

Mussop

NOTA 559

5 juni 1970

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

BEPALING VAN DE SPECIFIEKE WEERSTAND IN SITU

K.E. Wit en M. Wijnsma

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

001 Incl.

88

Conclusion of the investigation of the case.

ALL INFORMATION CONTAINED
HEREIN IS UNCLASSIFIED
DATE 12-15-2009 BY 60322
UCBAW

INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED

DATE 12-15-2009 BY 60322 UCBAW

ALL INFORMATION CONTAINED
HEREIN IS UNCLASSIFIED
DATE 12-15-2009 BY 60322
UCBAW

I N H O U D

	<u>Blz.</u>
INLEIDING	1
MEETPRINCIPE EN APPARATUUR	3
EXPERIMENTEEL ONDERZOEK	7
VELDMETINGEN	12
SAMENVATTING	16
LITERATUUR	16

1977

1977
1977
1977
1977
1977

1977
1977
1977
1977
1977

INLEIDING

Bepaling van de chemische samenstelling van het grondwater en in het bijzonder het chloridegehalte is één van de voornaamste onderdelen van het geo-hydrologisch onderzoek in gebieden, waar verzilting van open water door kwel uit de ondergrond optreedt.

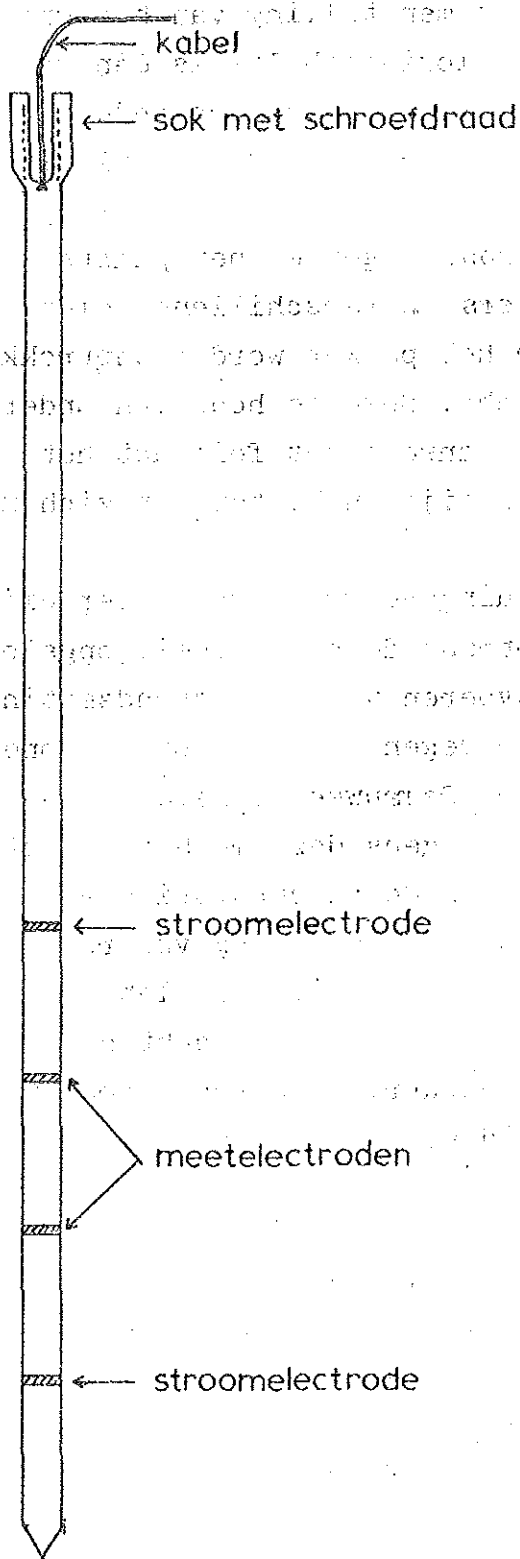
Door het uitvoeren van diepboringen en het plaatsen van filters, kunnen watermonsters op verschillende diepten en op verschillende tijden aan het pakket worden onttrokken en in het laboratorium onderzocht. Deze methode van onderzoek heeft evenwel beperkingen vanwege het feit dat het uitvoeren van diepboringen veel tijd en kosten met zich meebrengt.

Daar het elektrisch geleidingsvermogen van water bij benadering een indruk geeft omtrent de hoeveelheid opgeloste zouten, kunnen door het uitvoeren van weerstandsmetingen in het veld gegevens worden verkregen over de totale ionen concentraties in het grondwater. De nauwkeurigheid van de bepaling van het chloridegehalte volgens deze methode is afhankelijk van de verhouding tussen de concentraties van het Cl^- -ion en de overige ionen. Door vergelijking van resultaten van metingen aan een proefopstelling in het laboratorium en resultaten van metingen in het veld is getracht een correlatie te vinden tussen bodemtextuur, chemische samenstelling van het grondwater, chloridegehalte en specifieke weerstand.

In het geofysisch onderzoek wordt een methode van weerstandsmetingen toegepast, waarbij door middel van twee aan het aardoppervlak gestelde elektroden een elektrisch veld in de aarde wordt opgewekt. De karakteristieke eigenschappen van dit veld verschaffen gegevens omtrent de geo-hydrologische eigenschappen van het profiel tot op grote diepte (VAN DAM, 1967).

Voor het vaststellen van fijne nuanceringen in het zoutpatroon tot een diepte van 10 tot 20 meter is bovengenoemde methode minder geschikt. Hiervoor verdient de methode

Fig.1. Meetsonde met elektroden.



de, waarbij vier electroden worden gemonteerd op een meetsonde, die verticaal in de grond wordt gedreven, de voorkeur.

In dit verslag zal de laatstgenoemde methode worden besproken. Tevens zal een toelichting worden gegeven op de praktische toepassing en bij laboratoriummetingen verkregen resultaten.

MEETPRINCIPE EN APPARATUUR

Bij het uitvoeren van weerstandsmetingen in het veld, wordt een elektrische stroom via electroden door de bodem gevoerd. Door de spanningsveranderingen tengevolge van deze stroom te meten tussen twee meetelectroden, kan de weerstand worden berekend.

