NN31545.0449

CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 449, d.d. 1 april 1968

De chloride belasting van N.O. Hunsingo

ir J.J.Kouwe

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

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.

ISN 191138 - 02

[illegible]

INHOUDSOPGAVE

		Blz.
I.	INLEIDING	1
II.	DE AANLEIDING TOT EN VERLOOP VAN HET ONDERZOEK	4
III.	HET VERRICHTE ONDERZOEK	5
IV.	DE BEREKENING VAN DE CHLORIDE BELASTING	7
	1. Het berekenen van de kwel uit de termen van de waterbalans	7
	a. De waterbalans	7
	b. De beschikbare gegevens	8
	c. De afvoercurve	9
	2. De verdeling van de kwel over het gebied	11
	3. Het chloride gehalte van het kwelwater	12
	a. De bepaling van het chloride gehalte uit de electrische weerstand	12
	b. De resultaten van de verrichte zoutsonderingen	13
	c. De keuze van de formatie factor	14
	d. De verdeling van het chloride gehalte over het gebied	16
	4. De chloride belasting van het gebied	16
	5. De verdeling van de chloride belasting over de sloten en leidingen	17
V.	DE VEREISTE HOEVEELHEID DOORSPOELWATER	20
VI.	NABESCHOUWING	22
VII.	SAMENVATTING	24
VIII.	LITERATUUR	25

Bij deze nota behoren: 15 figuren nrs.1 tot en met 15
3 Bijlagen (tabellen 1 tot en met 3)

I. INLEIDING

In het gebied van Noord-Groningen zijn de polderwateren alle min of meer zout. De mate van verzilting schommelt tijdens de seizoenen, en is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag die wordt afgevoerd. Tijdens het landelijke onderzoek van de Commissie Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O. werd de verzilting van het polderwater aanschouwelijk samengevat in een tweetal kaarten. Deze geven de situatie weer voor een gemiddelde voorjaars- en zomertoestand voor de periode 1952 - 1954 (1). Tijdens de periode 1957 - 1962 werden de chloride monsteringen door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding voortgezet (2.3). Naast deze landelijke onderzoeken vonden incidenteel nog enkele lokaal georiënteerde onderzoekingen naar het chloride gehalte van het polderwater plaats.

In de aangehaalde rapporten wordt informatie verstrekt ten aanzien van de zoutbronnen, waardoor de polderwateren verzilt raken. Over de chloride belasting vindt men daarin echter geen mededelingen. Onder chloride belasting van een polder wordt verstaan de hoeveelheid chloriden die per eenheid van tijd op de polderwateren wordt gebracht. De herkomst van deze chloriden kan zijn de kwel van zout grondwater uit de ondergrond of zoutwater dat kunstmatig wordt aangevoerd; bijvoorbeeld door lekkende sluizen, gasbronnen en industrieel afvalwater. Bij de chloride belasting gaat het dus om twee zaken: ten eerste de hoeveelheid water per tijdseenheid en ten tweede het chloride gehalte van dit water. Het zich in de poldersloten bevindende water, waarvan het chloride gehalte bij de hoger aangehaalde rapporten onderwerp van onderzoek was, is dus het resultaat van menging van minstens drie watersoorten namelijk: het zich reeds in sloot bevindende veelal stromende water (de 'voorraad') het zoute kwelwater en het zoete regenwater dat tot afvoer komt; voorts eventueel nog: zout industriële afvalwater en het veelal zoete huishoudelijke afvalwater.

Het probleem van de chloride belasting is voor het Groningse deel van het bemalingsgebied Electra en voor het Waterschap Hunsingo behandeld door VAN DEN BURGH (5). Deze gaat uit van de waterafvoer bij Zoutkamp en het chloride gehalte van het polderwater welke op een groot aantal plekken verspreid over het gebied begin april en begin juli tijdens de periode 1952 - 1956 aan watermonsters werd gemeten. Door voor halfjaarlijkse winter- en zomerperioden de verschillen in chloride gehalten uit te zetten

tegen de gemiddelde maandelijkse afvoer werden betrekkingslijnen gevonden die tezamen met de maandelijkse debieten het chloride gehalte aan het begin van iedere maand opleverden en daarmede de chloride-inhoud van de polderleidingen alsmede de maandelijks afgevoerde hoeveelheden chloriden. Als sluitpost op de balans werd met deze hoeveelheden de chloride belasting berekend, waarvoor gemiddeld in de periode april - september 3,75 kg/sec. en voor de periode oktober - maart 8,15 kg/sec. werd gevonden. Het verschil van 4,4 kg/sec. wordt in de zomerperiode in het gebied, doch voornamelijk in de grond geborgen en tijdens de winterperiode weer afgevoerd tengevolge van de seizoensfluctuatie van het zoutfront in de grond.

BOOTSMAN (7) gaat uit van het verband $c = b \cdot q^{-a}$ dat wordt gevonden wanneer op dubbellogarithmisch papier het chloride gehalte uitgezet wordt tegen de gemiddelde dagafvoer gerekend over de 10 aan de bemonsteringsdatum voorafgaande dagen. Voor het beschouwde gebied worden dan a en b als regressie constanten gevonden. BOOTSMAN stelt voorts een verziltingscriterium, zijnde het chloride gehalte van het afgevoerde water dat niet overschreden mag worden. Het chloride bezwaar van het gebied wordt dan berekend door $C_z = q(c - c_u) = q_i(c_u - c_i)$. Hierin is q de afvoer uit het gebied met chloride gehalte c, q_i de aangevoerde hoeveelheid water met chloride gehalte c_i en c_u het chloride gehalte van het water dat het gebied verlaat = verziltingscriterium. Uit beide formules volgt dan dat $C_z = q(b \cdot q^{-a} - c_u)$, welke uitdrukking een maximum heeft wanneer de afgeleide van C_z naar q nul is. Hieruit wordt dan de kritieke afvoer berekend, waarbij het maximale chloride bezwaar zich voordoet. Uit de relatie $C_z = q_i(c_u - c_i)$ kan dan de vereiste aanvoer van water worden berekend.

Bij deze methode zijn c en C_z functies van q, zodat de chloride belasting, zijnde de totale hoeveelheid chloriden die per tijdseenheid door het gebied geleverd wordt, een andere grootheid is dan het chloride bezwaar van BOOTSMAN.

Voor de constanten a en b worden de volgende waarden gegeven

Hunsingo	(37 100 ha)	a = 0,56	b = 440 mg/l	(bij q = 1 mm/dag)
Meedstermaar	(1 428 ha)	a = 0,56	b = 880 mg/l	"
Uithuizermeede	(150 ha)	a = 0,31	b = 310 mg/l	"

Deze gegevens demonstreren dat zich binnen het gebied van het water-

schap grote verschillen in chloride gehalten voordoen, hetgeen natuurlijk ook al uit de bemonsteringen was gebleken. Zo is bij gelijke afvoer het chloride gehalte van het water in het Meedstermaar twee maal zo hoog als het gemiddelde voor geheel Hunsingo. Het gebied bij Uithuizermeede is echter belangrijk zoeter.

Beide methoden hebben het bezwaar dat de chloride belasting en de op grond daarvan berekende doorspoelingsbehoefte wordt afgeleid uit de afvoergegevens voor het gehele gebied Electra, dat naast Hunsingo (37 100 ha) ook nog het Westerkwartier, het Reitdiep, een deel van Drente omvat tot een totale oppervlakte van ca 90 000 ha. Hoe de verdeling van de berekende totale waterbehoefte voor doorspoeling over de onderdelen van het waterschap zal zijn kan uit deze gegevens niet worden afgeleid. Wel kan uit de resultaten qualitatief worden aangewezen waar die behoefte het grootst is.

De chloride belasting tengevolge van sloot- of leidingkwel zal zich, afhankelijk van de bodemkundige en hydrologische omstandigheden, voordoen over grotere of kleinere trajecten van een leiding. Hierbij is dus sprake van een belasting per tijdseenheid en per eenheid van lengte. Het chloride gehalte zal daarom vanaf een zekere beginwaarde regelmatig toenemen naarmate de afstand tot dit beginpunt groter wordt. Discontinuïteiten in de concentraties worden veroorzaakt door vanuit zijleidingen in de hoofdleiding instromend water met een van dat van de hoofdleiding afwijkend chloride gehalte.

In tegenstelling tot de leidingkwel is de chloride belasting door industrieel afvalwater strict gelokaliseerd, namelijk tot het lozingspunt in de leiding . Als zodanig beïnvloedt zulk een zoutbron de chloride concentratie van het leidingwater op dezelfde wijze als een zijleiding dit doet, namelijk eveneens discontinu.

II. DE AANLEIDING TOT EN VERLOOP VAN HET ONDERZOEK

De ontwikkeling van de tuinbouw en meer in het bijzonder die van de teelten onder glas in de drie noordelijke provincies is de laatste jaren ten achter gebleven bij die welke in de overige tuinbouwgebieden van ons land valt te constateren. Voor Noord-Groningen wordt als een van de oorzaken daarvoor aangemerkt het niet steeds voorhanden zijn van water van een goede kwaliteit. Teneinde te bestuderen welke maatregelen kunnen worden getroffen om verbetering van de watervoorziening te bewerkstelligen werd ingesteld de 'Commissie Watervoorziening Landbouwdoeleinden Groningen', waarin ook het I.C.W. zitting heeft. Uit deze Commissie werd een werkgroep samengesteld die tot taak kreeg onderzoek te verrichten naar het verziltingsvraagstuk.

Door ir J.A. VAN 'T LEVEN werd in 1962 begonnen met een oriënterend onderzoek naar het zoutgehalte van het grondwater. In een drietal noord-zuid georiënteerde raaien werden met een sondeerapparaat op verschillende diepten het electrisch geleidingsvermogen van de grond gemeten. De verzamelde gegevens werden, wegens vertrek van ir VAN 'T LEVEN naar Tunesië tot een voorlopig verslag verwerkt door SNIJDERS (4). Na zijn terugkeer in 1965 heeft ir VAN 'T LEVEN zich nog incidenteel tot zijn uiteindelijk vertrek bij het Instituut met het verziltingsonderzoek beziggehouden. Begin 1966 werd steller dezer met de technische uitvoering en rapportering van het aan het Instituut toevallende aandeel in het onderzoek belast.

III. HET VERRICHTE ONDERZOEK

Verbetering van de watervoorziening komt voor Noord-Groningen in feite neer op verbetering van de kwaliteit van het water. Dit houdt weer in een bestrijding van de verzilting van het polderwater door doorspoeling van de polderleidingen met van elders aangevoerd water met een voldoende laag zoutgehalte. De vereiste hoeveelheid water hangt af van de graad van verzilting van het polderwater, de te stellen grenswaarde welke de verzilting niet mag overschrijden en van het zoutgehalte van het doorspoelwater zelf.

Teneinde de omvang van het te verrichten veldwerk niet te omvangrijk te doen zijn, heeft de Commissie gemeend het onderzoek te moeten beperken tot het noord oostelijke deel van het waterschap Hunsingo. Dit gebied wordt begrensd door de lijn Warffum-Onderdendam-Boterdiep tot Fraamklap en voorts de waterschapsgrens met Fivelingo tot Uithuizermeede en vanaf deze plaats de grens met de Noord Polder tot Warffum. Het gebied heeft een oppervlak van ca. 9000 ha (zie figuur 1).

Het onderzoek door het I.C.W. in 1966 opgezet, had ten doel de chloride belasting van dit gebied vast te stellen. Zoals eerder uiteengezet wordt deze bepaald door de hoeveelheid en het chloride gehalte van het per tijdseenheid in dat gebied binnenkomende water.

Het vaststellen van de hoeveelheid water zou kunnen geschieden via de posten van de chloridebalans door het verrichten van afvoermetingen op een aantal belangrijke punten in het leidingenstelsel of steekproefsgewijs in de kleinere onderbemalingsgebieden. Het zoutgehalte van het water zou dan op deze punten door het nemen en analyseren van watermonsters kunnen worden bepaald. Beide gegevens geven dan de hoeveelheden chloride die per tijdseenheid de meetpunten passeren. Uitgaande van bekende begin- en eindtoestanden kan langs deze weg de chloride belasting over een zekere periode berekend worden (5).

Bij nadere beschouwing bleek deze opzet van het onderzoek naar de chloride belasting voor het gekozen gebied niet goed mogelijk. De redenen hiervan zijn in de eerste plaats het ontbreken van kunstwerken in de grote leidingen waaraan afvoermetingen kunnen worden verricht. In de tweede plaats de te geringe stroomsnelheid van het water in deze grotere leiding die voor

III. HET JEUGDIGE ONDERNEMER

[illegible]

[illegible]

[illegible]

afvoermetingen in aanmerking zouden komen. De apparatuur ter vaststelling van de stroomsnelheid in een leiding vereist namelijk een zekere minimale grootte daarvan. Een derde bezwaar is dat het water onder verschillende omstandigheden verschillende afvoerwegen kan kiezen doordat sommige watergangen met elkaar in open verbinding staan. Dit is bijvoorbeeld het geval met het Boterdiep en het Meedstermaar, het Boterdiep en het Koksmaar, het Boterdiep en het Warffumermaar.

Het is vooral het bezwaar, van de geringe stroomsnelheid in de polderwaterleidingen, dat de keuze van de onderzoeksmethode heeft bepaald. Besloten werd daarom de chloride belasting te achterhalen via het verrichten en bewerken van grond- en slootwaterstandswaarnemingen, wekelijks verricht op een dertigtal plekken en het voor deze wekelijkse perioden bijeenbrengen van regen- en verdampingsgegevens welke ontleend konden worden aan de publikaties van het K.N.M.I.

Naast dit grondwaterstandsonderzoek diende ook het chloride gehalte van het grondwater ter plaatse van de waarnemingsplekken bekend te zijn. Daartoe werden bij deze plekken en bij de naastbijgelegen sloten of leidingen zoutsonderingen verricht, waarin elke halve meter de specifieke electrische weerstand van de bodemformatie werd gemeten. Tevens werden uit de geplaatste grondwaterbuizen en uit de sloten watermonsters genomen en op electrische weerstand en chloorgehalte onderzocht. Ook werd van een opname naast het chloorgehalte ook het bicarbonaatgehalte bepaald.

Naast het onderzoek verbonden aan de analyse van de grondwaterstanden werden in overleg met de Werkgroep Geoëlectrisch Onderzoek van T.N.O. op een negental plekken zoutsonderingen verricht in raaien loodrecht op enkele Maren en het Boterdiep. In een aantal van de met de sondeerstang verkregen gaten werden 1 of 2 grondwaterbuizen geplaatst ter verkrijging van watermonsters uit de ondergrond. In geval 2 grondwaterbuizen werden geplaatst, werd zorggedragen dat één filter boven en het andere beneden het zoutfront werd aangebracht. De sonderingen werden in de regel verricht op 1 m, 5 m en 10 m afstand vanuit de waterlijn in de leiding, terwijl weerstandsmetingen op diepten opklimmend met een halve meter werden verricht.

IV. DE BEREKENING VAN DE CHLORIDE BELASTING

Het proces van de berekening van de chloride belasting van een gebied kan in enkele onderdelen worden opgesplitst, die achtereenvolgens zullen worden behandeld. Deze zijn:

1. het berekenen van de kwel uit de termen van de waterbalans;
2. de verdeling van de kwel over het gebied;
3. het chloride gehalte van het kwelwater;
4. de chloride belasting van het gebied;
5. de verdeling van de chloride belasting over de sloten en leidingen.

1. Het berekenen van de kwel uit de termen van de waterbalans

a. De waterbalans

Bij het afleiden van de afvoer van overtollige neerslag uit gemeten grondwaterstanden wordt uitgegaan van de waterbalans van de plek waar de grondwaterbuis is geplaatst. Deze waterbalans luidt:

Wateraanvoer = Waterafvoer + Verdamping + Bergingsverandering

De wateraanvoer geschiedt door: de regenval R, de kwel K; beide in mm/dag;
De waterafvoer bestaat uit : afvoer van overtollige neerslag door de grond naar de sloot A en afvoer van regenwater over het maaiveld naar de sloot A_m, beide eveneens in mm/dag;
De verdamping in mm/dag wordt afgeleid uit de verdamping van open water V_o : $V = f.V_o$;
De bergingsverandering is het verschil tussen de hoeveelheden water die zich bij het begin en aan het eind van de balansperiode boven een bepaald vergelijkingsvlak in de grond bevinden: $dB^{*)} = m(W_o - W_t) = m.dW^{*)}$, waarbij W de grondwaterstand beneden maaiveld voorstelt en m de bergingscoëfficiënt.

