minder dan 300 mg Cl′/l water, bruikbaar voor alle doeleinden
2. „ „ 1 000 mg Cl′/l water, bruikbaar voor tuinbouw in de volle grond.
3. „ „ 2 500 mg Cl′/l water, bruikbaar als drinkwater voor vee.
4. meer „ 2 500 mg Cl′/l water, onbruikbaar in land- en tuinbouw.

Uit proefnemingen in de jaren 1951-1956 (BUTIJN en VAN 'T LEVEN, 1956) is echter gebleken, dat onttrekking van zoet water aan dunne zoetwaterpakketten zonder overschrijding van de gevarengrens wel mogelijk is, mits men kleine hoeveelheden per uur en een beperkte totaalhoeveelheid per groeiseizoen onttrekt. Naar alle waarschijnlijkheid zijn de plaats van het filter op grote afstand van de zoet-zoutgrens en de beperkte totaalhoeveelheid (2 000-3 000 m^3) per groeiseizoen belangrijker dan een geringe capaciteit per uur. Indien de nodige voorzorgen worden genomen, heeft de wateronttrekking aan dunne zoetwaterlagen ongetwijfeld perspectieven.

In dit licht bezien is het van belang een beter inzicht te verkrijgen in het voorkomen van zoet water in de Zeeuwse bodem. Om financiële redenen was het de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting niet mogelijk een systematisch onderzoek in te stellen naar de verbreiding en dikte van de zoetwaterlagen. Niettemin werd in een belangrijk deel van Zeeland in de jaren 1950-1955 een groot aantal gegevens

over het zoete water verzameld. Deze gegevens zijn eensdeels afkomstig van boringen, waarbij chemische analyse van grond- en watermonsters heeft plaats gehad, anderdeels van boringen met alleen het veen als indicator.

De volgende categorieën grondboringen zijn in dit onderzoek verwerkt:

1. De boringen van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen in het kader van het onderzoek naar de hydrologische profielen van Nederland. Behalve de gegevens over de chemische samenstelling van de watermonsters, verstrekt door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, zijn nog gegevens verkregen uit de grondmonsters, verzameld ten tijde dat de boringen werden verricht en uit proefmetingen ter bepaling van het Cl'-gehalte in de boorbuis door de Landbouw-fysisch-technische Dienst te Wageningen. In totaal werden 46 boringen op deze wijze onderzocht.
2. Boringen van de Wetenschappelijke Afdeling van de Herverkaveling Walcheren. Voor het drainage-onderzoek zijn vele boringen verricht tot maximaal 2 m — m.v. Het veen gold hier als indicator. Deze boringen zijn verspreid over de eilanden Walcheren, Schouwen-Duiveland, Tholen en gedeelten van Zuid-Beveland.
3. Boringen van de Afdeling Onderzoek van de Cultuurtechnische Dienst. De diepte van deze boringen bedraagt 2,5 à 3 m — m.v. Deze boringen werden eveneens voor het drainage-onderzoek verricht.
4. Boorgegevens uit de publikatie van dr. A. W. VLAM (1942).
5. Boorgegevens uit het rapport van de Geologische Dienst over de geologische opbouw van Noord-Beveland en een deel van Zuid-Beveland t.b.v. het landbouwkundig onderzoek in verband met het Drie-eilandenplan.
6. Boorgegevens verzameld bij het plaatsen van grondwaterstandsbuizen voor het onderzoek van de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting en de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O. Het betreft hier ca. 1 000 boringen. In een gedeelte van deze boringen heeft controle plaats gevonden door middel van analyse van watermonsters uit de grondwaterstandsbuizen.
7. Boringen verricht door de technische dienst van de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting op verzoek van belanghebbenden. Deze boringen bereikten een diepte van maximaal 11 m — m.v. Watermonsters uit deze boringen werden op hun chemische samenstelling onderzocht.
8. Ten slotte zijn geraadpleegd de diverse bodemkaarten van de Stichting voor Bodemkartering te Bennekom.

Indien veen in het bodemprofiel voorkomt wordt aangenomen, dat de grens zoet-zout zich hierboven bevindt. Uit de praktijk (moernering t.b.v. de zoutwinning) en uit analyses is bekend, dat het veen in Zeeland in het algemeen zout is. Uitzonderingen vormen de veenlagen, die zich onder de duingebieden bevinden en aan de randen onder de oude kreekruggen (BENNEMA en VAN DER MEER, 1952). Behalve het veen kunnen ook zware kleilagen een belemmering vormen voor de ontwikkeling van een zoetwaterzak.

1. ONTSTAAN EN ONTWIKKELING VAN ZOETWATERLAGEN (freatisch water)

a. De situatie vóór de indijking van een schor

Vóór de indijking van een polder hebben we te maken met schorren en slikken. Deze buitendijkse gronden worden regelmatig overstroomd. In het gunstigste geval worden de hoog opgeslibde schorren alleen overstroomd bij hoge waterstanden in de zeearmen. Het is gemakkelijk te begrijpen, dat het bodemwater buitendijks een hoog chloridegehalte heeft. In dikwijls overstroomde schorren zal het zoutgehalte hoger zijn dan in schorren, die slechts nu en dan overstroomd worden en waarin

de neerslag een belangrijk verzoetende invloed heeft. Tot vorming van een zoetwaterlaag komt het echter door de periodieke overstromingen nooit.

b. De situatie nà de indijking

Na de indijking blijven overstromingen met zout water achterwege. De neerslag kan nu zijn bodemontziltende taak beginnen, mede door de ontwatering en de ontginning de gronden. Ieder jaar heeft ons land een zeker neerslagoverschot, dat via de bodem en de ontwateringskanalen moet worden afgevoerd.

Heden ten dage treffen we zoetwaterlagen aan, die in dikte variëren van minder dan 1 m in de lage, slecht ontwaterde gebieden, tot 20 m onder de kreekruggen en tot 100 m onder de duinen.

c. De ontwikkeling van het zoetwaterpakket

De ontwikkeling van een zoetwaterlaag is van vele factoren afhankelijk, waaronder factoren van bodemkundige, geologische en waterstaatkundige aard.