De sonde (fig. 1) is in feite een stalen buis die verticaal in de grond wordt gedreven. Op de sonde zijn op onderling gelijke afstand vier electroden geïsoleerd aangebracht. De bovenste en onderste electrode zijn stroomvoerende, terwijl aan de middelste electroden potentiaalverschillen kunnen worden gemeten. De electroden zijn door middel van een 4 aderige kabel verbonden met de meetapparatuur.

Beschouwen we beide stroomelectroden als stroompolen met een stroomsterke + I in de ene en een stroomsterkte - I in de andere pool, dan zijn de equipotentiaalvlakken met goede benadering bolvormig met de polen als middelpunt.

Volgens de wet van Ohm geldt dan voor de potentiaalverdeling:

$$dV/dr = \frac{-pI}{4\pi r^2} \quad (1)$$

waarin: V = potentiaalverschil in volt;

I = stroomsterkte in ampères;

r = afstand in cm;

p = specifieke weerstand van het medium waarin de sonde is geplaatst in ohm-cm.

Integreren van (1) geeft:

$$V(r) = \frac{\rho I}{4\pi r} + C \quad (2)$$

Uit de randvoorwaarde $r = \infty$; $V = 0$ volgt $C = 0$ zodat:

$$V(r) = \frac{\rho I}{4\pi r} = \frac{\rho I}{A} \quad (3)$$

waarbij A een constante is, afhankelijk van de afstand van de elektroden.

Bij een onderlinge afstand van 10 cm tussen de stroom en meetpoelen is A gelijk aan 125,6. De waarde van A kan overigens vrij eenvoudig experimenteel worden bepaald. Door de meetsonde in een groot bassin te plaatsen kan ρ/A van de vloeistof worden bepaald. De specifieke weerstand ρ van de vloeistof kan worden bepaald met een dospelcel, zodat de constante A kan worden berekend.

Bij het uitvoeren van weerstandsmetingen in de grond is niet alleen de specifieke weerstand van het grondwater van belang doch zijn ook de eigenschappen van het sediment van invloed. De lithologie en het poriënvolume zijn de belangrijkste factoren. In zandige afzettingen is het poriënvolume vrijwel constant en kan bij benadering worden gesteld op 35 %. In klei en slibhoudende lagen daarentegen vertoont het poriënvolume een vrij grote variatie. In kleilagen en in mindere mate in slibhoudende afzettingen kunnen bovendien uitwisselingsprocessen optreden tussen het grondwater en de vaste bestanddelen, waardoor deze afzettingen een veel lagere weerstand hebben dan zandige afzettingen. De verhouding tussen de specifieke weerstand (ρ_s) van het met water verzadigde sediment en de specifieke weerstand (ρ_v) van de poriënvloeistof wordt de formatie factor F genoemd, dus

$$F = \frac{\rho_s}{\rho_v} \quad (4)$$

Voor de bepaling van het geleidingsvermogen van het

grondwater uit metingen in het veld moet dus van te voren de formatiefactor F bekend zijn.

Door het laboratorium van Grondmechanica te Delft is een sonde en meetkast ontwikkeld volgens bovengenoemd principe. De meetprocedure is hierbij als volgt: eerst wordt het natuurlijk spanningsverschil dat in de grond aanwezig is gecompenseerd, vervolgens wordt een stroomsterkte gekozen afhankelijk van de elektrische weerstand van het grondpakket, waarna het potentiaalverschil tussen de meetelektroden wordt afgelezen. Het meetapparaat werkt op gelijkstroom.

Tengevolge van polarisatie aan de stroomelektroden veranderde de stroomsterkte voortdurend waardoor een nauwkeurige meting veel tijd vergde. Daarom is op ons verzoek door de Fysische Technische Dienst te Wageningen meetapparatuur ontwikkeld met wisselstroom als voedingsbron. Met deze apparatuur zijn gunstige ervaringen opgedaan.

Voor het indrijven van de meetsonde in de grond wordt een Atlas Copco tweetakt benzine motor gebruikt. Deze motor, die voorzien is van een speciale slagkop, heeft dezelfde werking als een pneumatische hamer en heeft een gewicht van 25 kg (fig. 2). Afhankelijk van de gewenste diepte wordt de kabel, die is verbonden met de meetsonde, door een aantal holle verlengstangen getrokken en aangesloten op de meetapparatuur.

In slibhoudend matig fijn zand, klei en veen is de maximale indringingsdiepte 15 m. In zeer grof slibhoudend tot matig grof materiaal is de diepte beperkt tot 5 tot 10 m.

Het uittrekken van de meetsonde en verlengstangen gebeurt met behulp van twee cricks. Afhankelijk van de gewenste diepte kan per dag 25 tot 40 m worden gesondeerd.

Voor het laboratorium onderzoek werd een perspexcilinder gebruikt, met een lengte van 30 cm en een inwendige diameter van 7,4 cm. Aan de boven en onderkant van de cilinder zijn elektroden aangebracht in de vorm van messingplaten, die gelijk waren aan de doorsnede van de buis. Door deze elektroden werd een elektrische stroom gevoerd. Het

The first part of the document contains a detailed description of the experimental setup and the methods used to collect data. The authors describe the use of a series of questionnaires and interviews to gather information on the subjects' behavior and attitudes. The data is then analyzed using a variety of statistical techniques, including regression analysis and factor analysis. The results of these analyses are presented in a series of tables and figures, which show that there is a strong correlation between the variables being measured. The authors conclude that their findings have important implications for the understanding of human behavior and attitudes.

In the second part of the document, the authors discuss the limitations of their study and the need for further research. They note that the sample size was relatively small and that the study was limited to a specific population. They also discuss the potential for confounding variables and the need for more rigorous controls in future studies. The authors conclude that their findings provide a valuable starting point for further research, but that more data is needed to fully understand the complex relationships between the variables being measured.

The final part of the document contains a list of references and a conclusion. The authors cite a variety of sources, including books, articles, and other research papers. They conclude that their study has contributed to the understanding of human behavior and attitudes and that their findings have important implications for the field. The authors also provide a list of recommendations for future research and a summary of their key findings.