---

*) De notaties dB en dW worden hier gebruikt ter aanduiding van verschillen tussen twee opeenvolgende waarnemingsdagen

Uiteindelijk luidt de waterbalans:

$$R + K = A + A_m + V + m.dW$$

Al dadelijk kan gesteld worden dat de oppervlakte afvoer A_m onbekend blijft omdat er geen eenvoudige methode bestaat om deze te meten. Iets dergelijks geldt ook voor de bergingsveranderingen dB. Een deel hiervan ontsnapt ook aan directe meting in zoverre berging plaatsvindt in plassen op het land die dus geen verband houden met de grondwaterstand W.

Ten aanzien van de kwel K geldt dat ook deze niet direct gemeten wordt en dus moet worden afgeleid uit de overige gegevens. Rekening houdend met bovenstaande omstandigheden ziet de waterbalans er na enige herbeschikking als volgt uit:

$$(R - V + K) = A + m.dW$$

Wanneer $dW \rightarrow 0$ dan wordt dus $(R - V + K) = A$, van welk feit bij de bepaling van de afvoerfunctie gebruik wordt gemaakt.

b. De beschikbare gegevens

In het proefgebied werden in totaal 33 plekken uitgezocht waarop een grondwaterbuis werd geplaatst en waarbij in de naastbijzijnde sloot of leiding een meetpunt werd ingericht. In een aantal gevallen werd gebruik gemaakt van peilschalen van het waterschap. Grondwaterstanden en slootpeilen werden wekelijks waargenomen door de eigenaars van het terrein waarop de buizen zich bevonden. Uiteindelijk werden van 29 buizen en slootpeilen voldoende gegevens ontvangen voor een bewerking. De waarnemingen begonnen in april 1966 en eindigden op 1 juli 1967.

Regencijfers waren beschikbaar van de K.N.M.I. stations Warffum, Uithuizen en Roodeschool. De open waterverdamping werd ontleend aan het station Eelde. Het bleek dat de regenhoeveelheden gemeten bij de drie stations in de richting west naar oost soms duidelijke verschillen aanwezig waren. Vergelijking van de wekelijkse totalen aan neerslag voor de drie stations met de opgaven welke sommige waarnemers van waterstanden op de lijstjes aantekenden deden het raadzaam voorkomen de buizen te groeperen in 4 neerslagzônes

[illegible]

[illegible]

[illegible]

namelijk Warffum, Warffum/Uithuizen, Uithuizen en Uithuizen/Roodeschool

c. De afvoercurve

De afvoer A is een functie van de drukhoogte, welke gelijk is aan het verschil tussen grond- en slootwaterpeil(W resp. S). Aangezien gewerkt moest worden met wekelijkse perioden werd voor iedere week de gemiddelde drukhoogte H bepaald:

$$\bar{H}_i = (W_t + W_{t+1} - (S_t + S_{t+1}) \cdot \frac{1}{2} \; (t = 0, 1, 2, ; i = t + 1)$$

Door bewerking van de regencijfers werden voor iedere week i de dagcijfers gesommeerd tot R_i (waarin: i = t + 1 = het einde van de week tussen t en t + 1).

De verdampingscijfers waren echter slechts bekend per decade. Uit deze gegevens werden voor de weken door middel van evenredige toerekening de verdampingscijfers voor iedere kalenderweek berekend $V_{o.i}$. Hieruit werd door toepassing van de reductiefactor f = 0,83 bij wijze van benadering de 'werkelijke' verdamping V_i verkregen.

Door BLOEMEN (8) werd de bewerking van de grondwaterstandsgegevens uitvoerig besproken. In de regel wordt echter beschikt over gegevens over een langere waarnemingsperiode. De methode van bewerking kan dan naast het afleiden van de afvoercurve ook gebruikt worden voor het berekenen van de gemiddelde verdamping gedurende zekere perioden, bijvoorbeeld de maanden van het jaar. Gedeeld door de open waterverdamping tijdens deze zelfde perioden levert dit dan de reductiefactor f op.

Aangezien het onderhavige onderzoek zich slechts uitstrekte over de periode half april 1966 - 1 juli 1967 dus ca. 15 maanden diende de methode Bloemen aan deze omstandigheden te worden aangepast. Dat hiermede de uitkomsten van de bewerkingen aan nauwkeurigheid inboetten is buiten twijfel.

De toegepaste analyse methode gaat uit van de volgende veronderstellingen:

[illegible] Universidad, Dirección de Difusión/Radiodifusión

6. El [illegible]

[illegible] la cuestión [illegible] conservacionista [illegible] poder [illegible] [illegible] [illegible]

Gedurende de weken waarbij $dW \rightarrow 0$ wordt aangenomen dat de afvoer
$A = R - V + K$
De afvoerfunctie $A = R - V + K = aH^2$ waarin H de drukhoogte voorstelt.
Omdat alleen $(R - V)$ bekend is geldt: $A = R - V = aH^2 - K$

In feite betekent de gekozen afvoerformule dat aangenomen wordt dat de afvoer van de overtollige neerslag uitsluitend plaatsvindt door de grondlaag gelegen tussen het niveauvlak van de slootwaterstand en de grondwaterspiegel. Het bleek namelijk dat het opnemen in de functie, van een eerste grondsterm van H tengevolge van de grote spreiding in de gegevens, aanleiding gaf tot onwaarschijnlijke afvoercurven.

De bewerking van de verzamelde gegevens geschiedde met de electronische rekenmachine. Het verloop van de berekening wordt schematisch weergegeven in figuur 2.

a. Uit de gegevens werden die geselecteerd waarvoor $dW < |e|$, met voor de verschillende buizen $|e| = 6$ à 10 cm. De gegevens van deze waarnemingen zullen we aangeven met '*'. Nu worden $(R - V)_i^* = A_i^*$ in een assenkruis uitgezet tegen H_i^*, waarna door de verkregen puntenzwerm de functie $A_1 = a_1H^2 + K_1$ wordt gerekend. Deze wordt beschouwd als de eerste benadering van de afvoerfunctie (fig. 2a).

b. Vervolgens worden met deze functie voor <u>alle</u> gegevens (dus $0 \geq dW \geq 0$) de verschillen $(R - V)_i - A_{1,i} = (R - V)_i - (a_1H_i^2 + K_1)$ berekend en uitgezet tegen dW_i. Door de puntenzwerm wordt de lijn $(R - V) - A = b_1 \cdot dW + c_1$ gerekend. Hierin stelt $b_1 \cdot dW$ de hoeveelheid water voor die in het bodemprofiel in de week is geborgen($dW < 0$) of extra is afgevloeid ($dW > 0$) en die dus op de voor die week gemeten $(R - V)_i$ als een correctie in rekening moet worden gebracht (fig. 2b).

c. Alle waarden $(R - V)_i$ worden nu gecorrigeerd op $dW = 0$ volgens: $(R - V)_i - b_1 \cdot dW_i$, waarna de afvoerfunctie opnieuw berekend wordt met de gegevens $(R - V)_i^*$ en H_i^* als onder sub a. Dit levert op $A_2 = a_2H^2 + K_2$ (fig. 2c).

d. Vervolgens wordt de bewerking sub b herhaald door $A_{2,i} - (a_2H_i^2 + K_2)$ uit te zetten tegen dW_i teneinde nogmaals de correcties b_2dW_i te bepalen (fig. 3d).

e. Dit iteratie proces wordt zolang herhaald tot $(K_{n-1} - K_n)/K_{n-1} < 0{,}05$ ($n = 1, 2, 3, \ldots$ het nummer van de iteratie)

De berekening diende voor de 29 bewerkte buizen gemiddeld 3 maal uitgevoerd te worden alvorens aan het criterium sub e voldaan werd. Voor de regressie-coëfficiënten van de lijn (R - V) - A = b . dW + c werden voor de bewerkte buizen de volgende waarden gevonden:

	Minimum	Maximum	Gemiddeld
b	$- 0,5 \times 10^{-8}$	$0,6 \times 10^{-3}$	$0,6 \times 10^{-5}$
S_b	0,05	0,29	0,16
c	- 3,26	2,54	0,24
S_c	1,05	2,85	1,80
S	7,99	15,82	12,80
R	- 0,00	0,01	0

Deze cijfers tonen aan dat in de restwaarde $(R - V)_i - A_{n.i} - \sum_{1}^{n-1} b_n . dW_i$ uitgezet tegen dW_i geen samenhang meer bestaat en dat ze dus de onverklaarde toevallige afwijkingen in de gegevens vertegenwoordigen.

In tabel 1 (bijlage 1) zijn de resultaten van de berekening van de afvoerfuncties voor de 29 buizen samengevat. De correlatie-coëfficiënt R en de standaardafwijkingen S, S_a , S_k tonen aan dat de gevonden relaties tussen de afvoer en de drukhoogte geen grote nauwkeurigheid hebben. De waarden voor de kwel K die als gemiddelden gevonden werden liggen wel in de orde van grootte die men zou mogen verwachten. Gemiddelde voor alle buizen is K = 4,4 mm/week of 0,63 mm/dag.

2. De verdeling van de kwel over het gebied

De waarden welke per buis voor de kwel werden gevonden, zoals deze in tabel 1 staan vermeld, gelden slechts voor de plek waar de buizen staan. Teneinde de totale kwel voor het gehele gebied van onderzoek te kunnen berekenen werd een kwelkaart gemaakt (fig. 3). Deze kwam tot stand door uitgaande van de gegevens van de buisplekken lijnen van gelijke kwelhoeveelheden te inter-

[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]		[illegible]	[illegible]
[illegible]		[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible]

[illegible]

poleren. Hierbij werd steun gezocht bij de verziltingskaarten welke door de Provinciale Waterstaat (9) werden vervaardigd op grond van de chloride bemonsteringen. Figuur 4 geeft de chloride gehalten van het polderwater bij een afvoer van 0,5 mm/dag (a) en bij 1 mm/dag (b), ontleend aan en bewerkt naar de gegevens vermeld in genoemd rapport (9).

3. Het chloride gehalte van het kwelwater

De bepaling van de chloride belasting van het polderwater via de kwel vereist de bekendheid van het chloride gehalte van het opkwellende grondwater. Bij het onderzoek naar het chloride gehalte van het grondwater worden methoden toegepast welke uitgaan van de weerstand van de grond voor geleiding van electrische stroom, of van de reciproke daarvan het geleidend vermogen. Met de specifieke weerstand (gemeten in Ω m of Ω cm) wordt dan in een ijkgrafiek, die het verband weerstand-chloride gehalte aangeeft, het chloride gehalte afgelezen.

Electrische weerstandsmetingen kunnen geschieden door middel van de geo-electrische oppervlakte meting, nader beschreven door BOEHMER en WALTER (6), en met behulp van een sondeerapparaat waarbij zich nabij het uiteinde van de sondeerstang electrische contactringen bevinden. Met dit apparaat, zoals bij het I.C.W. in gebruik, kunnen op iedere gewenste diepte tussen 0 en maximaal 10 m - maaiveld electrische weerstandsmetingen worden verricht. Dit werd gedaan op alle grondwaterbuisplekken, bij de buis en bij de sloot.

a. De bepaling van het chloride gehalte uit de electrische weerstand

De electrische weerstand die gemeten wordt is die van de bodemformatie, derhalve 'formatie weerstand' genoemd. Deze bestaat, behoudens de temperatuur uit minstens twee componenten; de weerstand van het bodemvocht en de weerstand van het bodemskelet.

De weerstand van het bodemvocht wordt bepaald door de totale anionenconcentratie uitgedrukt in milligram equivalenten per liter. De weerstand van het bodemskelet wordt bepaald door het poriënvolume en het lutumgehalte.

De verhouding tussen de weerstand van het bodemvocht (r_1) en de weerstand van de bodemformatie (r_F) wordt de formatie factor genoemd:

[illegible]

2. [illegible]

[illegible]

3. [illegible]

[illegible]

$$F = r_1/r_F$$

Gezien de afhankelijkheid van r_1 en r_F van de samenstelling van de opgeloste ionensoorten, van het poriënvolume en van het lutumgehalte zou voor iedere voor het gebied representatief geachte bodemformatie een aparte ijkcurve samengesteld moeten worden.

b. De resultaten van de verrichte zoutsonderingen

De gemeten electrische weerstanden in de sonderingen op de buisplekken en naast de sloten zijn weergegeven in de figuren 5a tot en met h. De resultaten van de sonderingen in een 9-tal raaien loodrecht op het Boterdiep en enkele maren staan weergegeven in de figuren 6a tot en met c.

In tabel 2 (bijlage 2) werden de specifieke electrische weerstanden voor de bodemformatie op filterdiepte bij de buis en bij de sloot ontleend aan de figuren 5a - h en de weerstand van de watermonsters onttrokken aan de grondwaterbuizen en de sloten samengevat.

In tabel 3 (bijlage 3) is dit zelfde gedaan voor een aantal plekken van de raaien I -IX vermeld op figuur 1.

In figuur 7 zijn de specifieke weerstanden van de formatie r_F en van het water in de buis r_1 (a) respectievelijk de sloot (b) tegen elkaar uitgezet. In de figuur zijn tevens de lijnen voor verschillende waarden van de formatie factor getrokken. In figuur 8 zijn de specifieke electrische weerstanden r_1 van de watermonsters van figuur 7 uitgezet tegen het chloride gehalte van het bodemvocht.

Eenzelfde bewerking werd uitgevoerd voor de gegevens verkregen met de sonderingen in de raaien vermeld in tabel 3; respectievelijk de figuren 9 en 10. In augustus 1967 vond een tweede bemonstering plaats van de grondwaterbuizen in de raaien. Helaas werd hierbij verzuimd de specifieke electrische weerstand r_1 te meten, doch wel werd naast het chloride gehalte ook het HCO_3^- -gehalte bepaald. Met de formatie constanten gevonden bij de vorige bemonstering, welke in november 1965 respectievelijk maart 1967 plaatsvond, kon voor de raaien I, IV, VI en IX uit de specifieke formatie weerstand de weerstand van het bodemvocht berekend worden. Voor de monsters uit de raaien III, V, VII en VIII werd de specifieke electrische weerstand van het bodem-

[illegible]

[illegible]

[illegible]

vocht r_1 gereconstrueerd uit het gehalte aan chloriden en bicarbonaat, waarmee tevens de formatie factor bekend werd (fig. 11).

Tenslotte werden voor alle monsters de gevonden formatie factoren tegen de diepte onder maaiveld uitgezet figuur 12. In deze figuur werden tevens de grenswaarden voor verschillende grondsoorten aangegeven, zoals door BOEHMER en WALTER opgegeven.

c. De keuze van de formatie factor

Wanneer de figuren 7 - 12 worden overzien dan valt de grote spreiding op die er in het materiaal zit. Figuur 7 waarin voor de grondwaterbuizen 1 - 33 r_F tegen de r_1 werd uitgezet geeft voor een aantal buizen formatie factoren kleiner dan 1. Dit wijst erop dat regenwater van bovenaf in de buis gelopen kan zijn. Figuur 9 geeft het r_F - r_1 verband voor de raaien I, IV, VI en IX. Hierin komt slechts een punt voor met $F < 1$. Voor de overige punten kan $F = 3,7$ als een aanvaardbaar gemiddelde worden beschouwd.

De figuur 12 welke het verloop van r_F met de diepte onder maaiveld geeft vertoont een grote spreiding. Deze moet worden toegeschreven aan de aard en samenstelling van de lagen waarin de filters van de buizen zich bevinden. Voor diepten groter dan $\pm$ 3 m - maaiveld ligt het gemiddelde van de formatie factoren tussen 2,0 en 5,5, zodat $F = 3,7$ wel een aanvaardbare waarde kan worden geacht, hoewel de afwijkingen daarvan groot kunnen zijn. Deze bevinding stemt overeen met de formatie factor die ook door BOEHMER en WALTER (6) voor de wadzanden werd gekozen.

Naast het poriënvolume en het lutumgehalte van het bodemmateriaal is echter ook de samenstelling van de zoutoplossing van het bodemvocht van invloed op de formatie factor. Zolang het relatieve aandeel van het chloorion in totale ionen concentratie van de oplossing, ondanks verdunning, constant blijft bestaat er een rechtlijnig verband tussen de concentratie van het chloorion en de electrische weerstand: de lijn 'verdund zeewater' in figuur 8. Wanneer echter het zeewater wordt verdund met natuurlijk zoet water, waarin toch altijd zouten zijn opgelost, dan zal het relatieve aandeel van het chloorion in de verdunning een verandering ondergaan. Ca'', SO_4'' en HCO_3' gaan relatief een belangrijkere plaats innemen. Het HCO_3' -ion kan voor deze met toenemende verdunning zich wijzigende verhoudingen een belangrijke indi-

cator zijn. Uitgedrukt in milligram equivalenten per liter (m.e./l) neemt in zeewater het chloorion ca. 90% van de totale anionenconcentratie voor zijn rekening. Wanneer het verdunningswater alleen HCO_3^--ionen bevat dan zal het relatieve aandeel van het chloor veranderen en daarmee de electrische weerstand. De zeewatercurve van figuur 8 geeft voor 300 mg Cl/l een weerstand van ca. 1300 Ω cm. Bevat dit water bovendien 700 mg HCO_3^-/l dan is de weerstand slechts ± 700 Ω cm. In figuur 8 is de lijn voor 700 mg HCO_3^-/l aangegeven naast die voor een aantal andere concentraties van dit ion ontleend aan de publicatie van BOEHMER en WALTER (6).