De bouw en samenstelling van het bodemprofiel tot een diepte van enige tientallen meters is voor het ontstaan van een zoetwaterzak van groot belang. In feite is het niet zo zeer het materiaal zelf waaruit het profiel is opgebouwd, als wel de doorlatendheid ervan voor water, die bepaalt of een bodemlaag al of niet is ingeschakeld bij de vorming van een zoetwaterlaag (verondersteld, dat uit hoofde van bestaande drukverschillen de betreffende laag in het stroombeeld is betrokken).

Een slecht doorlatende klei- of veenlaag vormt veelal een belemmering voor de verdieping van het zoetwaterpakket.

Deze stelling is het belangrijkste uitgangspunt voor de vervaardiging van de zoetwaterdieptekaart (bijlage 104), waarop de verbreiding en verwachte diepte van de zoetwaterlagen staat aangegeven.

Naast de geologische opbouw van het gebied is de topografie van groot belang. Grote hoogteverschillen op korte afstand, zoals die voorkomen in de zg. Oudlandpolders (BENNEMA en VAN DER MEER, 1952) zijn mede bepalend voor de vorming van tot grote diepte ontwikkelde zoetwaterzakken. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in het doorgaans grote potentiaalverschil tussen grondwaterstand en polderwaterstand.

Bij goede doorlatendheid van het bodemmateriaal en groot potentiaalverschil tussen het grondwater en het polderwater is de zoetwaterlaag dikker dan bij een klein potentiaalverschil.

Behalve de topografie heeft ook de ontwatering zelve zijn invloed op de verdieping van de zoetwaterlaag. Het feit of een polder al of niet diep ontwaterd is, heeft invloed op het potentiaalverschil en dus ook op de grondwaterstroming (zie fig. 29).

Ook factoren van buiten de polder moeten in deze beschouwing worden betrokken. De ligging van de polder t.o.v. het buitenwater, van een verder landinwaarts gelegen polder en van de schorren voor de dijk bepaalt mede of er een redelijke kans bestaat, dat een zoetwaterzak zich ter plaatse zal ontwikkelen.

Het is hier een kwestie van kwel of inzijging. In het eerste geval wordt dus regelmatig uit het schor of door het buitenwater of uit een naastliggende polder zout-

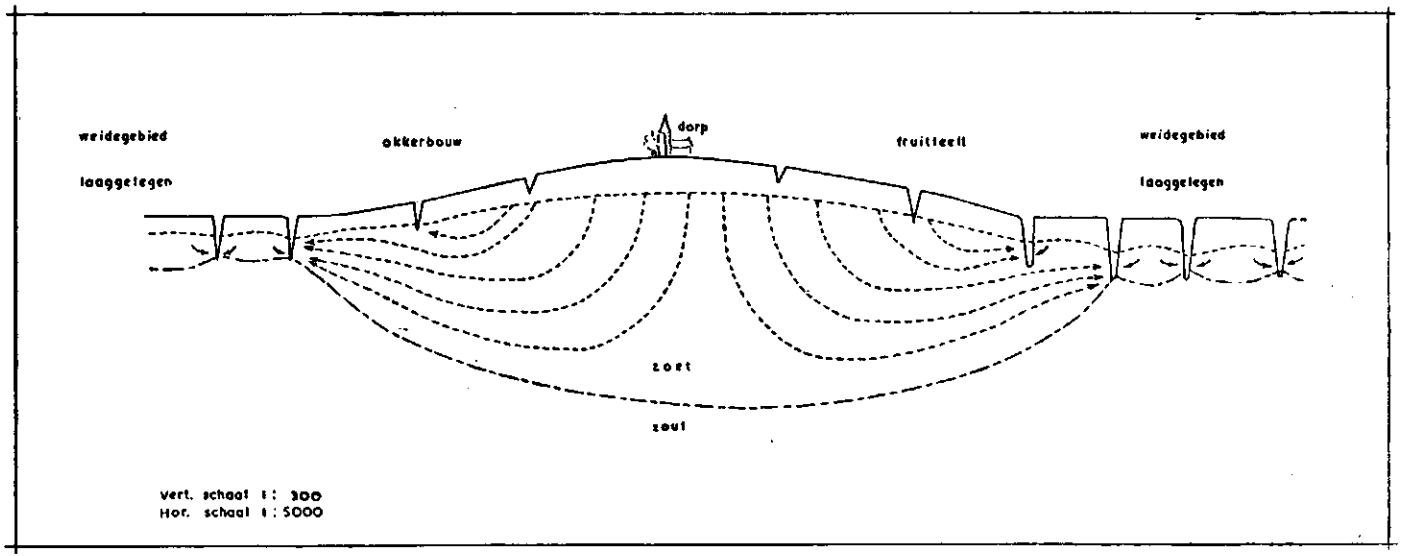


FIG. 29. Schema van de ontwikkeling van een zoetwaterzak in geaccidenteerd poldergebied. In de loop der jaren wordt het zoute bodemwater verdrongen door regenwater, dat via de ondergrond wordt afgevoerd naar lager gelegen gebieden. Het gevolg hiervan is het ontstaan van een zoetwaterzak, die in bepaalde gevallen kan worden dienstbaar gemaakt aan land- en tuinbouw.

water via de ondergrond getransporteerd. De ontwatering van de gronden wordt hierdoor ernstig gestoord en verloopt via de eerste meters van het bodemprofiel, waardoor de ontwikkeling van een zoetwaterzak wordt belemmerd. In het tegenovergestelde geval van inzijging, bij een buiten de beschouwde polder bestaand lager peil of lagere grondwaterstand, heeft voortdurend een grondwaterstroming uit de polder plaats. De ontwikkeling van de zoetwaterzak wordt hierdoor in de hand gewerkt.

Bevengenoemde factoren tezamen zijn bepalend voor de vorming van zoetwaterpakketten of houden de mogelijkheden in, die tot de ontwikkeling ervan kunnen leiden.

