

141

Enkele resultaten van een
geohydrologisch onderzoek
in het Prunjegebied
(Schouwen-Duiveland)

dr.N.A.de Ridder



INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING
NOTA No. 141 dd. 22 augustus 1962

Enkele resultaten van een geohydrologisch onderzoek
in het Prunjegebied (Schouwen-Duiveland)

dr.N.A.de Ridder

INHOUD

	Blz.
INLEIDING...	3
I. BESCHRIJVING VAN HET GEBIED	4
II. LITHO-STRATIGRAFISCHE EENHEDEN	5
Het pleistoceen	5
1. Het mariene Icenien en de oudere formaties	5
2. De Afzetting van Vlissingen	6
Het Holoceen	7
3. Het Veer-op-grotere-diepte (Basisveen)	7
4. De laag van Velzen	8
5. Oud-holocene wadafzettingen	8
6. Oude Zeeklei	9
7. Het Oppervlakteveen	10
8. Subatlantische Wadafzettingen (Jonge Zeeklei, Jong Zeezand)	10
III. HET GEHALTE AAN CHLORIDE VAN HET GRONDWATER IN DE PLEISTOCENE FORMATIES	12
1. Inleiding	12
2. Vergelijking van de beide bemonsteringen	12
3. De chloridegehalte-verdeling van het grondwater op verschillende diepten	13
IV. DE BEPALING VAN ENKELE HYDROLOGISCHE BODEMCONSTANTEN	15
1. Inleiding	15
2. Het horizontaal doorlatend vermogen	15
LITERATUUR	20

INLEIDING

Ten behoeve van een kwelonderzoek, dat in het kader van het Deltaplan in het Prunjegebied op Schouwen-Duiveland wordt uitgevoerd, is de geohydrologische gesteldheid van dit gebied onderzocht. In het volgende zullen de belangrijkste resultaten van dit onderzoek worden besproken.

De gegevens zijn verkregen uit een vrij groot aantal diepe puls- en spoelboringen, die vrijwel alle als peilput zijn ingericht, door 1 m lange filters op diepten van ca. 20, 30 en 40 m te plaatsen. Aan deze filters zijn watermonsters onttrokken, waarvan het gehalte aan chloride is bepaald. De putten zijn verder gebruikt om de stijghoogten van het diepe grondwater te meten. De hydrologische bodemconstanten zijn op verschillende manieren bepaald, onder andere door middel van pompproeven, waarvan er drie zijn uitgevoerd.

Na een korte beschrijving van het gebied in hoofdstuk I, volgt in hoofdstuk II een overzicht van de stratigrafie. Hoofdstuk III is gewijd aan de chloridegehalte-verdeling van het grondwater op verschillende diepten, terwijl in hoofdstuk IV de resultaten van de bepaling van enige hydrologische bodemconstanten zullen worden besproken.

I. BESCHRIJVING VAN HET GEBIED

Het prunjegebied, dat een oppervlakte van 980 ha heeft, is een onderbemaling gebied van de polder Schouwen. Het ligt oostelijk van Serooskerke en wordt aan de zuidzijde door de Oosterschelde begrensd. De noordelijke en oostelijke begrenzing wordt gevormd door het afwateringskanaal, dat bij de "Prommelsluis" in de Oosterschelde loost (fig. 1).

Langs de zuidzijde liggen enkele inlagen en bij de dichting van de stroomgeul bij de Schelphoek zijn enkele gronden buitengedijkt. Het is een vrij vlak gebied zonder noemenswaardige reliefverschillen. Het maaiveld ligt op 1 à 1,5 m - N.A.P., het polderpeil bedraagt 2,80 m - N.A.P.

Volgens KUIPERS (1960) bestaat het grootste deel van dit gebied uit Oudland. De Oude Zeeklei ligt over een groot deel van de polder nagenoeg aan de oppervlakte, slechts bedekt door een 10 à 20 cm dik laagje venige Jonge Zeeklei. Het veen tussen de Oude en de Jonge Zeeklei is door moertering grotendeels verdwenen. Gezien de vlakke, niet opvallend laag gelegen gronden, met een laag kalkvrije klei aan de oppervlakte, naar beneden overgaande in een kalkrijke zavelgrond, moet het gebied tot de kwelderformatie gerekend worden.

In het westen en noorden van de polder komt Middelland voor, bestaande uit overgangsgronden en jonge kreekgronden. Gedurende de verschillende holocene transgressiefasen zijn op Schouwen-Duiveland vele kreek gevormd, die naderhand weer zijn dichtgeslibd. Een dergelijke jonge kreek is bekend bij Serooskerke, waar zij vanuit het noordwesten het gebied binnendringt.

II. LITHO-STRATIGRAFISCHE EENHEDEN

In het volgende zullen de verschillende litho-stratigrafische eenheden, die in de ondergrond van het gebied voorkomen, in het kort worden besproken. Daarbij zal in hoofdzaak de indeling op micropaleontologische basis, zoals deze door VAN VOORTHUYSEN (1957) is gegeven, worden gevolgd. Bij het volgende raadplege men de zes geologische profielen, waaruit het voorkomen en de verbreiding van de verschillende litho-stratigrafische eenheden blijkt. De ligging van de boringen en van de profielen is weer-gegeven in figuur 1.

Het Pleistoceen

1. Het mariene Icenien en de oudere formaties

De oudste pleistocene afzettingen, die in het gebied zijn aangeboord behoren tot het mariene Icenien. Vrijwel alle boringen hebben deze afzetting bereikt, uitgezonderd enkele, die in een tevoren onbekende diepe kreekbedding zijn geplaatst, zoals onder andere K76 en K78.

De diepte waarop de bovenzijde van het Icenien ligt, varieert enigszins, maar kan in het algemeen op 29 à 33 m - N.A.P. gesteld worden.

Over de dikte van deze afzetting staan vrijwel geen betrouwbare gegevens ter beschikking. Wel is bekend, dat in het westen van Schouwen-Duiveland het Icenien plaatselijk een dikte van ca. 40 m bezit. De boringen in het Prunjegebied hebben slechts de bovenste 5 à 10 m van het Icenien getroffen, zodat over het grootste deel van de afzetting niets bekend is.

Wat de samenstelling van deze bovenste 5 à 10 m betreft, kan worden opgemerkt, dat de afzetting uit overwegend matig fijne tot middel fijne, slibhoudende tot slibrijke zanden en kleien bestaat. De zanden zijn veelal groenig tot bruingrijs van kleur; zij zijn rijk aan foraminiferen, glimmer, glauconiet, schelpen en schelpfragmenten, terwijl er soms veel gele tot bruine klei-ijzerconcreties in voorkomen. Deze laatste vormen een aanwijzing voor een regressie van de zee aan het einde van het Icenien. Het gebied moet toen lange tijd land zijn geweest, waarbij een diepe verweringszone ontstond, die soms een dikte van ca. 10 m kan bereiken.

In figuur 2 is een facieskaartje van het Icenien weergegeven, waaruit blijkt, dat in het centrale deel van de polder en aan de oostzijde het Icenien uitsluitend in zandige facies is aangetroffen. Icenien in

kleiïge tot zandige facies komt vooral langs de zuidzijde en in het noordwesten van het gebied voor.

Mineralogisch kenmerkt het Icenien zich door een hoornblenderijke, granaat-epidoot associatie, waarbij vooral het relatief lage gehalte aan het voor Rijnsedimenten karakteristieke mineraal saussuriet opvalt (fig.3).

Wat de afzettingen betreft die ouder zijn dan het Icenien is door het ontbreken van voldoende diepe boringen niets bekend. Uit de eerder genoemde diepe boring in westelijk Schouwen is echter gebleken, dat het Icenien daar op een 20 m dikke laag zanden, behorende tot het Poederlien, is gelegen. Hieronder komt een 30 m dik pakket pliocene sedimenten voor, die rusten op Oligoceen, dat uit zware klei bestaat en deswege als de ondoorlatende basis van het bovenliggende watervoerende pakket is te beschouwen. De bovenzijde van deze klei ligt hier op ca. 140 m diepte.

Nu ligt door tektonische dalingen de bovenzijde van het Oligoceen in Zeeland niet meer horizontaal, maar vertoont een zwakke helling in noordelijke tot noordwestelijke richting. In het centrum van het eiland, i.c. het Prunjegebied, moet rekening worden gehouden met een diepere ligging van het Oligoceen. Op grond van geo-electrische onderzoeken meent VAN DAM (1957) dat het Oligoceen op Schouwen-Duiveland ongeveer op een diepte van 215 m verwacht kan worden. Uit een boring bij Steenberg is bekend, dat het Oligoceen hier van 215 tot 330 m beneden maaiveld voorkomt.

2. De Afzetting van Vlissingen

Uit de periode na het Icenien tot aan het Eemien zijn in het betreffende gebied geen afzettingen bekend, zodat er een groot stratigrafisch hiaat is. Van de verschillende gebeurtenissen gedurende het overige Pleistoceen is het alleen de Eemtransgressie, die zijn sporen in het gebied heeft achtergelaten. Vrijwel overal vindt men dan ook op het Icenien afzettingen uit deze Eemzee; zij zijn door VAN VOORTHUYSEN (1957) aangeduid als "Afzetting van Vlissingen".

De diepte waarop de bovenzijde van deze afzetting ligt, varieert van ongeveer 17 tot 22 m - N.A.P. Deze variaties zijn ten dele een gevolg van latere erosie onder andere gedurende het Holoceen, toen soms diepe stroomgeulen werden gevormd, die de afzetting grotendeels en soms geheel hebben opgeruimd (K76 en K78).

De dikte van de mariene Eemlaag varieert van ca. 8 m in de omgeving

van Moriaanshoofd tot ongeveer 16 m bij Serooskerke en in het noordwesten van de polder. Van het zuidoosten naar het noordwesten neemt de laagdikte dus toe.

Wat de samenstelling van de afzetting betreft, kan worden opgemerkt dat zij bestaat uit vaalbruine tot grijze, matig grove tot matig fijne zanden, met soms veel schelpen en schelpgruis. Kleilagen komen er niet in voor. Wel blijken de zanden in het onderste deel van de afzetting gewoonlijk grover te zijn dan in het bovenste deel, hetgeen op een snelle ~~trans~~gressie van de Eemzee zou kunnen wijzen. Behalve lithologisch, is ook paleontologisch de invloed van de open zee in de onderste lagen merkbaar, namelijk door het voorkomen van mollusken, die uit de open zee stammen. Naar boven in het profiel worden de zanden gewoonlijk fijner en draagt de fauna het karakter van een waddenfauna. Deze zanden dragen duidelijke kenmerken van een littoraal-estuariene facies.

Mineralogisch kenmerken de zanden zich door een granaat-epidoot-hoornblende associatie met opvallend hoge percentages aan saussuriet-alteriet (fig. 3). De invloed van de Rijn weerspiegelt zich niet alleen door deze hoge saussuriet-gehalten, maar ook door de aanwezigheid van vulkanische mineralen. Mineralogisch is er dus een duidelijk onderscheid met de onderliggende mariene afzettingen van het Icenien.

Het Holoceen

3. Het Veen-op-grotere-diepte (Basisveen)

Onder het Veen-op-grotere-diepte, tegenwoordig ook wel het Basisveen genoemd, wordt het veen verstaan, dat op de mariene Eemlagen en onder de Oud-holocene Wadafzettingen ligt. In figuur 4 is de verbreiding van dit veen weergegeven. Uit dit kaartje blijkt, dat wij hier niet met een samenhangende veenlaag te doen hebben, maar met verspreid voorkomende resten. Dat de verbreiding van dit veen zo'n grillig beeld vertoont, is een gevolg van erosie gedurende het Holoceen, waarbij het veen over grote oppervlakten is opgeruimd. Ook de diepe ligging van de grens Pleistoceen/Holoceen in sommige boringen waarin geen veen is aangetroffen (bijv. K74) wijst op erosie.

De diepte waarop het veen is aangetroffen varieert van 16 tot 18 m - N.A.P.

Het Veen-op-grotere-diepte is zandig tot kleiïg en soms zelfs sterk kleiïg ontwikkeld. De kleirijkdom is een gevolg van een snelle overstro-

ming, aanvankelijk met zoet, slibrijk water, onder invloed van een stijgende zeespiegel. Er ontstond een kleiïge gyttja met verslagen veen. Door de snelle zeespiegelrijzing werd deze afzetting met brak water overstroemd, waarin plaatselijk nog een humeuze, zware gyttja-achtige klei tot afzetting kwam. Door de druk der bovenliggende wadafzettingen is de slappe laag, die niet veel dikker dan 1 à 2 m geweest is, tenslotte gereduceerd tot een enkele decimeters dikke laag samengeperst veen tot venige klei.

4. De Laag van Velzen

Op verschillende plaatsen in het westen van Nederland is op het Veen-op-grotere-diepte en direct onder de zandige wadafzettingen een kleilaag aangetroffen, die in de literatuur beschreven is als de "Laag van Velzen" (BENNEMA, 1954) of als "Hydrobiaklei" (VAN STRAATEN, 1954). Deze klei zou in een ondiepe, brakke lagune die bij laag water droog viel, zijn ontstaan. Door de snelle zeespiegelrijzing is de klei spoedig door zandige wadafzettingen bedekt of door de krachtiger wordende getijstromen zelfs weggeërodeerd.

In enkele boringen in het Prunjegebied, onder andere in K70, K72, K117 en K119 is deze kleilaag, die niet meer dan $1/2$ à $1\ 1/2$ m dik is, eveneens aangetroffen. De diepte waarop de klei voorkomt varieert van 15 tot 18 m - N.A.P. Het gehalte aan afslibbare delen is vrij hoog en bedroeg bijvoorbeeld in K117 ruim 64%.

5. Oud-holocene Wadafzettingen

Onder invloed van de rijzende zeespiegel gedurende het Atlanticum werden in het gebied de zogenaamde Oude Wadafzettingen gesedimenteerd.

Deze afzettingen bestaan uit matig fijne, middel fijne en soms zeer fijne, slibhoudende zanden en dunne kleilaagjes. In de onderste lagen van het pakket overweegt de zandige facies en in het algemeen kan men een afname in korrelgrootte van het zand van beneden naar boven in het profiel waarnemen.

De diepte waarop de basis van deze atlantische wadafzettingen ligt, bedraagt 17 à 18 m, maar indien het Veen-op-grotere-diepte ontbreekt, 20 à 22 m - N.A.P.

De dikte van de zandige facies varieert van ongeveer 10 tot 18 m,

maar in het zuiden van de polder overheerst de kleiïge facies sterk, zodat de dikte van de zanden hier niet meer dan 1 m bedraagt (boring K69).

Door de snelle transgressie gedurende het Atlanticum trad een krachtige erosie op, die, zoals reeds werd opgemerkt, er de oorzaak van is dat het Veen-op-grotere-diepte op vele plaatsen thans ontbreekt. Gedurende deze periode werd ook een aantal diepe tot zeer diepe kreek en stroomgeulen gevormd. Eén van deze atlantische geulen bevindt zich in het oosten van het gebied en loopt van de kust af bij boring K118, via de boringen K78, K109 en K76 in noordelijke richting (fig. 5). Deze stroomgeul moet meer dan 40 m diep geweest zijn. In boring K76 is op 40 m diepte nog geen Icenien bereikt, hetgeen uit figuur 3 moogelijk blijken. De samenstelling der zware mineralen is tot de einddiepte der boring zeer uniform. Mineralen als saussuriet en augiet, die in het Icenien sporadisch voorkomen, zijn tot onder in de boring aangetroffen. Een en ander is in overeenstemming met de bevindingen van SPAINK (1958), die een grote eenvormigheid van de molluskenfauna tot einddiepte van de boring vaststelde. Ook granulometrisch is er een duidelijk verschil met de begrenzendende afzettingen van het Icenien en de Eemlagen, doordat er van beneden naar boven in het profiel een geleidelijke afname in korrelgrootte van de zanden valt waar te nemen.

Uit de bedekking der geulafzettingen met Oude Zeeklei, Oppervlakteveen en Jonge Zeeklei volgt, dat de betreffende geul een atlantische ouderdom moet hebben.

De kreek bij Serooskerke is door enkele boringen van de pompproef bij K104 getroffen, waarbij bleek dat de diepte ca. 28 m moet zijn geweest. Het opvullingsmateriaal bevat namelijk veel recente en subrecente foraminiferen, zoals dr. VAN VOORTHUYSEN kon vaststellen.

6. Oude Zeeklei

Op vele plaatsen in het gebied gaan de Wadafzettingen naar boven geleidelijk in zwaardere afzettingen over, de zogenaamde Oude Zeeklei. Tot de Oude Zeeklei zijn die afzettingen gerekend, die 10% of meer afslibbare delen bevatten, met andere woorden de lichte zavel tot en met de zware kleien.

De diepte waarop de basis van de Oude Zeeklei ligt wisselt sterk, namelijk van ongeveer 3 tot 17 m - N.A.P. De bovenzijde ligt vrij vlak en

wel op ca. 2 à 2,5 m - N.A.P., bij Serooskerke echter 3 m - N.A.P.

De dikte varieert eveneens sterk, maar een waarde van 4 à 6 m komt veel voor. Plaatselijk is echter een dikte van minder dan 1 m gevonden, terwijl aan de zuidkust de kleilaag plaatselijk 15 m dik is (boring K69). Deze extreme dikte past niet in het beeld van het ontstaan van deze kleilaag, die immers gedacht wordt te zijn gevormd aan het einde van het Midden Atlanticum. Veeleer kan worden aangenomen, dat reeds van het begin der atlantische transgressie af plaatselijk omstandigheden hebben geheerst, die gunstig waren voor sedimentatie van kleiïge afzettingen. Het is dus niet uitgesloten, dat de Oude Zeeklei niet overal dezelfde ouderdom bezit, een opvatting waartoe ook PONS en WIGGERS (1959) komen voor deze klei in Noord-Holland.

7. Het Oppervlakteveen

In het voorgaande is reeds opgemerkt, dat dit veen door moertering grotendeels is verdwenen. Op sommige plaatsen zijn echter nog duidelijke resten aangetroffen, onder andere in het westen van de polder bij boring K73, K74 en K75. Het veen komt als een dunne laag van enkele centimeters tot enkele decimeters, dicht onder de oppervlakte voor.

8. Subatlantische Wadafzettingen (Jonge Zeeklei, Jong Zeezand)

Tot de Subatlantische Wadafzettingen worden gerekend de mariene sedimenten, die gedurende verschillende transgressiefasen, die kort voor het begin van onze jaartelling aanvingen, zijn gevormd. Zij bestaan uit Jonge Zeeklei en Jong Zeezand. In verschillende boringen is op het oppervlakte-veen een dunne laag Jonge Zeeklei aangetroffen. De dikte van deze kleilaag wisselt van enkele decimeters tot 1 1/2 m.

De Jonge Zeeklei bestaat uit zavel, maar soms ook uit zware klei met een gehalte aan afslibbare delen van 70%. Vooral in het westen en noorden van het gebied is het Jonge Zeeklei landschap ontwikkeld. Voor gedetailleerde gegevens zij verwezen naar KUIPERS (1960).

Ten behoeve van het kwelonderzoek is de dikte van de slecht doorlatende deklagen van belang en daarom is in figuur 6 een diktekaartje van de Oude en Jonge Zeeklei en het daartussen gelegen veen weergegeven. Uit het verloop van de isopachen blijkt, dat in het oostelijke deel van de polder de deklagen zeer dun zijn (0 tot 2 m). Boven de voormalige kreken ontbreekt de afsluitende laag soms geheel. Waar sloten deze dunne deklaag

doorsnijden, zal men in beginsel een sterke kwel kunnen verwachten. Vooral het zuidoostelijke kustgebied, waar de deklaag plaatselijk ontbreekt, kan als een belangrijk kwelgebied beschouwd worden. Deze opvatting vindt steun in de hoge chloridegehalten, die hier in het polderwater zijn waargenomen (mondelijke mededeling van VAN 'T LEVEN). In het overige deel van de polder varieert de dikte van de deklagen van 4 tot 10 m, terwijl langs de zuidelijke rand, in de inlaag, een dikte van 10 tot 16 m is gevonden.

III. HET GEHALTE AAN CHLORIDE VAN HET GRONDWATER IN DE PLEISTOCENE FORMATIES

1. Inleiding

De verschillende in zeewater aanwezige ionen komen in een vaste verhouding voor. Aangenomen mag worden, dat dit eveneens zal gelden voor het grondwater, dat zich in de pleistocene formaties bevindt en van verschillende transgressies afkomstig is. Aangezien de chloriden de belangrijkste zouten in het grondwater zijn en hun analytische bepaling eenvoudig is, kan het gehalte aan chloorionen dienen als indicator van het totale ionengehalte van dit verdunde zeewater.

Een inzicht in de grootte en de verdeling van het chloridegehalte van het grondwater is van belang voor het kwelonderzoek. Ook na de afsluiting van de zeearmen zal immers de zoute kwel nog langere tijd voortduren en een belangrijke zoutbelasting voor het Zeeuwse meer betekenen. Indien het zoutgehalte van het grondwater gebiedsgewijze sterk varieert, zullen voor het vervaardigen van isohypsenkaarten de gemeten stijghoogten moeten worden omgerekend op water van eenzelfde zoutconcentratie (ERNST, 1962).