Uit de analyse van 40 watermonsters afkomstig uit de grondwaterbuizen van de raaien I-IX en van verschillende diepte blijkt dat het HCO_3^--gehalte op diepten variërend tussen 1,5 en 8,5 meter onder maaiveld schommelt tussen 350 en 1800 mg/l in 34 van de monsters en dat 6 lagere waarden hebben. Er blijkt geen verband met de diepte onder maaiveld te bestaan. Het gemiddelde bedraagt ± 700 mg/l.

Het open water echter vertoont lagere gehalten die zich bewegen tussen 200 en 350 mg HCO_3^-/l. De veelal lage waarden van het HCO_3^--gehalte van het water in de buizen op de 33 waarnemingsplekken, zoals uit figuur 8 blijkt, steunen dan ook het eerder vermelde vermoeden dat oppervlakte water van bovenaf in de buis gelopen kan zijn, met als gevolg de lage formatie factoren van figuur 7.

Het naar de sloten toe opkwellende water veroorzaakt door het meegebrachte zout de verzilting van het polderwater. Teneinde uit de gemeten weerstanden bij de sloten de chloride gehalten af te leiden werd de weerstand gemeten op een diepte van 3 m, uit de diagrammen van figuur 5 aangehouden. Voor zover niet tot die diepte werd gesondeerd werd de weerstand op het diepste bereikte punt aangehouden.

Bij het kiezen van de diepte van 3 m werd uitgegaan van de gedachte dat op deze diepte de slibhoudende wadzandondergrond zal voorkomen, waarbij een homogener grondslag aanwezig kan worden veronderstald. Dus: minder variatie in het poriënvolume, weinig invloed van het lutumgehalte en wellicht ook, vooral onder de slootbodem, minder variatie in het chloride gehalte, doordat de menging met zoetwater eerst dichter onder de slootbodem het intensiefst zal zijn. Dat deze veronderstellingen niet in die mate als wenselijk waren

gehonoreerd worden bewijst figuur 12. Evenwel werd verder bij de berekening van de chloride belasting aangehouden een formatie factor F = 3,7 op 3 m diepte en: (HCO_3^-) = 700 mg/l.

d. De verdeling van het chloride gehalte over het gebied

Met de formatie factor, de formatie weerstand op 3 m diepte gemeten bij de sloten, het gemiddeld bicarbonaatgehalte en de relatie tussen weerstand en chloride gehalte zoals in figuur 8 weergegeven, kan nu voor iedere plek van onderzoek het chloride gehalte van het kwelwater berekend worden. Daartoe is in figuur 8 op de rechterzijde de schaal voor de electrische weerstand bij een formatie factor F = 3,7 aangebracht.

De chloride gehalten van het grondwater op 3 m onder maaiveld bij de sloot werden verwerkt tot de chloridekaart van figuur 13. Bij de interpolatie tussen de punten werd steun gezocht bij de kaart door BOEHMER en WALTER (6) vervaardigd door middel van de geo-electrische oppervlakte metingen.

Uit de gegevens welke werden verzameld bleek dat de zoute kwel hoofdzakelijk leiding- en slootkwel is. Uit figuur 8 valt op te maken, zij het met enig voorbehoud, dat de drainbuizen slechts weinig tot de verzilting bijdragen. Verreweg de meeste buizen geven, naar uit de diagrammen van figuur 5 opgemaakt kan worden, chloride gehalten van minder dan 200 mg/l, terwijl de sloten over het algemeen hogere gehalten te zien geven. Van een tweetal plekken staan chloride gehalten van drainwater ter beschikking. Deze bleken beide water met 30 mg/l af te voeren. Bovendien valt de verzilting door drainafvoeren in het late voorjaar uit door het dalen van de grondwaterstand zodat vanaf dit tijdstip vrijwel uitsluitend chloriden via de leiding- en slootkwel op het polderwater komen.

4. De chloride belasting van het gebied

Met behulp van de kwelkaart en de chloridekaart (resp. fig. 3 en 13) kon nu de chloride belasting van het gebied berekend worden. Hiertoe werden beide kaarten gecombineerd, waardoor een indeling van het gebied werd verkregen met 42 onderdelen met ieder een combinatie van kwelintensiteit en chloride

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

gehalte van het water. Een samenvatting wordt gegeven in tabel 4.

Tabel 4. De oppervlakte in ha van gebieden met een zekere kwelintensiteit en chloride gehalte van het kwelwater

Chloride gehalte gr/l	Oppervlakten in ha met een gemiddelde kwel van: (mm/dag)					
	0 - 0,1	0,1 - 0,3	0,3 - 0,7	0,7 - 1,4	> 1,4	Totaal
0 - 0,5	440	888	897	820	95	3140
0,5 - 1,0	697	343	535	810	85	2470
1 - 5	95	20	315	610	10	1050
5 -10	48	477	860	162	143	1690
10	-	67	173	410	-	650
Totaal	1280	1795	2780	2812	333	9000

Uit deze tabel laten zich de volgende resultaten berekenen:

Totale kwelhoeveelheid : 52,650 m^3/dag of 0,585 mm/dag
Totale chloride hoeveelheid: 170 978 kg/dag of 3,25 gr Cl'/l
of 1,98 kg Cl'/sec

De sonderingen vonden plaats in de periode april/mei 1967. Wordt de berekende chloride belasting van 1,98 kg/sec beschouwd als het gemiddelde tussen zomer- en winterbelasting dan kan met de verhouding tussen de twee ontleend aan het rapport van VAN DEN BURGH (5) de zomer- respectievelijk winterbelasting worden berekend. De verhouding tussen winter- en zomerbelasting bedraagt volgens de gegevens van genoemd rapport 2,21. Op grond hiervan zou de winter chloride belasting voor het onderzochte gebied komen op 2,7 kg/sec en voor de zomerperiode 1,2 kg/sec.

5. De verdeling van de chloride belasting over de sloten en leidingen

Waar het zout in het gebied aan de dag treedt valt uit de figuren 4a en b op te maken. Deze verschaffen echter slechts een kwalitatief gegeven. Omtrent de verdeling van het zoutbelasting over de verschillende categoriën-leidingen binnen het gebied valt wel een globale schatting te maken. Hiertoe werden op de topografische kaarten op elf plekken van ieder 100 ha de lengten aan perceelssloten en leidingen uitgemeten. Deze laatste categorie werd nog verdeeld in grote, middelgrote en kleine leidingen. De volgende gegevens

[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

werden aldus verkregen:

Sloten	873 km
Kleine leidingen	67 km
Middelgrote leidingen	27 km
Grote leidingen	47 km

Vervolgens werden voor bodembreedte, diepte en taludhelling voor iedere categorie bepaalde waarden geschat. De hoeveelheid kwel die op een leiding komt is omgekeerd evenredig met de radiale weerstand en rechtevenredig met de drukhoogte. Door uit te gaan van de profielkenmerken waarvan eerder gewag werd gemaakt en door een schematisering van het bodemprofiel werden globale waarden voor de radiale weerstanden van de sloten en leidingen berekend. Hieruit resulteerde de volgende verdeling van het afgevoerde water voor winter-en zomerperiode:

	Winter	Zomer
drainages *	0,30	-
sloten	0,50	0,70
kleine leidingen	0,05	0,08
middelgrote leidingen	0,05	0,07
grote leidingen	0,10	0,15

* 70% van het gebied gedraineerd

Uit dit overzicht blijkt dat in de winter ± 70% van het afgevoerde grondwater door open waterlopen wordt opgenomen. De oppervlakte afvoer die in dit gebied vooral in de winter een rol kan spelen is hierin niet begrepen. De verzilting van de poldersloten valt ook uit de vergelijking van de zoutsonderingslijnen in de figuren 5 en 6 af te lezen.

De figuren 14a tot en met d geven de gemeten formatie weerstanden (Ω m) in de raaien I tot en met IX. Duidelijk demonstreren deze de zoute kwel naar het Meedstermaar, het Eppenhuistermaar (I), het Boterdiep (IV, V en VII) en naar het Startenhuistermaar (III, IX). Op andere plaatsen langs het Boterdiep wordt geen zoutwater opgenomen of is dit niet duidelijk (VI). Op figuur 14c is tevens een grafiekje opgenomen waarmee de weerstanden globaal kunnen worden omgezet in chloride gehalten (6). In het algemeen zal men tussen 0 en 3 m onder maaiveld de 'klei- of zavelcurve' en beneden die diepte de 'wadzand'-curve moeten kiezen.

Figuur 15 geeft een schematische reconstructie van het chloride gehalte verloop in het Boterdiep (a) en in het Meedster maar - Helwerdermaar - Usquerder maar - Verbindingskanaal en Warffumer maar (b), beide met het chloride gehalte van het door de zijleidingen op beide watergangen geloosde water. Tevens staan aangegeven de plaatsen waar raai I het Meedstermaar en de raaien V, VI en VII het Boterdiep kruisen. Het valt op dat het Boterdiep vanaf Uithuizen (punt 17) tot voorbij Fraamklap (punt 108) steeds een hoger chloride gehalte heeft dan de er in uitmondende zijleidingen. Het kanaal moet derhalve zelf verzilt water opnemen. Vanaf raai VII daalt het chloride gehalte geleidelijk, hetgeen wijst op het minder worden van de zoute kwel naar het kanaal (zie ook figuren 3 en 4).

Het Meedstermaar en volgende ontvangt zoutwater en onttrekt dit zelf blijkbaar ook in niet onbelangrijke mate aan de ondergrond, tot een punt ongeveer direct ten zuiden van Usquert, waarna het chloride gehalte aanvankelijk daalt doch later weer stijgt.

V. DE VEREISTE HOEVEELHEID DOORSPOELWATER

Op grond van de berekende chloride belasting kan de vereiste hoeveelheid doorspoelwater berekend worden. De chloride balans luidt:

$$C_{bel} + Z_s \cdot S = A \times Z_{afv.}$$

C_{bel} = de chloride belasting = $1{,}71 \times 10^5$ kg/dag of 1,98 kg/sec;
Z_s = chloride gehalte spoelwater kg/m^3;

Door VAN DEN BURGH (5) wordt voor het via Gaarkeuken aangevoerde water een chloride gehalte opgegeven van 0,15 à 0,20 kg/m^3

S = de hoeveelheid doorspoelwater m^3/sec;
A = de afvoer = $\{$overtollige neerslag (A_R) + Kwel (K)$\} \dfrac{9 \times 10^4}{8{,}64 \times 10^4} + S$;
A_R en K in mm/dag, S in m^3/dag

Werd voor de periode april tot en met juni een neerslagafvoer van 0,75 mm/dag en voor de maanden juli tot en met september van 0,43 mm/dag gevonden; de kwel bedraagt 0,585 mm/dag

Z_{afv} = verziltingscriterium = het chloride gehalte van het water dat dit gebied verlaat, aannemende dat dit plaatsvindt via een enkele lozingspunt. Stel dit criterium: 0,35 g Cl/l.

In algemene vorm geschreven is de doorspoelbehoefte S:

$$S = \frac{C_{bel} - 1{,}04(A_R + K)\, Z_{afv.}}{Z_{afv.} - Z_s} = \frac{1{,}76 - 0{,}364\, A_R}{0{,}35 - Z_s}$$

Voor Z_s = 0,2 volgt: S = 11,72 - 2,43 A_R m^3/sec. Voor de perioden april tot en met juli en juli tot en met september 1966 met A_R = 0,75 respectievelijk 0,43 mm/dag wordt een aanvoerhoeveelheid berekend van <u>10</u> respectievelijk <u>10,7 m^3/sec</u>.

Wordt uitgegaan van het onder paragraaf 4 laatste alinea berekende lagere chloride cijfer van 1,2 kg/sec dan zou de doorspoelingshoeveelheid 6 à 6,5 m^3/sec bedragen.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

De zomer van 1966 wordt niet gerangschikt onder de droge zomers. De meest extreme situatie zou zich voordoen indien gedurende april tot en met september in het geheel geen overtollige neerslag zou worden afgevoerd ($A_R = 0$). In dat geval zou de doorspoelingsbehoefte 11,7 m^3/sec bedragen. Dit is echter een situatie die zich vermoedelijk nooit zal voordoen. In de regel zal steeds een daling van de grondwaterstand optreden, waardoor in de winter geborgen water tot afvoer komt. Wordt deze daling tijdens het zomerhalfjaar gemiddeld voor het gehele 9000 ha grote gebied op 55 cm gesteld en de bergingsfactor op 0,1 dan komt 55 mm water tot afvoer of gemiddeld 0,3 mm/dag. De aanvoer zou onder deze omstandigheden dan ca. 11 m^3/sec moeten bedragen.

Overigens blijkt uit de formule voor S wel dat de doorspoelbehoefte slechts weinig door de overtollige neerslag wordt beïnvloed.

VI. NABESCHOUWING

De hier gevolgde methode van berekening van de chloride belasting van een gebied verschilt principieel van de in Hoofdstuk I besproken methoden. Bij deze laatsten werd het probleem aan het eind van het proces aangepakt, waarna naar het begin daarvan werd toegerekend. Afvoerhoeveelheden werden daarbij gemeten bij de sluis te Zoutkamp en chloride gehalten van het polderwater op een aantal bemonsteringsplekken in de polderleidingen.

Bij de hier gevolgde methode van chloride belasting berekening werd begonnen aan het begin van het verziltingsproces te weten de afleiding van de kwel uit de zoute ondergrond door middel van de analyse van grondwaterstandfluctuaties onder invloed van regen en verdamping en het chloride gehalte van dit kwelwater.

Beide methoden van benadering van het probleem hebben hun voor- en nadelen. De polderbalans methoden zijn gebonden aan het stroomgebied van het lozingspunt waar de afvoer gemeten wordt. De berekende chloride belasting is dan vaak het gemiddelde voor een groter gebied dan dat waarvoor men dit gegeven graag zou willen kennen. Differentiatie binnen het stroomgebied is dus niet goed mogelijk. Daar tegenover staat dat de gegevens waarvan uit wordt gegaan het raamwerk vormen waarbinnen gewerkt wordt. Fouten in deze gegevens blijven proportioneel voor de deelgebieden. Afvoer en chloride gehalten kunnen meestal met redelijke nauwkeurigheid worden bepaald.

De grondwaterstandsanalyse methode kan voor iedere gebiedsgrootte worden toegepast, terwijl differentiatie binnen dit gebied - in deze studie niet gedaan -, afhankelijk van het aantal buizen ook tot de mogelijkheden behoort. De nauwkeurigheid van deze methode wordt sterk beïnvloed door het aantal buizen en de lengte van de waarnemingsperiode. Fouten in de berekening van de kwelhoeveelheid en het chloride gehalte worden door interpolatie tussen de waarnemingspunten over het gebied met de oppervlakte als gewichtsfactor vergroot overgebracht.

De resultaten verkregen met de verschillen berekeningsmethoden worden in onderstaand overzichtje samengevat:

Methode:	Kg Cl/sec	m^3/sec
Grondwaterstanden	1,98	10
Van den Burgh	0,9	5,7 (basis Hunsingo)
Bootsman	0,29	1,2 (idem)
Bootsman	1,0	4,2 (basis Meedstermaar)

Geheel vergelijkbaar zijn deze cijfers echter niet. De met de methode Bootsman berekende cijfers gaan uit van een relatie waarbij de chloride belasting ($Z = QC = \frac{(bx(ha) \times 10)}{86\ 400} q^{1-a}$) een functie is van de afvoer q(mm/dag) en dus niet onafhankelijk daarvan is bepaald zoals bij de beide eerste methoden het geval is. De chloride belasting zou uit de betrekkingslijnen wel afgeleid kunnen worden indien het afvoerverloop gedurende een zekere periode bekend zou zijn.

VII. SAMENVATTING

De chloride belasting van het 9000 ha grote deel van noordoostelijk Hunsingo werd met behulp van de analyse van grondwaterstanden en chloridebepalingen van het grondwater bepaald. Deze chloride belasting bleek 1,98 kg Cl/sec te bedragen. Op grond hiervan werd voor een zomerhalfjaar (april t/m september) met een gemiddelde afvoer van 0,55 mm/dag en een gewenst maximum chloride gehalte van het polderwater van 0,35 Cl g/l, een aanvoerbehoefte van water met een chloride gehalte van 0,2 gr Cl/l berekend, van ca. 10 m^3/sec. Dit cijfer is een factor 2 - 4 groter dan met andere methoden van berekening eerder werd gevonden.