In de praktijk treffen we in het algemeen het volgende aan:

1. Onder de duinen en de duinzandgronden, die gemiddeld hoger liggen dan 4 m boven N.A.P., zijn de zoetwaterpakketten ontwikkeld tot een dikte van enige tientallen meters (maximaal tot 100 m).

2. In de oudlandpolders, waar we hooggelegen kreekruggronden (1 m boven N.A.P.) en poelgronden (1 m onder N.A.P.) naast elkaar aantreffen, zijn de zoetwaterzakken in de kreekruggen goed ontwikkeld (tot ca. 20 m dik); in de poelgronden zijn zij slecht ontwikkeld ($\frac{1}{2}$ à $1\frac{1}{2}$ m dik). Dit is zowel een gevolg van de opbolling van de grondwaterspiegel in de kreekruggen als van de profielbouw (polders Walcheren, Poortvliet, Scherpenisse, Schouwen, Breede Watering Bewesten Yerseke etc.)

3. In de zg. nieuwlandpolders, die vaak een veel vlakkere ligging hebben, hangt ontwikkeling van de zoetwaterzak behalve van de profielopbouw in hoge mate af van de ontwateringsdiepte van de polder.

4. Langs de zeedijken hangt de ontwikkeling van de zoetwaterzak af van het hoogteverschil tussen buitenwaterstand en binnenwaterstand (in het geval van schorren voor de dijk dient men te lezen: schorgrondwaterstand).

De geschiedenis van de polders rond de polder Braakman is interessant ter illustratie van de betekenis van kwel voor de landbouw.

Uit een oogpunt van vochthoudendheid der gronden zijn de polders rond de Braakman deels van slechte kwaliteit (Koninginnepolder), deels van goede kwaliteit (Angelinapolder). Vóór de aanslibbing van de Braakman had men in de Koninginnepolder te kampen met lage opbrengsten t.g.v. verdroging. Later, tijdens de opslibbing, werd de toestand beter door de verhoging van de grondwaterstand in het schor, die een grondwaterstandsverhoging in de Koninginnepolder tot gevolg had. Deze grondwaterstandsverhoging had ook plaats in de Angelinapolder en gaf daar aanleiding tot verzilting, waardoor de opbrengsten jaarlijks schade ondervonden.

In het licht van dit hoofdstuk gezien, betekent de aanslibbing een inkrimping van de zoetwaterzak. Na de indijking van de Braakman doet zich weer het omgekeerde verschijnsel voor ten gevolge van de diepe ontwatering van de voormalige schorren. De verzilting in de Angelinapolder loopt ten einde; de verdroging in de Koninginnepolder treedt weer jaarlijks op. In de polders rond de Braakmanpolder vormt zich wederom een zoetwaterzak.

De grens tussen zoet en zout bodemwater is in vele gevallen zeer scherp. Tijdens boringen is dikwijls geconstateerd, dat de overgang van zoet naar zout zich binnen 1 meter voltrekt. Na een aantal jaren treedt een evenwichtstoestand in. De zoetwaterzak heeft haar maximale diepte bereikt. Deze diepte behoort bij het heersende potentiaalverschil en is mede bepaald door het verschil in soortelijk gewicht tussen zoet en zout water.

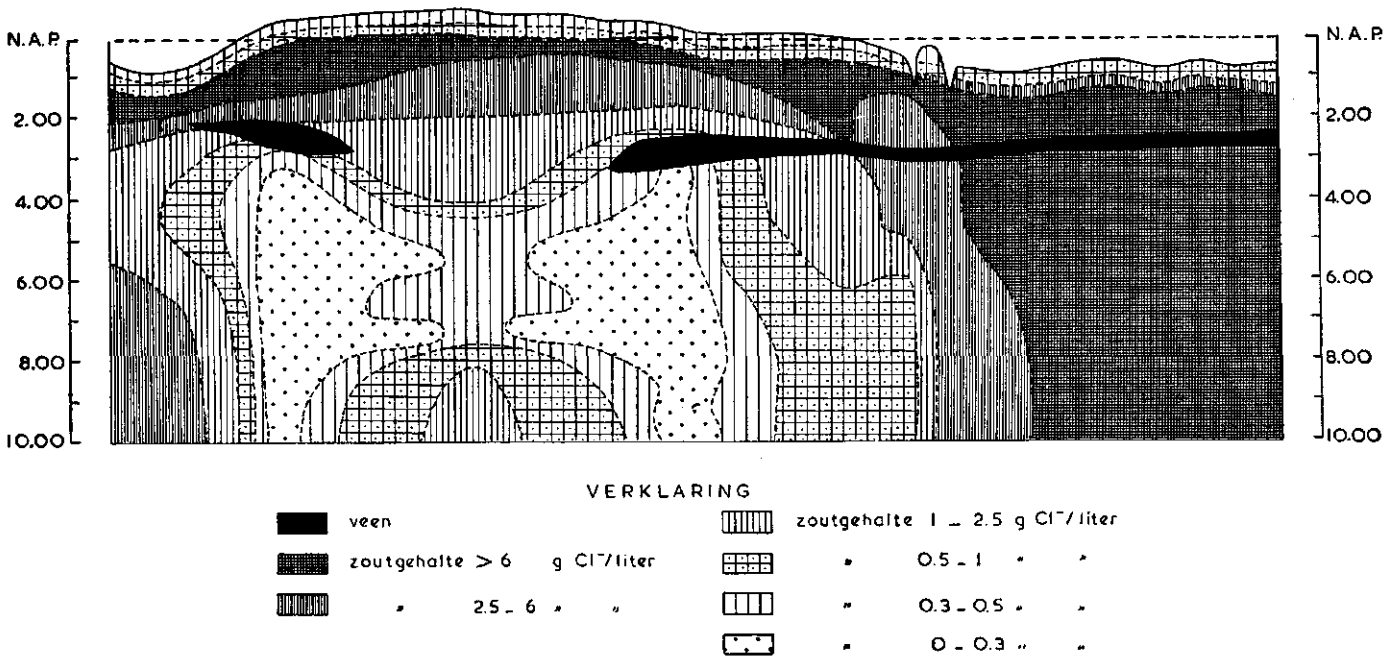


FIG. 30. Kreekrug bij St. Laurens op Walcheren.
In het dwarsprofiel zijn de zoutgehalten van het bodemwater aangegeven vijf jaar na de inundatie t.g.v. oorlogshandelingen. Het tijdens de inundatie in de bodem gedrongen zoute water is duidelijk te constateren. Het veen is deels zoet en deels zout. Het zoute water dringt langzaam de zoetwaterzak binnen, hetgeen verzilting ten gevolge heeft. Aan de randen van de kreek treft men de diffusiezones aan.

d. De verstoring van het evenwicht

Deze verstoring treedt op door veranderingen in het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en polderpeil, of als het hydrologische regime van buitenaf aan veranderingen wordt blootgesteld.