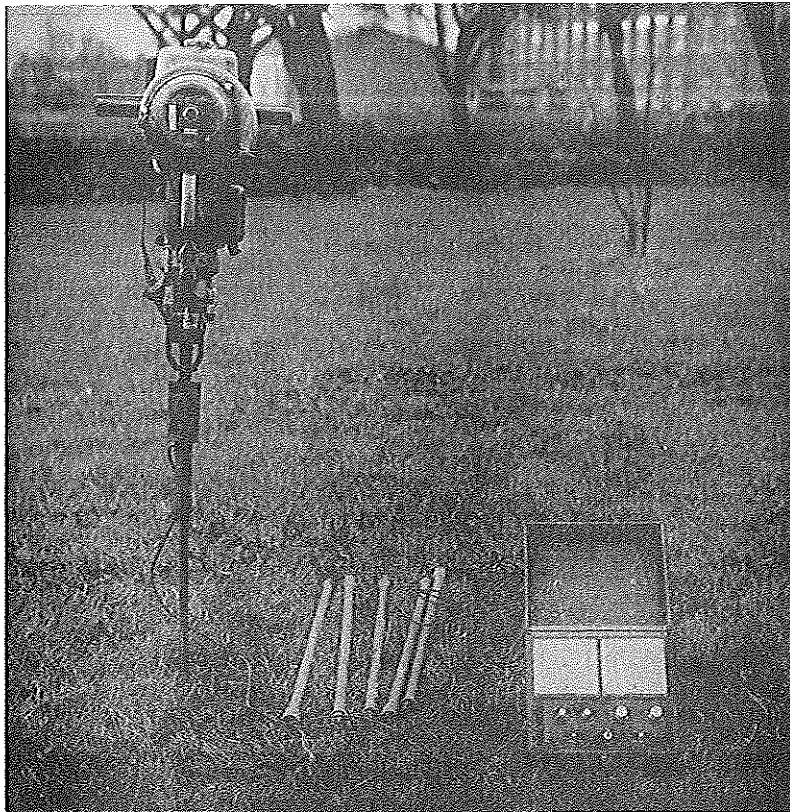


Fig. 2. AltasCopco, meetsonde, verlengstangen en meetapparatuur

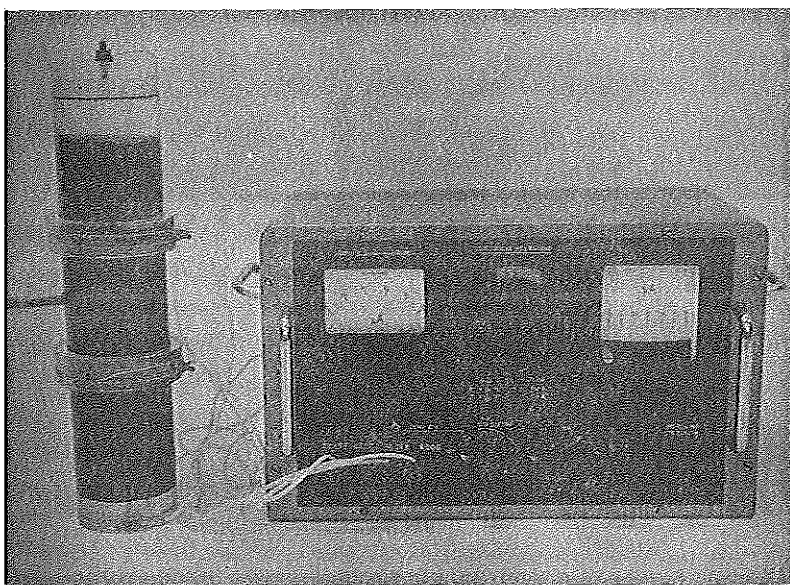
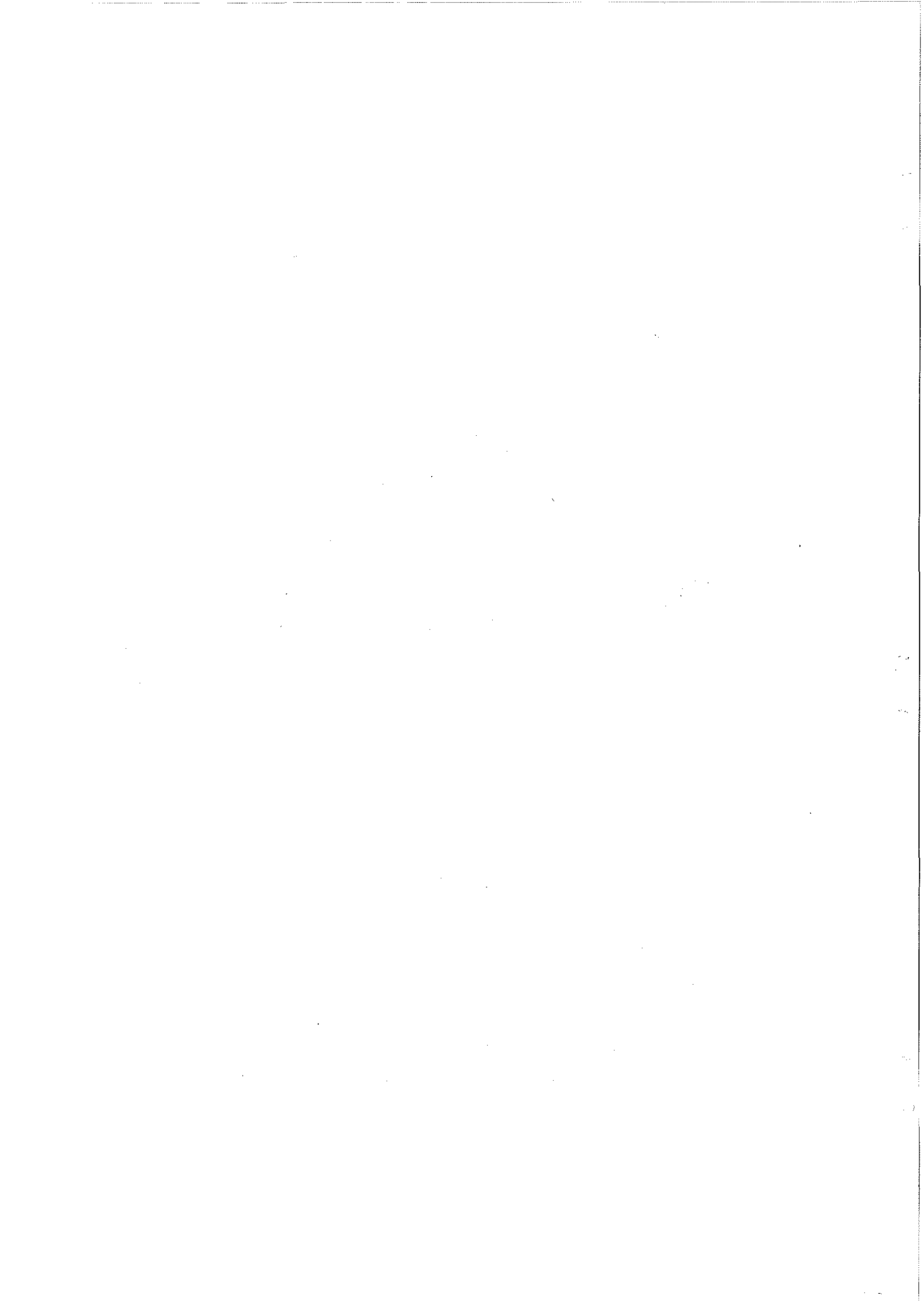