Wageningen, maart 1968

VIII. LITERATUUR

1. VRIJHOF, ir. B. De verzilting van de open wateren C.O.L.N. rapport no. 2 (1958).

2. SNIJDERS, J.H. Het landelijk verziltingsonderzoek na 1956. Rapport no. 7 (1958) Inst. v. Cultuurtechniek en Waterhuishouding.

3. _____ Het Nederlandse verziltingsvraagstuk. Landbouwvoorlichting jrg. 17 (1960) nr. 10.

4. _____ Voorlopig verslag van het verziltingsonderzoek Groningen. Ongenum. Nota van het I.C.W. (1964).

5. BURGH, ir. P. VAN DEN. Verziltingsonderzoek westelijk deel van Groningen Rijkswaterstaat, Dienst voor de Waterhuishouding 1959.

6. BOEHMER, drs. W.K., en drs. F. WALTER. Rapport inzake Geo-electrisch Onderzoek in Hunsingo (Prov. Groningen). Werkgroep Geo-electrisch Onderzoek T.N.O. Voorburg (1967).

7. BOOTSMAN, M. De mogelijkheid van doorspoelen als maatregel ter bestrijding van de verzilting in het noordelijk deel van het waterschap Hunsingo (Interne nota Prov. Waterstaat)(1966).

8. BLOEMEN, G.W. The calculation of evapotranspiration from groundwater depth observations. Technical Bulletin I.C.W. nr. 46 (1966).

9. PROVINCIALE WATERSTAAT VAN GRONINGEN. De verbreiding van de verzilting in het noordoostelijke deel van het waterschap Hunsingo (juni 1966).

VII. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[

Tabel 1. De gegevens van de berekende afvoerfuncties $A = aH^2 + K$ geldend voor de plekken van de grondwaterbuizen

Buis nr	Regress. coëff. a x 10^3	Kwel K mm/w	Corr. coëff. R_n	Standaardafwijking de berek. afvoer mm/w	Standaardafwijking van a x 10^3	Standaardafwijking K mm/w	Aantal gegevens N	Aantal gegevens met $dW < \lvert e \rvert$ N*	Aantal bewerkingen n	$dW^* < \lvert e \rvert$ cm
1	5,05	12,35	0,846	11,17	0,85	4,46	35	16	2	10
2	0,16	- 0,95	0,063	14,49	0,43	3,36	52	38	3	6
3	0,52	3,22	0,234	14,89	0,46	4,34	45	24	3	8
4	1,31	3,27	0,460	15,06	0,42	3,83	61	39	3	6
5	0,75	5,27	0,259	16,38	0,51	6,91	53	31	3	6
6	1,23	1,83	0,595	11,04	0,33	3,19	54	28	3	8
7	6,43	1,76	0,126	14,49	10,11	4,37	28	27	2	8
9	1,48	3,25	0,605	10,81	0,39	3,57	49	27	3	8
10	3,74	7,24	0,731	10,83	0,74	2,42	53	24	3	10
11	5,66	4,01	0,396	10,70	2,16	2,64	55	39	3	6
12	1,38	2,04	0,490	13,19	0,51	2,83	60	25	3	8
13	5,30	5,55	0,561	9,72	1,48	2,06	62	30	3	8
15	2,44	17,15	0,652	12,62	0,57	5,52	57	27	2	10
16	9,03	1,18	0,512	13,63	3,38	5,57	35	22	3	6
17	0,72	15,54	0,573	9,86	0,20	4,70	63	29	2	6
18	3,93	2,86	0,392	11,78	1,60	2,76	60	35	3	6
19	0,82	7,09	0,492	14,85	0,26	4,35	63	34	2	8
20	2,82	17,16	0,835	8,50	0,36	2,99	58	29	3	10
21	2,01	2,33	0,450	14,52	0,72	3,14	62	33	3	8
22	6,79	0,03	0,444	12,73	2,14	2,48	61	43	3	6
23	1,68	1,69	0,406	13,28	0,69	3,56	63	32	2	6
24	0,96	7,19	0,384	14,46	0,38	4,61	59	39	3	8
25	12,37	7,52	0,294	11,86	7,32	3,88	45	32	2	8
27	0,54	1,00	0,258	14,15	0,37	3,43	59	32	3	8
28	2,20	2,33	0,406	16,18	0,87	4,54	54	34 x	3	8
29	1,73	- 0,04	0,525	15,65	0,56	4,35	39	27	4	8
30	1,56	1,62	0,230	15,44	1,05	3,33	52	41	3	6
31	2,48	7,97	0,414	14,72	0,90	4,33	60	39	2	6
33	1,67	- 0,24	0,222	16,06	1,41	4,89	54	29	3	8

Tabel 2. De specifieke electrische weerstanden van het bodemvocht en van de formatie op filterdiepte bij de grondwaterbuizen en het chloride gehalte van het water in de buis

Buis nr	Filter diepte (m)	r_F (Ω cm)	r_l (Ω cm)	(Cl') mg/l	F	Datum		Buis nr	Filter diepte (m)	r_F (Ω cm)	r_l (Ω cm)	(Cl') mg/l	F	Datum	
1	2	365	3220	20	0,1	11-13/4'67		17	3	5800	1390	20	4,2	25-5-'67	
		198	500	400	0,4	"	sloot			2299	394	500	5,8	"	Meedstermaar
2	2	1613	1350	30	1,2	"		18	2	3468	806	110	4,3	"	
		1811	1390	50	1,3	"	sloot			970	217	1100	4,5	"	sloot
3		2205	1137	80	1,8	"	sloot	19	2	3838	1250	60	3,1	"	
4		2100	770	120	2,7	"	sloot	20	2	1310	1000	60	1,3	"	
5	2	3264	1450	40	2,3	"				1410	228	1050	6,2	"	sloot
		2990	1020	150	2,9	"	sloot	21	2	1512	3560	10	2,4	"	
6	2	3553	2380	20	1,5	"				1205	625	250	1,9	"	sloot
	1,3	3264	1515	30	2,2	"		22	2	239	1000	110	0,2	"	
		2404	908	50	2,7	"	sloot			209	216	1100	1,0	"	sloot
7	2	1512	1041	40	1,5	"		23	3	2205	2425	40	0,9	"	
		2404	1430	120	1,7	"	sloot			6169	588	250	11,1	"	sloot
8	2	2600	1190	90	2,2	"		24	3	1110	2940	10	0,4	2-6-'67	
		2600	1190	70	2,2	"	sloot			480	532	350	0,9	"	sloot
9	2	4412	1845	20	2,4	"		25	2	620	980	170	0,6	"	
	1,3	3624	1190	30	3,0	"				950	735	140	1,3	"	sloot
		3624	1470	50	2,5	"	sloot	27	2	1215	3700	10	0,3	"	
10	2	4020	2270	10	1,8	"				1110	312	700	3,6	"	sloot
		4120	715	200	5,8	"	sloot	28	2	1035	3220	10	0,3	"	
11	2	229	55	7460	4,2	25/5'67				187	490	350	0,4	"	sloot
		153	143	1790	1,1	"	sloot	29	2	1480	-	-	-	"	
12	2	3654	1220	70	3,0	"				1220	365	500	3,3	"	sloot
		3075	455	420	6,8	"	sloot	30	2	853	735	60	1,1	"	
13	2	4020	2560	20	1,6	23/3'67				716	1350	60	0,5	"	sloot
		3838	610	300	6,3	"	sloot	31	3	1259	1820	50	0,7	"	
14	2	4400	1250	30	3,5	2/6'67				157	298	700	0,5	"	sloot
		5000	2000	50	2,5	23/3'67	sloot	32	2	1580	3450	20	0,5	"	
16	2	3654	685	60	5,1	25/5'67				729	314	750	2,3	"	sloot
		2288	246	1050	2,2	"	sloot	33		204	307	800	0,7	"	sloot

Tabel 3. De specifieke electrische weerstanden van het bodemvocht en van de formatie op filterdiepte van de grondwaterbuizen, alsmede de chloride gehalten van watermonsters onttrokken aan deze grondwaterbuizen

Raai	Plek	Datum sondering	Filter diepte (m)	r_F (Ω cm)	Datum water-monster	r_l (Ω cm)	(Cl') mg/l	Formatie factor F	Datum water-monster	(Cl') mg/l	(HCO_3') mg/l
I	1	nov. '66	6,5	4460	nov. '66	1370	175	3,3		-	-
	2	"	2,5	1700	"	591	1100	2,9		-	-
		"	5,5	180	"	43	9600	4,2	aug. '67	920	12 500
	4	"	2,3	2254	"	505	130	4,5	"	-	-
			8,5	850	"	163	1415	5,2	"	-	-
	5	"	4,0	3568	"	1210	360	3,0	"	71	224
		"	8,5	1837	"	508	425	3,6	"	53	50
	6	"	2,5	2240	"	898	180	2,5	"	178	659
		"	7,3	1040	"	363	775	2,9	"	578	608
	7	"	3,7	230	"	-	-	-	"	1385	354
	10	"	2,5	3153	"	1080	325	2,9	"	142	0
		"	7,4	418	"	192	5200	2,2	"	107	67
III	1	aug. '67	1,7	272	-	150*	-	1,9*	aug. '67	2270	378
			3,2	217	-	75*	-	3,0*	"	4473	1 138
IV	1	nov. '66	1,3	1195	febr. '67	495	235	2,4		-	-
		"	5,5	262	"	467	380	0,5		-	-
	3	"	2,5	2310	"	-	-	-	aug. '67	568	415
		"	6,5	246	"	-	-	-	"	-	-
	4	"	2,5	3245	"	690	225	4,7	"	178	584
		"	6,5	3311	"	529	455	6,3	"	231	405
V	1	aug. '67	0,8	1680	-	-	-	-	aug. '67	-	-
			4,0	486	-	135*	-	3,3*	"	2256	796
VI	1	mrt. '67	7,1	2100	mrt. '67	480	-	4,4		533	565
	3		6,5	1860	"	568	-	3,3		195	513
VII	1	aug. '67	3,9	385	-	135*	-	2,4*	aug. '67	2520	852
	3		1,9	945	-	480*	-	2,2*	"	604	820
			3,4	347	-	145*	-	2,0*	"	2200	993
VIII	1	aug. '67	2,5	882	-	175*	-	4,2	aug. '67	1740	878
			6,8	2337	-	42*	-	50,0*	"	9300	1807
IX	1	mrt. '67	2,5	560	mrt. '67	114	2160	4,9	aug. '67	1988	1357
			4,0	357	"	77	3770	4,6	"	3728	1315
	3		2,5	2540	"	628	335	4,0	"	-	-
			6,5	2415	"	895	70	2,7	"	-	-
	4		2,0	3434	"	943	260	3,6	"	284	695
			3,8	630	"	112	1830	5,6	"	657	597

Opmerkingen: * De met dit teken gemerkte gegevens zijn afgeleid uit (Cl'), (HCO_3') en r_F via de lijnen van figuur 11

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Lijst van figuren

1. Overzichtskaartje met waarnemingsplekken en raaien van de zoutsonderingen.
2. Bewerkingsschema van grond- en slootwaterstanden ter berekening van de kwel.
3. De kwelkaart.
4. Chloride gehalte kaarten voor situaties overeenkomende met een afvoer van 0,5 mm/dag (a) en 1,0 mm/dag (b) bij het gemaal Electra te Lammerburen.
5a t/m h. De formatie weerstanden op de buisplekken.
6a t/m c. De formatie weerstanden in de raaien I t/m IX.
7. Het verband tussen de specifieke electrische weerstand van de formatie, het bodemvocht en de formatie factor voor de buisplekken 1-33.
8. De specifiek electrische weerstand van het water in de grondwaterbuizen uitgezet tegen het chloride gehalte.
9. Het verband tussen de specifieke electrische weerstand van de formatie, van het bodem en de formatie factor voor de buisplekken in de raaien I, IV, VI en IX.
10. De specifieke electrische weerstand van het water in de grondwaterbuizen van de raaien I, IV, VI en IX uitgezet tegen het chloride gehalte (bemonstering nov.'66 en mrt. '67).
11. Bepaling van de formatie factor voor de bemonstering in de buizen van de raaien III, V, VII en VIII uit het chloride- en bicarbonaatgehalte van het bodemvocht.
12. De formatie factoren van alle bemonsterde plekken uitgezet tegen de diepte onder maaiveld.
13. Het chloride gehalte van het grondwater in gr/l op 3 m diepte bij de sloot, berekend uit de gemeten electrische formatie weerstand ($F = 3,7$; $(HCO_3^-) = 0,7$ gr/l).
14a, b, c en d. Dwarsproefielen van de raaien I - IX met gemeten electrische formatie weerstanden in Ω m.
15. Schematische reconstructie van het chloride gehalte verloop op 14-10'66 in het Boterdiep (a) en het Meedstermaar → Warffummermaar (b) met aansluitende zijleidingen.

Lijst van tabellen

(bijlage 1) - tabel 1: De gegevens van de berekende afvoerfuncties geldend voor de plekken van de grondwaterbuizen.

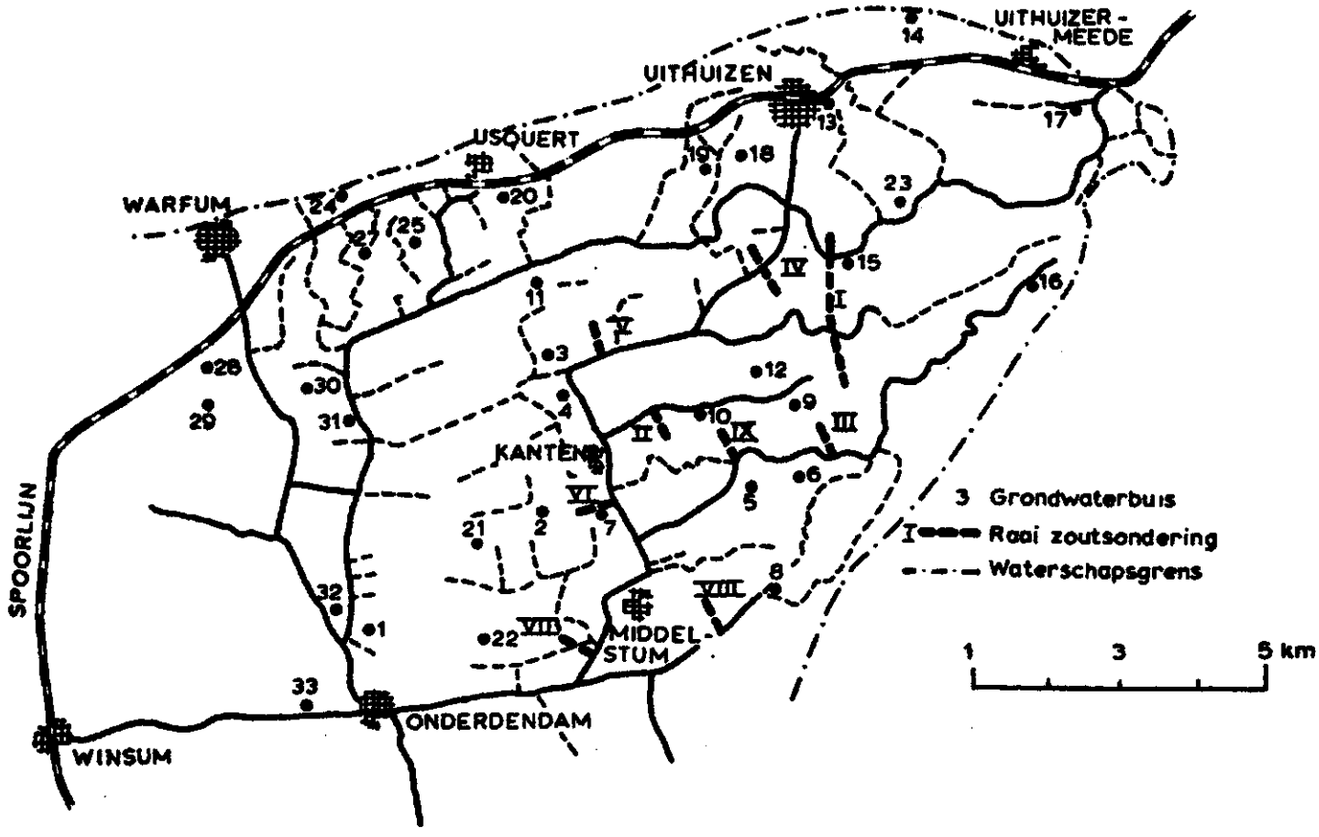
(bijlage 2) - tabel 2: De specifieke electrische weerstanden voor het bodemvocht en de formatie op filterdiepte bij de grondwaterbuisplekken en het chloride gehalte van het water in de buis.