Door de uitvoering van cultuurtechnische werken is het dus mogelijk, dat verdieping van het zoetwaterpakket plaats vindt. De stroombanen zullen dieper door de grond gaan, als het polderpeil van een polder wordt verlaagd (zie fig. 29).

Onttrekking van water aan de zoetwaterzak geeft eveneens aanleiding tot verstoring van het evenwicht. Indien de onttrekking binnen bepaalde grenzen blijft, uit de verstoring zich alleen in een langzaam oplopen van het chloorgehalte van het bronwater. Na het groeiseizoen heeft de bron een half jaar rust, d.i. juist de periode dat er een neerslagoverschot is. De zoetwaterzak herstelt zich dan voor een belangrijk deel. Uit ervaringen in de jaren 1952 t/m 1956 blijkt, dat ieder jaar onttrekking van water mogelijk is. Te grote onttrekking van water aan een zoetwaterzak leidt tot verzilting van het bronwater (BUTIJN en VAN 'T LEVEN, 1956).

Verstoring van het evenwicht treedt eveneens op door inundatie en overstroming van de polder. Dit blijkt duidelijk uit fig. 30, waarop in het volgende nader zal worden ingegaan.

Tot slot kunnen wijzigingen buitendijks ten gevolge van aanslibbing, afslag van gronden en peilveranderingen nog veranderingen teweegbrengen. Een duidelijk voorbeeld hiervan zijn de veranderingen die de laatste decennia zijn opgetreden in de Braakman, waarop in het voorgaande reeds werd gewezen.

2. BESCHRIJVING VAN DE EILANDEN EN ZEEUWS-VLAANDEREN

a. Schouwen-Duiveland

Over het duinzandgebied van Schouwen-Duiveland zijn veel gegevens bekend. Reeds in 1917 heeft een onderzoek plaatsgevonden door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening ten behoeve van een op te richten waterleidingbedrijf (zie betreffende rapport). Uit deze gegevens blijkt, dat in het centrum van het geaccidenteerde duingebied tot 100 m — N.A.P. zoet water in de bodem aanwezig is.

Ten behoeve van de Commissie Waterbeheersing en Ontzilting werd in 1954 door genoemd instituut een onderzoek ingesteld naar de dikte van de zoetwaterlaag in het zandgebied, gelegen ten noordoosten van het zojuist genoemde waterwingebied (zie betreffende rapport). Ook hier werd een zoetwaterlaag aangetoond van ca. 100 m dikte. Uit andere gegevens blijkt, dat in noordoostelijke richting de zoetwaterzak steeds dunner wordt en ten noorden van Renesse reeds is afgenomen tot 35 m.

De oppervlakte van dit duinzandgebied bedraagt ca. 2 000 ha. Naar het oosten wigt het zoetwaterpakket in de ondergrond uit en gaat over in het zoute, lage gebied van de polder Schouwen.

In het duinzandgebied is voldoende water aanwezig voor het waterwinbedrijf en voor een, zij het beperkte, toepassing in land- en tuinbouw. Voor landbouwdoeleinden kan ca. 1 à 2 miljoen m^3 water per jaar onttrokken worden, d.i. voldoende voor de watervoorziening van 500 à 1 000 ha grond.

Ten oosten van dit duinzandgebied ligt een laag gebied, waarvan de polder Schouwen de grootste oppervlakte inneemt. In deze polder (9153 ha) komt nagenoeg overal het veen op geringe diepte beneden het maaiveld voor (zie o.a. bijlage 2). In het gehele gebied zijn geen zoetwatervoorraden van enige betekenis gevonden. De grens tussen zoet en zout ligt op minder dan 3 m onder maaiveld. Slechts plaatselijk is in de kleine, smalle kreekruggen enig zoet water aanwezig voor gebruik op de boerderij.

Lokaal is de zoetwaterlaag zo slecht ontwikkeld, dat de gewassen schade ondervinden door de hoge zoutconcentratie in het bodemwater, die men reeds op minder dan 1 m beneden maaiveld aantreft.

De polders de Vierbannen van Duiveland (gemeenten Ouwerkerk en Nieuwerkerk) en Dreischor zijn te vergelijken met het hierboven beschreven gebied.

Omtrent de ontwikkeling van het zoetwaterpakket in het resterende deel van het eiland is weinig bekend. In enkele polders wordt slechts hier en daar op geringe diepte veen aangetroffen.

In de polder Noordgouwe en de polders rond Zonnemaire kunnen zoetwaterhoeveelheden van enige betekenis verwacht worden.

b. St. Philipsland (2 000 ha)

In het gehele gebied is het zoetwaterpakket slechts matig ontwikkeld t.g.v. het voorkomen van veen op een diepte van 4-6 m — m.v., op enkele plaatsen zelfs op minder dan 3 m — m.v. (zie bijlage 2).

Het eiland wordt in twee delen gesplitst door een lage kreekbedding. In deze kreekbedding komt plaatselijk het zoute water tot aan de oppervlakte voor.

c. Tholen

Van ongeveer de helft van de oppervlakte van Tholen (10 000 ha) zijn niet voldoende gegevens bekend om een oordeel te kunnen uitspreken over het voorkomen van zoet water in de eerste meters van het bodemprofiel.