Fig. 3. Meetopstelling in het laboratorium



potentiaalverschil werd gemeten aan twee meetelektroden gemonteerd op een afstand van 10 en 20 cm van de bovenkant (fig. 3).

EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

In het voorgaande is reeds opgemerkt dat het elektrisch geleidingsvermogen van water een maatstaf vormt voor de daarin opgeloste zouten. Voor de vaststelling van het chloridegehalte uit het geleidingsvermogen is het gewenst enig inzicht te hebben in het verband tussen chloridegehalte en elektrisch geleidingsvermogen bij uiteenlopende zoutconcentraties.

Van ongeveer 500 monsters van zowel oppervlakte als grondwater werd het chloridegehalte bepaald door titratie. Van dezelfde monsters werd ook het geleidingsvermogen gemeten. Uit een bewerking van de verkregen gegevens door STOL (1960) bleek, dat bij chloridegehalten boven 1450 mg/l het geleidingsvermogen een goede maat is voor het chloridegehalte. Bij lagere Cl-gehalten treed een aanzienlijke spreiding op wanneer de Cl-gehalten worden uitgezet tegen de totale ionen concentratie. Dientengevolge geeft in dit traject het geleidingsvermogen een minder goede maat voor het Cl-gehalte.

Voor het verkrijgen van gegevens omtrent het verband tussen het poriënvolume enerzijds en de formatiefactor anderzijds werden in het laboratorium weerstandsmetingen verricht aan verzadigde geroerde zandmonsters. De granulaire samenstelling van deze monsters, gekarakteriseerd door het U-cijfer, varieerde van U29 tot U104.

Als vloeistof werden mengsels van leidingwater en NaCl gebruikt met concentraties van 0; 0,06; 0,18; 0,61; 1,83; 6,1 en 15,3 gr Cl⁻ per liter. Omdat in het leidingwater zelf al zouten zijn opgelost, werd het Cl⁻gehalte van de gemaakte oplossingen voor elk geval bepaald door titraties, terwijl tevens het elektrisch geleidingsvermogen van