Aan alle putten, waarin filters waren gesteld, zijn watermonsters onttrokken, waarvan door het Bedrijfslaboratorium in Goes het chloridegehalte is bepaald. Een eerste bemonstering van het grondwater vond plaats in november 1958. De resultaten zijn reeds besproken door VAN DAM en DE RIDDER (1960). Een tweede bemonstering is in september 1961 uitgevoerd. De uitkomsten hiervan zijn in een nota van VAN DER WEERD (1961) behandeld.

2. Vergelijking van de beide bemonsteringen

In de figuren 7a, b en c zijn de chloridegehalten van de bemonstering in 1958 uitgezet tegen die van 1961. Bij 18% van de monsters bleek het verschil in chloridegehalte tussen beide data van bemonstering meer dan 1 gr Cl' per liter te bedragen. In het algemeen valt uit de figuren af te leiden, dat de gevonden chloridegehalten in september 1961 wat lager zijn dan die in november 1958, maar ook het omgekeerde komt voor. Deze hogere gehalten zijn vooral gevonden langs de randen van het gebied onder andere in de boringen K72, K90, K92, K100 en K109.

Een mogelijke verklaring voor deze verschillen kan in de gevolgde boortechniek gezocht worden. De meeste boringen zijn namelijk als spoelboring uitgevoerd. Als spoelwater is het water uit sloten en kanalen

gebruikt, dat een gehalte aan chloride bevat van 2000 tot 8000 mg/l. Een deel van het spoelwater verdwijnt tijdens het boren in de formaties. Het is dus mogelijk, dat de filters bij de eerste bemonstering niet lang genoeg zijn doorgepompt, zodat dit de oorzaak van sommige der gevonden verschillen zou kunnen zijn. Het grondwater is echter aanmerkelijk zouter dan het oppervlaktewater en het ligt daarom voor de hand, dat bij de tweede bemonstering hogere chloridegehalten gevonden zouden moeten worden. Voor een aantal monsters is dit ook inderdaad het geval, maar het merendeel geeft lagere gehalten te zien, zodat ook andere oorzaken een rol gespeeld moeten hebben.

3. De chloridegehalte-verdeling van het grondwater op verschillende diepten

In de figuren 8, 9 en 10 zijn de isohalinen van het grondwater op 20, 30 en 40 m beneden maaiveld weergegeven. Deze figuren zijn ontleend aan bovengenoemde nota van VAN DER WEERD en hebben dus betrekking op de bemonstering in september 1961.

In het algemeen vertoont de chloridegehalte-verdeling op genoemde diepten min of meer eenzelfde beeld. De hoogste chloride-concentraties (16 à 18 gr per liter) komen voor langs de zuidelijke randstrook van het gebied. In noordelijke richting neemt het chloridegehalte geleidelijk af tot ca. 13 gr per liter, om vervolgens weer toe te nemen tot ca. 15 gr per liter in de noordelijke randstrook van de polder.

Opmerkelijk is een klein gebied met relatief lage chloridegehalten in het oosten van het gebied. Als laagste waarde is 7 à 8 gr Cl' per liter op 20 m diepte gevonden. Op 30 en 40 m diepte komen waarden voor van 8 à 9 gr per liter.

Bij de verklaring van de gevonden chloridegehalte-verdeling dient er aan herinnerd te worden, dat het gebied gedurende het Kwartair afwisselend land en zee geweest is. Aan het einde van het Icenien (500.000 jaar geleden) trok de zee terug en viel het gebied droog, waarbij ontzilting zal zijn opgetreden. Gedurende het Eemien (150.000 tot 100.000 jaar geleden) transgredeerde de zee opnieuw en zal het zoete water weer grotendeels door zeewater zijn verdrongen. Ook gedurende het Holoceen zijn verschillende regressie- en transgressiefasen bekend. Deze afwisseling van land en zee is de oorzaak van de relatief lage chloridegehalten, die in het centrale deel van de polder gevonden worden. Er zal vermening van zout en zoet water zijn opgetreden. Vanaf de kust vindt thans weer een geleide-

lijke verzilting plaats, die in het centrale deel van de polder nog niet volledig is.

De relatief zoete kern in het oosten van de polder dankt zijn ontstaan aan een combinatie van geologische en hydrologische factoren. Zoals uit figuur 5 blijkt, bevindt zich langs de oostzijde van de polder een diepe erosiegeul, die met overwegend zandig materiaal is opgevuld, terwijl de afdekkende kleilaag dun is en plaatselijk zelfs geheel ontbreekt (fig. 6). Bovendien wordt deze voormalige geul hier aangesneden door het afwateringskanaal. Het polderpeil in het aangrenzende gebied is hoger dan in het Prunjegebied, zodat er een potentiaalverhang is van dit oostelijke poldergebied naar de Prunjepolder. Uit een door ERNST samengestelde stijghoogtekaart van het diepe grondwater blijkt eveneens dat de stromingsrichting in de polder naar het noordoosten gericht is. Dit potentiaalverhang is er, samen met het zandige profiel van de erosiegeul, de oorzaak van, dat zich op deze plaats een relatief zoete kern van grondwater kon vormen.

IV. DE BEPALING VAN ENKELE HYDROLOGISCHE BODEMCONSTANTEN

1. Inleiding

Tot de hydrologische bodemconstanten worden onder andere gerekend: het horizontaal doorlatend vermogen van het watervoerende pakket (kD-waarde), de verticale weerstand van de afdekkende, slecht doorlatende laag (c-waarde), het bergend vermogen ~~en~~ en de afgeleide grootheden, zoals bijvoorbeeld de spreidingslengte $\lambda = \sqrt{kD.c}$. Vooral aan de bepaling van de beide eerstgenoemde constanten is vrij veel aandacht geschonken.

2. Het horizontaal doorlatend vermogen

Het horizontaal doorlatend vermogen van het watervoerende pakket is op de volgende manieren bepaald:

- a. uit korrelgrootte-analysen van geroerde monsters grond
- b. uit doorlatendheidsmetingen van ongeroerde monsters
- c. uit pompproeven
- d. uit metingen van de voortplanting van de getijbeweging in het grondwater

De resultaten van de sub d genoemde methode zijn reeds door WESSELING (1960) gepubliceerd.

sub a. In het gebied zijn in totaal 17 pulsboringen tot 40 m diepte uitgevoerd, waarbij het bodemprofiel ongeveer om de 2 m is bemonsterd. Van deze monsters is de korrelgrootte-verdeling bepaald en hieruit is het U-cijfer berekend. Met behulp van het U-cijfer is de doorlaatfactor bepaald, die, vermenigvuldigd met de dikte van de laag de kD-waarde van die laag geeft. Door sommatie van deze uitkomsten wordt de kD-waarde van het gehele aangeboorde profiel gevonden.

De resultaten van deze berekeningen zijn in figuur 11 weergegeven. Uit dit kaartje valt af te leiden, dat de kD-waarden variëren van 190 tot **420** m²/dag. De laagste waarden zijn gevonden op enkele plaatsen langs de zuidkust en in het noorden van de polder. Hoge kD-waarden komen vooral voor in de omgeving van Serooskerke.

De belangrijkste bijdrage tot de gevonden kD-waarden wordt geleverd door de mariene Eemafzettingen (afzetting van Vlissingen). Maar

ook het mariene Icenien kan plaatselijk vrij goed doorlatend zijn, zelfs in de bovenste 10 m van deze afzetting. Het Icenien reikt echter mogelijk wel tot 100 m diepte en naar is te verwachten overheerst in dit onderste deel van het pakket de zandige facies. De kD-waarden van het gehele watervoerende pakket zullen dus naar schatting zeker tweemaal hoger kunnen zijn dan de kD-waarden, die in figuur 11 zijn aangegeven en die alleen op de bovenste 40 m van het profiel betrekking hebben. Voor praktische doeleinden zou men daarom rekening kunnen houden met kD-waarden in de orde van grootte van 500 à 800 m²/dag.

sub b. In principe is het mogelijk het doorlatend vermogen van een watervoerende laag te bepalen door in het laboratorium de horizontale doorlatendheid van ongeroerde monsters te meten. Om de grove zanden te kunnen bemonsteren is een kernsteekapparaat ontwikkeld dat aan de gestelde eisen voldoet (WIT, 1962). Een en ander nam veel tijd in beslag, evenals de constructie van een apparatuur in het laboratorium om zowel de verticale als de horizontale doorlatendheid van kernmonsters te meten, zonder dat de monsters uit de monsterbussen verwijderd behoeften te worden.

Hoewel voor het testen van het kernsteekapparaat enkele trajecten in de boringen K80, K106, K117 en K119 zijn bemonsterd, kon eerst in de pompput van de pompproef bij K104 een systematische kernbemonstering tot 38 m - m.v. worden uitgevoerd. Een tweede kernboring (K152) werd buiten het Prunjegebied, op de noordkust van het eiland, bij Scharendijke verricht. Deze boring werd tot ruim 50 m diepte om de halve meter bemonsterd.

Figuur 12 toont de resultaten van de granulometrische analyses en doorlatendheidsbepalingen in de monsters uit de pompput bij boring K104. Tot een diepte van 38 m zijn in totaal 36 kernmonsters verzameld. Voor dit traject is een $kD \approx 400$ m²/dag berekend. Zoals de figuur laat zien, zijn de uit de granulometrische samenstelling berekende k-factoren deels van gelijke orde van grootte, deels echter belangrijk groter dan de gemeten waarden.

In boring K152 bij Scharendijke zijn in totaal 100 kernmonsters gestoken. Tot een diepte van 36,00 m - m.v. komen hier Jong holoceen zeezanden voor, die van maaiveld tot 21,50 m diepte matig

fijn tot middelfijn en van 21,50 tot 36,00 m matig grof tot middelgrof van samenstelling zijn. Van 36,00 tot 41,80 m is de afzetting van Halsteren aangetroffen, die hier uit matig fijne tot middelgrove zanden en leemlagen bestaat. Daaronder ligt marien Icenien dat uit matig fijne tot middelfijne zanden is samengesteld. De uit laboratoriummetingen berekende kD-waarde bedraagt 600 m²/dag. Aangezien beide boringen niet het gehele watervoerende pakket hebben getroffen, zal de kD-waarde in beide gevallen nog belangrijk hoger zijn dan bovengenoemde uitkomsten.

sub c. Op drie plaatsen in de Prunjepolder zijn de kD-waarden door middel van pompproeven bepaald. Deze plaatsen liggen bij de boringen K78, K89 en K104 (fig. 1). De beide eerstgenoemde plaatsen liggen in de eerder besproken atlantische stroomgeul; de pompproef bij K104 was gedacht een ongestoord profiel te treffen, maar enkele peilputten kwamen in de eerder genoemde subatlantische kreek van Serooskerke terecht. De resultaten van deze pompproeven zullen in een afzonderlijk rapport worden besproken; in deze nota worden alleen de gevonden waarden voor de verschillende bodemconstanten vermeld.

1e pompproef (K78, K91)

De diepte van de atlantische geul bleek in de verschillende boringen voor deze proef nogal te verschillen. In K78 werd op 40 m diepte nog geen Icenien bereikt. In de pompput werd deze afzetting op ca. 38 m - m.v aangeboord (zie fig.13). Uit deze figuur blijkt de granulometrische samenstelling van het aangeboorde profiel. De pompproef gaf als uitkomst:

$$kD = 280 \text{ m}^2/\text{dag}$$

De kD-waarden, die met behulp van de korrelgrootte-verdeling voor de boringen K78 en K91 zijn berekend, leverden belangrijk hogere uitkomsten, namelijk:

K78	410 m ² /dag
K91	495 m ² /dag

2e pompproef (K89)

De diepte van de atlantische geul bedraagt in de boringen voor deze proef 31 à 32 m, daaronder komt marien Icenien voor. De geul-

afzettingen bestaan uit middelfijne, matig fijne en matig grove zanden. Het Icenien is samengesteld uit matig fijne, matig grove zanden en kleilagen. Deze klei is in alle boringen op ca. 40 m aangetroffen (fig. 14).

De pompproef gaf de volgende uitkomsten:

laag	kD (pompproef)	kD(korrelgr.verd.)
2,00 - 17,00	160 m ² /dag	155 m ² /dag
28,50 - 38,00	90 m ² /dag	53 m ² /dag

Ter vergelijking zijn in deze tabel ook de kD-waarden vermeld, die uit de korrelgrootte-verdeling van de pulsmonsters uit de pompput, zijn berekend. Voor de bovenste laag stemmen de resultaten van beide methoden goed overeen; voor de onderste laag geeft de pompproef een belangrijk hogere waarde.

3e pompproef (K104)

De subatlantische geulafzettingen reiken hier tot een diepte van 28 m - m.v. Zij bestaan uit matig fijne en matig grove zanden. Van 28 tot 50 m - m.v. zijn matig fijne tot matig grove zanden aangetroffen, die tot het mariene Icenien behoren (fig.12).

De pompproef gaf als uitkomst voor kD = 650 m²/dag. Uit de korrelgrootte-verdeling werd berekend kD = 720 m²/dag.

In onderstaande tabel zijn tenslotte de resultaten van de pompproeven en laboratoriummetingen samengevat. In deze tabel zijn ook opgenomen de c-waarden, die uit de pompproeven en uit metingen in ongeroerde monsters zijn afgeleid.

kD- en c-waarden berekend volgens verschillende methoden

Boring	kD-waarden volgens:				c-waarden volgens:					
	pompproef laag (m ² /dag)	laag dikte (m)	gran. laag anal. dikte	lab.met. laag dikte	pomp- laag proef dikte (dg)	laag dikte (m)	lab.met. laag dikte			
K89	250	28	210	25	-	-	45	1	-	-
K91	280	> 50	495	44	-	-	140	1	-	-
K104	650	> 50	720	50	400	38	680	8	760	8
K152	-	--	-	-	600	50	-	-	-	-
K106	-	-	-	-	-	-	-	-	750	8

Het blijkt, dat de resultaten van de verschillende methoden in sommige gevallen nogal uiteenlopen. De bepaling van de kD-waarde uit de korrelgrootte-verdeling van geroerde monsters is echter niet erg betrouwbaar. De lage kD-waarde, die in K104 uit metingen van onge-roerde monsters is afgeleid, kan worden toegeschreven aan de gerin-gere laagdikte (38 m) waarop deze waarde betrekking heeft.

Wat de verticale weerstand van de deklagen betreft, moet rekening gehouden worden met grote verschillen tussen de diverse delen van de polder. Behalve aan verschillen in verticale doorlatendheid, moe-ten deze variaties in c-waarden vooral worden toegeschreven aan de aanzienlijke verschillen in dikte van de deklagen (fig.6). Relatief lage c-waarden kunnen verwacht worden en zijn ook gevonden in het oostelijke deel van de polder, waar de deklagen dun zijn of soms na-genoeg geheel ontbreken. Hoge c-waarden komen in het westelijke deel voor, waar de deklagen tot 8 à 10 m of meer dik zijn.

Tenslotte dient rekening gehouden te worden met zeer hoge c-waarden van het Veen-op-grotere-diepte. Dit veen is zeer compact en het is uiterst slecht doorlatend. Het komt echter niet als een aaneenge-sloten dek boven de Eemlagen voor, maar meer verspreid als losse schollen.

sub d. Door WESSELING (1960) zijn de kD- en c-waarden afgeleid uit de voortplan-ting van de getijbeweging in het grondwater. Voor het produkt kD.c zijn in de raaien, waarin de boringen K89 en K104 gelegen zijn, waar-den gevonden van respectievelijk ongeveer 38.000 en 97.000. Uit bo-vingenoemde pompproeven volgen voor kD.c echter geheel afwijkende uitkomsten, namelijk respectievelijk 11.250 en 442.000. Deze ver-schillen moeten deels worden toegeschreven aan het feit, dat bij de berekeningen uit de getijvoortplanting geen rekening is gehouden met de samendrukbaarheid van de afdekkende laag, waarop door ERNST(1962) is gewezen. Waar de dek laag dun is of ontbreekt (bij K89), zou men echter verwachten, dat de uitkomsten van beide methoden een goede overeenkomst te zien zouden geven. De pompproef geeft echter een on-geveer viermaal lagere waarde voor kD.c. Een verklaring hiervoor is moeilijk te geven.

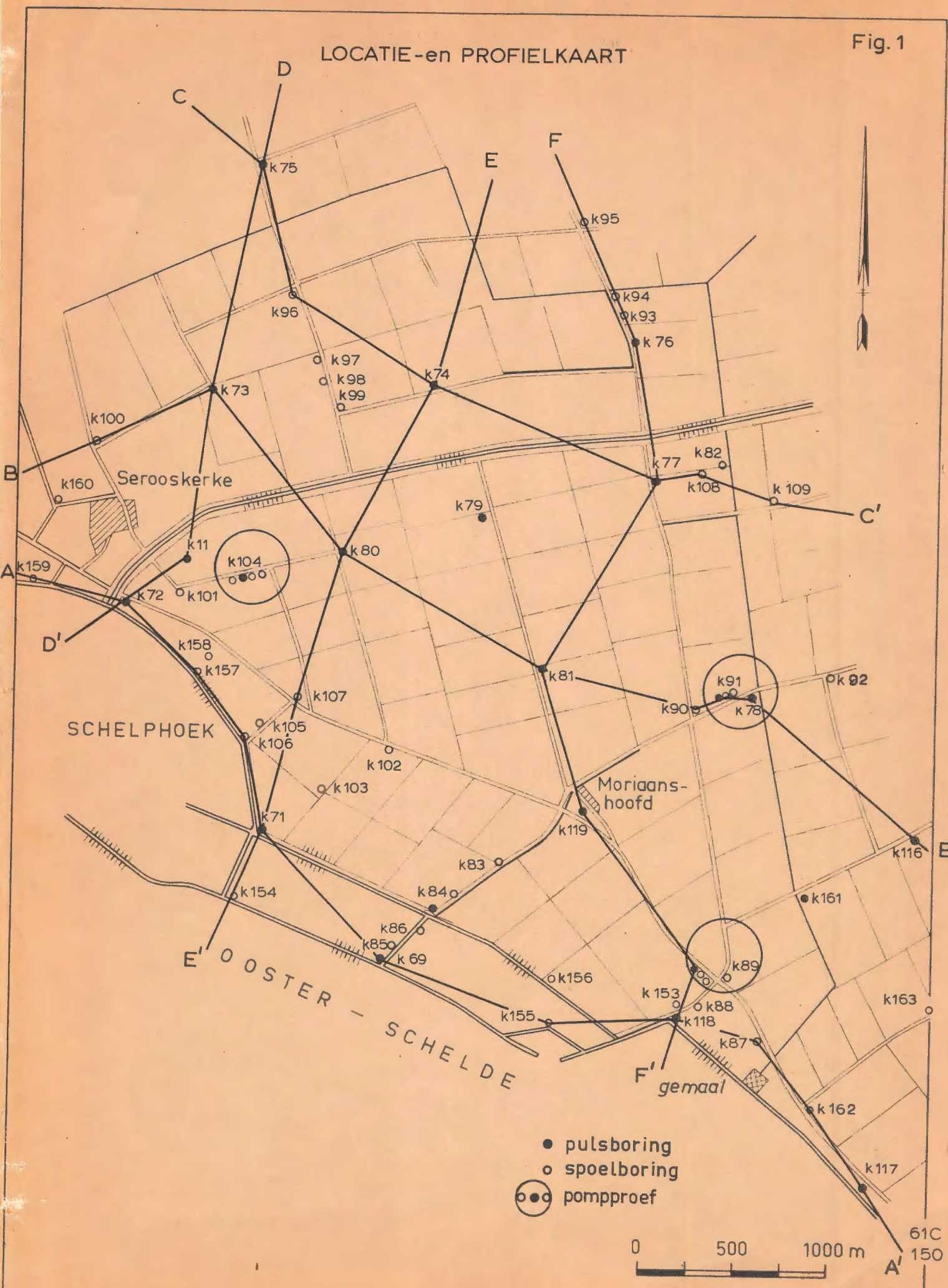
LITERATUUR

- BENNEMA, J. (1954). Bodem- en zeespiegelbewegingen in het Nederlandse kustgebied. Diss. Wageningen
- DAM, J.C., VAN (1957) - Rapport betreffende het geo-electrisch onderzoek op Schouwen-Duiveland in het jaar 1956. Werkgr. Geo-electr. Onderzoek T.N.O. 28 pag.
- DAM, J.C., VAN en N.A. DE RIDDER (1960) - Enige aspecten van het geohydrologisch onderzoek in zuidwest Nederland. Geol. en Mijnb. 39, pp. 603-620.
- ERNST, L.F. (1962) - De invoering van correcties in hydrohypsenkaarten ten behoeve van de berekening van horizontale en verticale componenten van de stroming bij verschillen in dichtheid van het grondwater. Nota 127, I.C.W. Wageningen
- (1962) - Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Diss. Utrecht
- HEIDE, S. VAN DER (1957) - Correlations of marine horizons in the middle and upper Pleistocene of the Netherlands Geol. en Mijnb. N.S. 19, pp. 272-276
- JONG, J.D. DE, B.P. HAGEMAN en F.F.F.E. VAN RUMMELEN (1960) - De holocene afzettingen in het Deltagebied. Geol. en Mijnb. 39, pp. 654-661
- KUIPERS, S.F. (1960) - Een bijdrage tot de kennis van de bodem van Schouwen-Duiveland en Tholen naar de toestand voor 1953. Diss. Wageningen. Versl. Landb. Onderz. 65.7
- PONS, L.F. en A.J. WIGGERS (1959) - De holocene wordingsgeschiedenis van Noord-Holland en het Zuiderzeegebied. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. 76, 2 pp. 104-152
- SPAINK, G. (1958) - Rapport no, 31. Afdeling Macropaleontologie Geol. Dienst Haarlem
- STRAMTEN, L.M.J.U. VAN (1954) - Radiocarbon datings and changes of sea level at Velzen. Geol. en Mijnb. N.S. 16, pp. 247-253

- VOORTHUYSEN, J.H.VAN (1957) - Algemeen geologisch overzicht tot een diepte van 40 m. In: Agro-hydrologische profielen van Zeeland. Min. v.Landb. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage
- WEERD, B.VAN DER (1961) - Het chloridegehalte van het grondwater op grotere diepte in het onderbemalingsgebied "De Prunje". Nota no. 99, I.C.W. Wageningen, 8 pag.
- WESSELING, J, (1960) - Enkele resultaten van de bepaling van hydrologische constanten in het Prunjegebied (Schouwen-Duiveland). Geol, en Mijnb. 39, pp. 624-630.
- WIT, K.E. (1962) - An apparatus for coring undisturbed samples in deep boreholes. Soil Science. Vol. 94, 2.