(bijlage 3) - tabel 3: De specifieke electrische weerstanden voor het bodemvocht en de formatie op filterdiepte, alsmede de chloride gehalten van watermonsters onttrokken aan grondwaterbuizen.

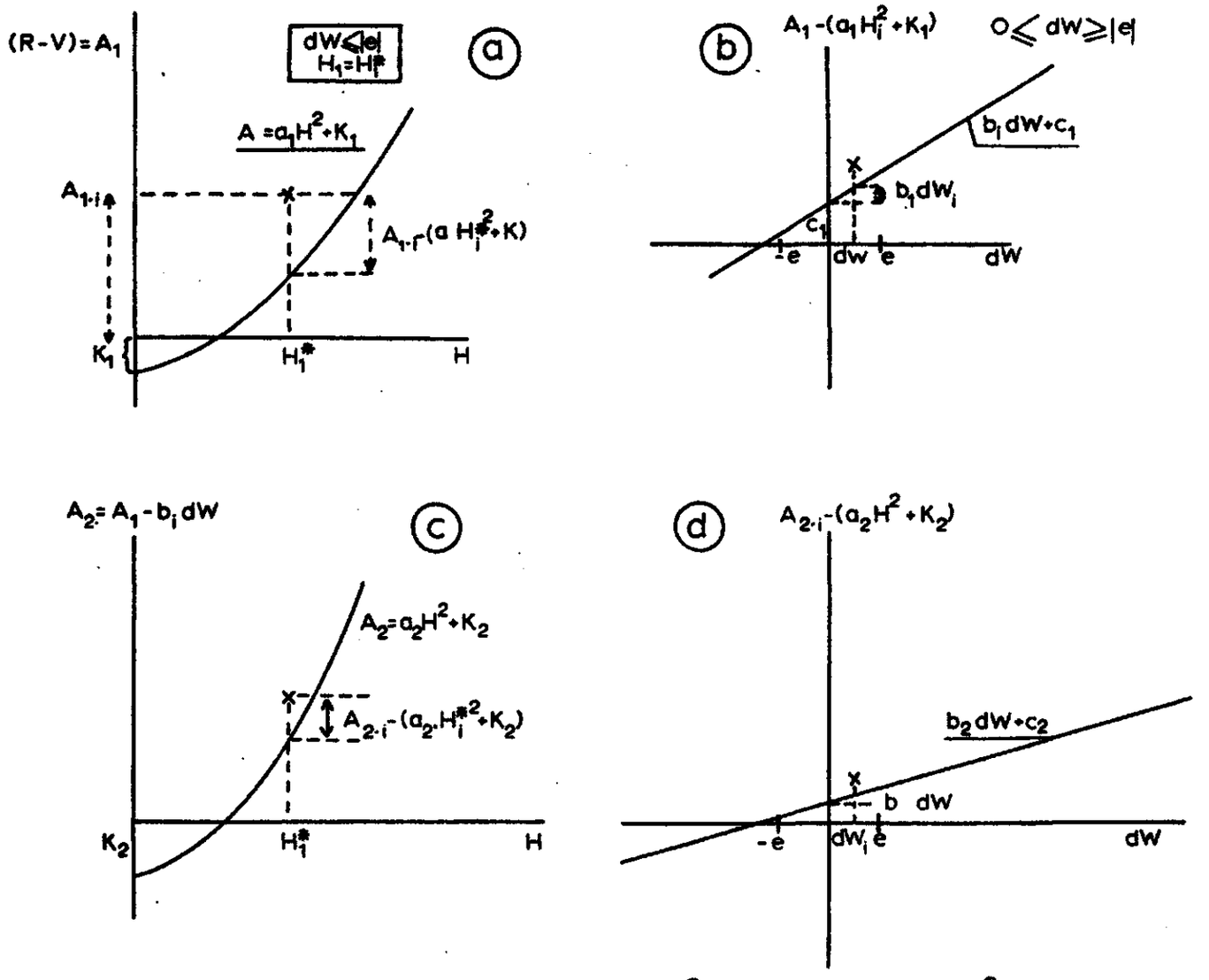
- tabel 4: De oppervlakte in ha van gebieden met een zekere kwelintensiteit en chloride gehalte van het kwelwater.

fig 1

Noord Oost Hunsingo



Schema bewerking grondwaterstanden fig. 2



Voorts: $A_{3.1} = A_{2.1} - b_2.dW_1 \longrightarrow A_3 = a_3H^2 + K_3 \longrightarrow \{A_{3.1}-(a_3H_1^2 + K_3)$

$dW_1 \longrightarrow b_1.dW + C_3 \qquad A_{u.1} = A_{3.1} - b_3.dW_1 \longrightarrow$ enz.

De bewerking wordt voortgezet totdat $(K_n-K_{n-1})/K_{n-1} < 0{,}05$
zodat:

$$\boxed{A_n = a_n.H^2 + K_n}$$

Dan is bovendien $b_n \approx 0$ en geven de waarden $A_{ni} -(a_nH_1^2 + K_n)$ een met het model niet verklaarbare restspreiding aan.

fig. 3

Noord Oost Hunsingo

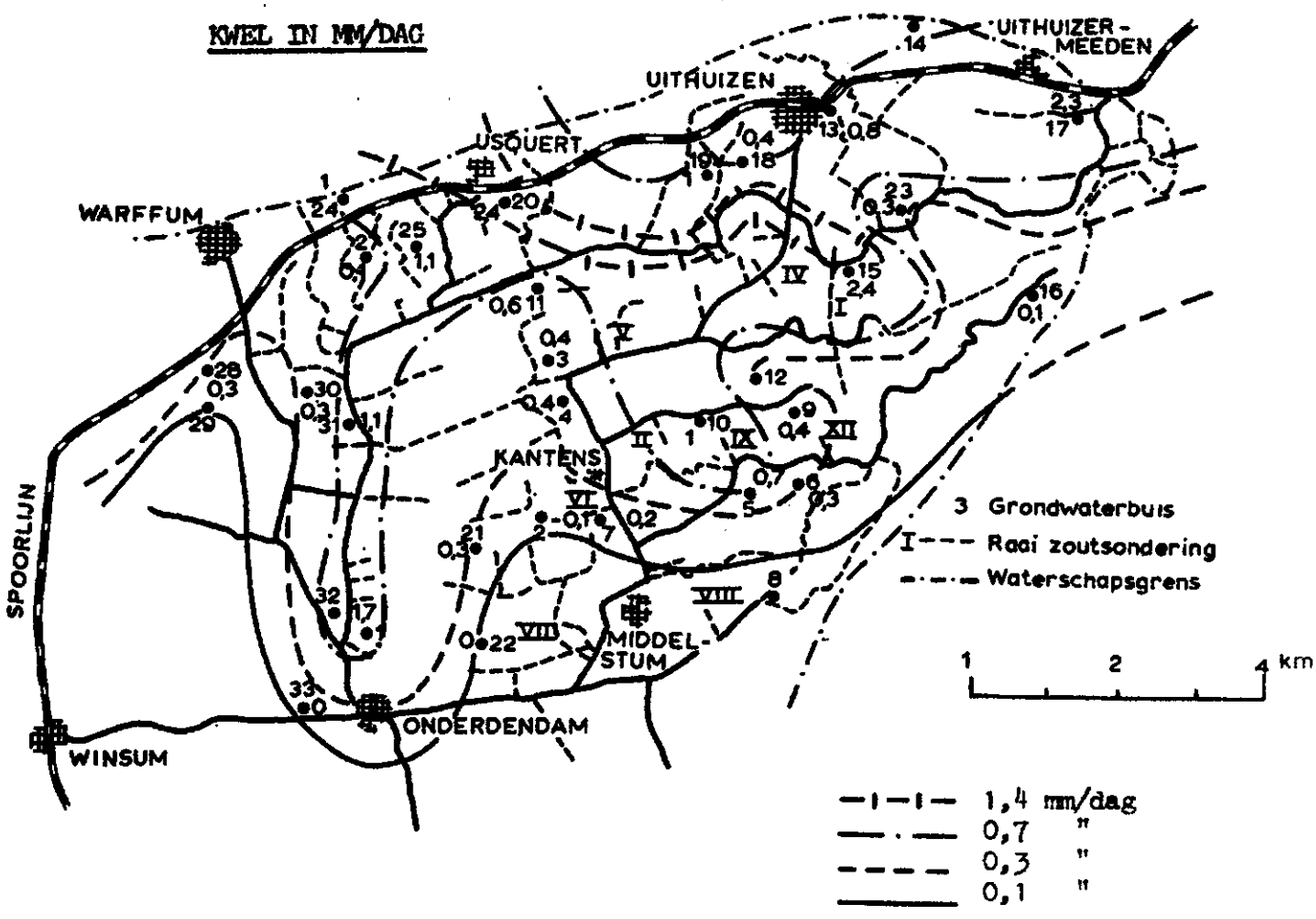
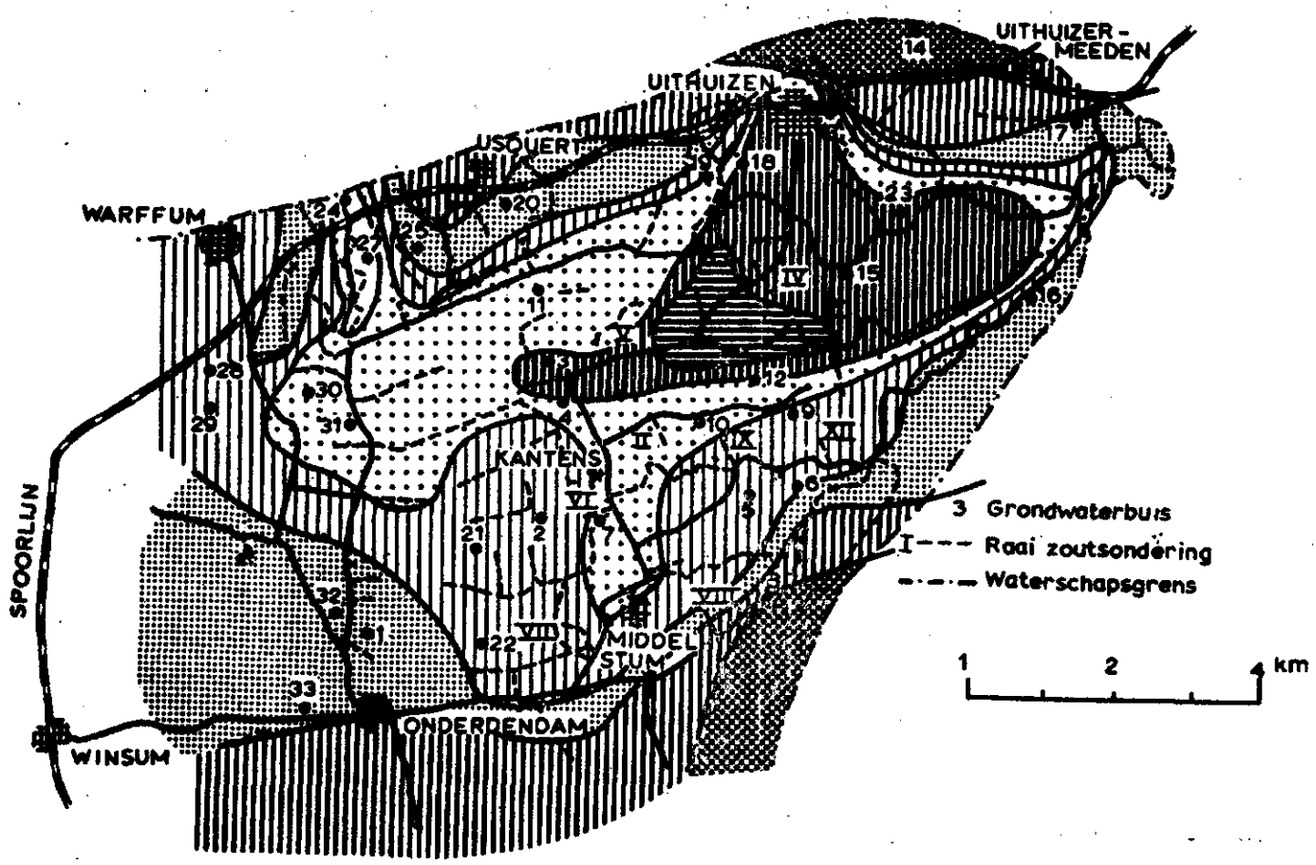


fig.4

Noord Oost Hunsingo



Noord Oost Hunsingo

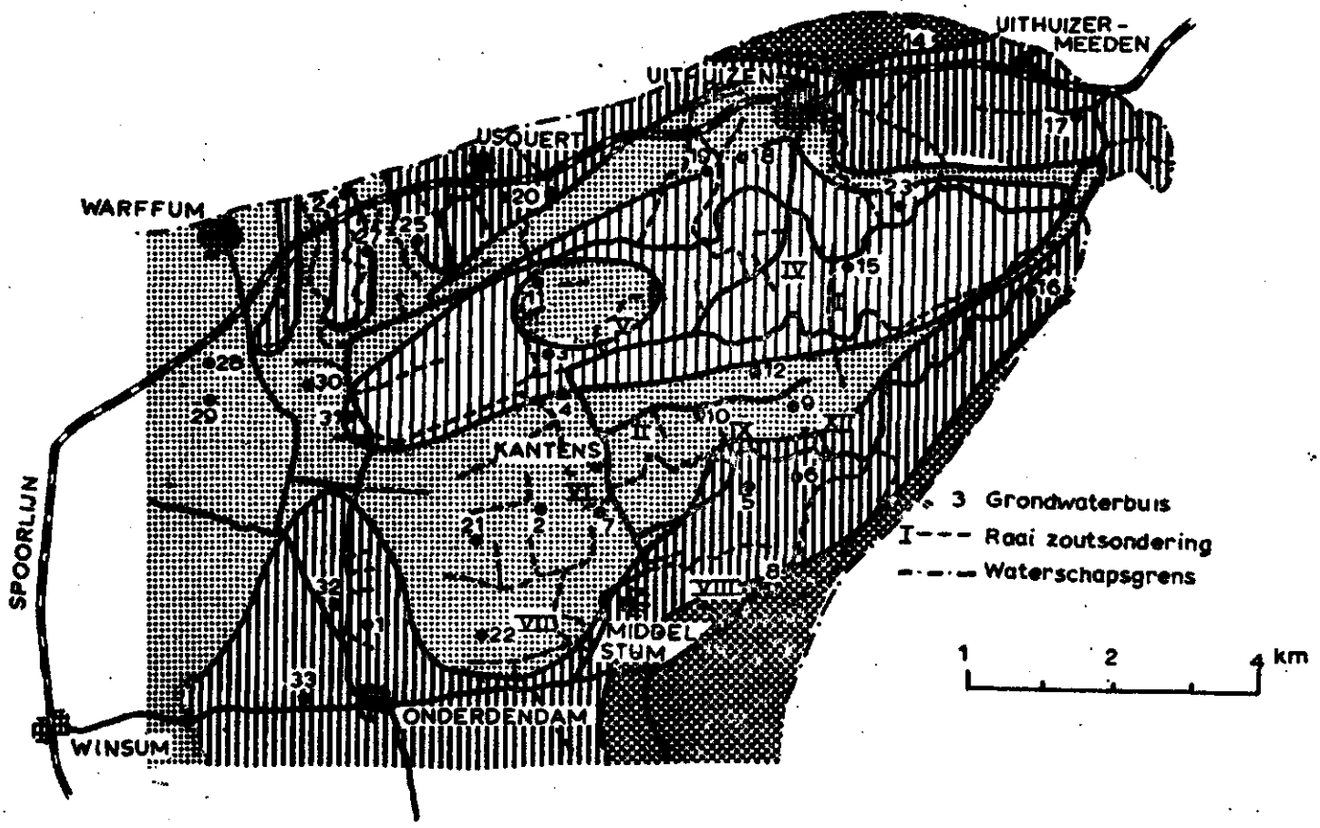
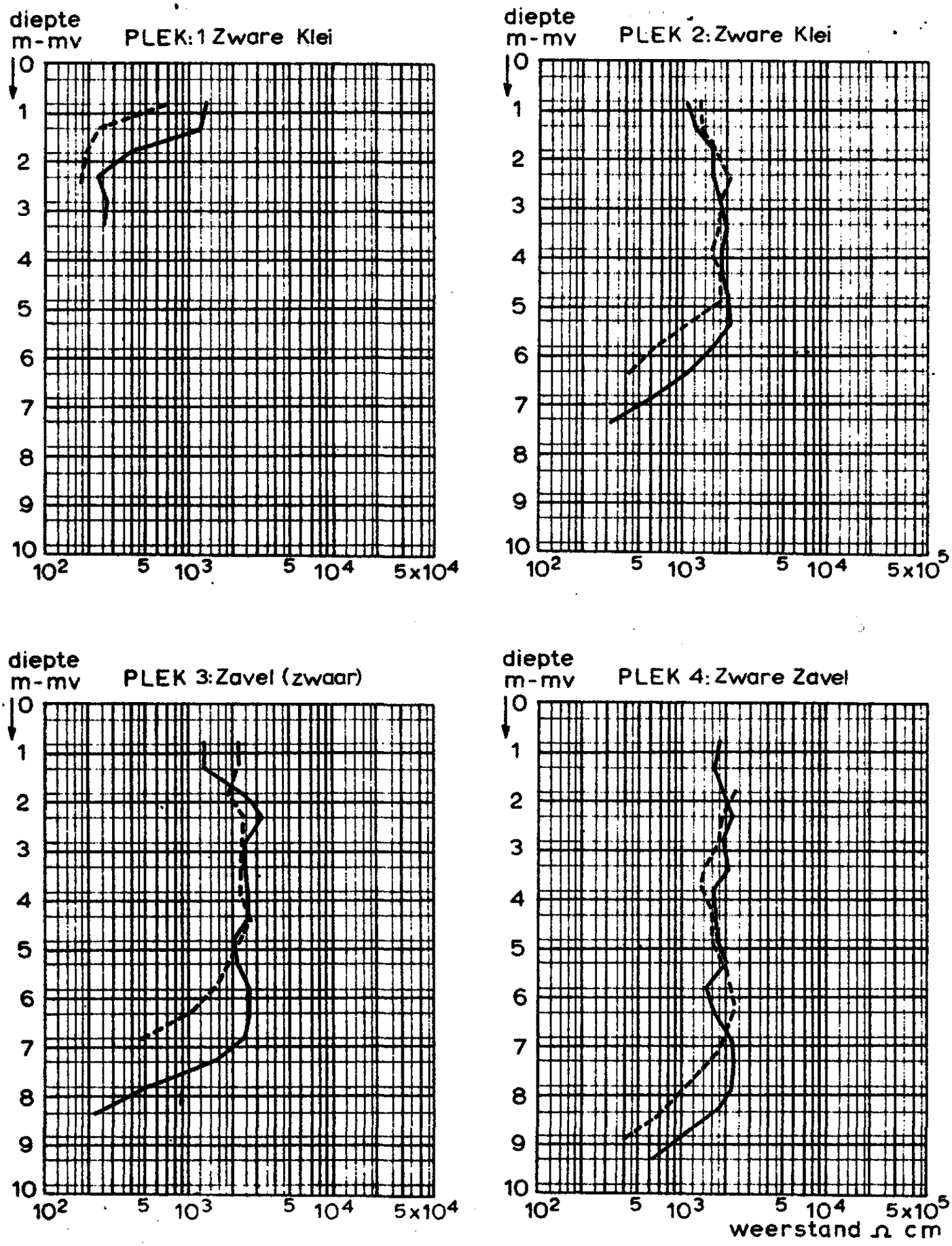