Fig. 4: Het verband tussen formatiefactor en porienvolume

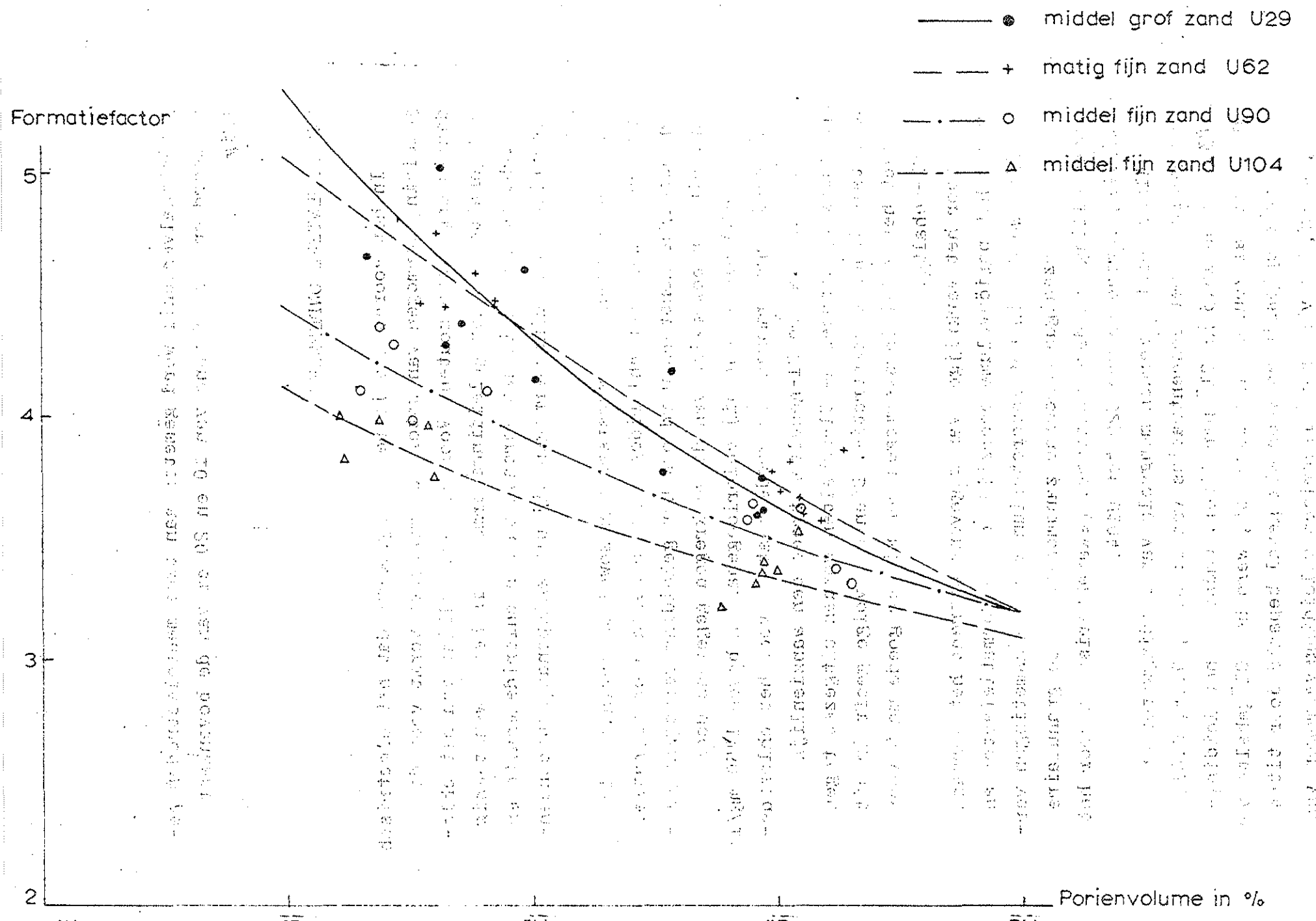


Fig.5: Het verband tussen formatiefactor en porienvolume

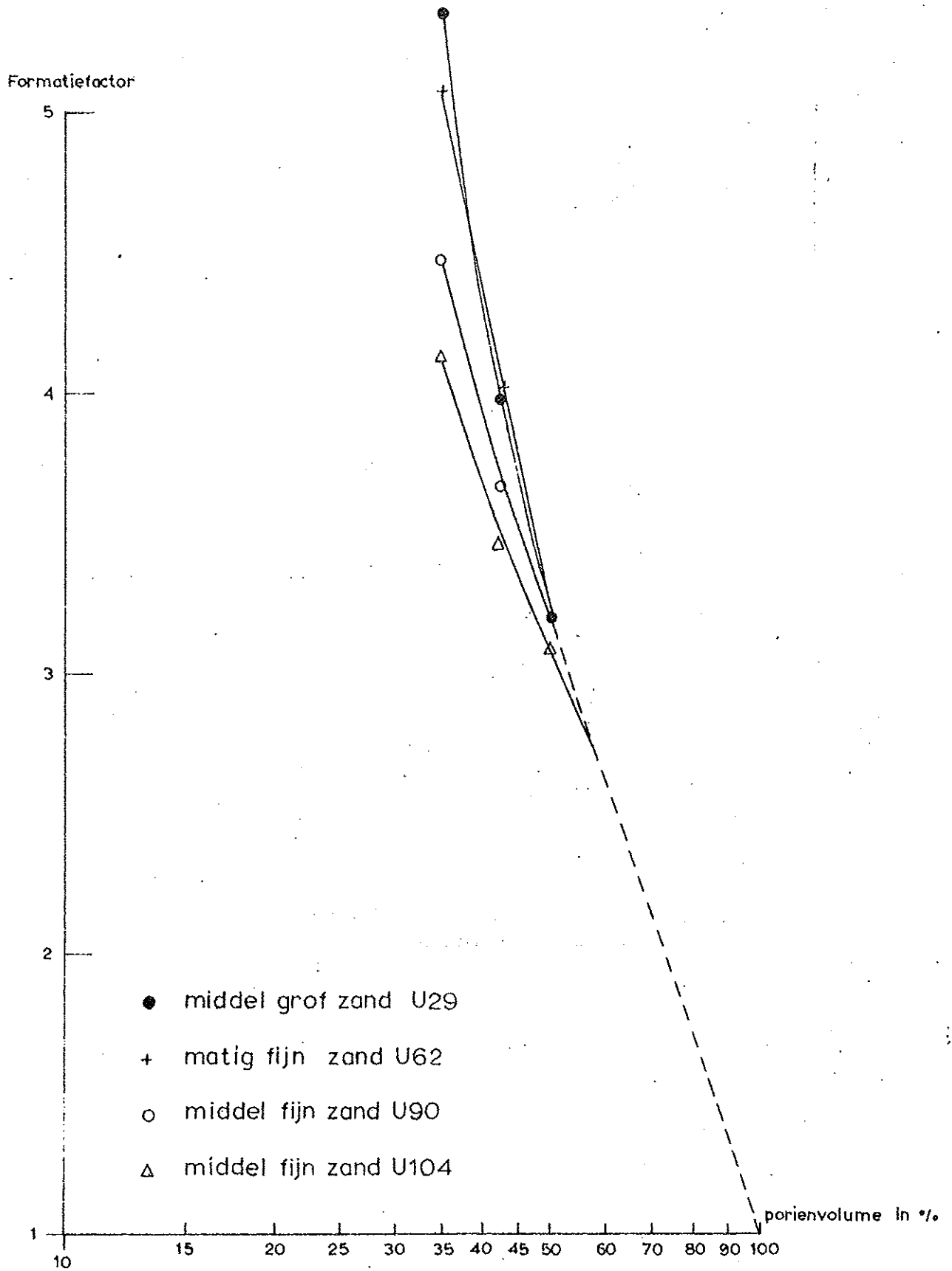
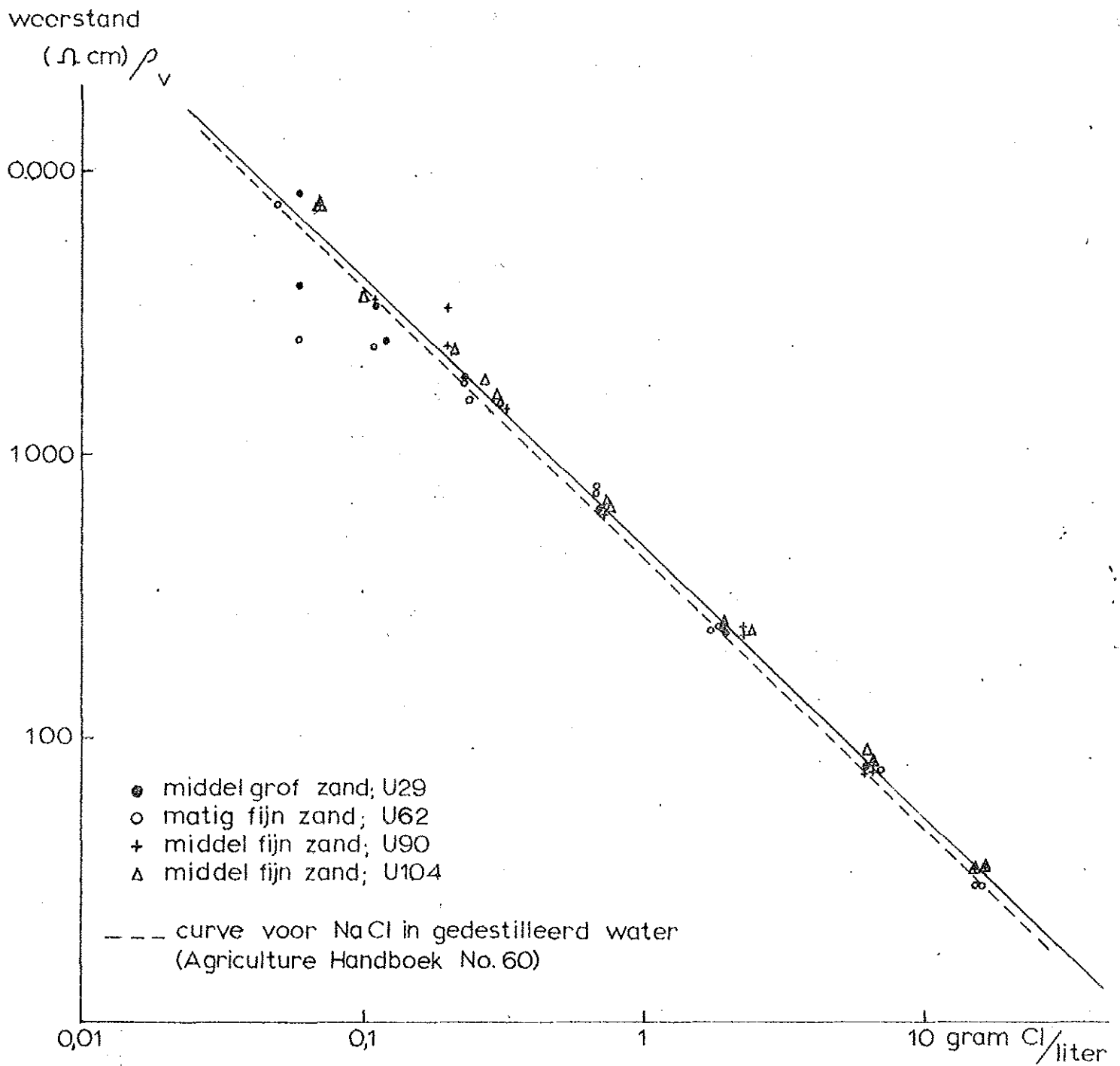