De gronden in de polders Oudeland (St. Maartensdijk), Scherpenisse, Poortvliet, Vijftienhonderdgemeten, Schakerloo, Broek- en Rooland, Priestermeet e.a. zijn voor het overgrote deel op minder dan 3 m diepte zout door de aanwezigheid van een veenlaag in het profiel. Ook in andere polders zijn plaatselijk nog aanwijzingen verkregen over het voorkomen van veen in de bodem.

Het is niet te verwachten, dat in Tholen nog belangrijke hoeveelheden freatisch zoet water zullen worden gevonden.

d. Noord-Beveland

Op Noord-Beveland is een groot aantal boringen tot een diepte van 6 m — m.v. verricht door de Geologische Dienst. Uit de boorgegevens vallen ook conclusies te trekken omtrent de te verwachten diepte van de grens zoet-zout water. Doorgaans is de opbouw van het profiel zodanig, dat de grens tussen zoet en zout water gezocht moet worden tussen 3 en 5 m — m.v. Plaatselijk is veen aangeboord op minder dan 3 m — m.v.

Onder de Kamperlandse duinen is nog enig zoet water aanwezig. De oppervlakte van deze duinen, die aan voortdurende afslag onderhevig zijn, is bovendien gering.

e. Zuid-Beveland

In dit deel van Zeeland komen enkele gebieden voor waar exploiteerbare hoeveelheden zoet water in de bodem gevonden zijn.

In de polder de Breede Watering bewesten Ierseke ligt een grote kreekrug, die zich uitstrekt van Wemeldinge via Kapelle en Biezelinge in de richting van Goes en vervolgens zuidwaarts naar 's-Gravenpolder (ca. 1 000 ha). Uit een boring is gebleken, dat plaatselijk een zoetwaterlaag van meer dan 20 m dikte aanwezig is. De geologische opbouw van het gebied doet veronderstellen, dat de verbreiding van deze zoetwaterzak van grote omvang is. Enige geo-elektrische metingen (zie betreffende nota) hebben dit vermoeden bevestigd. De verbreiding van de zoetwaterzak is groter dan op de kaart (bijlage 104) is aangegeven, omdat de kaart slechts de veenloze strook van de kreekrug aangeeft. Op de flanken van deze rug wordt zoet veen aangetroffen. Door zijn ligging ten opzichte van het belangrijke tuinbouwcentrum Kapelle-Biezelinge is de zoetwaterlaag voor dit gebied van buitengewoon grote betekenis.

In de zak van Zuid-Beveland zijn na de stormramp van 1953 boringen verricht om zoet water op te sporen voor de beregening van boomgaarden, die met zout water waren overstroomd. De diepte van het zoetwaterpakket bedraagt hier meer dan 10 m, maar vermoedelijk minder dan 20 m. Volgens gegevens van de bodemkaart is de veronderstelling gewettigd, dat de oppervlakte van het gebied ca. 1 500 ha bedraagt.

In de gebieden van Borssele, Ellewoutsdijk, Hoedekenskerke en Baarland heeft het veen in de bodem weer een grote verbreiding. Het voorkomen van zoet water is hier beperkt tot de eerste meters van het bodemprofiel.

In West-Zuid-Beveland komen nog belangrijke zoetwaterlagen voor, hoewel minder diep ontwikkeld dan in de zak en rond Kapelle. De oppervlakte van dit zoetwatergebied wordt geschat op ca. 3 000 ha. Hier en daar zijn boringen verricht, die erop wijzen, dat plaatselijk meer dan 10 m zoet water voorkomt. Andere boringen daarentegen doen veronderstellen, dat de diepte van het pakket niet meer dan 10 m bedraagt.

Onder Lewedorp is een pompproef uitgevoerd, waaruit blijkt dat het mogelijk is ca. 2 000 à 3 000 m^3 water per jaar aan de bodem te onttrekken.

Omtrent het voorkomen van zoet water in het oostelijke deel van Zuid-Beveland is weinig bekend. Veel freatisch zoet grondwater wordt in dit gebied niet verwacht.

f. Walcheren

Het voorkomen van zoet water in de bodem van Walcheren is beperkt tot de kreekruggen in het polderlandschap en tot het duingebied. Het overgrote deel van het eiland is een laag gelegen klei-veenlandschap. Dicht onder maaiveld komt hier reeds zout water voor. Het is niet bekend tot welke diepte in de kreekruggen zoet water aanwezig is. De inundatie aan het einde van de Tweede Wereldoorlog heeft

het zoetwaterpakket ernstig gestoord. Gegevens hierover zijn bekend geworden uit een reeks boringen, uitgevoerd door de Wetenschappelijke Afdeling van de Herverkaveling Walcheren, dwars over de kreekrug te St. Laurens (zie fig. 30). Uit deze dwarsdoorsnede blijkt, dat:

1. het inundatiewater zich verplaatst door het aanwezige zoete water;
2. de zoetwaterlaag zich ook heeft ontwikkeld ter plaatse waar veen in de bodem voorkomt;
3. de overgang van zoet naar zout water vrij scherp is;
4. in de zoetwaterzak nog betrekkelijk grote verschillen in het zoutgehalte optreden, vermoedelijk t.g.v. verschillen in de doorlatendheid;
5. de invloed van de neerslag na de sluiting der zeedijken, in 1946, tot 1950 (het jaar waarin de boringen zijn verricht) betrekkelijk gering is geweest, gezien het zoutgehalte van het bodemwater op een diepte van 1 m onder maaiveld.

Het duingebied van Walcheren is slechts van geringe omvang. De moeilijkheden, die de drinkwaterleidingmaatschappij „Midden-Zeeland" heeft bij de voorziening van het gebied, duiden erop, dat weinig of geen water voor land- en tuinbouwdoeleinden beschikbaar zal zijn.

g. Zeeuws-Vlaanderen

De oppervlakte, waarvan gegevens bekend zijn, is hier procentsgewijs het kleinst. De verbreiding van het veen in de bodem van Zeeuws-Vlaanderen op een diepte van minder dan 3 m is beperkt. Dit is een gunstige omstandigheid. In West-Zeeuws-Vlaanderen is in een boring tussen Oostburg en Aardenburg zoet water aangetroffen tot een diepte van 20 m. De topografie van het terrein en de opbouw van het bodemprofiel maken de ontwikkeling tot deze diepte ook alleszins mogelijk. Men kan veronderstellen, dat de verbreiding van dit zoetwaterpakket aanmerkelijk groter is dan op de kaart wordt aangegeven. Het betreft hier de bedding en de aanliggende polders van de diep ontwaterde Passageule.