Fig. 1

LOCATIE-en PROFIELKAART

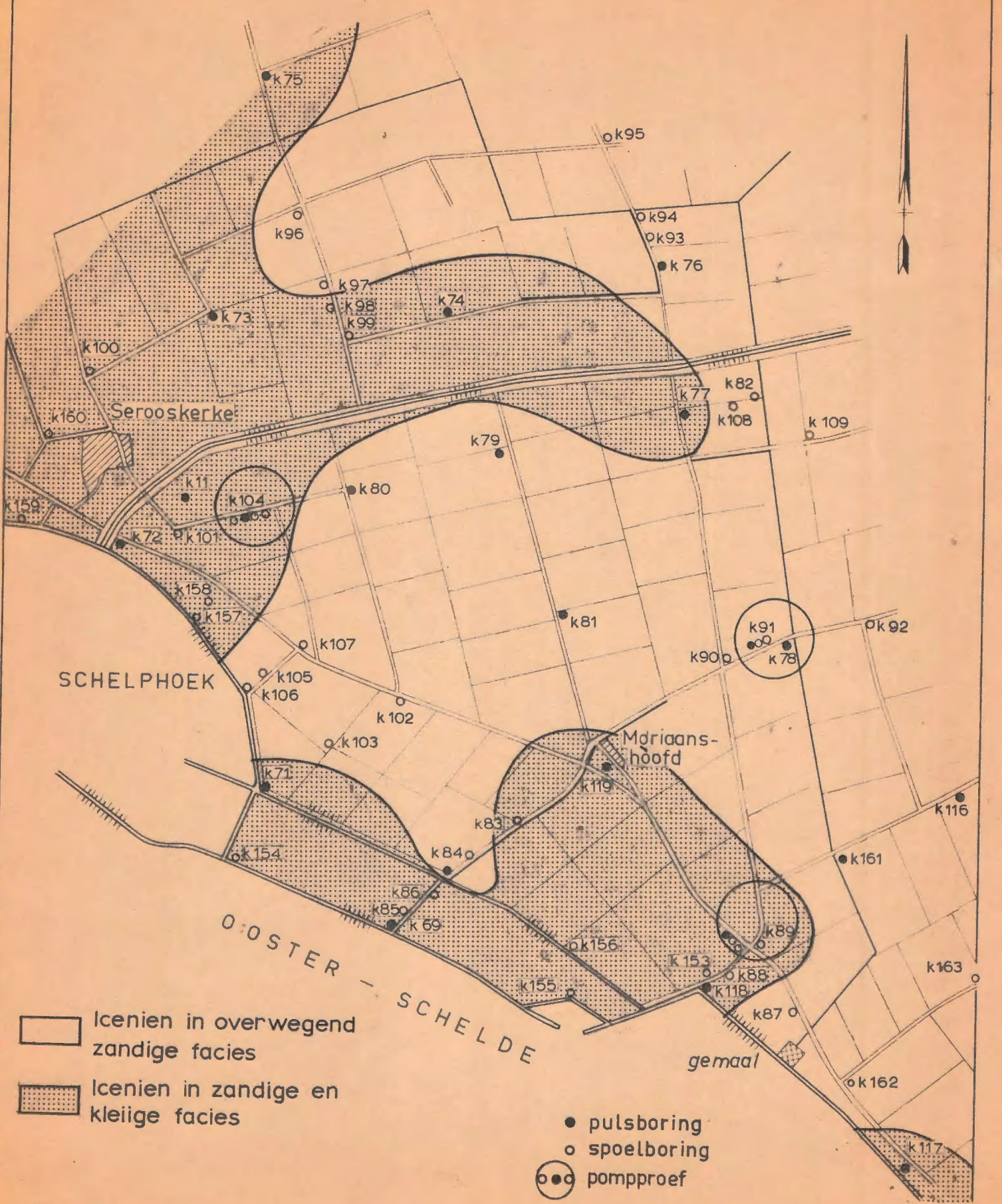


- pulsboring
- spoelboring
- ⊙ pomproef



FACIESKAART van het ICENIEN

Fig. 2



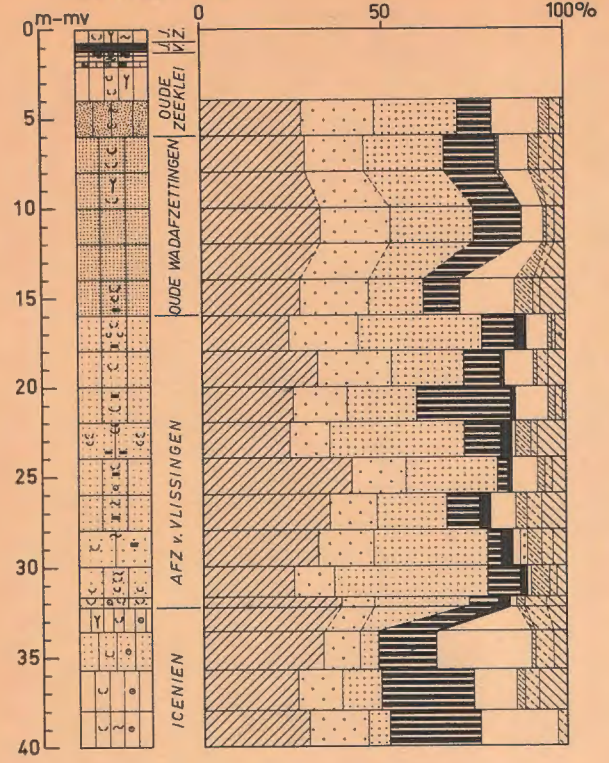
□ Icenien in overwegend zandige facies

▨ Icenien in zandige en kleiige facies

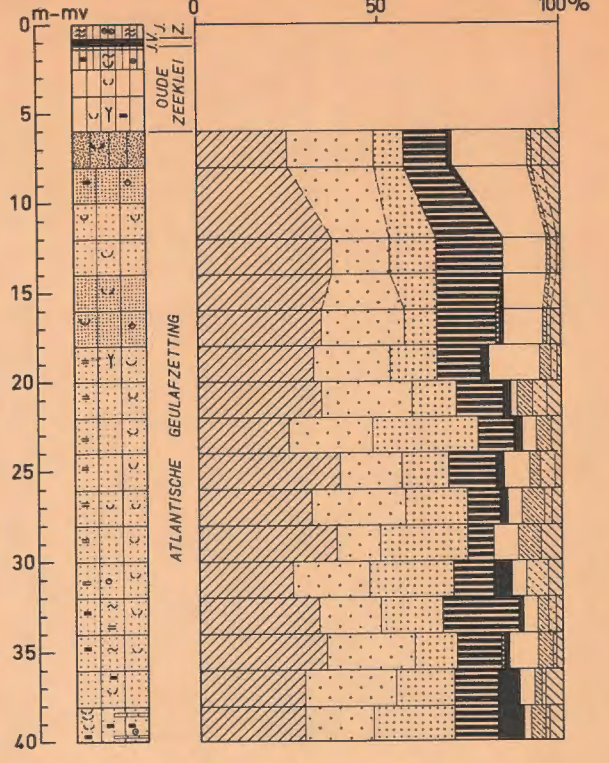
● pulsboring
○ spoelboring
⊙ pompproef

0 500 1000 m 61C 150

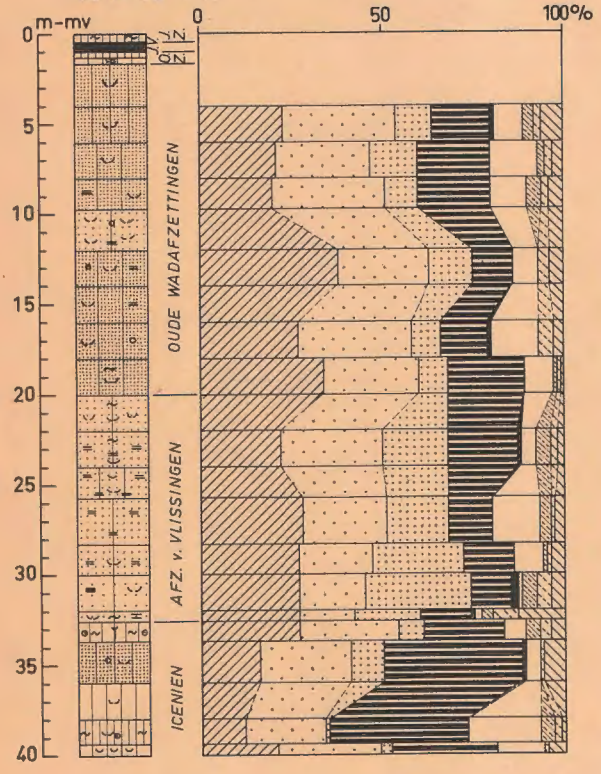
BORING K75



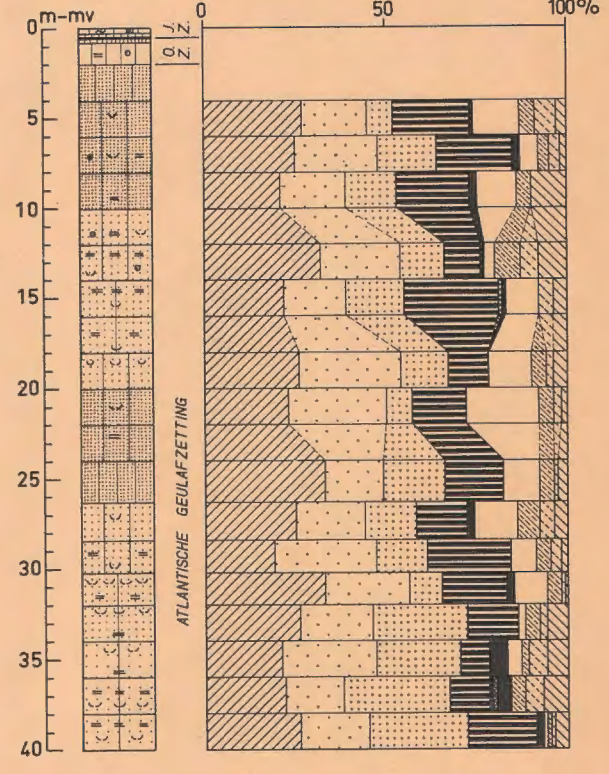
BORING K76



BORING K77



BORING K78



ZWARE MINERALEN

- Granaat
- Epidoot
- Saussuriet, Alteriet
- Hoornblende
- Vogezen Hoornblende
- Chloritoid

- Vulkanische mineralen
- Rest
- Topaas
- Stauroliet
- Metamorfe mineralen
- Toermalijn

LITHOLOGIE

- Middel grof zand
- Matig grof zand
- Matig fijn zand
- Middel fijn zand
- Zeer fijn zand
- Grind
- Klei
- Kleig zand

Fig. 4

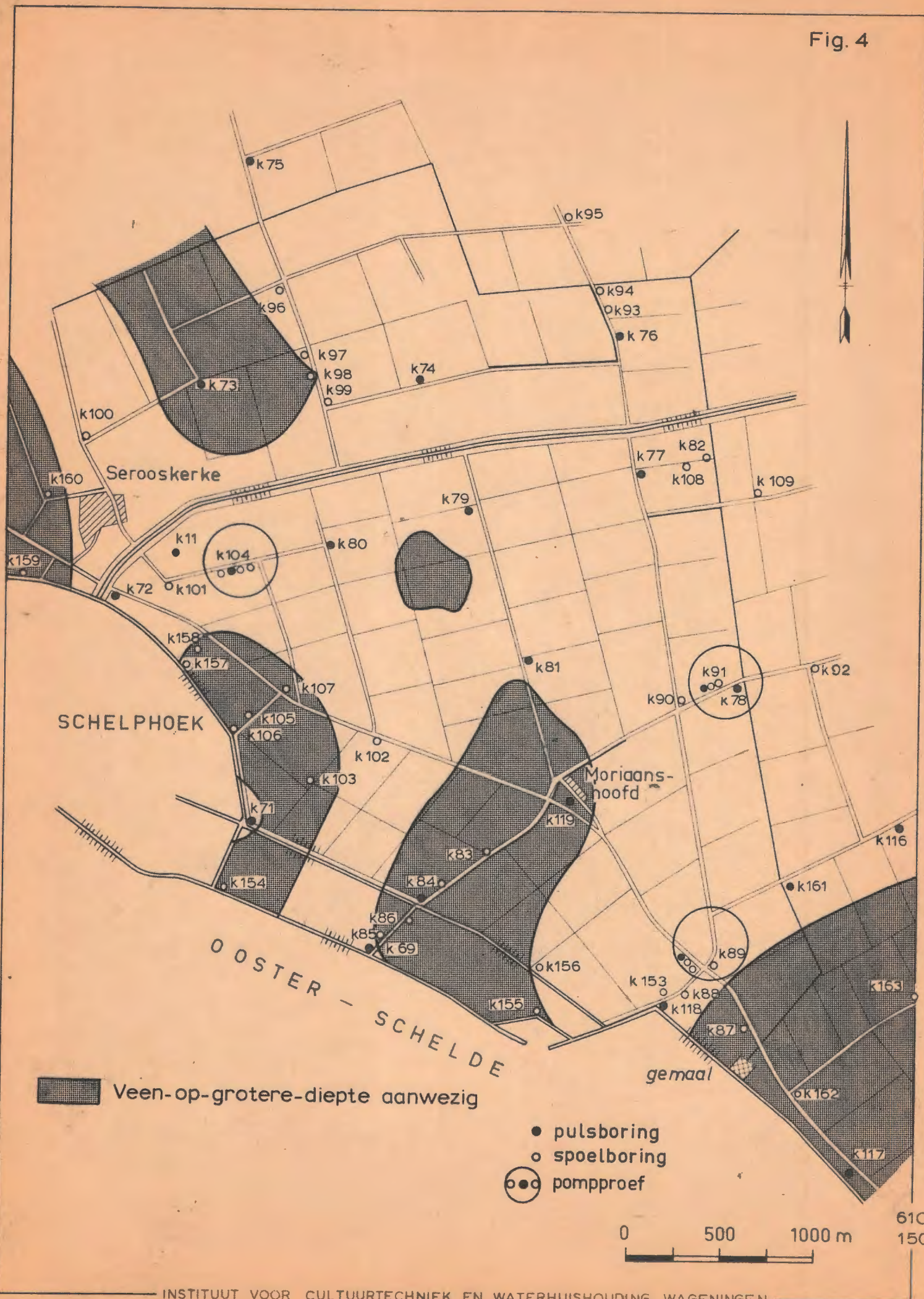
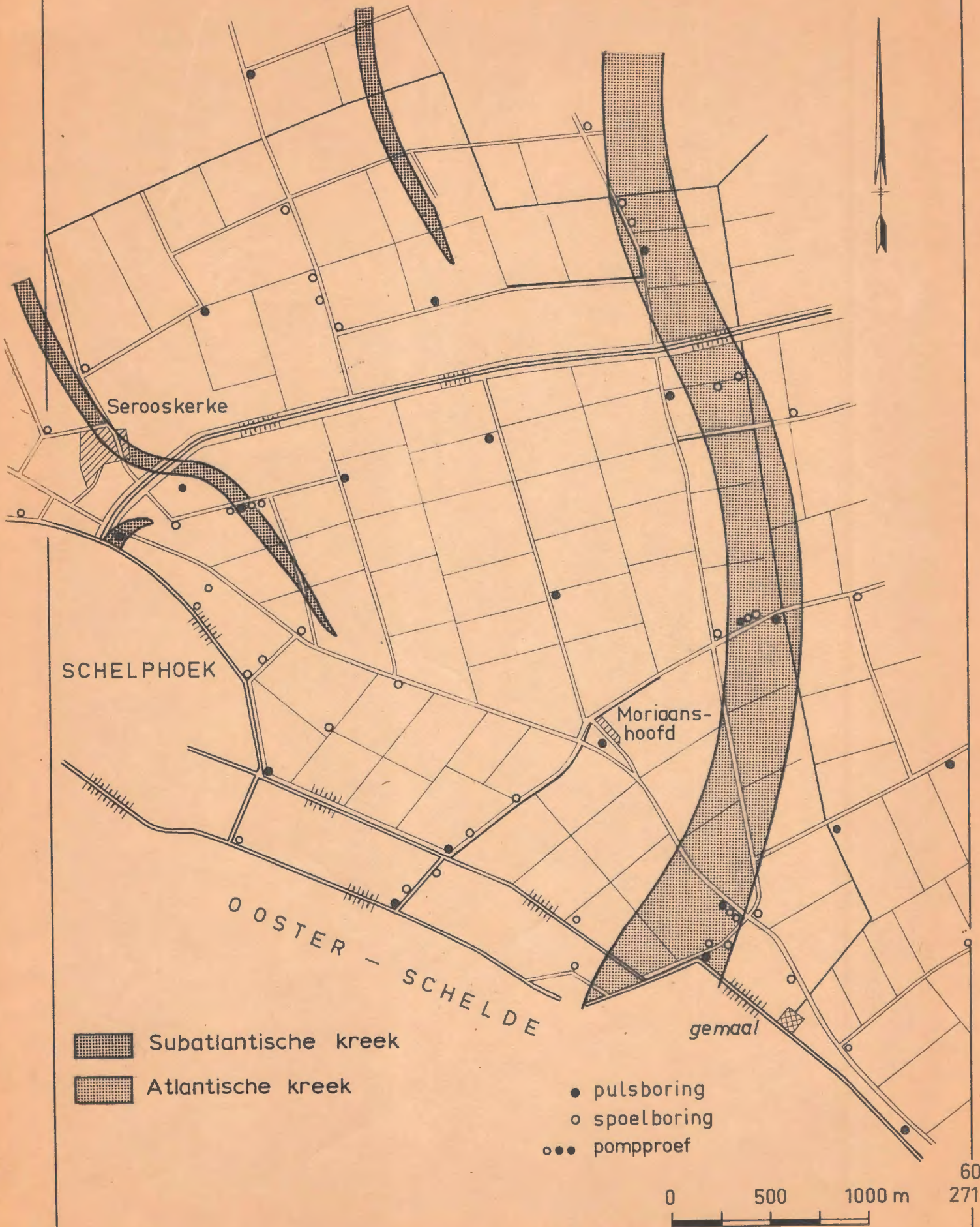