Fig. 6: Het verband tussen de specifieke weerstand ρ_v en het chloridegehalte bij 10



de vloeistof werd gemeten. De cylinder werd eerst met de gewenste zoutoplossing gevuld, waarna een afgewogen hoeveelheid zand voorzichtig in deze oplossing werd gebracht. Door telkens een bepaald hoeveelheid zand toe te voegen kon een controle uitgeoefend worden op de uniformiteit van het poriënvolume in de zandkolom. In de aldus verkregen losse pakking werd een weerstandsmeting uitgevoerd. Daarna werd de cylinder op een triltafel geplaatst waarna opnieuw de weerstand werd gemeten bij de dan verkregen dichtere pakking. Door korter of langer trillen konden zo verschillende dichtheden worden gecreëerd.

Uit de aldus verkregen weerstanden en het geleidingsvermogen van de gebruikte vloeistof werd de formatiefactor berekend. In fig. 4 zijn de resultaten weergegeven. Het blijkt dat naarmate het poriënvolume afneemt, de invloed van de granulaire samenstelling van het materiaal toeneemt. De curve voor het middelgroeve zand geeft dit effect in nog sterkere mate. De verklaring hiervoor ligt mogelijk in de korrelvorm. Bij dit zand waren de korrels namelijk bolvormig in tegenstelling tot de fijnere zanden waarvan de korrels meer onregelmatige vormen vertoonden. De uit fig. 4 door extrapolatie verkregen waarde van de formatieconstanten bij poriënvolumina van 35 en 50 % met de waarden bij 42 % zijn in fig. 5 afgebeeld. Bij een poriënvolume van 35 % is de formatiefactor voor middel grof tot matig fijn zand 5,0 tot 5,3 en voor middelfijn zand 4,1 tot 4,4. Deze waarden zijn in goede overeenstemming met formatiefactoren berekend uit geo-electrische metingen in het veld (DIJKSTRA en VOLKER, 1957; Werkgroep Geo-electrisch Onderzoek T.N.O.).

In fig. 6 is de specifieke weerstand p_v van de gebruikte zoutoplossing uitgezet tegen het chloridegehalte, bovendien is de curve gegeven voor een oplossing van NaCl in gedestilleerd water uit het Agriculture Handbook No. 60.

Bij veldmetingen wordt p_s gemeten. Bij bekende formatiefactor kan dan de p_v worden berekend, waarna met behulp van fig. 6 het chloridegehalte kan worden afgelezen.

Voor middelgrof tot matig fijn zand kan als gemiddelde

waarde voor de formatiefactor 5,0 worden aangehouden.

Bij middelfijne zanden, slibhoudend fijn zandige afzettingen alsmede bij klei- en veenlagen is het poriënvolume sterk wisselend, zodat het vaststellen van de formatiefactor minder eenvoudig is. Deze kan alleen worden bepaald door het onttrekken van watermonsters aan eventueel aanwezige diepe filters gecombineerd met boorgegevens.