Ook in het oosten van dit deel van Zeeuws-Vlaanderen, rond IJzendijke en Biervliet, mogen we zoet water in de bodem verwachten.

In Oost-Zeeuws-Vlaanderen ligt bij de Nederlands-Belgische grens een groot zandgebied. Dit strekt zich uit van Overslag in het westen tot St. Jansteen in het oosten. Hier ligt ook de prise d'eau van het waterleidingbedrijf „Zeeuws-Vlaanderen". De ontwikkeling van het zoetwaterpakket wordt hier belemmerd door een dikke, ondoorlatende kleilaag (septariënklei uit het Oligoceen), op een diepte van 15 à 20 m — m.v. gelegen.

Ook buiten het zandgebied is zoet water in de bodem aangetroffen. De topografie en bodemopbouw van Oost-Zeeuws-Vlaanderen zijn gunstig voor de ontwikkeling van zoetwaterpakketten.

3. Het voorkomen van zoet water op grotere diepte (fossiel water, spanningswater)

a. De vindplaatsen

In de vorige paragrafen is gesproken over freatisch water, dat in dunne pakketten

voorkomt en als het ware drijft op zout water. Over het algemeen is de toestand in Zeeland zo, dat in de diepere ondergrond geen zoet water meer onder het zoute water voorkomt. We kunnen ons voorstellen, dat, daar het westen van ons land in de geologische historie steeds heeft gelegen op de grens van land en zee, bij iedere transgressie het zoete water uit de grond verdreven is door het zeewater.

In enkele gebieden van Zeeland treffen we onder het zoute water nog min of meer zoet water aan. Deze zoetwaterlenzen liggen op Tholen, Sint Philipsland, Schouwen-Duiveland (Oosterland) en in het oosten van Zuid-Beveland. Het voorkomen van dit water is vastgesteld door de boringen in het kader van het onderzoek naar de hydrologische profielen en uit gegevens van bronnen, geboord op de erven van boerderijen.

In de Hoogerwaardpolder op Zuid-Beveland ligt in een weiland een bron, die drinkwater levert voor het vee. Het zoutgehalte van dit water bedraagt ca. 1 200 mg Cl′ per liter. Het water uit deze bron is artesisch t.o.v. de grondwaterstand en de polderwaterstand. In deze zoute polder heeft het vee door deze vrije uitloop regelmatig de beschikking over fris en goed drinkwater. Ook in andere polders van Oost-Zuid-Beveland en van westelijk Noord-Brabant in de omgeving van Woensdrecht zijn dergelijke bronnen geslagen.

Op Tholen is zoet en vrij zoet water aangetroffen in de boringen te Stavenisse, St. Annaland en Tholen. Ook hier is het water artesisch vergeleken bij de grondwaterstand en polderwaterstand. Na de stormramp in 1953 is van het water uit de stijgbuizen in de overstroomde polders een nuttig gebruik gemaakt. Een groot aantal bronnen is geslagen op de erven van boerderijen.

Op St. Philipsland zijn na de ramp boringen verricht t.b.v. de beregening van een overstroomde boomgaard. Op een diepte van 20 meter onder maaiveld is een zoetwaterlaag aangeboord. De dikte van deze laag bedroeg ca. 5 m. Het water welde uit de bron. De omstandigheden geleken op die, welke zijn aangetroffen te Tholen en op Zuid-Beveland.

Ten behoeve van de eendenkooi te St. Philipsland zijn eveneens boringen verricht. Jarenlang hebben deze bronnen zoet water geleverd voor de kooi en de plantengroei er omheen. Tijdens de ramp zijn de bronnen echter onklaar geraakt.

b. De herkomst

Er zijn twee veronderstellingen mogelijk, die het voorkomen van zoet water op grote diepte (enkele tientallen meters) kunnen verklaren:

1. het water stroomt ondergronds uit het hoog gelegen Brabantse gebied naar de Zeeuwse eilanden. Het feit, dat het water artesisch is, pleit voor deze veronderstelling (zie het voorbeeld van de bron in de Hoogerwaardpolder);

2. het water is in de bodem opgeslagen tijdens een regressieperiode. Bij een daarop volgende transgressie werd het landschap overstroomd, waarbij het zoete water slechts ten dele door zout water werd verdrongen. Op het ogenblik is het zoete water aan alle zijden omringd door zout water. We hebben hier dus te maken met *fossiel water*.

Voor deze veronderstelling pleiten de volgende feiten:

a. Op St. Philipsland is de zoete laag slechts enkele meters dik.
b. De afstand tussen het zoete water, aangetroffen te St. Annaland en Stavenisse en het zoete water van de Noord-Brabantse zandgronden is groot.
c. Het zoete water in het westen van het eiland Tholen is door een wig van zout water, aangetroffen in het midden van het eiland (Scherpenisse, Poortvliet, Sluispolder), gescheiden van het zoete water verder oostelijk.
d. Tussen de hoge Brabantse zandgronden en Tholen treft men de diepe Eendracht aan.

Het feit, dat het zoete water in de bodem van het eiland Tholen onder druk staat en toch vrij uit bronnen opwelt, is te verklaren uit het verschil in soortelijk gewicht tussen zoet en zout water.

Uit deze veronderstelling volgt dus, dat de hoeveelheid zoet water in de ondergrond van Tholen bij onttrekking t.b.v. de land- en tuinbouw niet wordt aangevuld.

Overigens is de veronderstelling gerechtvaardigd, dat ook zonder onttrekking van water aan deze lagen de hoeveelheden zoet water in de loop der tijden ten gevolge van diffusie zullen afnemen. Een aanwijzing hiervoor is het betrekkelijk hoge zoutgehalte, aangetroffen in de boring te Tholen (Puitpolder).