Fig. 5



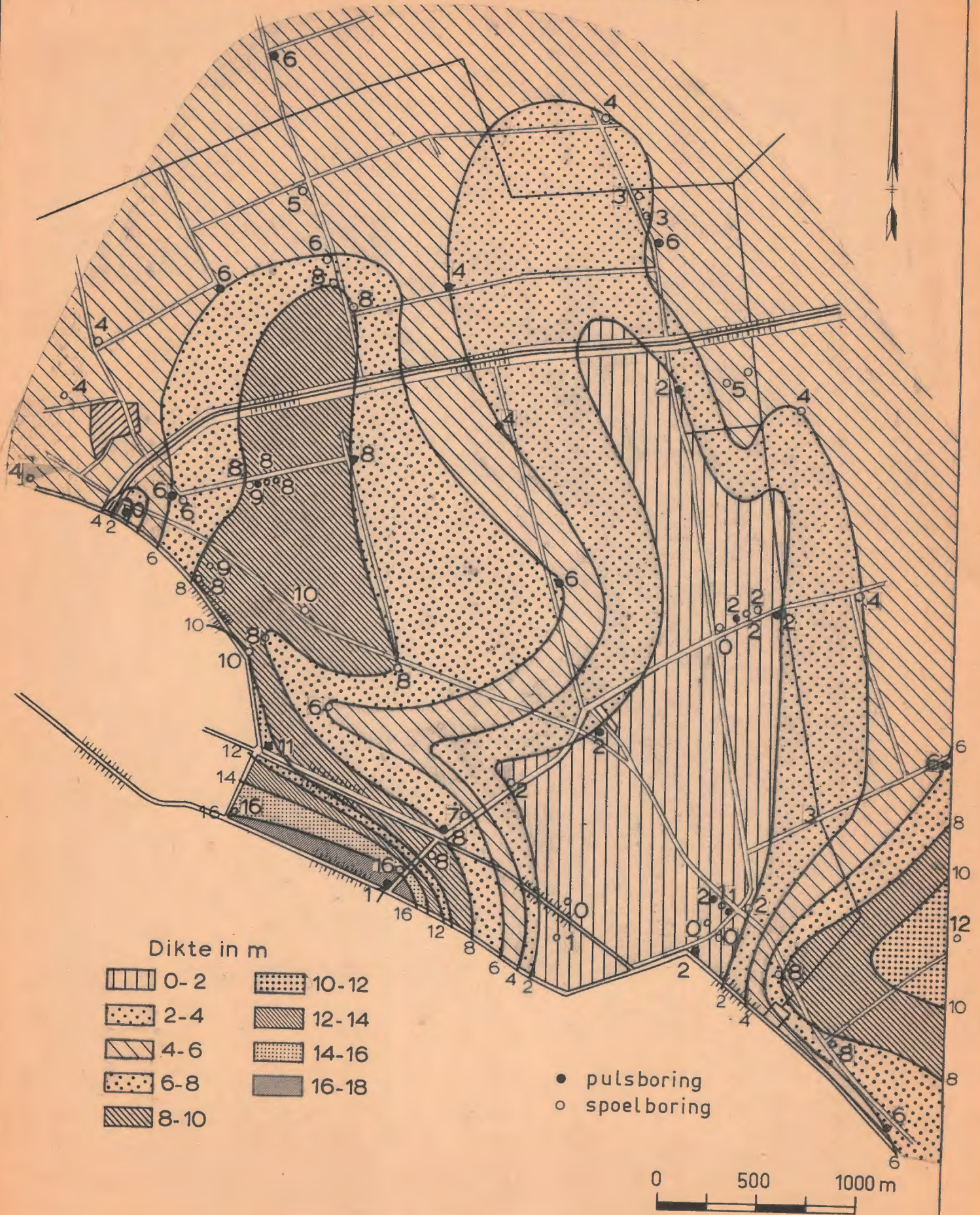
 Subatlantische kreek
 Atlantische kreek

● puls boring
○ spoel boring
●●● pompproef

0 500 1000 m 60
271C

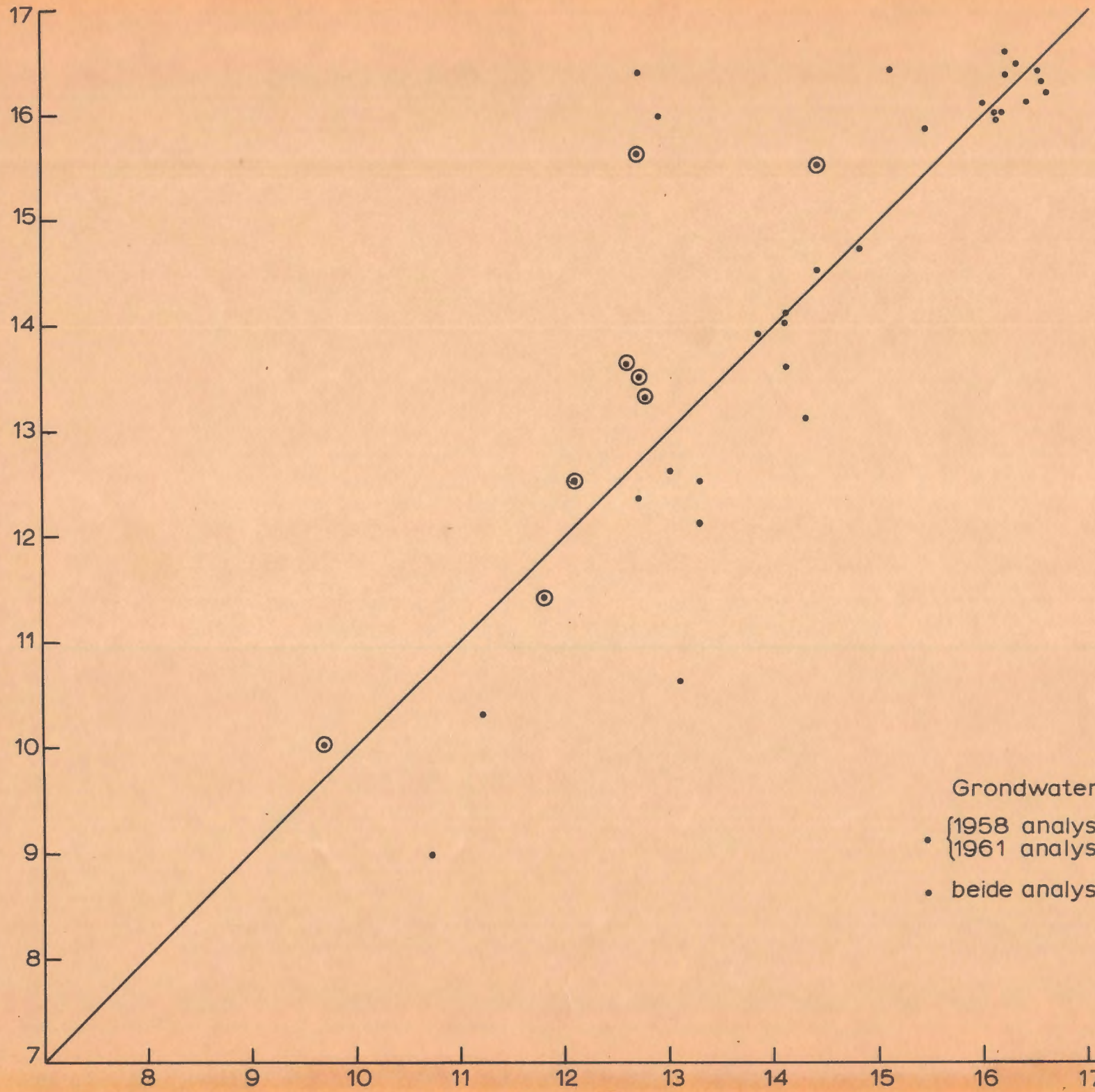
ISOPACHENKAART VAN DE SLECHT DOORLATENDE DEKLAGEN
 (Jonge zeelei, Oppervlakte veen en Oude zeelei)

Fig. 6



gr. Cl/l
nov. '58

Fig. 7^a



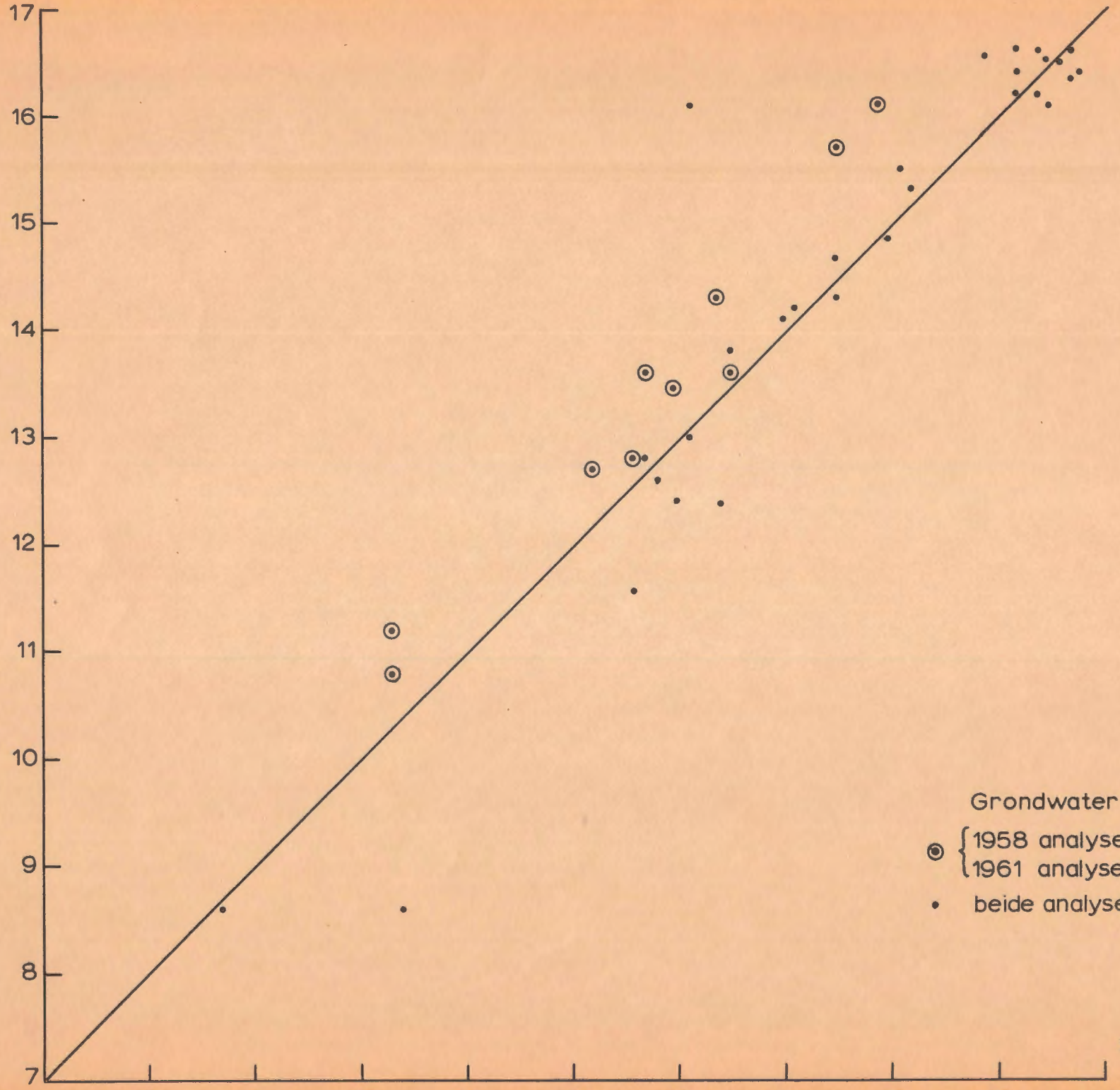
Grondwater op 20m-mv
• { 1958 analyse RvD
 { 1961 analyse Goes
• beide analyses Goes

Sept. '61

gr. Cl/l

gr Cl/I
nov. '58

Fig. 7^b



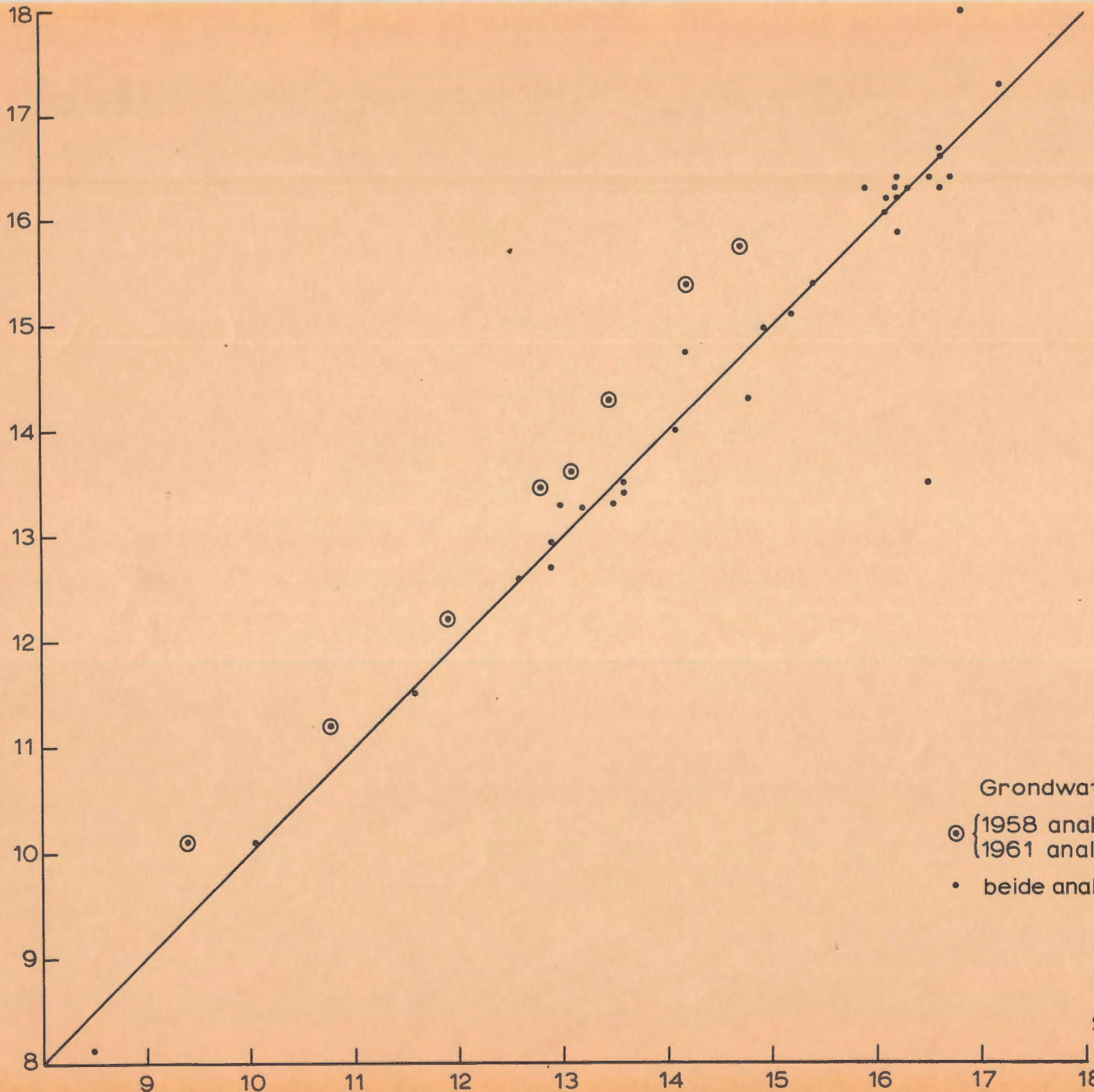
Grondwater op 30m-mv
○ { 1958 analyse R v D
1961 analyse Goes
• beide analyses Goes

Sept. '61

gr Cl/I

gr. Cl/l
nov. '58

Fig.7^c



Grondwater op 40m-mv
○ { 1958 analyse R v D
 1961 analyse Goes
• beide analyses Goes

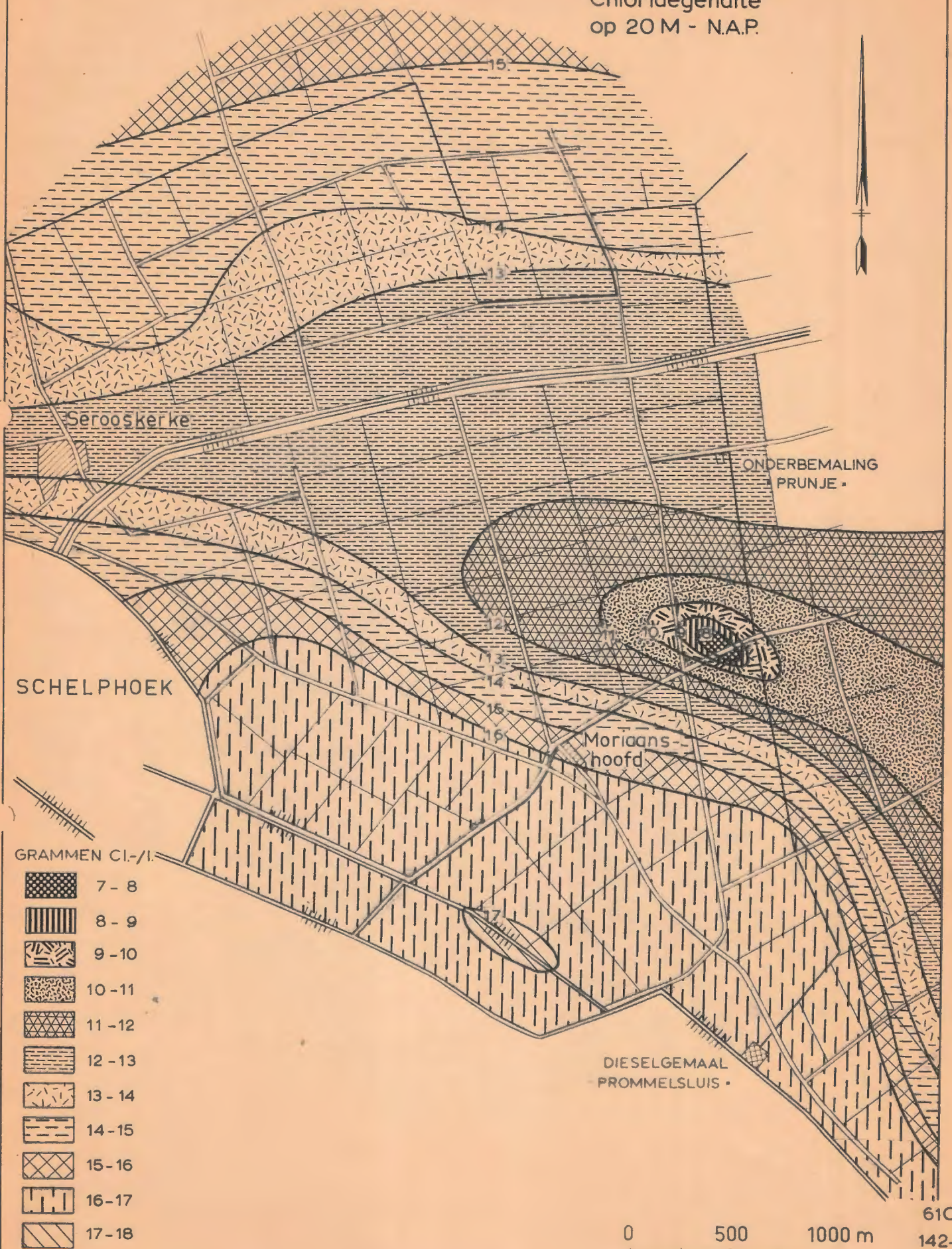
Sept. '61

gr Cl/l

PRUNJEGBIED

Fig. 8

Chloridegehalte
op 20 M - N.A.P.



Serooskerke












ONDERBEMALING
PRUNJE

SCHELPHOEK

Moriaans-
hoofd

DIESELGEMAAL
PROMMELSLUIS

GRAMMEN Cl./l.