Bij de sondering kunnen op vrij eenvoudige wijze filters worden geplaatst. In de praktijk is namelijk gebleken dat in bepaalde gronden het gat, dat ontstaat door het indrijven van de sondeerstanden enige tijd nadat de stangen uit de grond worden getrokken intact blijft. In dit open boorgat kunnen 5/8" plastic buizen met aan de onderkant een filter worden gesteld. Tot een diepte van 10 meter is deze methode met succes toegepast in kleiïge tot slibhoudende mariene afzettingen. Voor diepere sonderingen en in gronden waarin het gat niet intact blijft, kan nog een andere werkwijze worden gevolgd. Deze steunt op de ervaring, opgedaan bij het uitvoeren van spoelboringen in het Delta-gebied (VAN 'T LEVEN en VAN DER WEERD, 1958). Hiervoor is op de tweede sondeerstang vanaf de meetelektroden een spuitstuk gelast, die door middel van een slang is verbonden met een kleine motorpomp. Door het water uit het spuitstuk wordt materiaal langs de sondeerstang naar boven gevoerd, zodat een open boorgat ontstaat.

De krachten om de meetelektroden en de twee daaropvolgende stangen in de grond te drijven wordt hierdoor vrijwel niet beïnvloed. Uit controle metingen is gebleken dat deze extra spoeling geen invloed heeft op de uitgevoerde metingen.

VELDMETINGEN

De verticale sondeermethode is zeer geschikt voor het vaststellen van veranderingen in het zoutprofiel in afhankelijkheid van de tijd.

In gebieden met zoute kwel zal in het winter halfjaar

Fig. 7: De tijdsafhankelijkheid van de specifieke weerstand

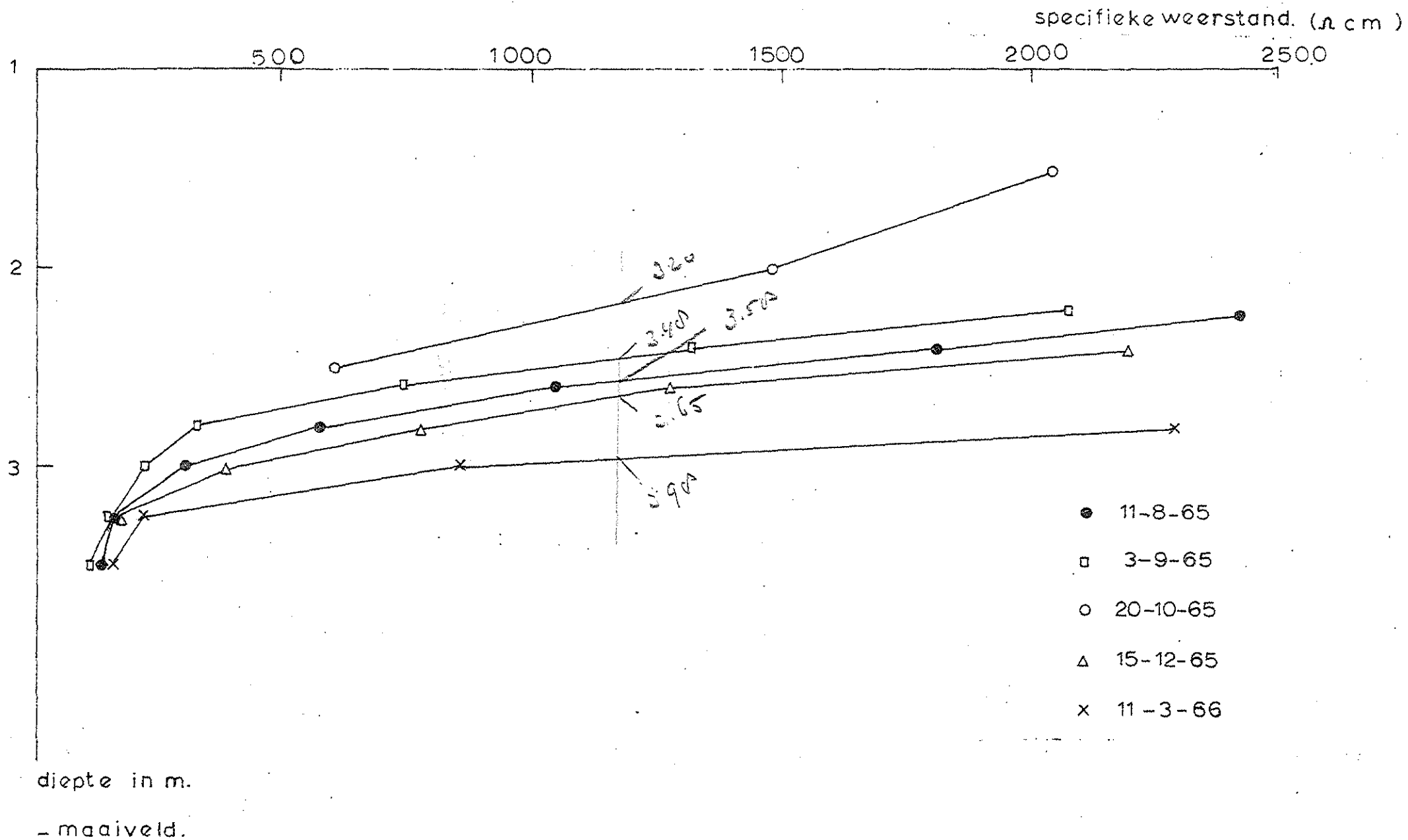
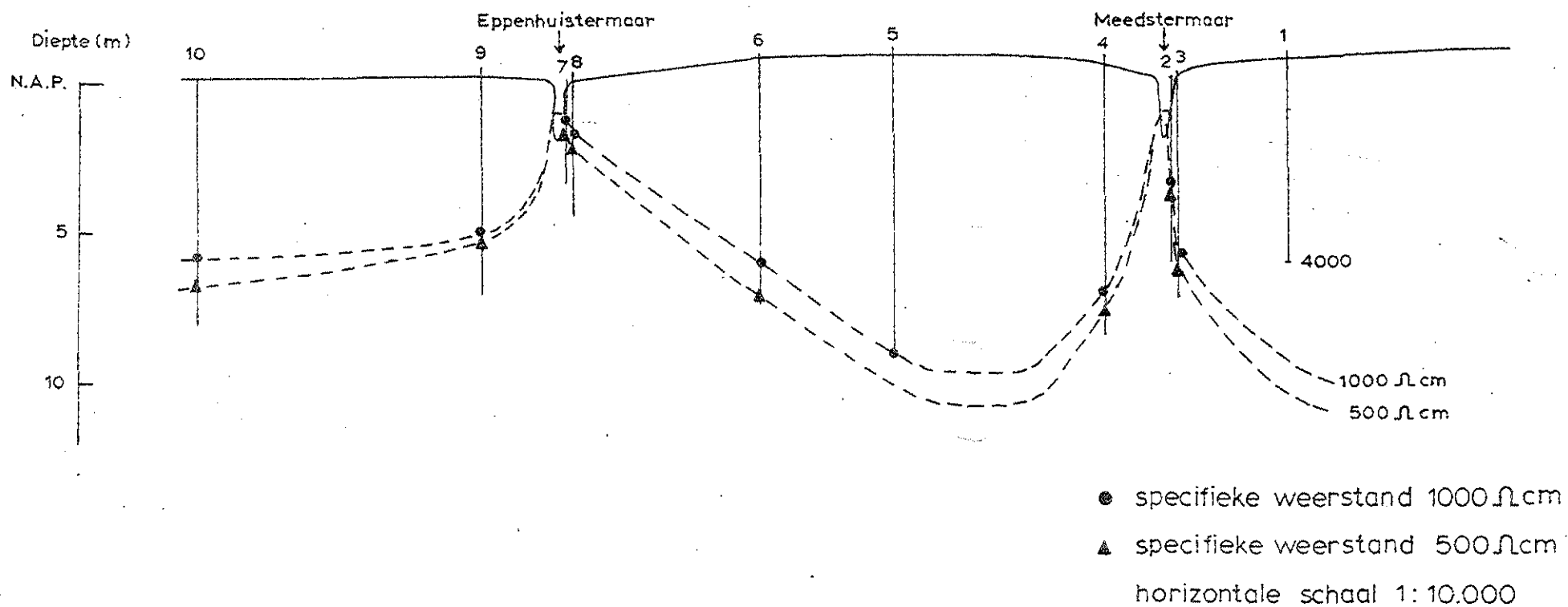