LITERATUUR

ACKERMANN, E. — Einflusz geringer Tongehalt auf Eigenschaften feinklastischer Lockergesteine. *Zeitschr. Deutsche Geol. Ges. 103.* (1951) 382-386.

BAKKER, G. DE — De bodemgesteldheid van enkele Zuid-Bevelandse polders en hun geschiktheid voor de fruitteelt. *Versl. Landbouwk. Onderz. 56.* 14 (1950).

BEEKMAN, A. A. — Nederland als polderland. W. J. Thieme en Co., Zutphen (1932).

BENNEMA, J. en K. VAN DER MEER — De genese van Walcheren. *Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. 67* (1950) 399-408.

— — — De bodemkartering van Walcheren. *Versl. Landbouwk. Onderz. 58.*4 (1952).

— en L. J. PONS — Donken, fluviatiel laagterras en Eemzeeafzettingen in het Westelijk gebied van de grote rivieren. *Boor en Spade V* (1952) 126-137.

BERG, C. VAN DEN — De invloed van opgenomen zouten op de groei en productie van landbouwgewassen op zoute gronden. *Versl. Landbouwk. Onderz. 58.*5 (1952).

BRAAK, C. — Het klimaat van Nederland. 's-Gravenhage (1950).

BUTIJN, J. en J. A. VAN 'T LEVEN — Een beregeningsproef in de fruitteelt op zeeklei. *Med. Dir. Tuinbouw 19* (1956) 356-368.

DOEGLAS, D. J. en W. C. BREZESINSKA SMITHUYSEN — De interpretatie van de resultaten van korrelgrootte-analysen. *Geol. en Mijnb. 11* en *12* (1941) 273-291.

DOEGLAS, D. J. — De interpretatie van korrelgrootte-analysen. *Verh. Ned. Geol. Mijnb. Gen. 15* (1950) 247-328.

DOPPERT, J. W. CHR. en J. I. S. ZONNEVELD — Over de stratigrafie van het fluviatiele Pleistoceen in West-Nederland en Noord-Brabant. *Med. Geol. Sticht. 8* (1955).

DUCKER, A. — Untersuchungen über die frostgefährlichen Eigenschaften nichtbindiger Böden. *Forschungsarb. aus dem Straszenwesen 17* (1939).

EDELMAN, C. H. — Inleiding tot de bodemkunde van Nederland. N.V. Noord-Holl. Uitg. Mij., Amsterdam (1950).

FAVEJEE, J. CH. L. — The origin of the "Wadden" mud. *Med. Landb. Hogeschool,* Wageningen, 51.5 (1951) 113-141.

FLORSCHÜTZ, F. and M. H. VAN SOMEREN — The palaeobotanical boundary Plio-Pleistocene in the Netherlands. Int. Geol. Congr."Report of the eighteenth Session Great Brittain", Part. IX(1948).

FRASER, H. J. — Experimental study of the porosity and permeability of clastic sediments. *Journ. of Geol. 43* (1935) 910-1010.

GRATON, L. C. and H. J. FRASER — Systematic packing of spheres with particular relation to porosity and permeability. *Journ. of Geol. 43* (1935) 785-909.

HISSINK, D. J. — De bodemkundige gesteldheid van den Andijker Proefpolder in het jaar 1927-1928. *Med. Comm. Adv. Proefp. Andijk 1* (1929).

HOOGHOUDT, S. B. — Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van den grond. 2. *Versl. Landbouwk. Onderz. 40* B (1934).

— Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van den grond. 9. *Versl. Landbouwk. Onderz. 50* (13) B (1945).

— Enige resultaten van de bepaling der gehalten van gronden aan lutum-subfracties. *Maandbl. Landbouwvoorlichtingsd. 5* (1948) 355-357

KRUMBEIN, W. C. and G. D. MONK — Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sand. *Am. Inst. Min. Met. Eng., Techn. Public.* (1942).

— and L. L. SLOSS — Stratigraphy and Sedimentation. W. H. Freeman and Comp., San Francisco (1953).

LEVEN, J. A. VAN 'T — Rapport onderzoek zoutgehalte polderwater in Zeeland (verschijnt in 1957).

PETTIJOHN, F. J. — Sedimentary Rocks. Harper and Brothers, New York (1948).

RAPPORT betreffende een grondwater- en bodemonderzoek in het duingebied nabij Haamstede op het eiland Schouwen. Rijksbureau v. Drinkwatervoorziening, N.V. Drukkerij Frico, 's-Gravenhage (1917).

RAPPORT betreffende de winning van grondwater in het gebied der zandgronden van West-Schouwen ten behoeve van de watervoorziening van deze gronden. Rijksinst. v. Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage (1955).

RAPPORT inzake een orienterend geo-electrisch onderzoek van een zoetwatervoorkomen nabij Kapelle-Biezelinge op Zuid-Beveland. Werkgroep Geo-electrisch Onderzoek T.N.O. (1956).

RAPPORT Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland. Onderzoek zoutgehalte polderwater (verschijnt in 1957).

RIDDER, N. A. DE, A. J. WIGGERS en A. DEKKER — De korrelgrootteverdeling van de keileem en het pro-glaciale zand. *Geol. en Mijnb. 10* (1956) 287-311.

RIEMENS, J. M. — Verzouting en verdroging in het westen van Nederland, meer in het bijzonder in het Westland. *Maandbl. Landbouwvoorlichtingsd. 8* (1951) 56-59.

RUTTEN, M. G. — On water rich in sodium from the subsoil of the Dutch dunes. *Geol. en Mijnb. 4* (1949a) 139-145.

— — Underground water from the South Limburg coalmine district. *Geol. en Mijnb. 5* (1949b) 165-171.

STEENHUIS, J. F. en W. F. J. M. KRUL — Geo- en hydrologische beschouwingen betreffende de provincie Zeeland. *Med. Rijksinst. Drinkw. 6* (1925).