-  7 - 8
-  8 - 9
-  9 - 10
-  10 - 11
-  11 - 12
-  12 - 13
-  13 - 14
-  14 - 15
-  15 - 16
-  16 - 17
-  17 - 18

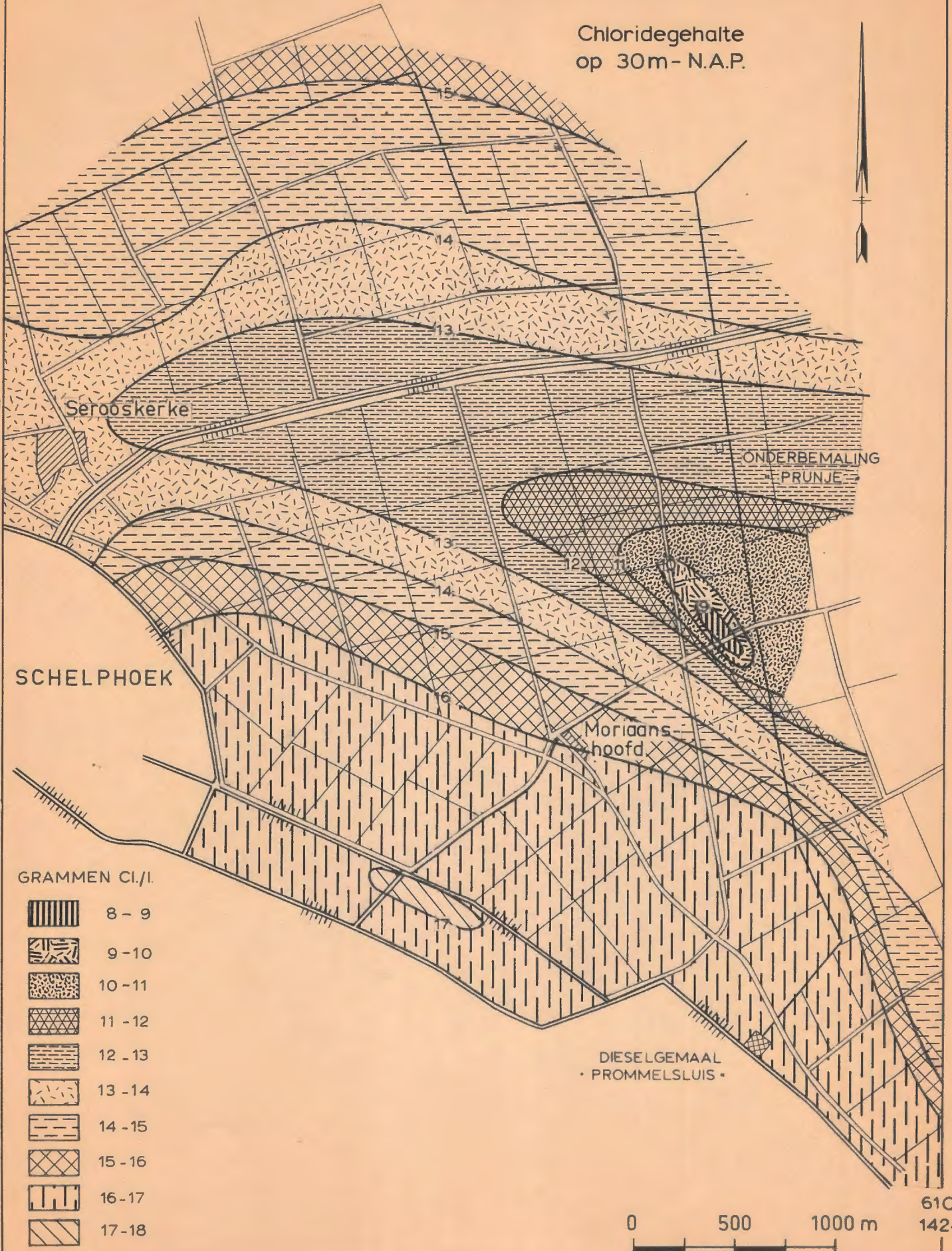
0 500 1000 m

61C
142-2

PRUNJEGBIED

Fig. 9

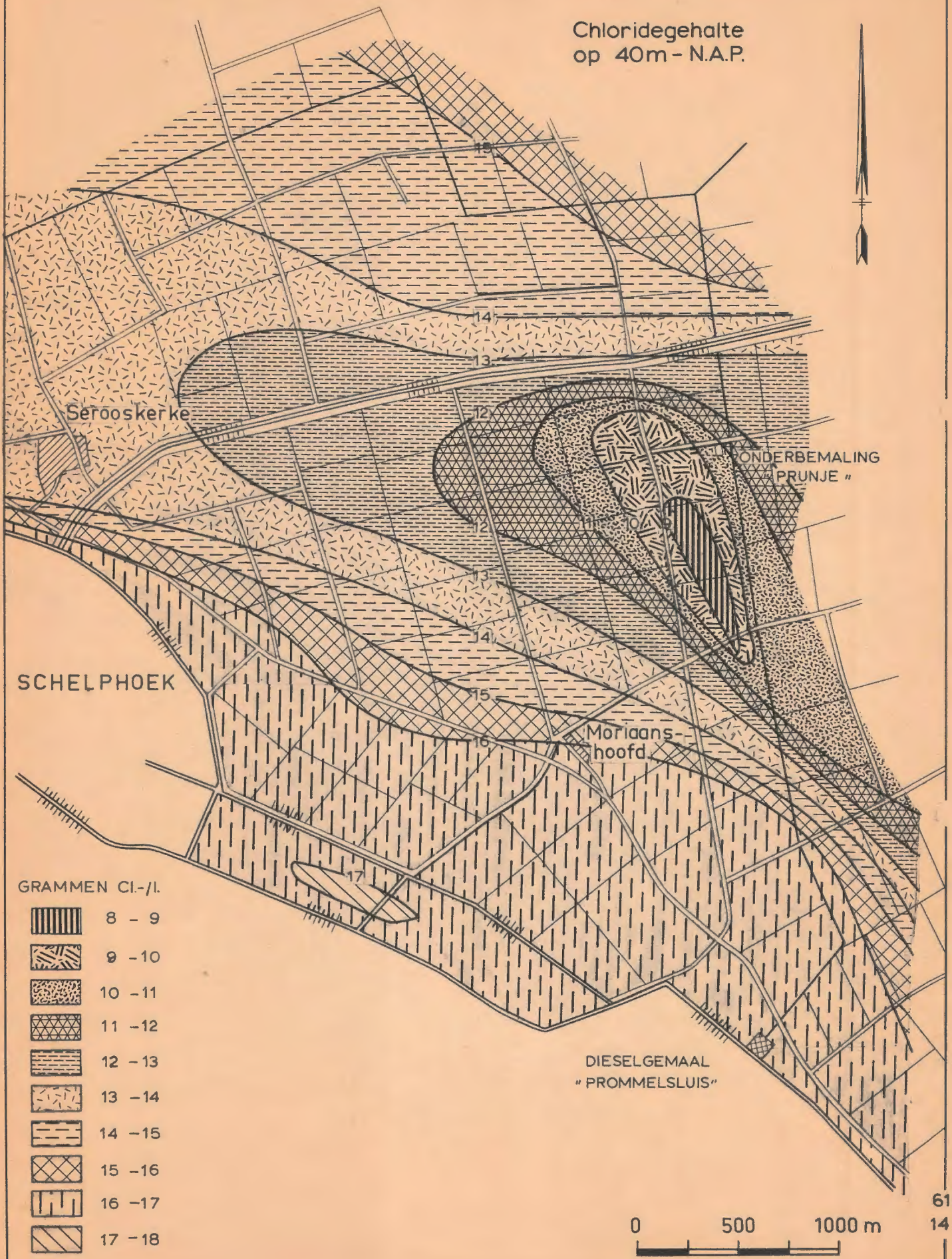
Chloridegehalte
op 30m - N.A.P.













PRUNJEGBIED

Fig. 10

Chloridegehalte
op 40m - N.A.P.

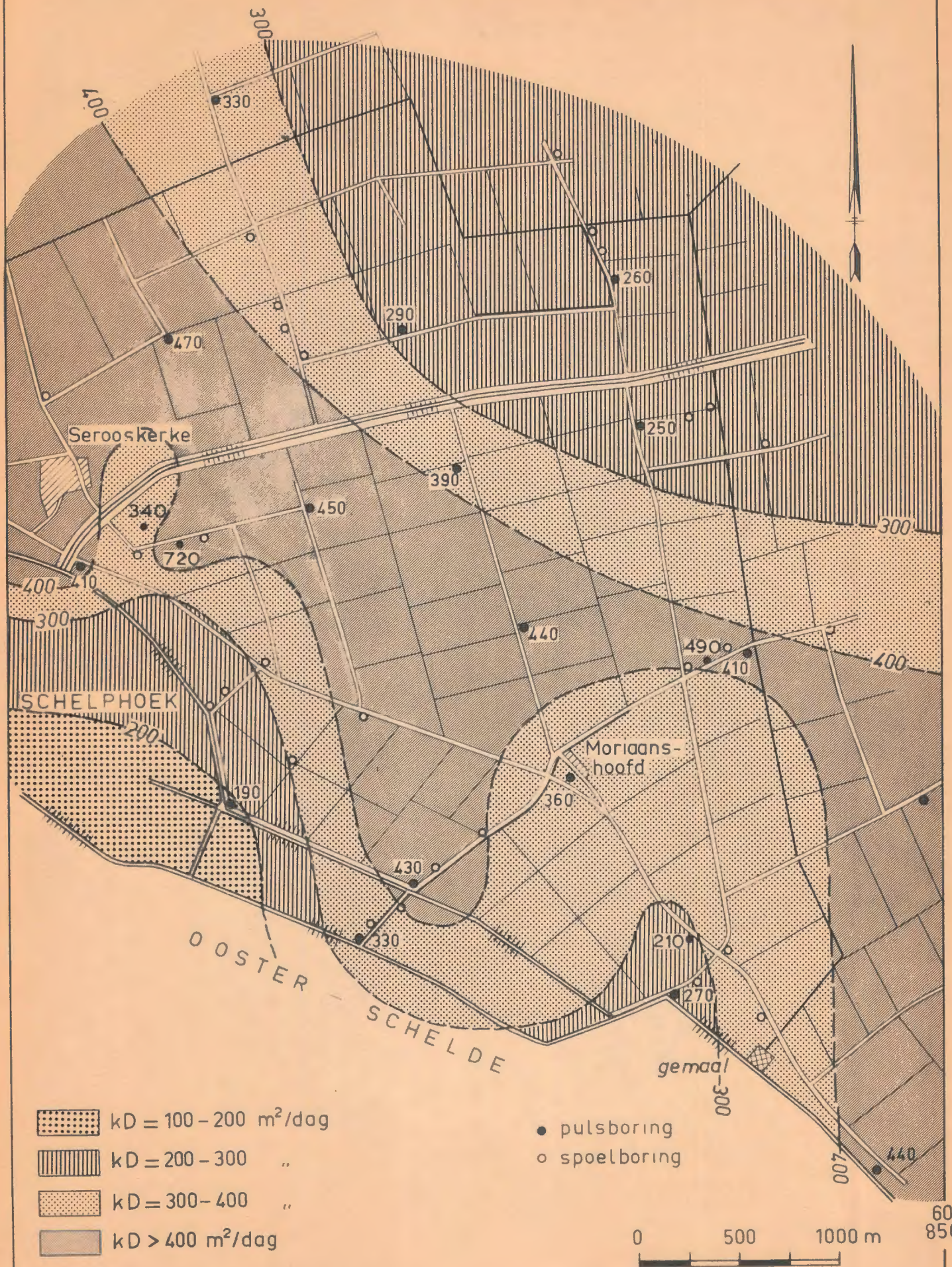


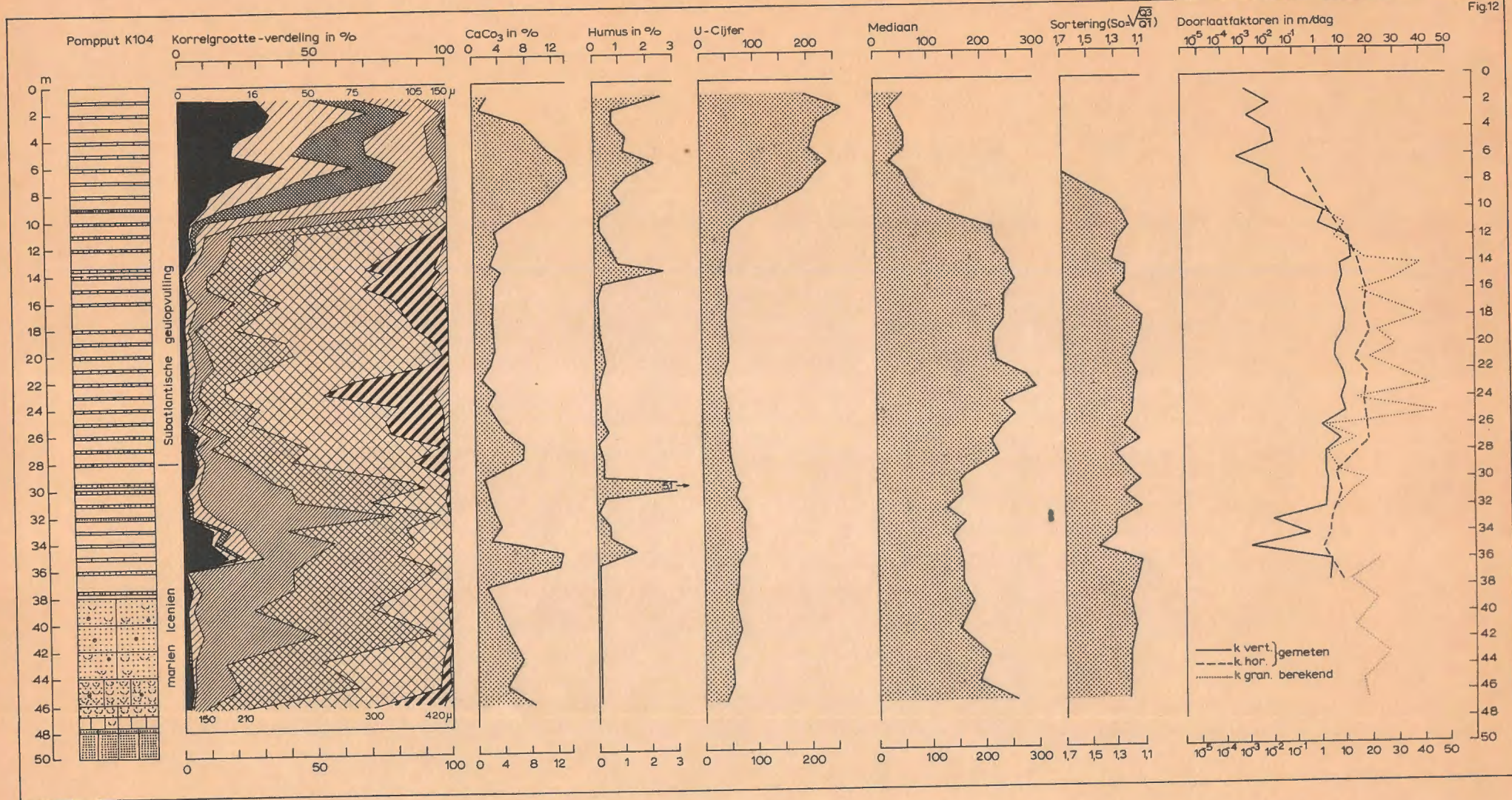
GRAMMEN Cl./l.

-  8 - 9
-  9 - 10
-  10 - 11
-  11 - 12
-  12 - 13
-  13 - 14
-  14 - 15
-  15 - 16
-  16 - 17
-  17 - 18

0 500 1000 m

61C
142-4





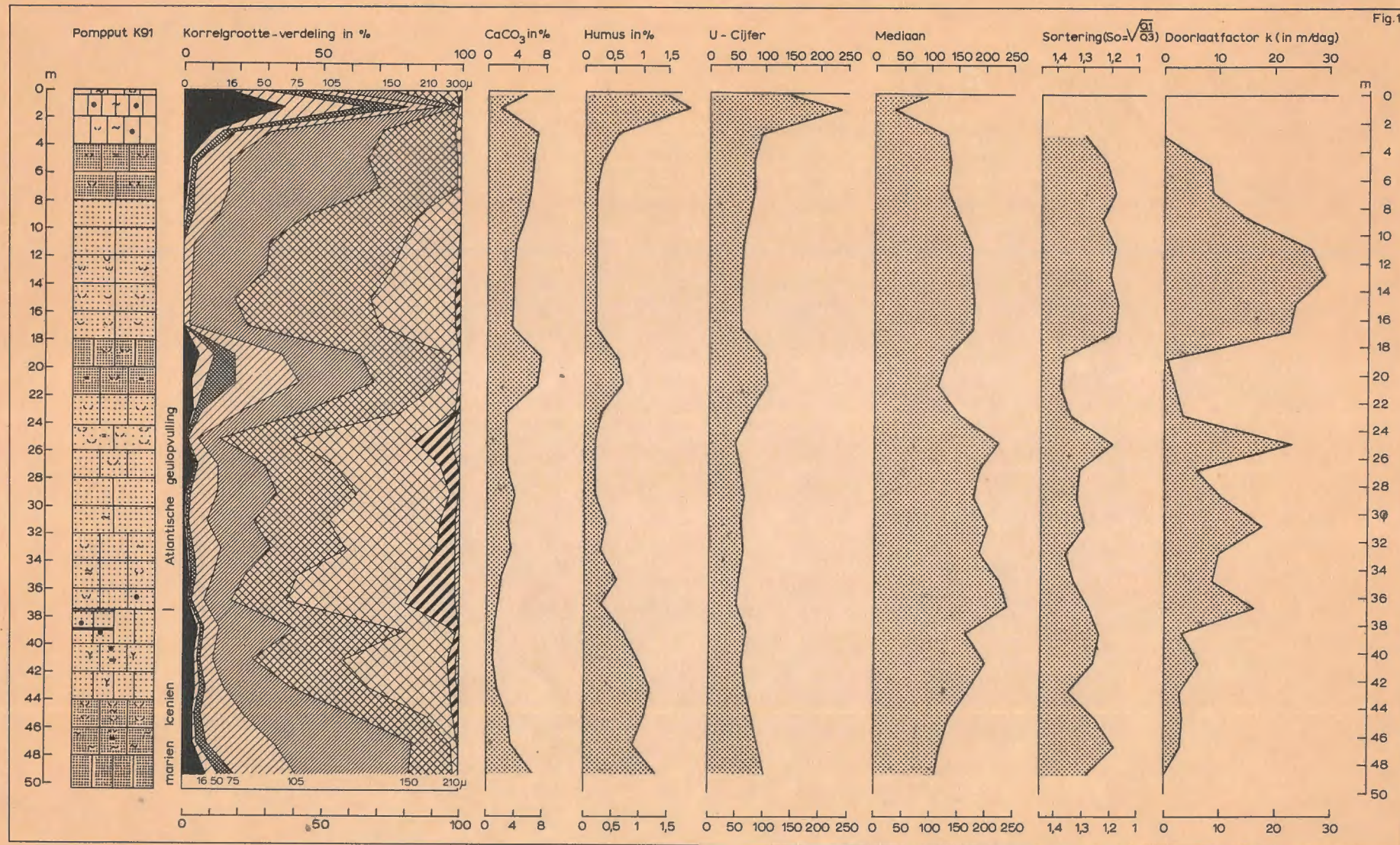
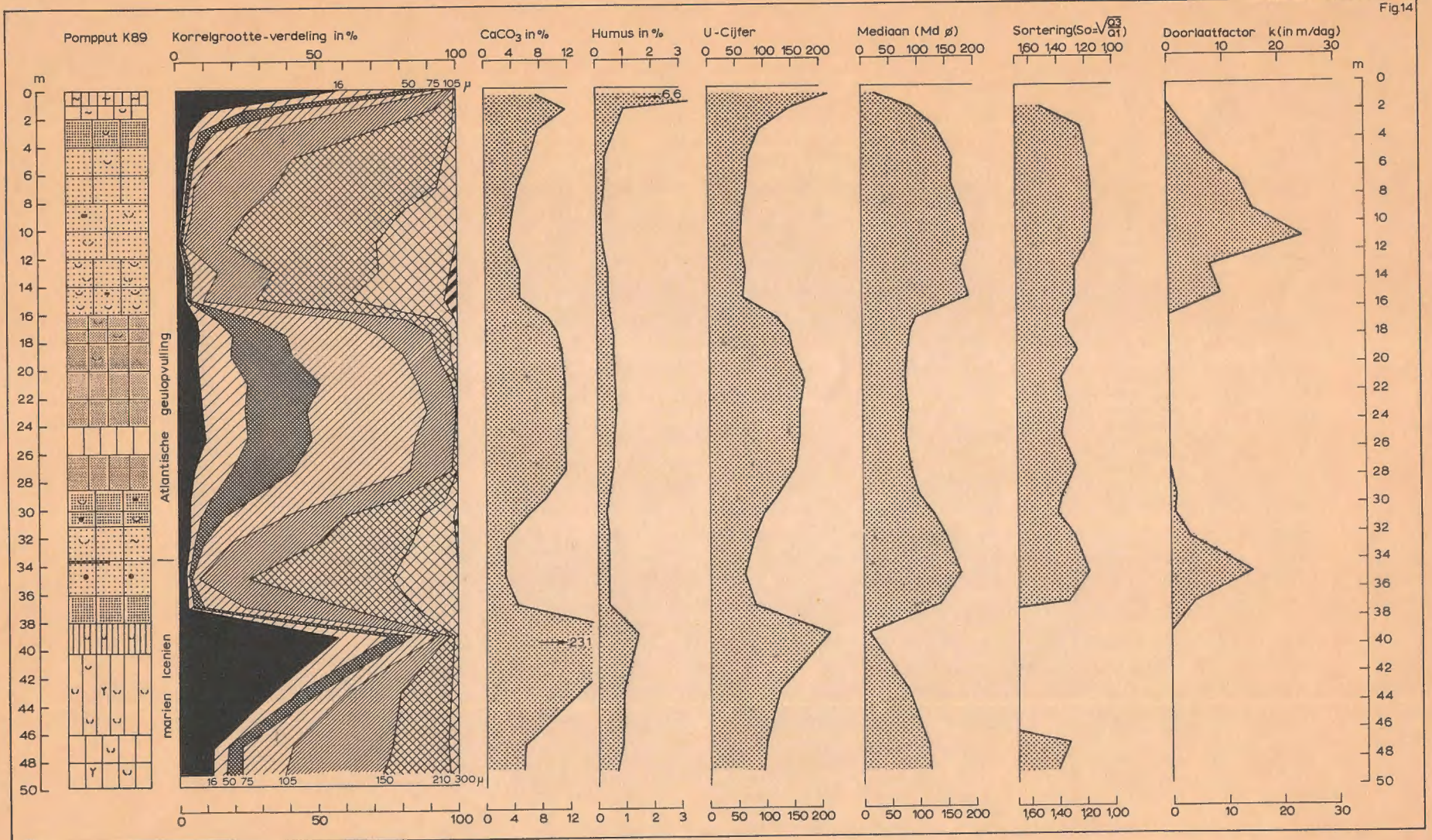
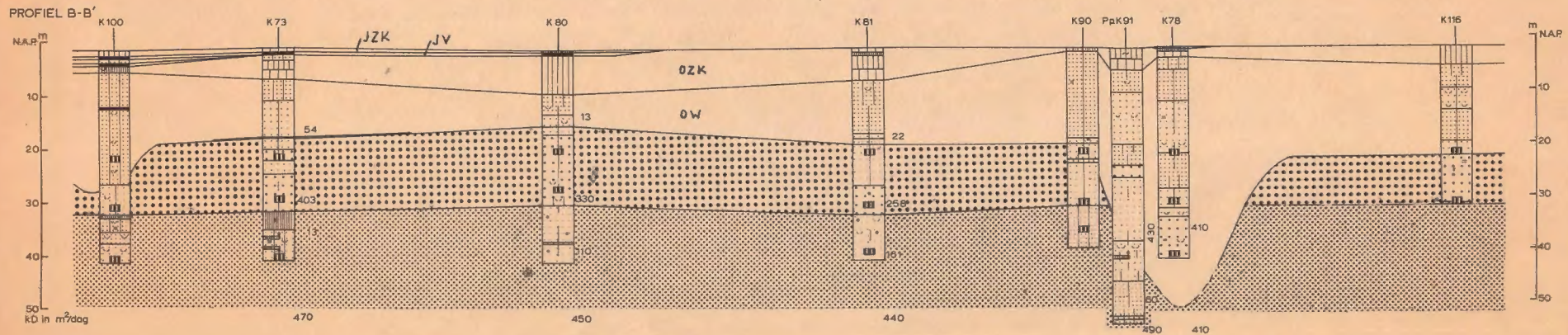
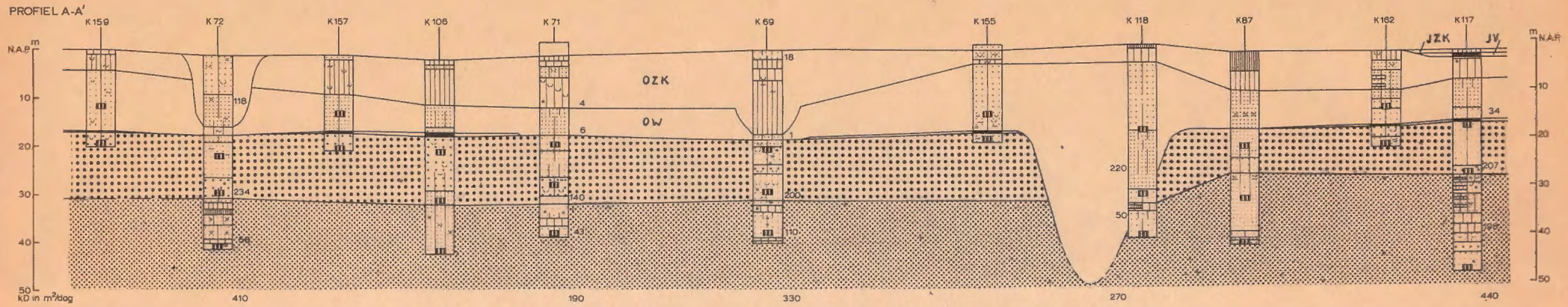