Fig.8 Geo-elektrisch onderzoek in het waterschap N.O. Hunsingo: raai 1



afhankelijk van de profielopbouw door de neerslag het zout tot een bepaalde diepte worden uitgespoeld. Aan het einde van het winter halfjaar zal dientengevolge het zoutfront dieper liggen. Gedurende het zomer halfjaar zal de kwel geheel of gedeeltelijk in het profiel worden geborgen, afhankelijk van de kwelintensiteit, waardoor het zoutfront stijgt. Genoemde verschijnselen zijn belangrijk bij het oplossen van verziltingsvraagstukken, zoals bepaling van de zoutbalans en vaststelling van de behoefte aan doorspoelen van open leidingen met zoetwater (ERNST, 1962).

Fig. 7 geeft een voorbeeld van de verandering van het zoutfront op een zwak slibhoudend zandig profiel op Schouwen-Duivenland. Een onderzoek naar de zoutbelasting en de aanwezigheid van geschikt water voor de tuinbouw in het waterschap N.O. Hunsingo te Groningen leverde gegevens op over het voorkomen van zoetwaterzakken op de oude strandwallen. In de naaste omgeving van de oude geulen daarentegen bleek het chloridegehalte van het grondwater ongeveer gelijk aan dat van zeewater, zie fig. 8 (KOUWE, 1968).

Voor de aanleg van het Rijn-Schelde kanaal worden in de Krekerakpolder kunstwerken uitgevoerd, waarbij zand met zoutwater uit de Oosterschelde wordt opgespoten.

Hoewel tijdens deze werkzaamheden bepaalde maatregelen zijn getroffen om eventuele verontreiniging van het oppervlaktewater en het grondwater te vermijden is het toch gewenst controle uit te voeren naar de veranderingen van het zoutgehalte van de grond in de omgeving van de werken. Dit gebeurde met behulp van de bovenomschreven verticale sondering.

Met de hierboven genoemde voorbeelden is getracht aan te tonen op welke wijze het gebruik van de verticale sondermethode kan bijdragen tot het oplossen van verziltingsvraagstukken. Het is duidelijk dat slechts een beperkt beeld is gegeven van de vele toepassingsmogelijkheden.

SAMENVATTING

De verticale sondeermethode is door zijn eenvoud van uitvoering en de mogelijkheid filters te stellen zeer geschikt voor onderzoeken tot een diepte van 10 à 15 m.

Hierbij worden gegevens verkregen over het chloridegehalte van het grondwater, de vorm en de diepte van het zoutfront in afhankelijkheid van de tijd en eventuele veranderingen hierin als gevolg van de aanleg van kunstwerken.

Door enkele voorbeelden is de praktische toepassing van de verticale sondeermethode geïllustreerd, waarbij tot uiting is gekomen dat deze methode perspectieven biedt bij het oplossen van verziltingsvraagstukken.

LITERATUUR

- DAM, J.C. VAN. De theoretische grondslagen van het geo-electrisch onderzoek. Water nr 1, (1967).
- LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA. Beschrijving en gebruiksaanwijzing van respectievelijk bij de meetapparatuur ter bepaling van de specifieke weerstand van de grond in situ. Rapport SE-127-II, (1958)
- STOL, Ph.Th. Het electriciteitsgeleidingsvermogen als maat voor het chloridegehalte in enkele polders in het Deltagebied. Geologie en Mijnbouw, nr 11, (1960).
- DIJKSTRA, J. en A. VOLKER. Geo-electrisch onderzoek op het IJsselmeer nr 6, (1957).
- WERKGROEP GEO-ELECTRISCH ONDERZOEK T.N.O. Rapport inzake het geo-electrisch onderzoek van de provincie Groningen (1961).
- SALINO and ALKALI SOILS. Agriculture Handbook, no. 60 (1954).
- LEVEN, J.A. VAN 'T en B. VAN DER WEERD. Verslag van enige proefnemingen met het inspuiten van grondwaterstands-buizen. Nota nr 23, (1958).
- ERNST, L.F. Verdeling van de grondwaterstroming naar sloten en buizen en het zoutgehalte van de afvoer bij polderpeilen beneden de gemiddelde zeespiegel. Nota nr 266, (1962).
- KOUWE, J.J. De Chloride belasting van N.O. Hunsingo. Nota nr 499, (1968).