STEIGENGA-KOUWE, S. E. — Zeeland, in Handb. Geografie van Nederland, dl. IV, Zwolle (1954).

TAVERNIER, R. — L'évolution du Bas Escaut au Pleistocène Supérieur. *Bull. Soc. belge de géol. Tome, LV fasc. 1* (1946) 112-116.

— — Le Quaternaire, Interglaciaire Riss-Würm. *Soc. géol. de Belgique* (1954) 565-566.

TICKEL, F. G. and W. H. HIATT — Effect of angularity of grain on porosity and permeability of unconsolidated rocks. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 22 (1938) 1272-1279.

VELDMAN, G. — Over de landbouwkundige waarde van lichte mariene gronden. Directie Wieringermeer, intern rapport (1948).

VERSLUYS, J. — Chemical actions in the subsoil of the dunes. *Proc. Kon. Acad. Wetensch. 18* (1915) 1619-1624.

— — Subterranean water conditions in the coastal region of the Netherlands. *Econ. Geol. 26* (1931) 65-95.

VLAM, A. W. — Historisch-morfologisch onderzoek van enige Zeeuwse eilanden. Diss. Utrecht (1942).

VOORTHUYSEN, J. H. VAN Crustal movements of the southern part of the North Sea Basin during Pliocene and early Pleistocene times. *Geol. en Mijnb. 6* (1954) 165-172.

VRIES, O. DE De granulaire samenstelling van Nederlandse grondsoorten. *Versl. Landbouwk. onderz. 48* (11) A (1942) 565-709.

WIGGERS, A. J. De wording van het Noordoostpoldergebied. Diss. Amsterdam (1955).

ZUNKER, F. Handbuch der Bodenlehre, Deel VI (1930).

ZUUR, A. J. Over de bodemkundige gesteldheid van de Wieringermeer. 's-Gravenhage (1936).

LIJST VAN BIJLAGEN

1a Legenda
1 Overzichtskaart hydro-lithol. profielen, schaal 1 : 200 000.
2 Hydro-lithologisch profiel 1
3 „ „ „ 2
4 „ „ „ 3
5 „ „ „ 4
6 „ „ „ 5
7 „ „ „ 6
8 „ „ „ 7
9 „ „ „ 8
10 „ „ „ 9
11 „ „ „ 10
12 „ „ „ 11
13 „ „ „ 12
14 „ „ „ 13
15 „ „ „ 14
16 „ „ „ 15
17 Schetskaart verspreiding, dikte en hydrologische gesteldheid van de Afzetting van Halsteren
18 Schetskaart verspreiding, dikte en hydrologische gesteldheid van de Afzetting van Vlissingen
19 Grafiek granulaire samenstelling boring K 9
20 „ „ „ „ K 10
21 „ „ „ „ K 11
22 „ „ „ „ K 12
23 „ „ „ „ K 13
24 „ „ „ „ K 14
25 „ „ „ „ K 15
26 „ „ „ „ K 16
27 „ „ „ „ K 17
28 „ „ „ „ K 18
29 „ „ „ „ K 19
30 „ „ „ „ K 20
31 „ „ „ „ K 21
32 „ „ „ „ K 22
33 „ „ „ „ K 23
34 „ „ „ „ K 24
35 „ „ „ „ K 25
36 „ „ „ „ K 26
37 „ „ „ „ K 27
38 „ „ „ „ K 28
39 „ „ „ „ K 29
40 „ „ „ „ K 30
41 „ „ „ „ K 31
42 „ „ „ „ K 32
43 „ „ „ „ K 33
44 „ „ „ „ K 34
45 „ „ „ „ K 35
46 „ „ „ „ K 36
47 „ „ „ „ K 37
48 „ „ „ „ K 38
49 „ „ „ „ K 39
50 „ „ „ „ K 40
51 „ „ „ „ K 41
52 „ „ „ „ K 42
53 „ „ „ „ K 43
54 „ „ „ „ K 44
55 „ „ „ „ K 45
56 „ „ „ „ K 46 + K 47
57 „ „ „ „ K 48

LIJST VAN BIJLAGEN (Vervolg)

58 Grafiek granulaire samenstelling boring K 49
59 „ „ „ „ K 50
60 „ „ „ „ K 51
61 „ „ „ „ K 52
62 „ „ „ „ K 53 + K 54
63 „ „ „ „ K 55
64 „ „ „ „ K 56
65 „ „ „ „ K 57
66 „ „ „ „ K 58
67 „ „ „ „ K 59
68 „ „ „ „ K 60
69 „ „ „ „ K 61
70 „ „ „ „ K 62
71 „ „ „ „ K 63
72 „ „ „ „ K 64
73 „ „ „ „ K 65
74 „ „ „ „ K 66
75 „ „ „ „ K 67
76 „ „ „ „ K 68
77 „ „ „ „ N 36
78 Locatie- en profielkaart schaal 1 : 200 000
79 Kaart no. 1, Oligoceen en Mioceen, schaal 1 : 200 000
80 Kaart no. 2, Plioceen in Coralline Cragfacies, schaal 1 : 200 000
81 Kaart no. 3, Verbreiding van het Poederlien, schaal 1 : 200 000
82 Kaart no. 4, Isopachenkaart Afzetting van Halsteren, schaal 1 : 200 000
83 Kaart no. 5, Kustlijnen Eemtijd, Midden-Atlanticum en Subatlanticum, schaal 1 : 200 000
84 Kaart no. 6, Facieskaart van de Midden-Atlantische wadafzettingen, schaal 1 : 200 000
85 Profiel A
86 Profiel D
87 Profiel E
88 Profiel F
89 Profiel H
90 Profiel I
91 Profiel J
92 Profiel K
93 Profiel L
94 Profiel M
95 Profiel N
96 Profiel P
97 Profiel Q
98 Profiel R
99 Profiel S
100 Profiel T
101 Profiel U
102 Overzichtskaart chemische samenstelling van het grondwater, schaal 1 : 100 000
103 Grondwaterstandskaart, schaal 1 : 100 000
104 Kaart aangevende de verbreiding van het zoete water, schaal 1 : 100 000