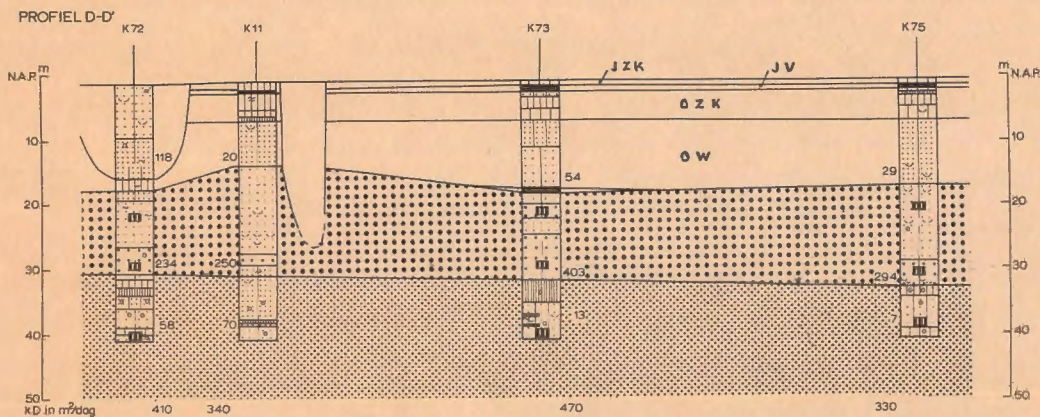
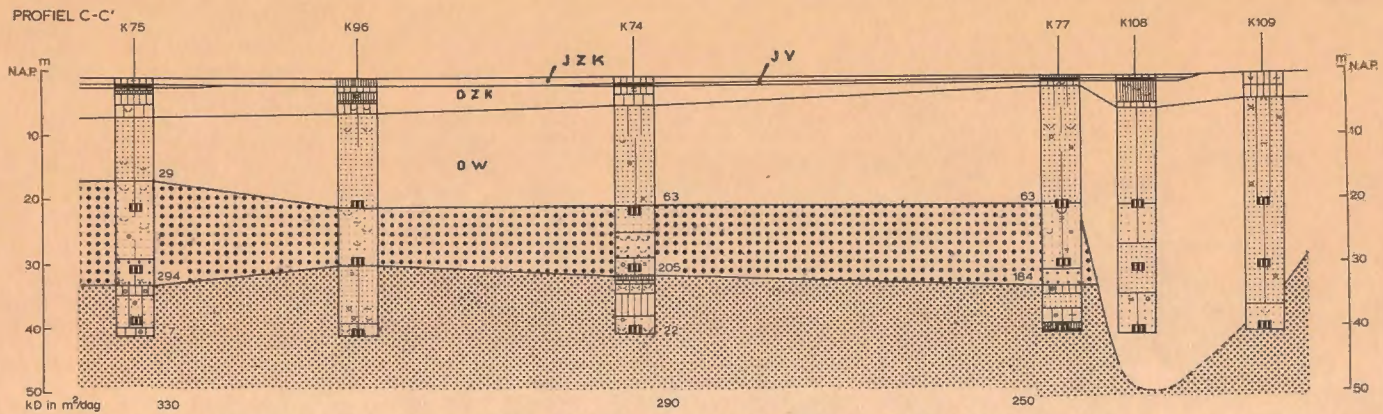
Fig.13

Fig14



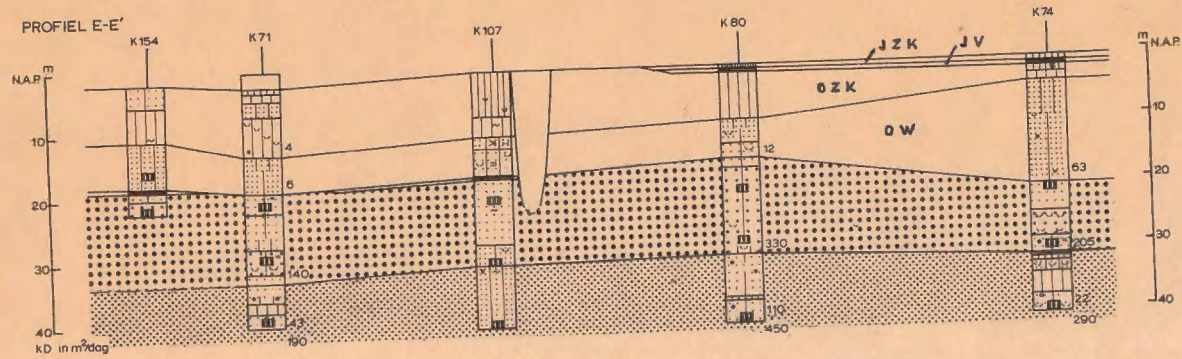


- | | | | |
|--|----------------------------------|--|---------------------------|
| | U 30-50 matig grof zand | | veen |
| | U 50-80 matig fijn zand | | venig |
| | U > 80 middel- en zeer fijn zand | | veel plantenresten |
| | Slibgehalte in % | | veel houtresten |
| | 0 - 2 | | humeus |
| | 2 - 5 | | concreties |
| | 5 - 10 | | schelpen |
| | 10 - 20 | | schelpgruis |
| | 20 - 40 | | Holoceen |
| | > 40 | | Afzetting van Vliissingen |
| | 0 | | marien icenien |
- Scale: 0 250 500 m

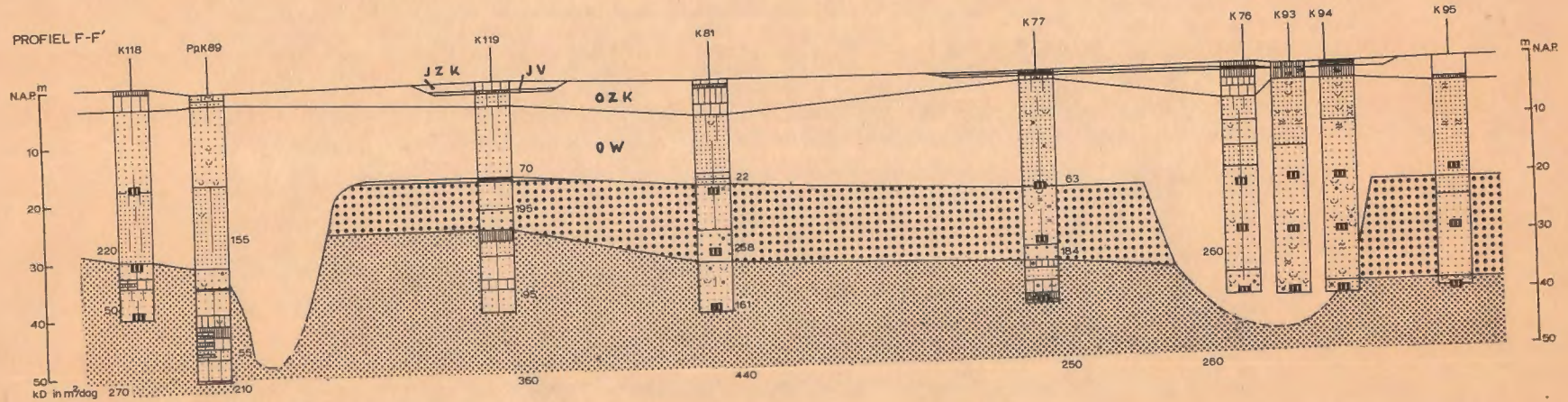


- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| U 30-50 matig grof zand | veen |
| U 50-80 matig fijn zand | veilig |
| U > 80 middel- en zeer fijn zand | veel plantenresten |
| Slibgehalte in % | veel houtresten |
| 0 - 2 | humus |
| 2 - 5 | concreties |
| 5 - 10 | scheipen |
| 10 - 20 | scheipgruis |
| 20 - 40 | Holoceen |
| > 40 | Afzetting van Vlissingen |
| Peilfilter | marien leenen |

PROFIEL E-E'



PROFIEL F-F'



ZEELAND

Boring K 69

Granulaire samenstelling in %

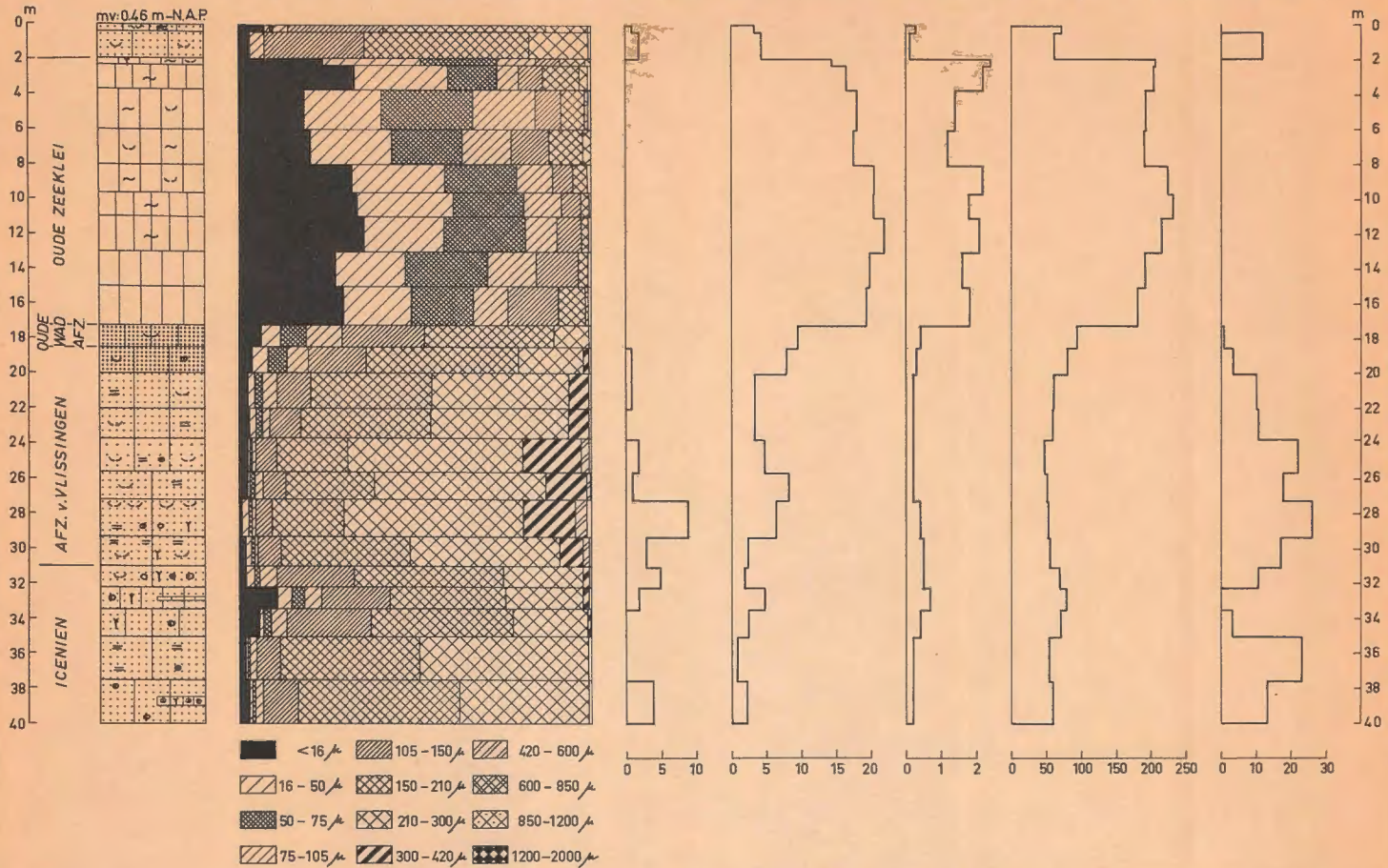
Grind in %

CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doorlaatfact. in m/dag



ZEELAND

Boring K 70

Granulaire samenstelling in %

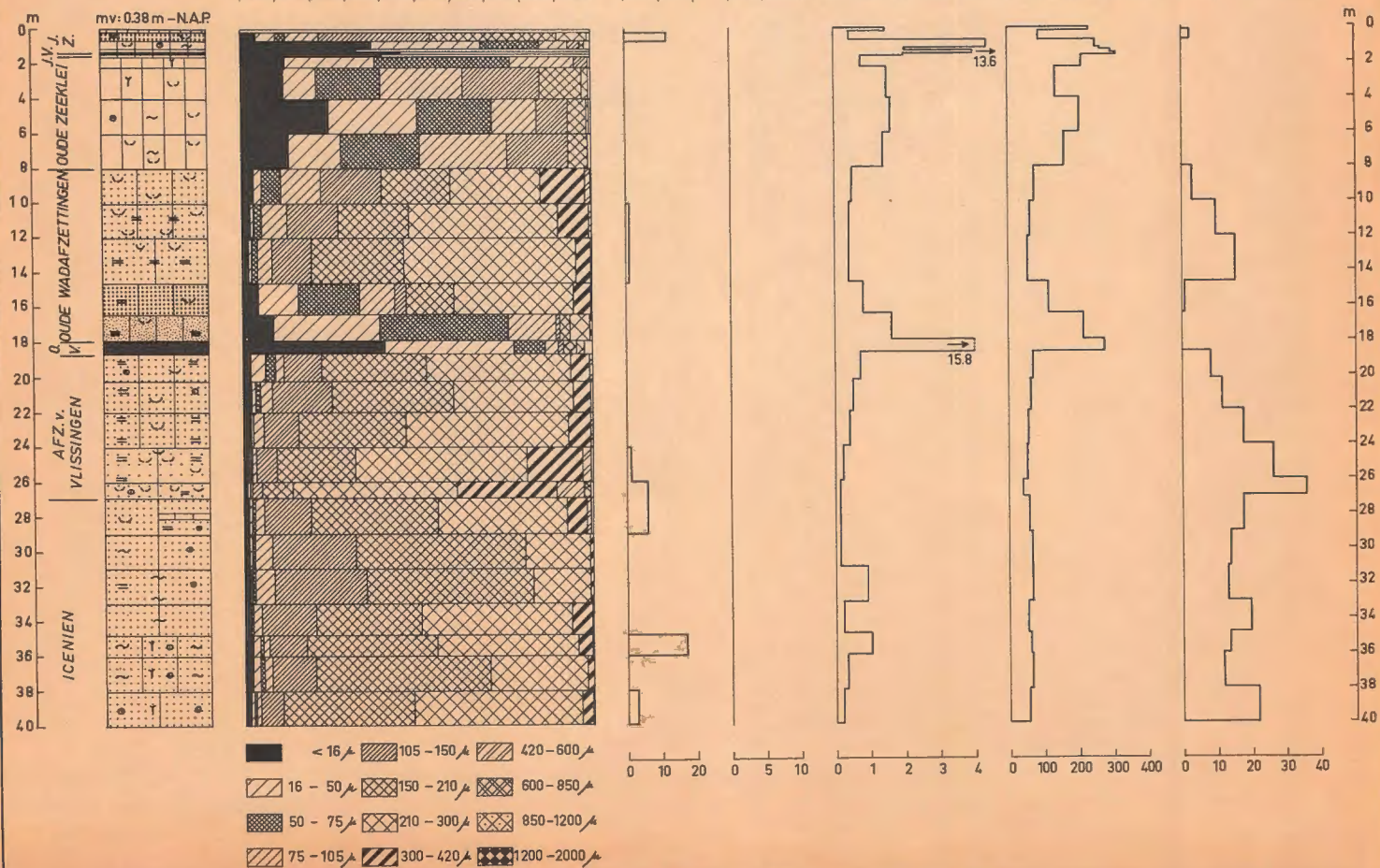
Grind in %

CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doorlaatfact. in m/dag



ZEELAND

Boring K71

Granulaire samenstelling in %

Grind in %

CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doortlaaf. in m/dag

0 50 100

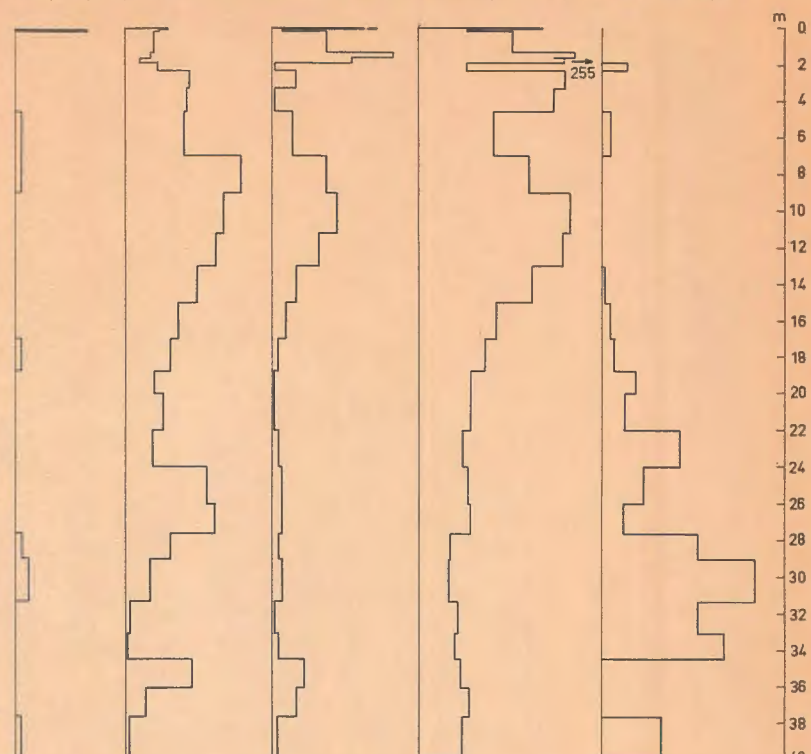
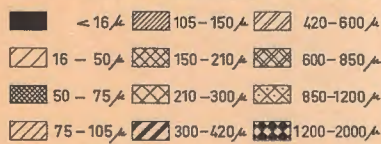
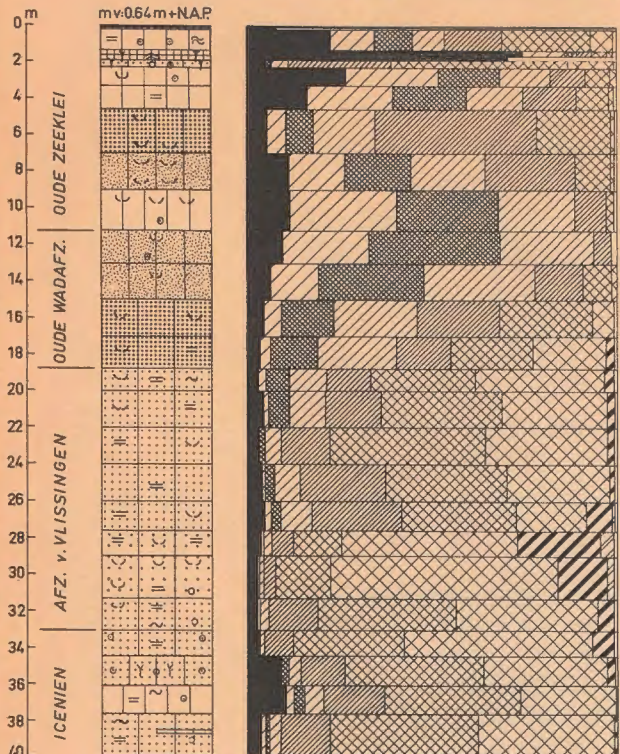
0 5 10

0 5 10 15

0 1 2 3

0 50 100 150 200

0 5 10 15 20



ZEELAND

Boring K72

Granulaire samenstelling in %

Grind in %

CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doortlaaf. in m/dag

0 50 100

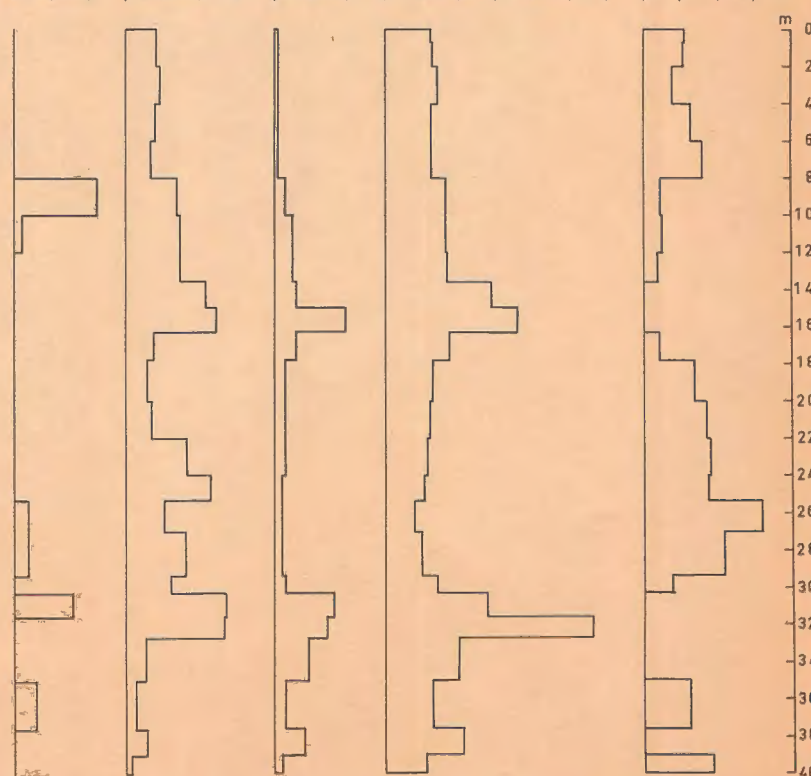
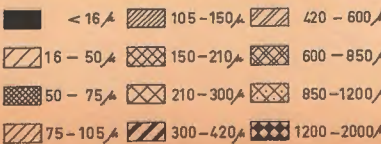
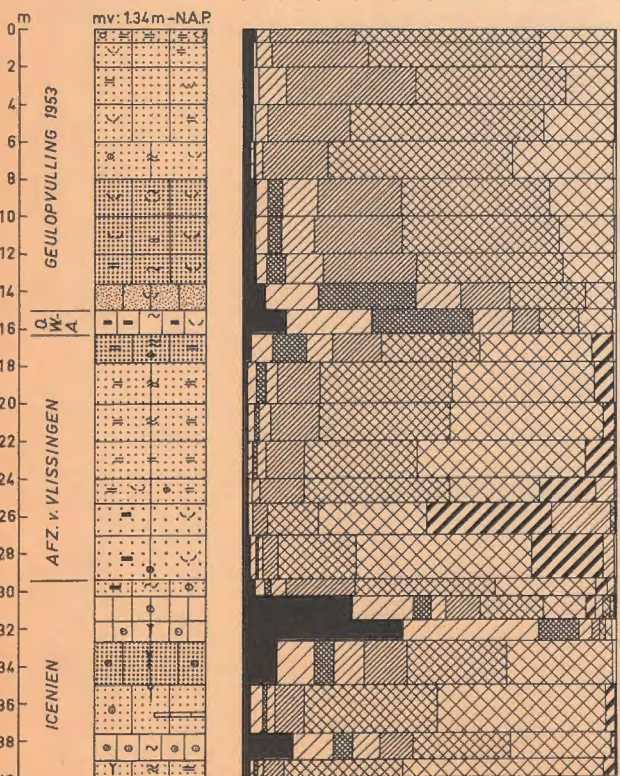
0 5 10

0 5 10 15

0 1 2

0 50 100 150 200 250 300

0 10 20 30



ZEELAND

Boring K73

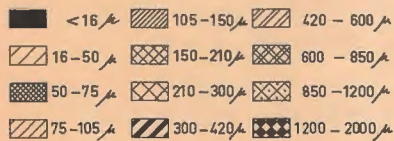
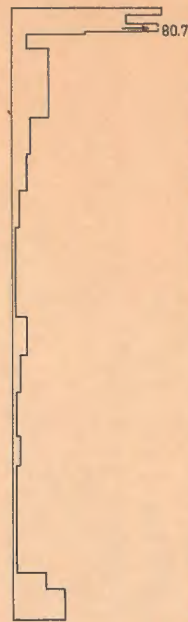
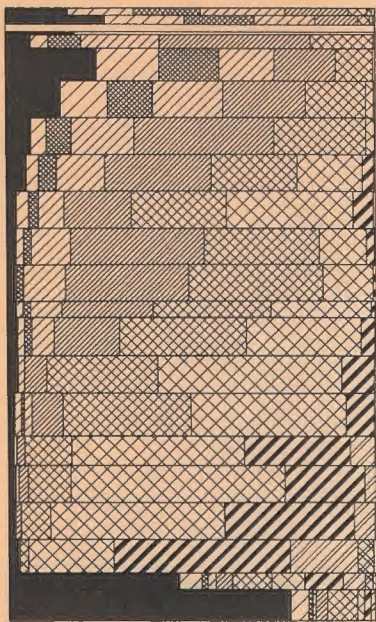
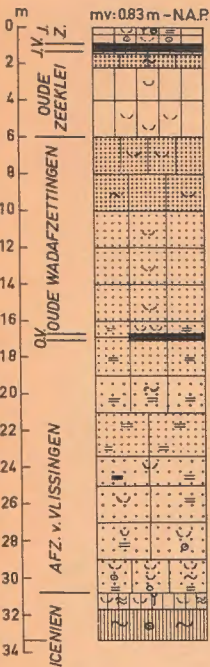
Granulaire samenstelling in %

Grind in % CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doorlaanf. in m/dag



0 5

0 5 10

0 1 2 3 4

0 50 100 150 200

0 10 20 30 40 50

m

ZEELAND

Boring K74

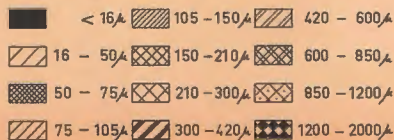
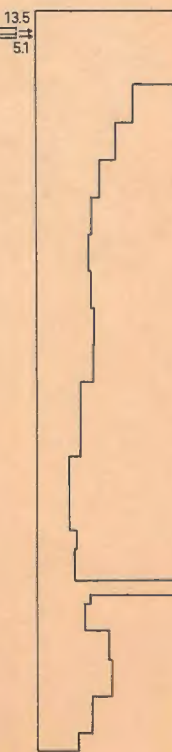
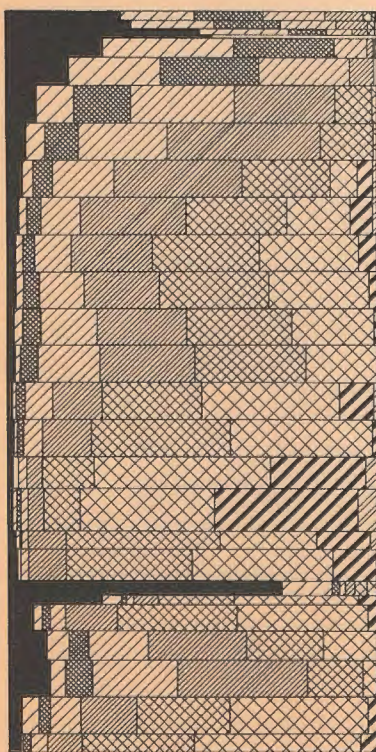
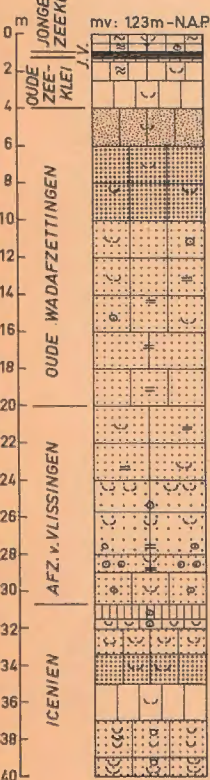
Granulaire samenstelling in %

Grind in % CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doorlaanf. in m/dag



0 5

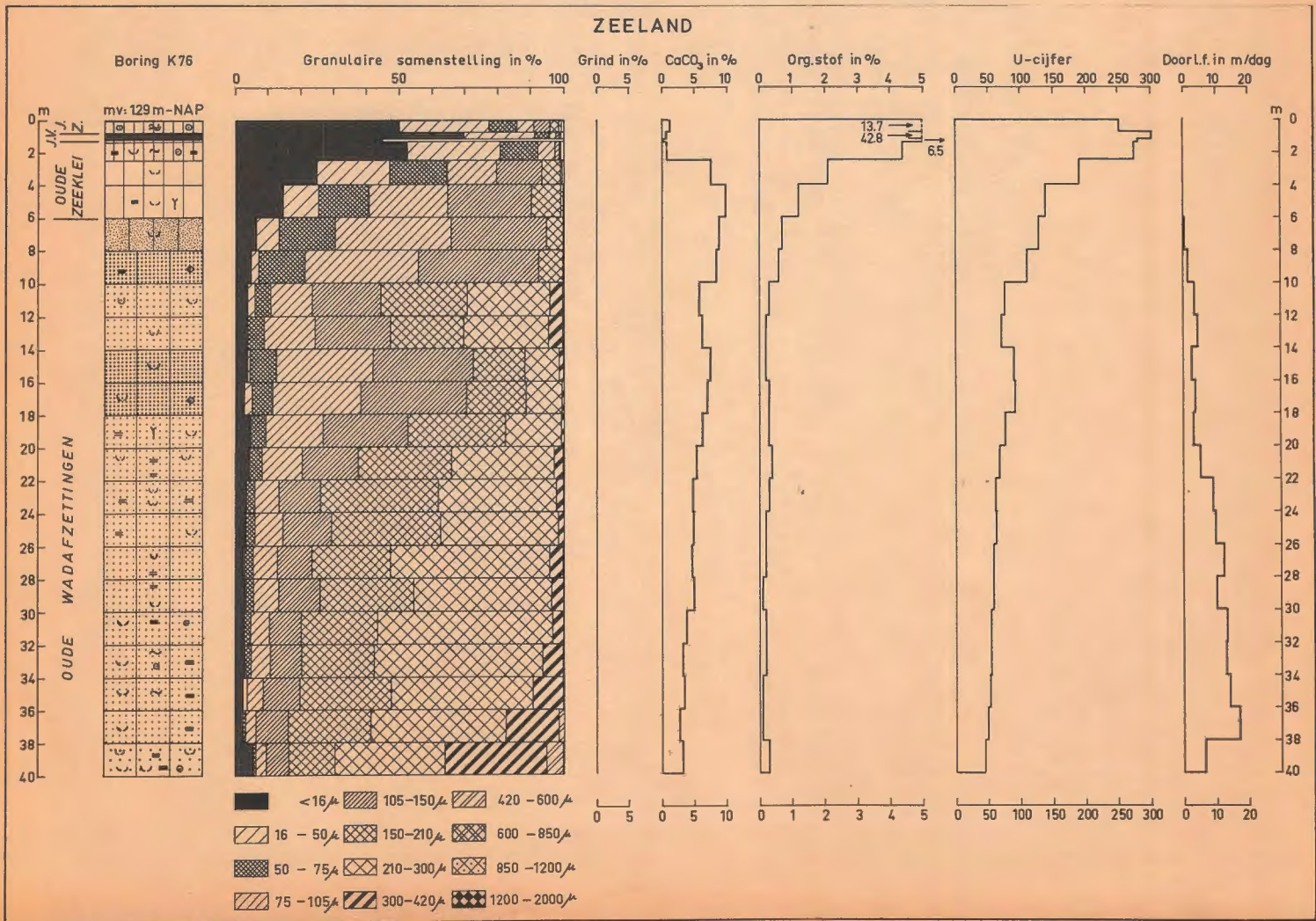
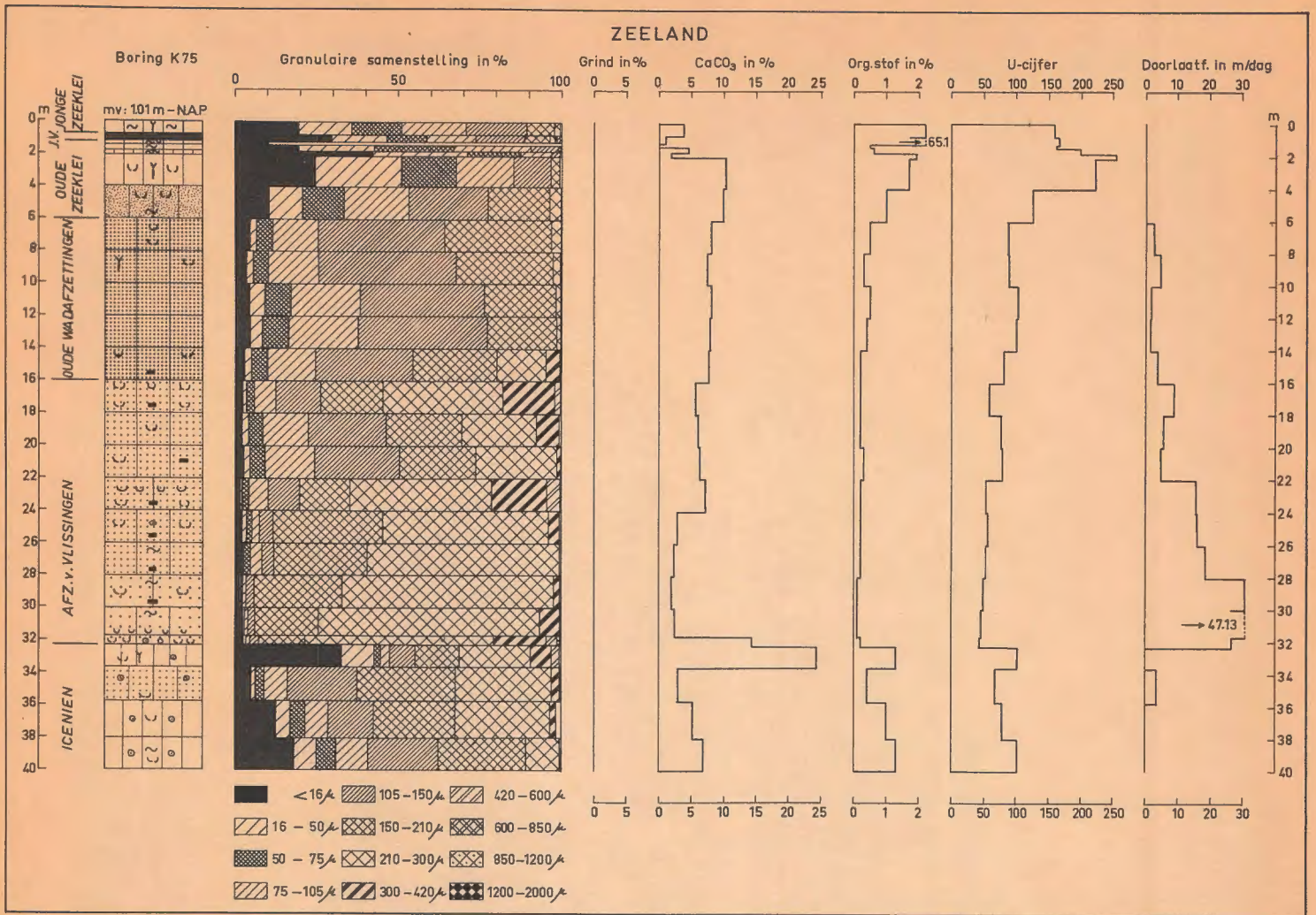
0 5 10 15 20

0 1 2 3

0 50 100 150 200 250

0 10 20 30

m



ZEELAND

Boring K77

Granulaire samenstelling in %

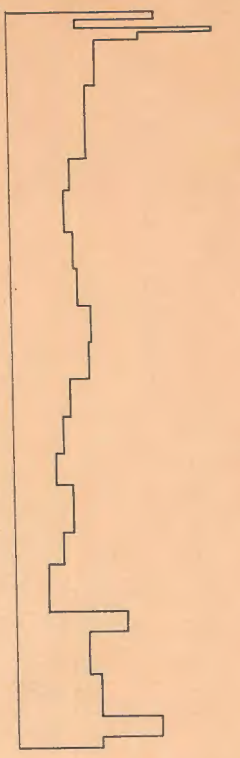
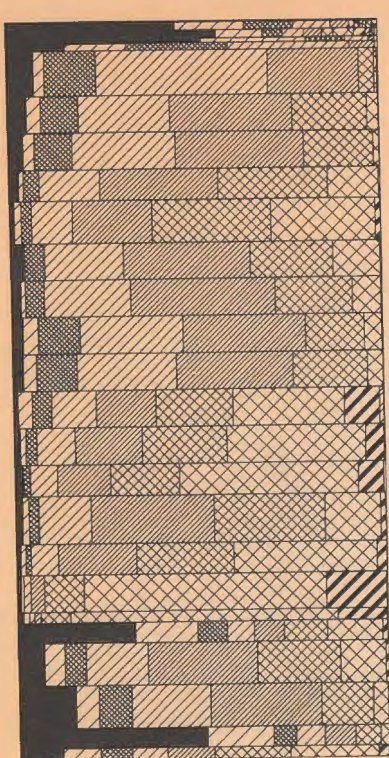
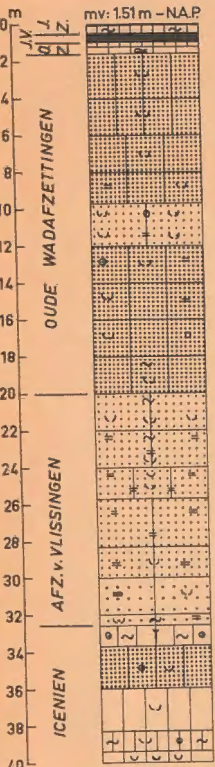
Grind in %

CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doorlaatfactor in m/dag



- | | | | | | |
|--|---------|--|----------|--|------------|
| | < 16% | | 105-150% | | 420-600% |
| | 16-50% | | 150-210% | | 600-850% |
| | 50-75% | | 210-300% | | 850-1200% |
| | 75-105% | | 300-420% | | 1200-2000% |

ZEELAND

Boring K78

Granulaire samenstelling in %

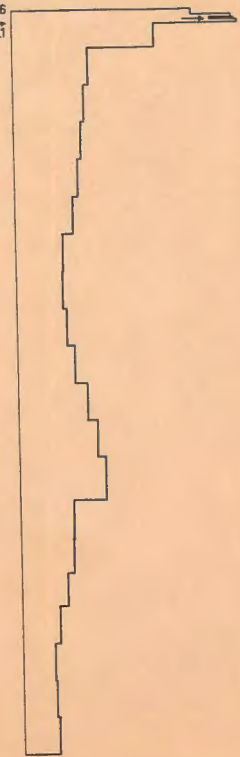
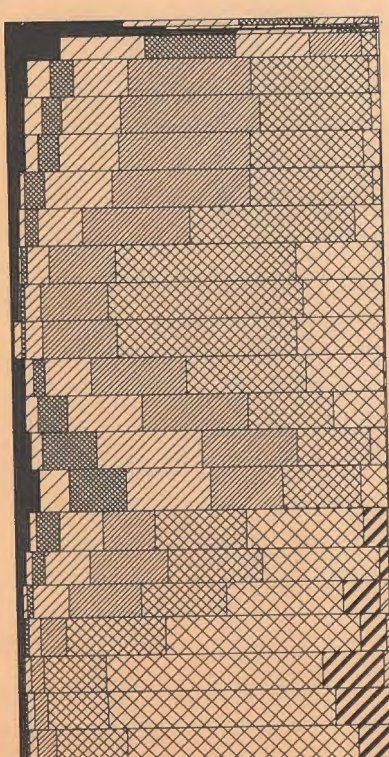
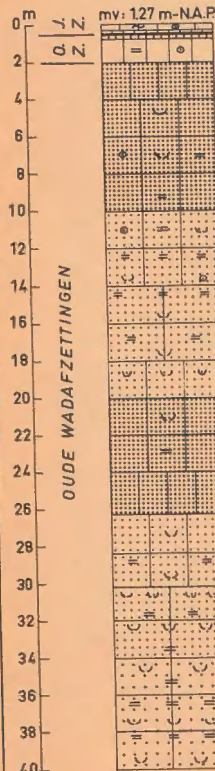
Grind in %

CaCO₃ in %

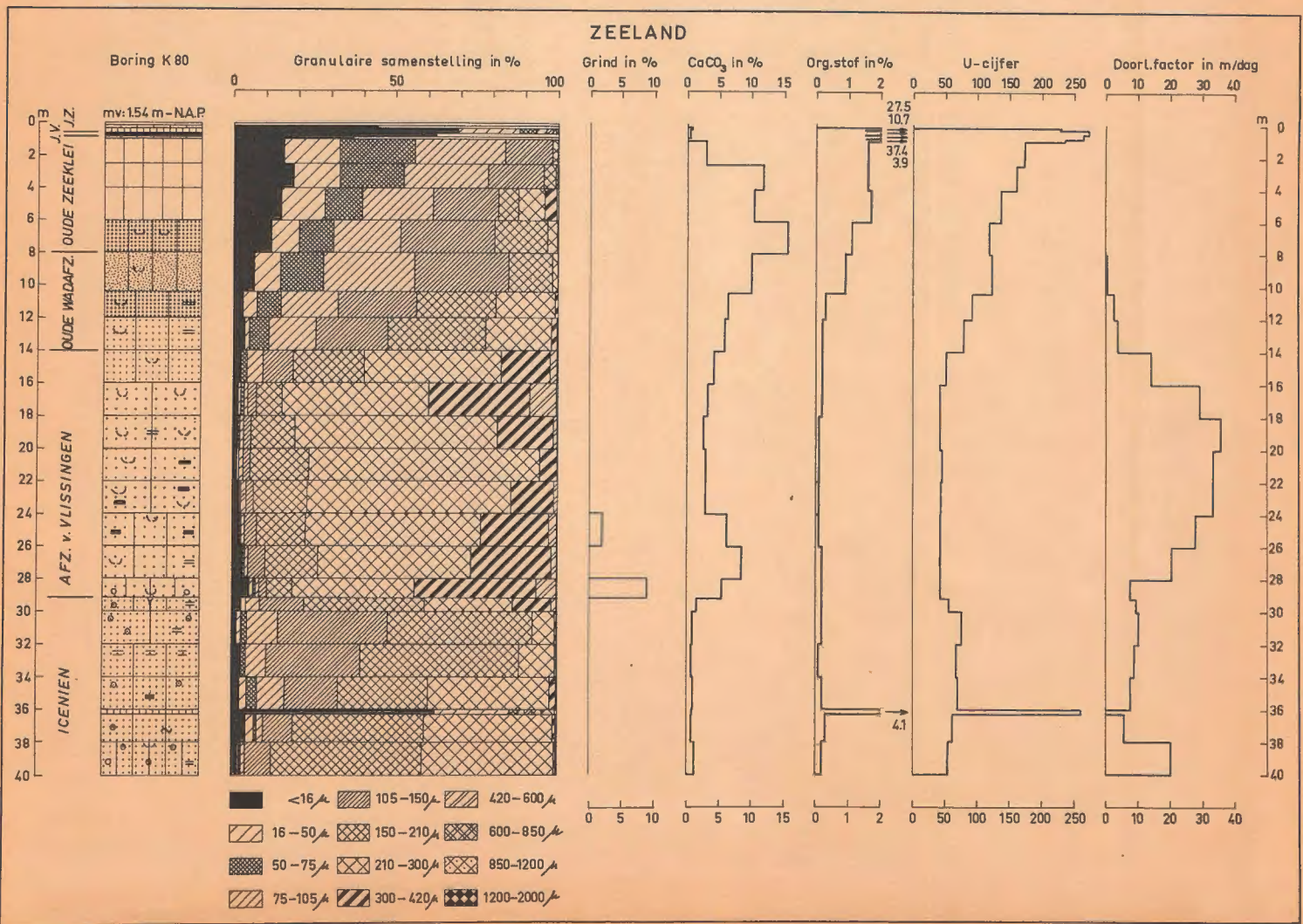
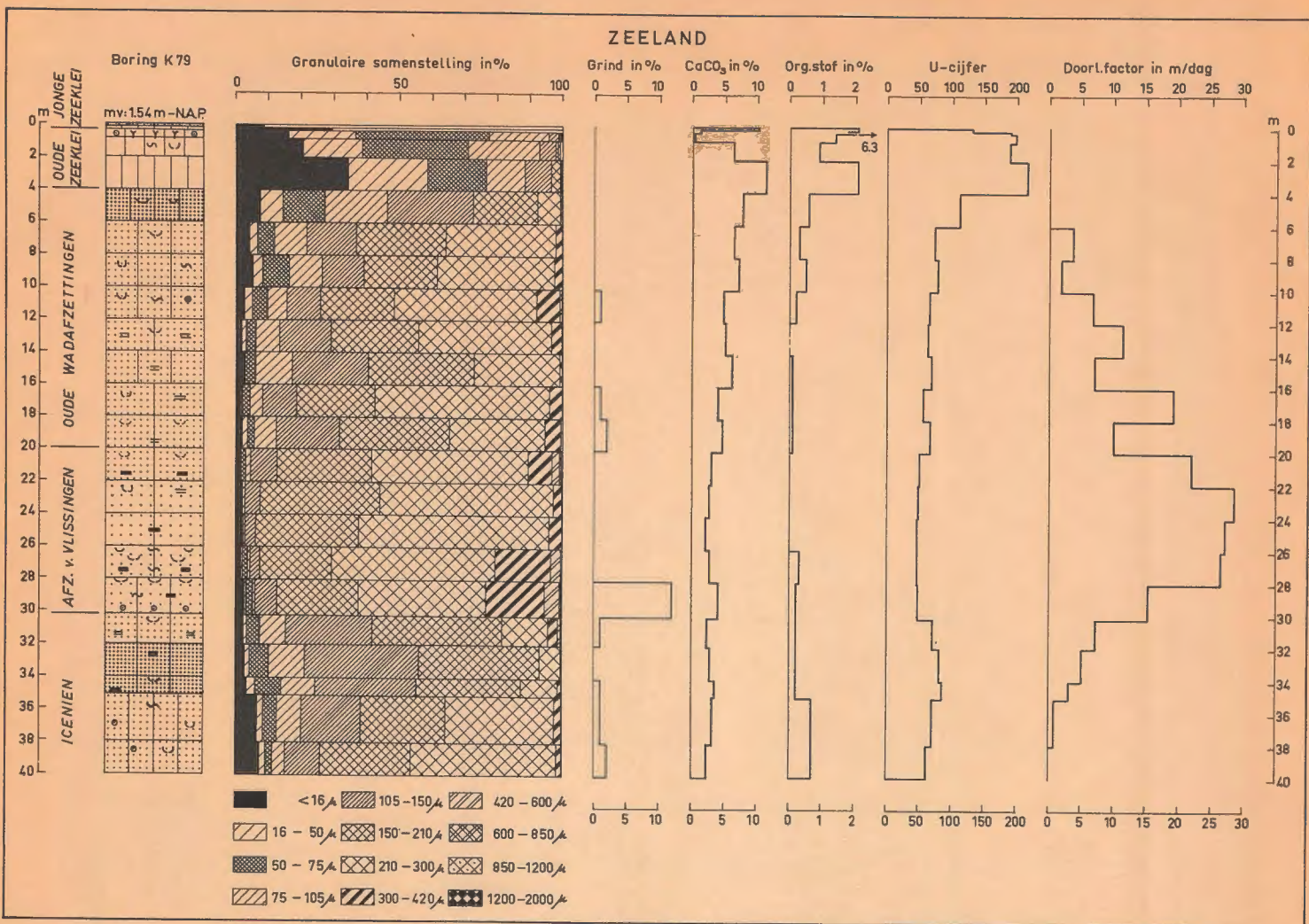
Org.stof in %

U-cijfer

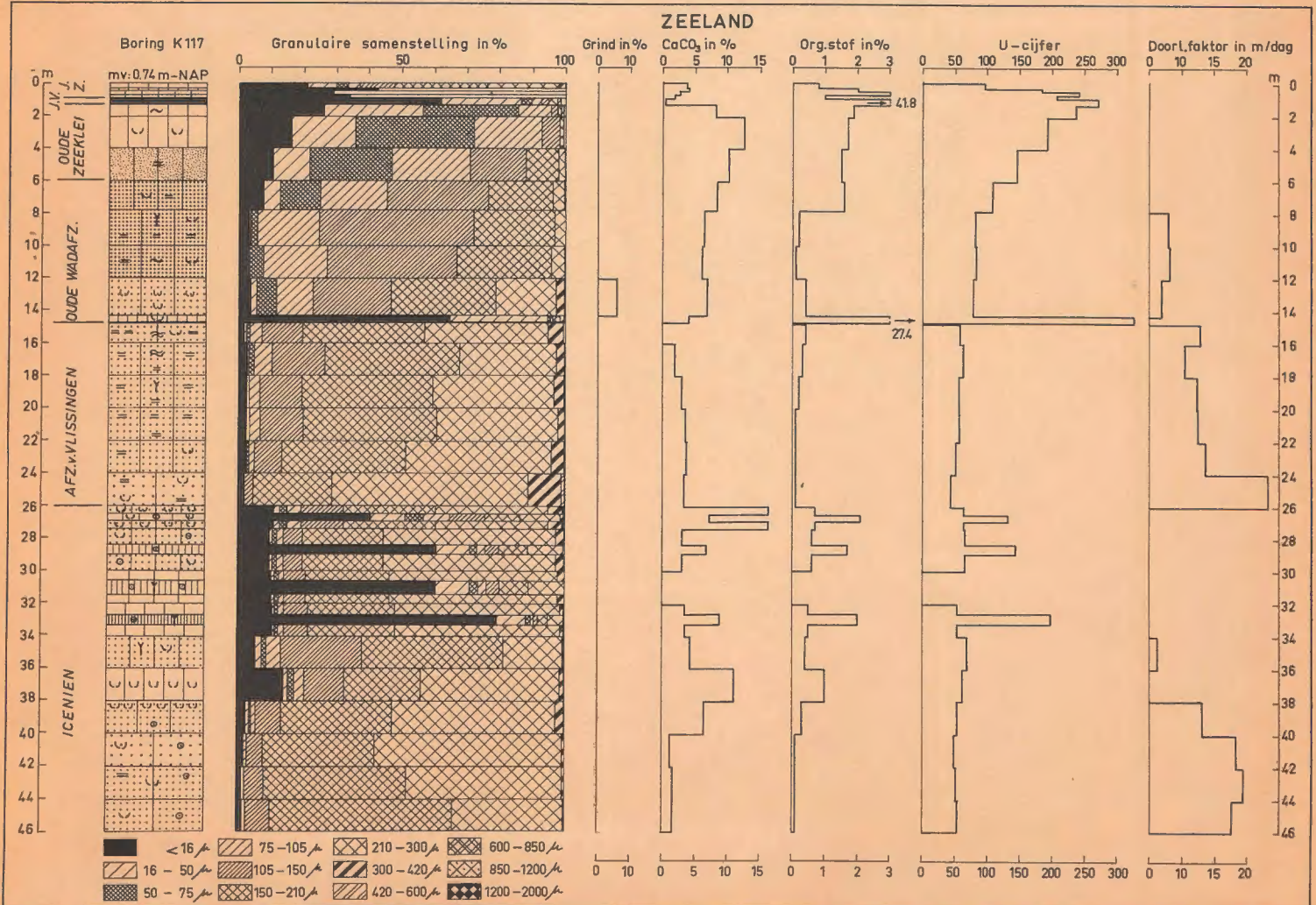
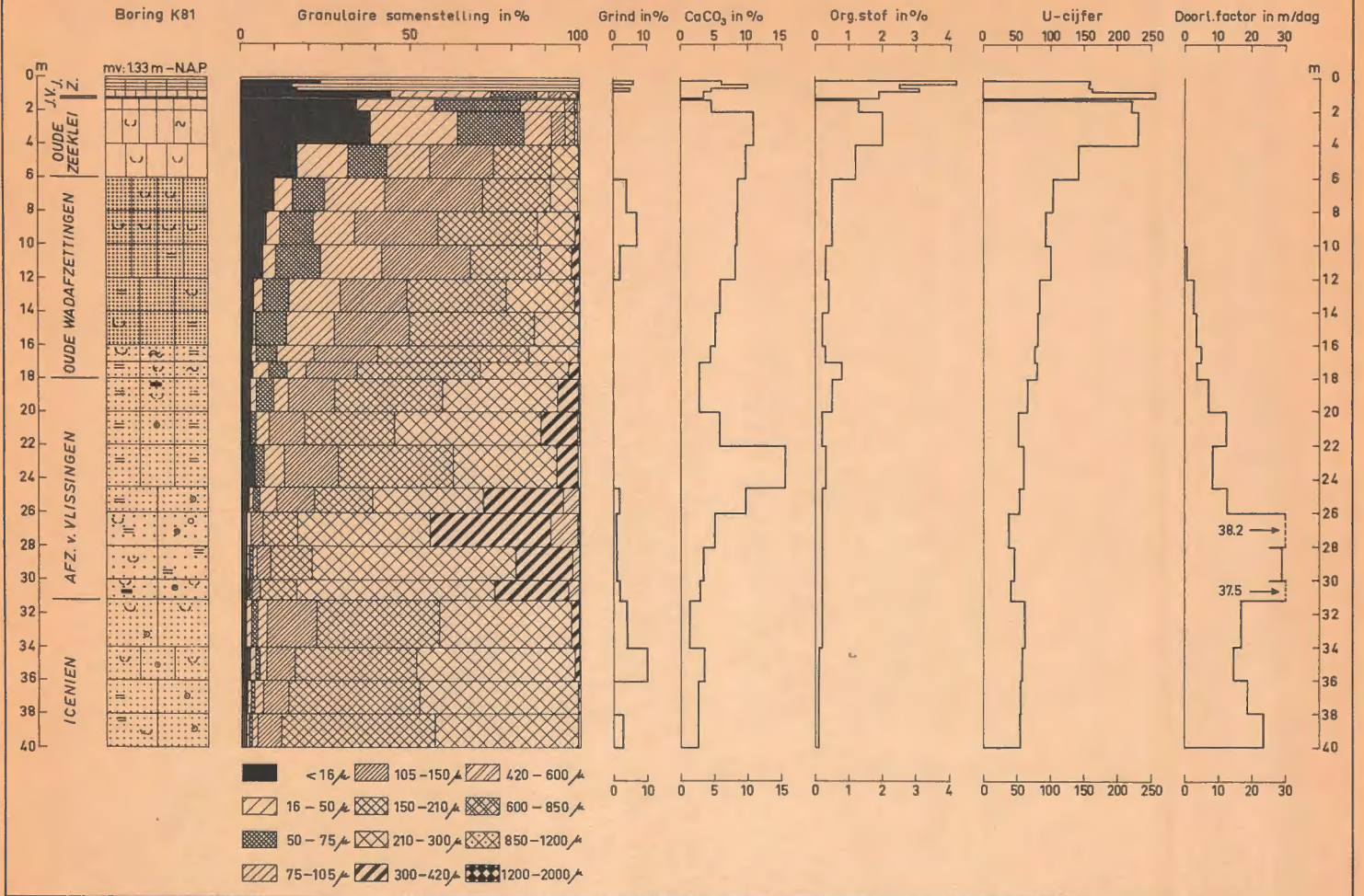
Doorlaatf. in m/dag



- | | | | | | |
|--|---------|--|----------|--|------------|
| | < 16% | | 105-150% | | 420-600% |
| | 16-50% | | 150-210% | | 600-850% |
| | 50-75% | | 210-300% | | 850-1200% |
| | 75-105% | | 300-420% | | 1200-2000% |



ZEELAND



ZEELAND

Boring K118

Granulaire samenstelling in %

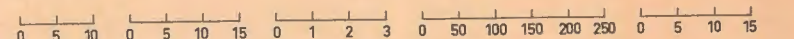
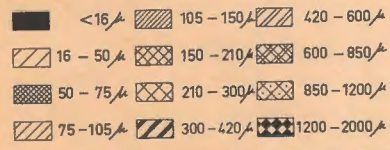
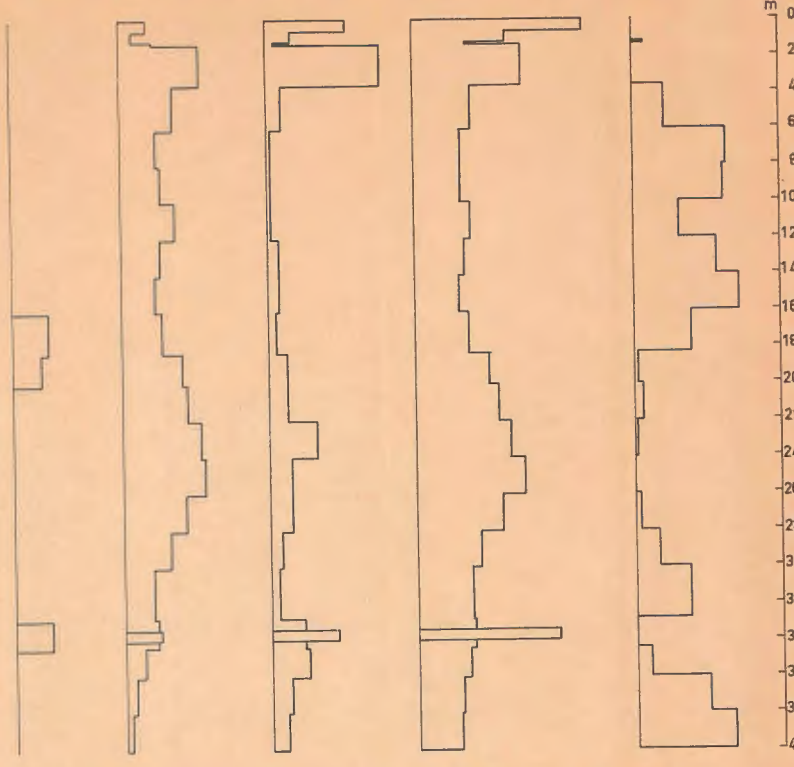
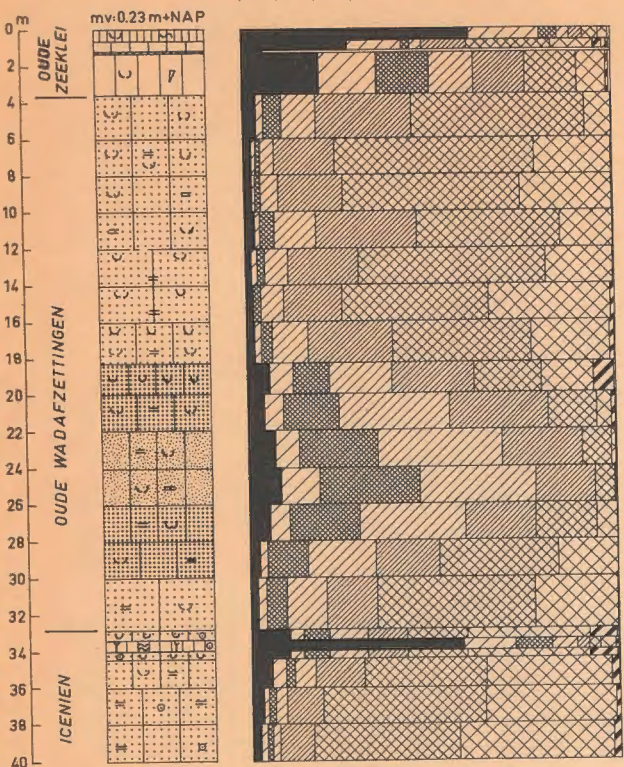
Grind in %

CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doorl.faktor in m/dag



ZEELAND

Boring K119

Granulaire samenstelling in %

Grind in %

CaCO₃ in %

Org.stof in %

U-cijfer

Doorl.faktor in m/dag