fig. 5a

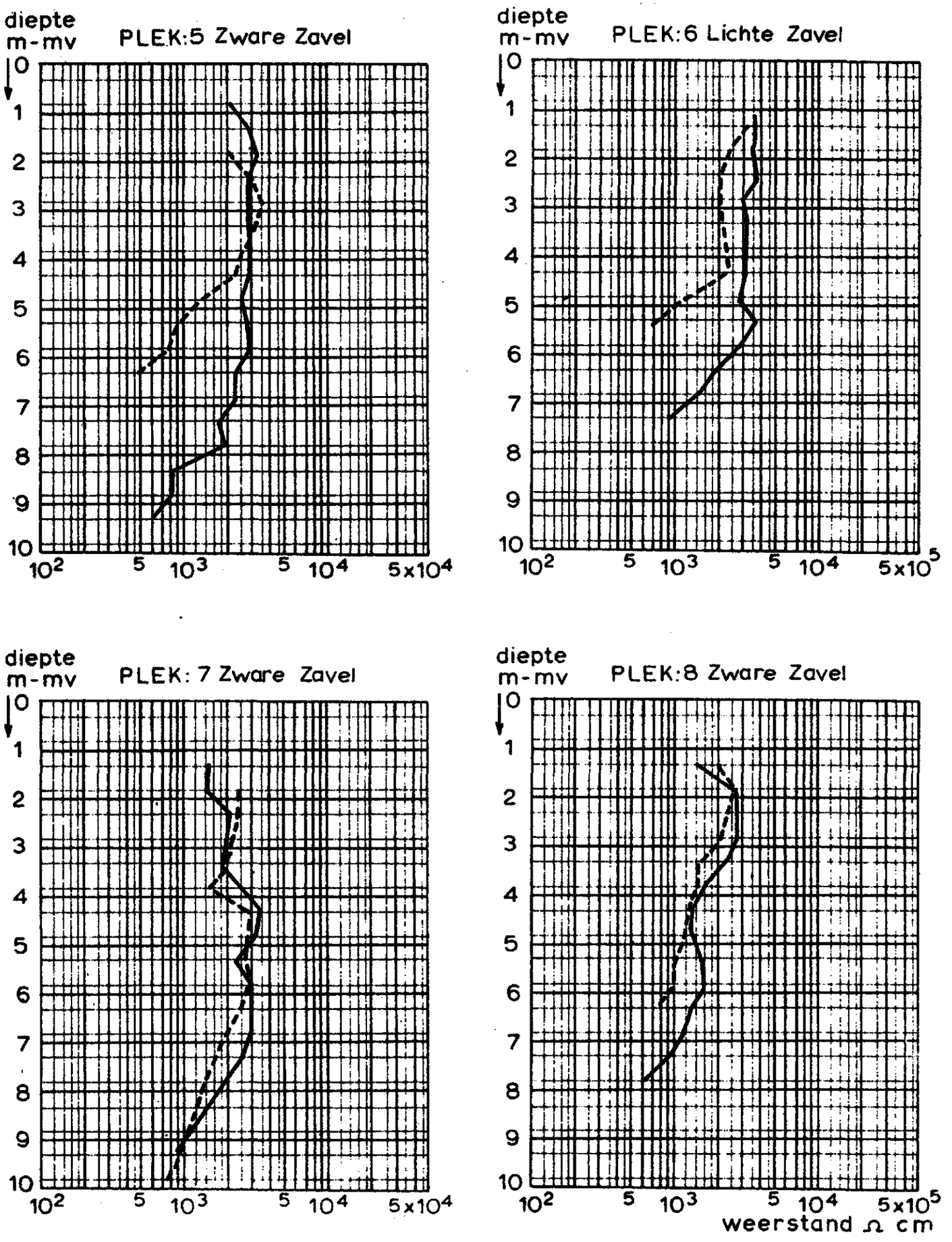
ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN



68C.66. /2.1

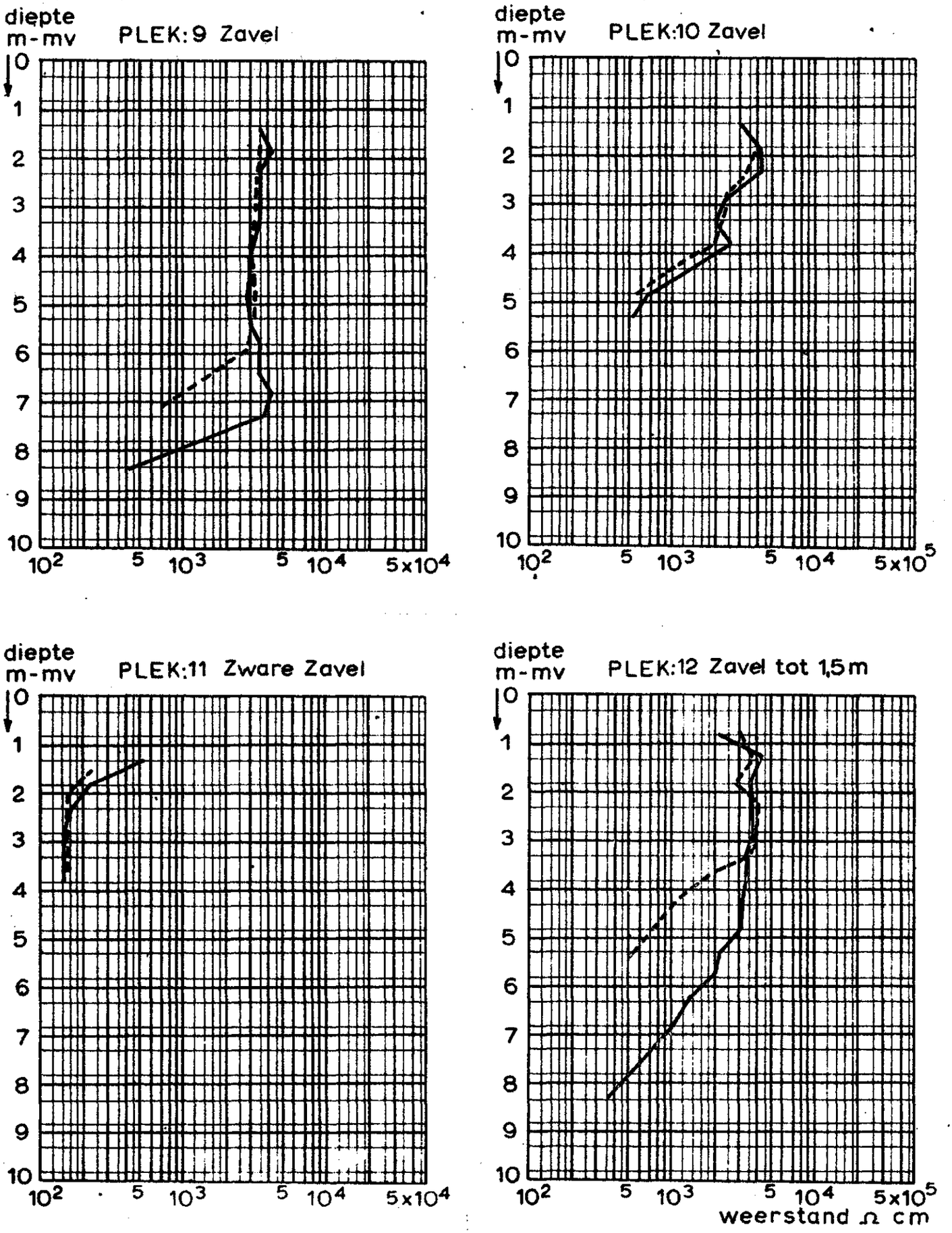
fig. 5b

ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN

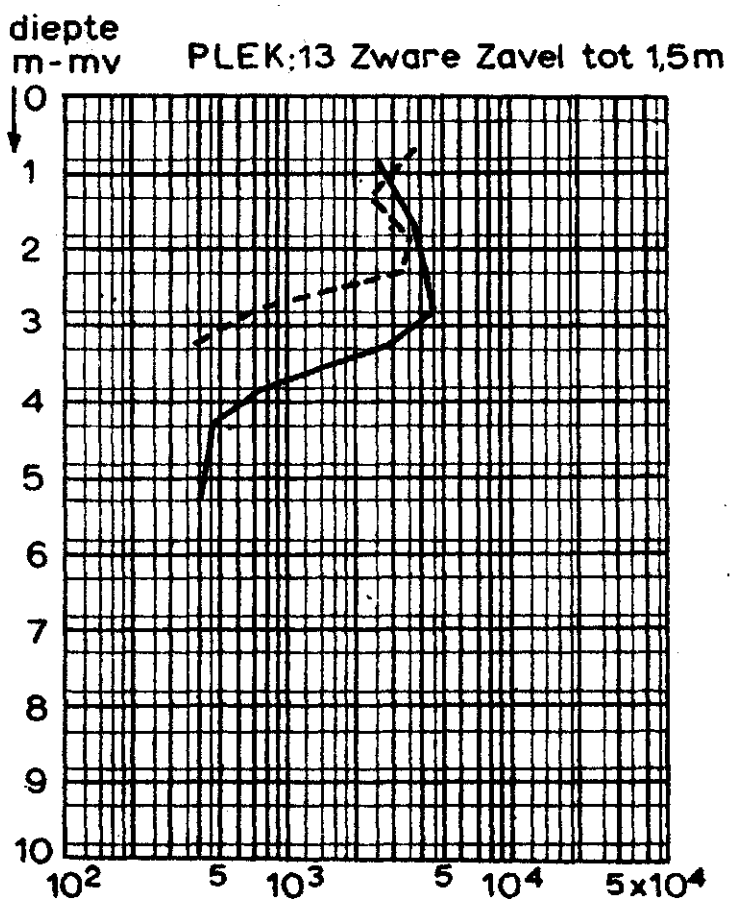


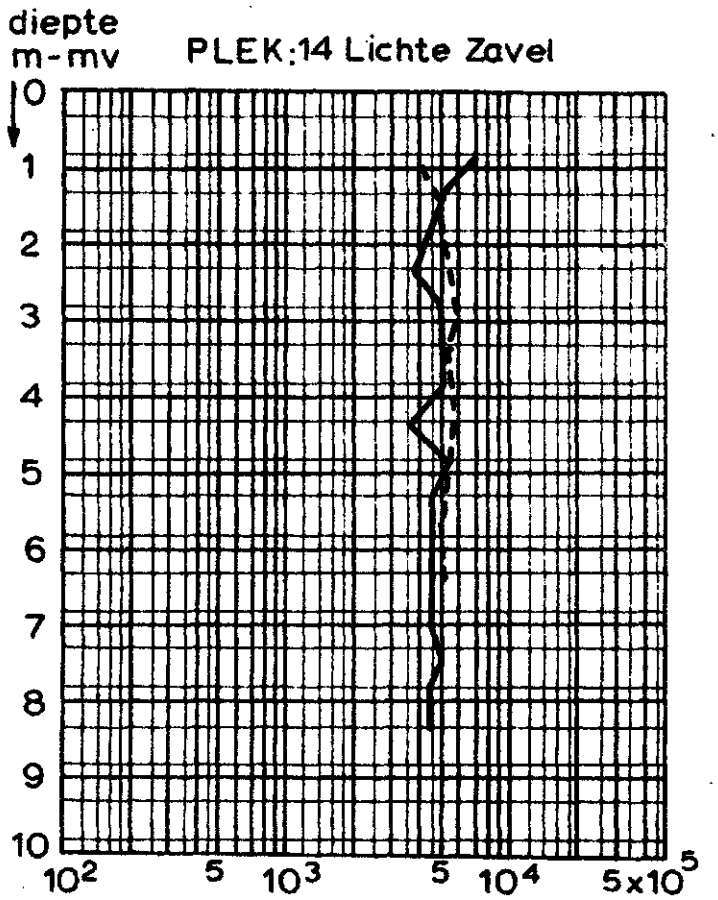
68C. 66. /2.1

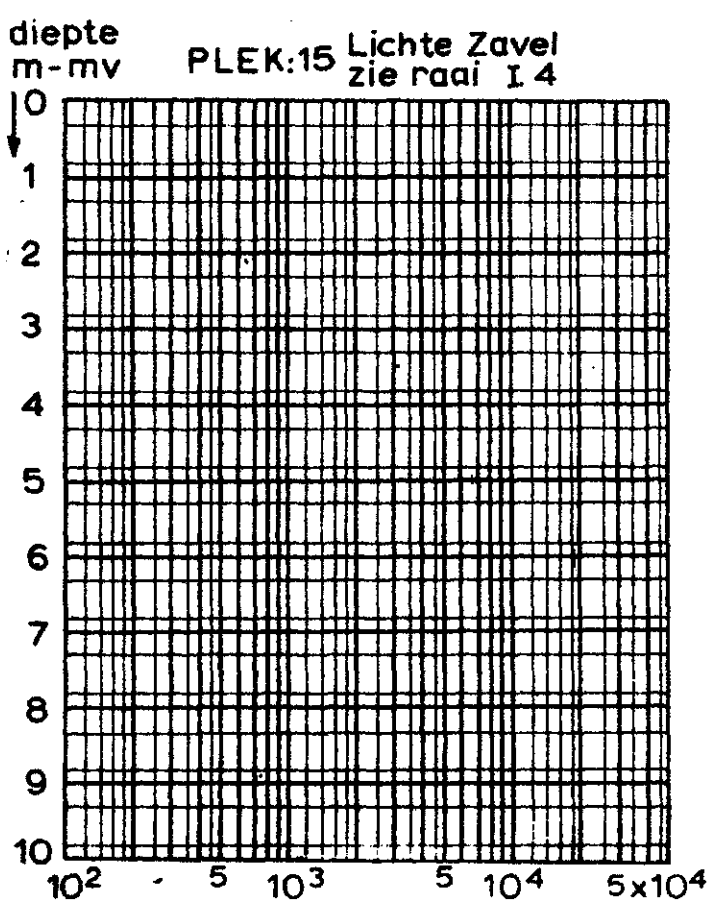
ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN

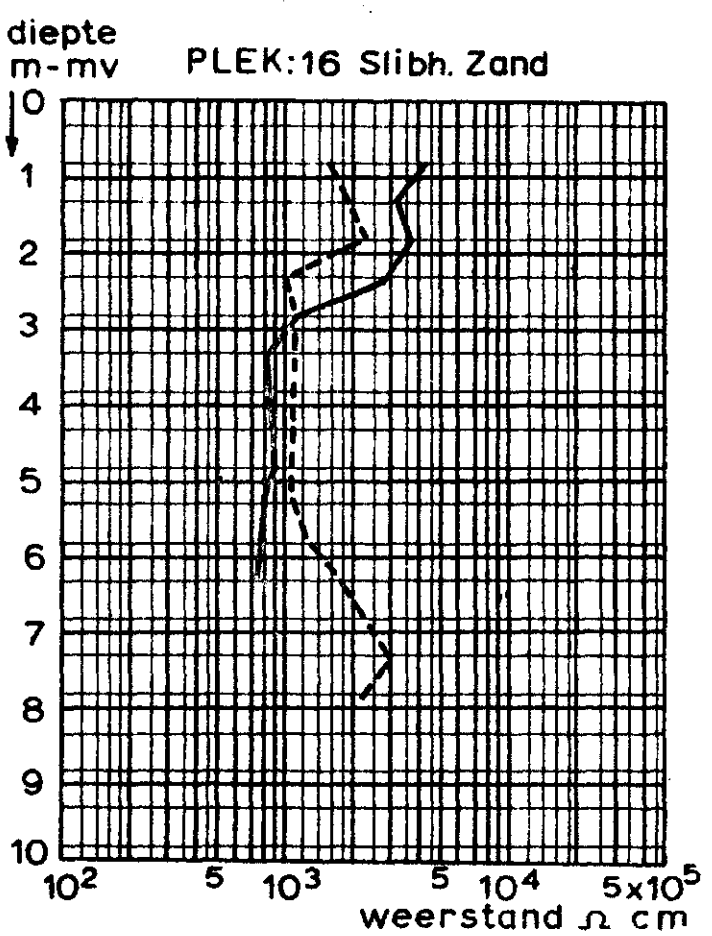


ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN



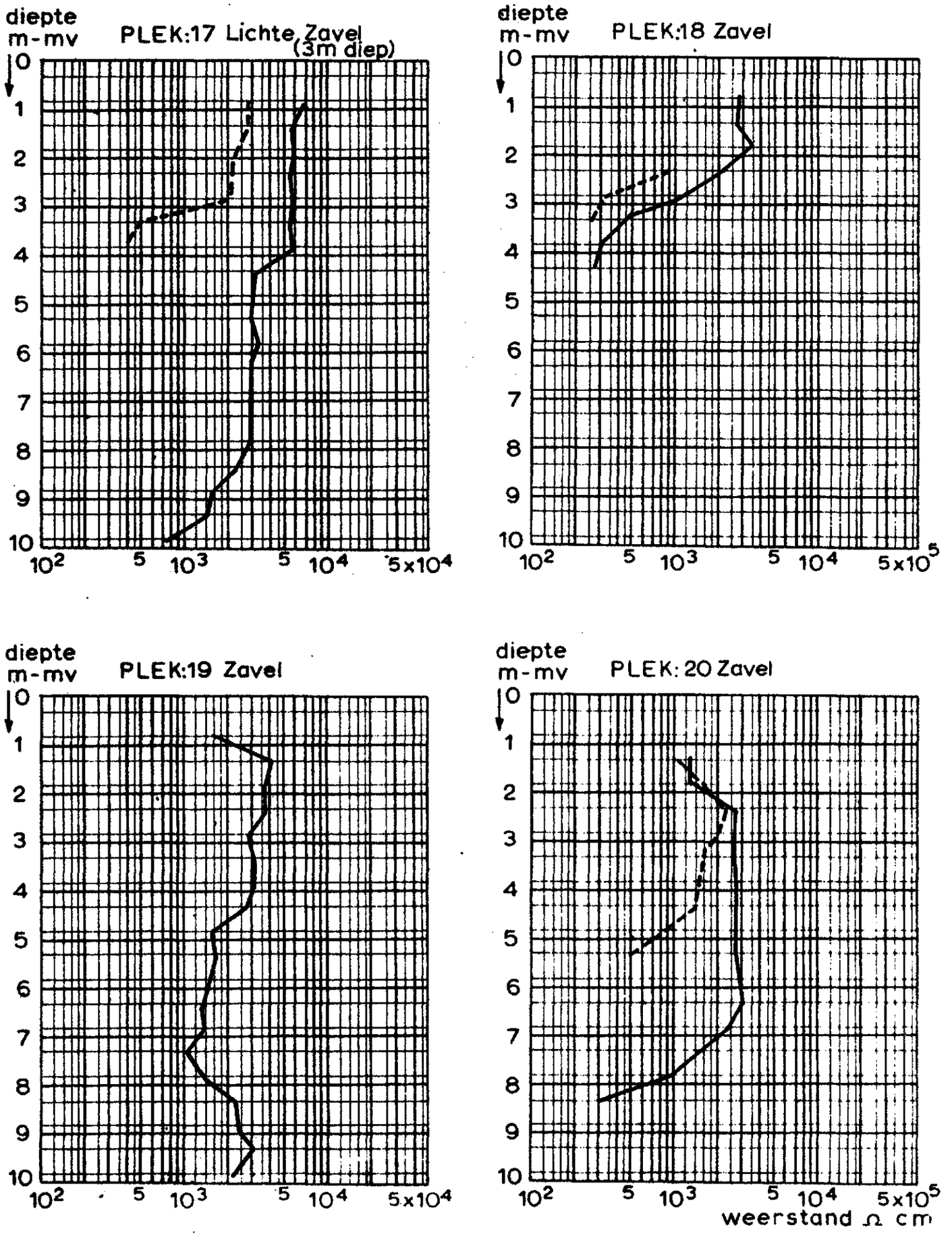




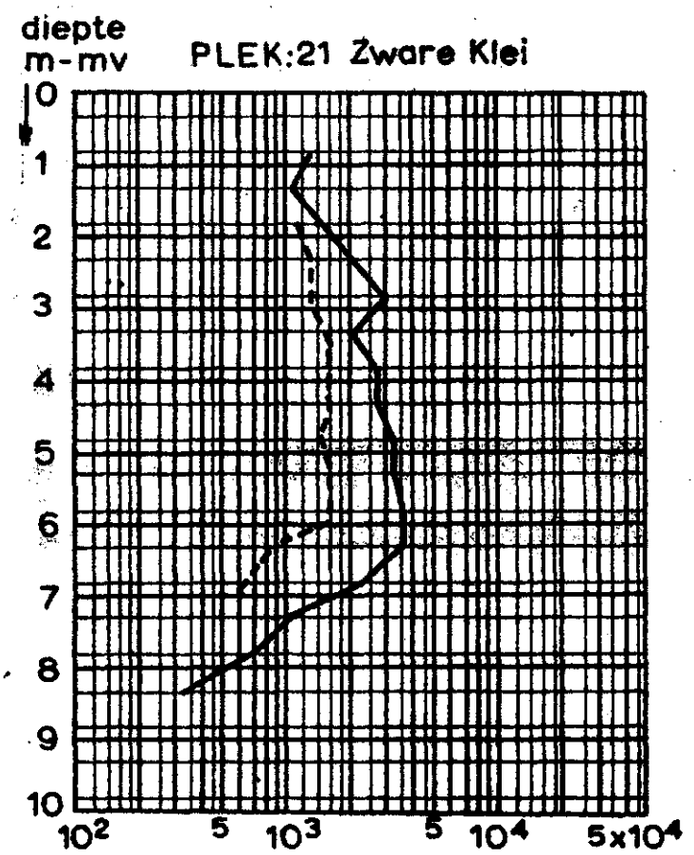


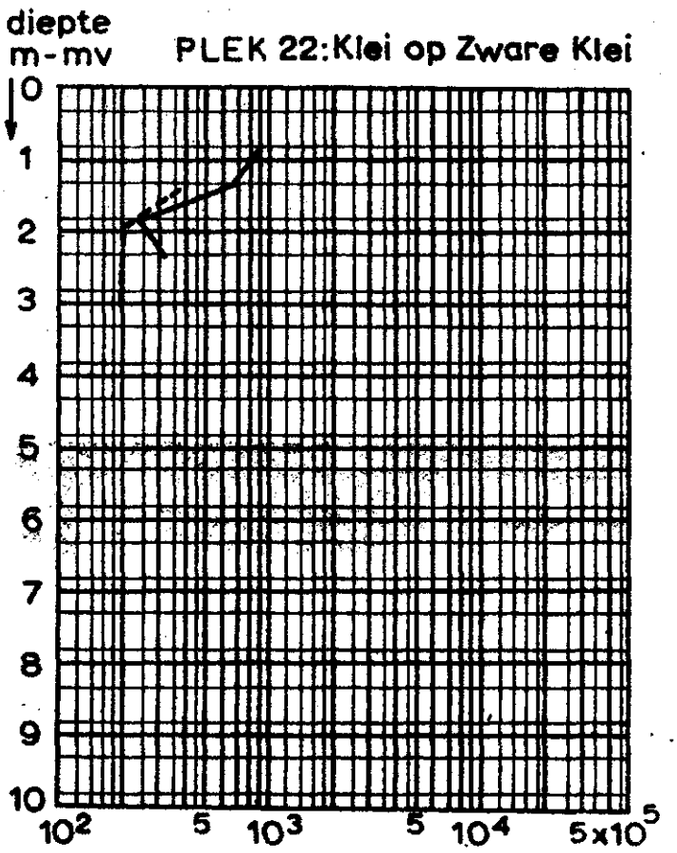
—— buis
---- sloot
t = 10 C° op ½ m diepte

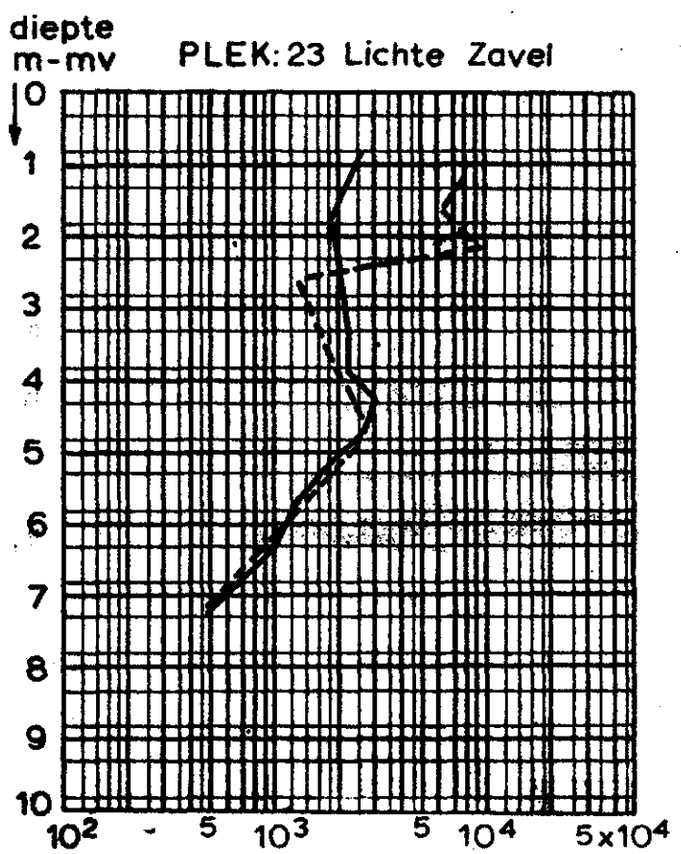
ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN

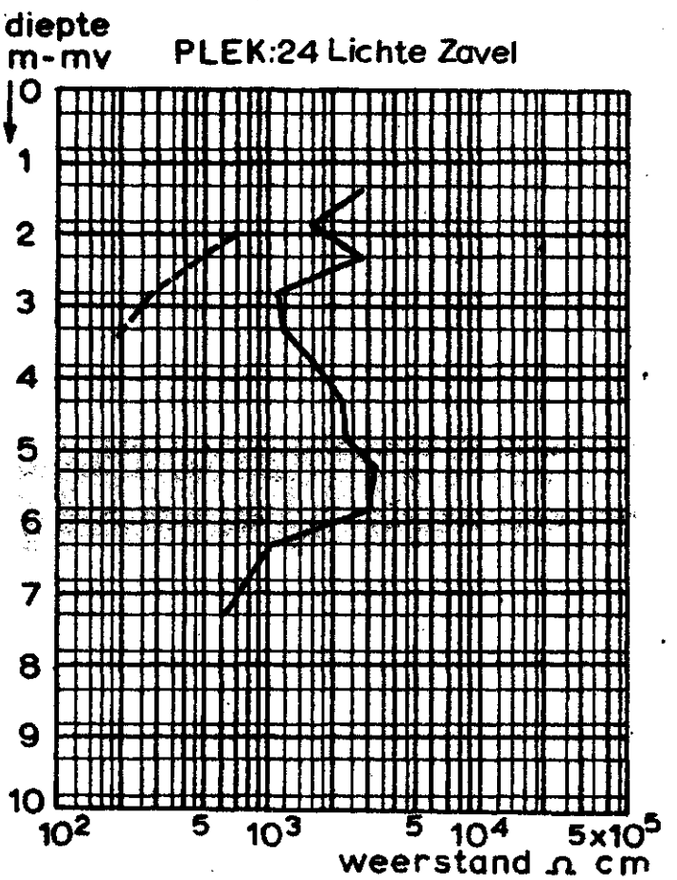


ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN



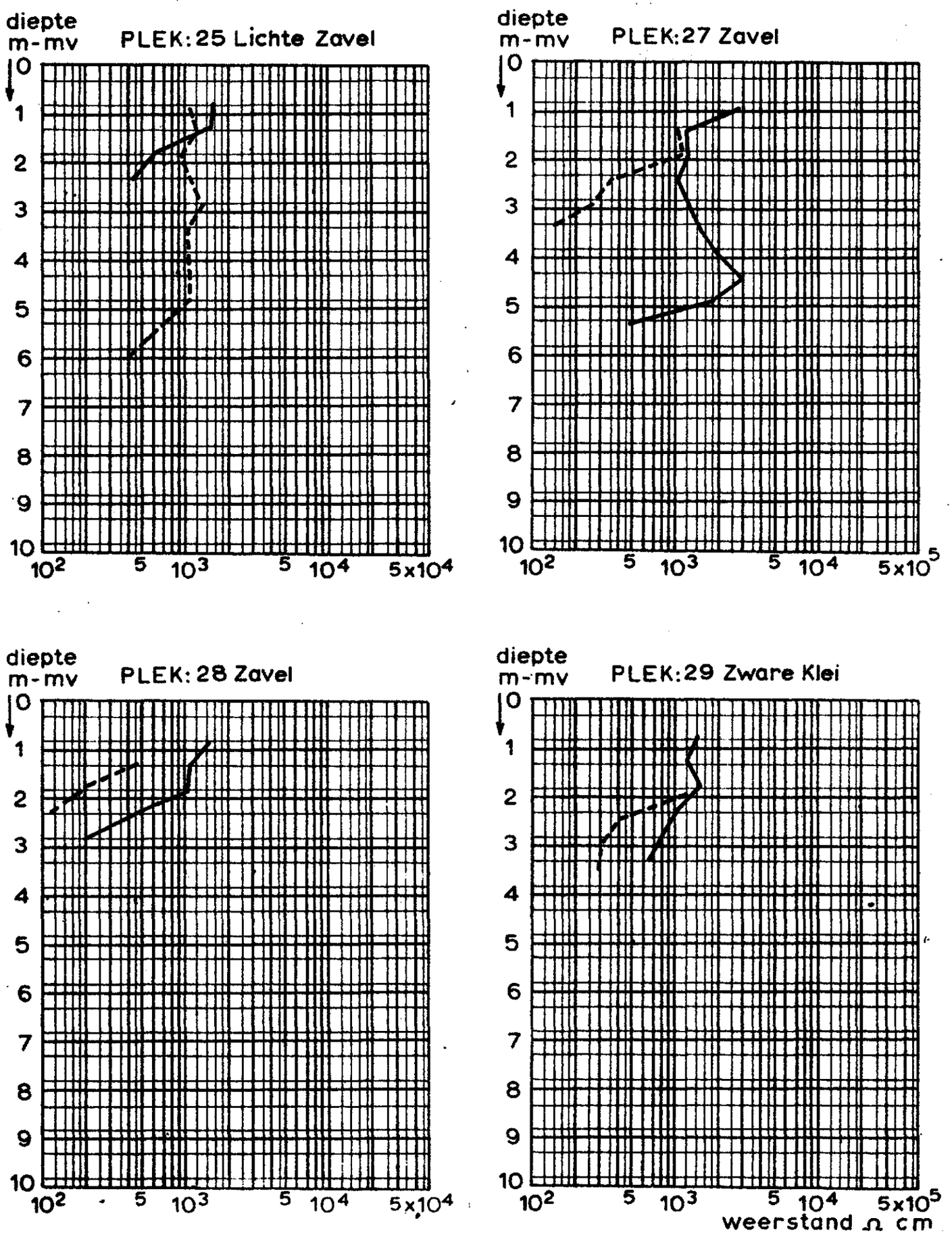






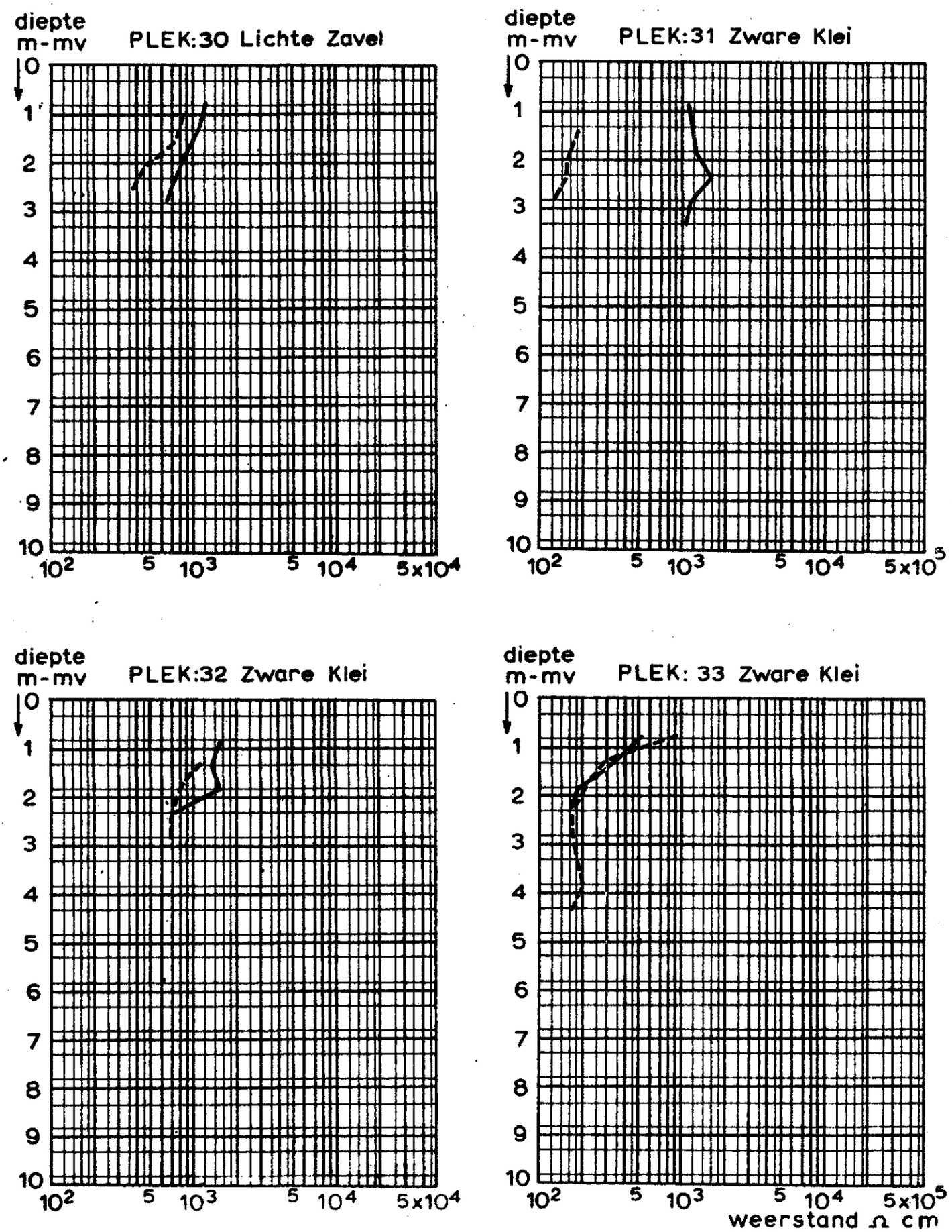
—— buis
---- sloot
t = 10 C° op ½ m diepte

ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN



—— buis
---- sloot
t = 10 C° op ½ m diepte

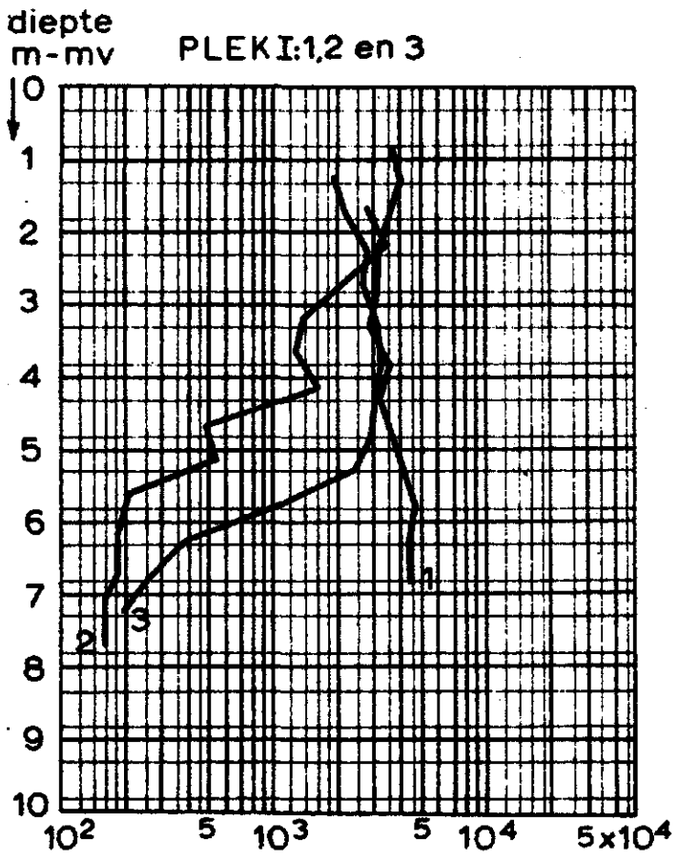
ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN



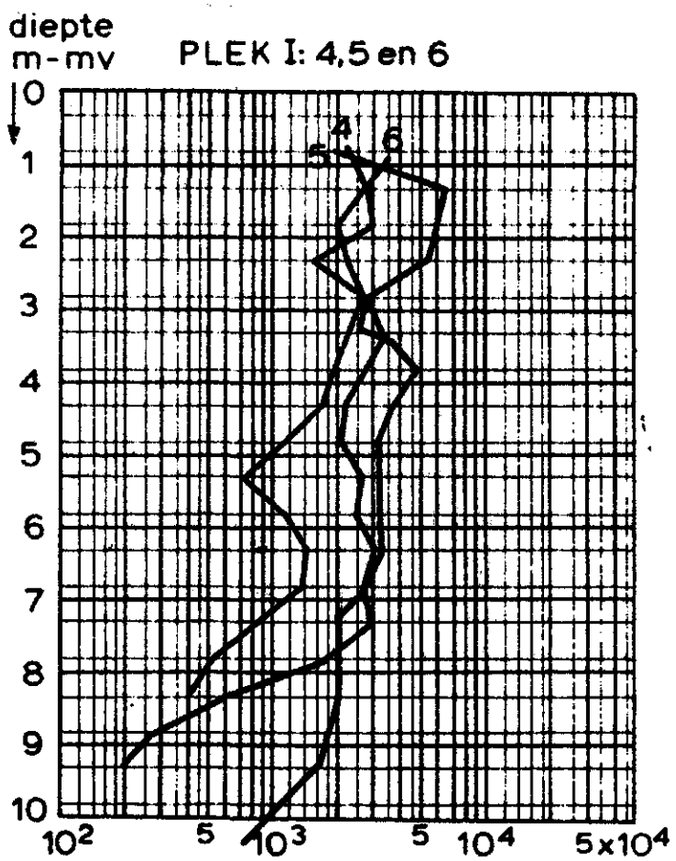
—— buis
---- sloot
t = 10 C° op ½ m diepte

ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN

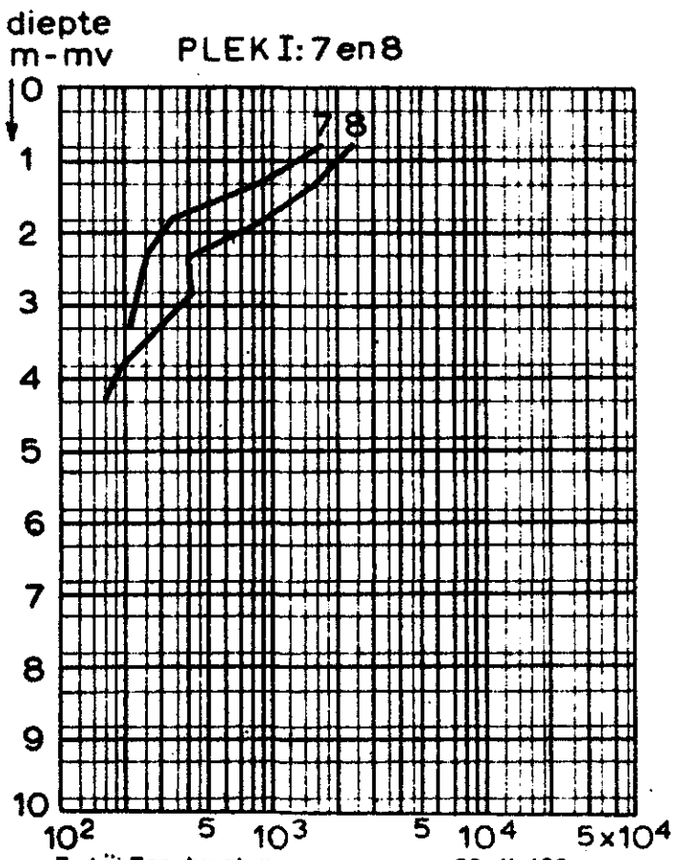
fig. 6a



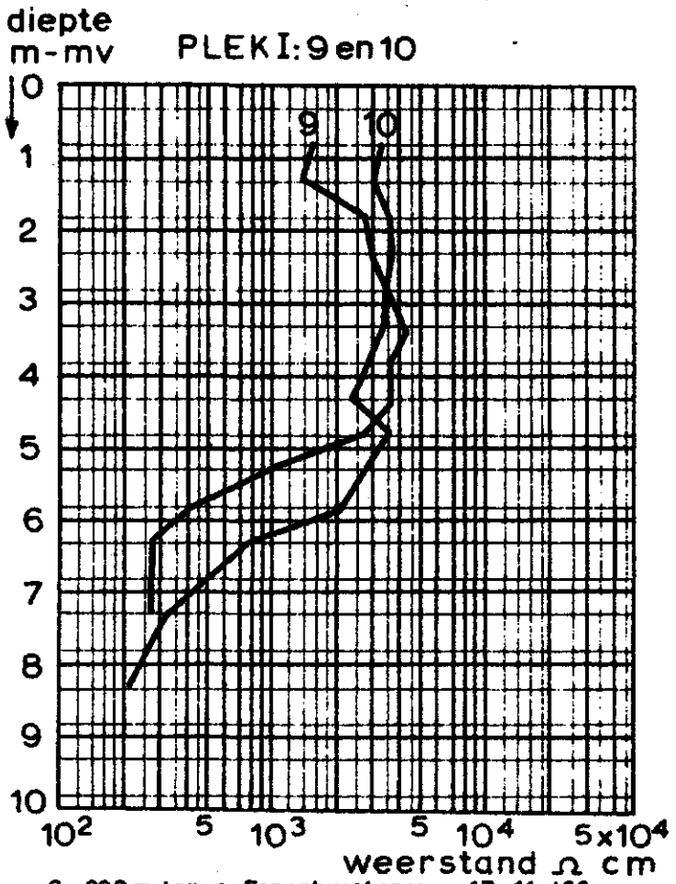
1 200 m vanaf Meedstermaar 14.-11-'66
2 in talud Meedstermaar 14-11-'66
3 10 m vanaf Meedstermaar 16-11-'66



4 100 m ten Zuiden Meedstermaar 16-11-'66
5 25 m ten Z. van sloot midden in Zandeweer 16-11-66
6 300 m ten N. Eppenhuistermaar (in dorp Zandeweer) 16-11-'66

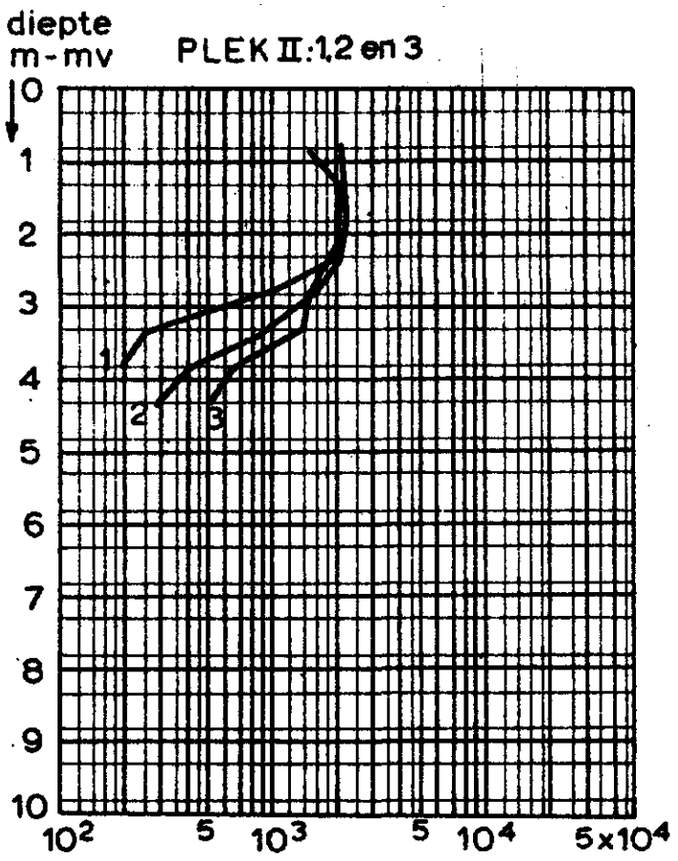


7 bij Eppehuistermaar 22-11-'66
8 5 m vanaf Eppenhuistermaar 22-11-'66

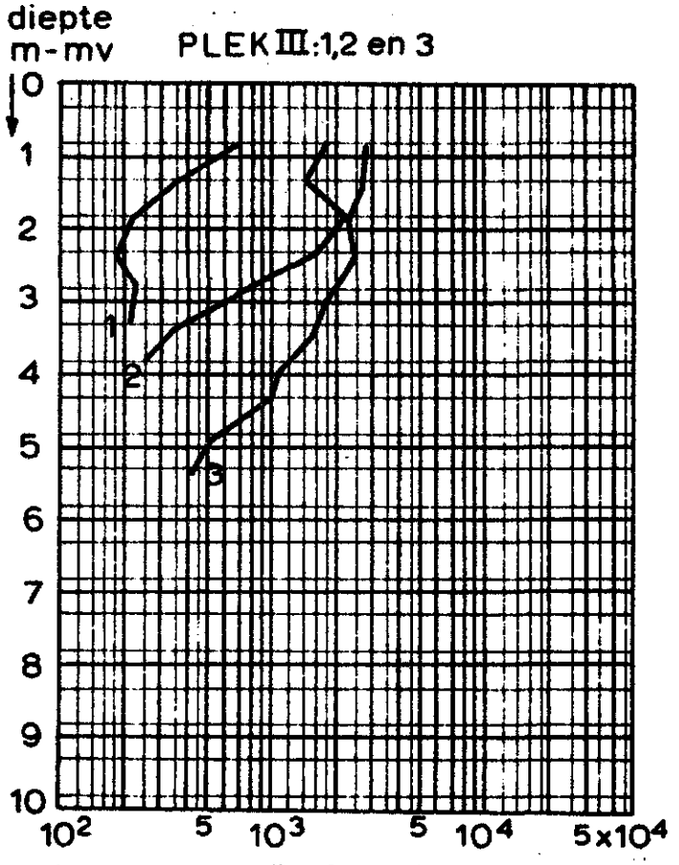


9 200 m ten z. Eppenhuister m. 17-11-'66
10 700 m ten z. Eppenhuister m. 17-11-'66

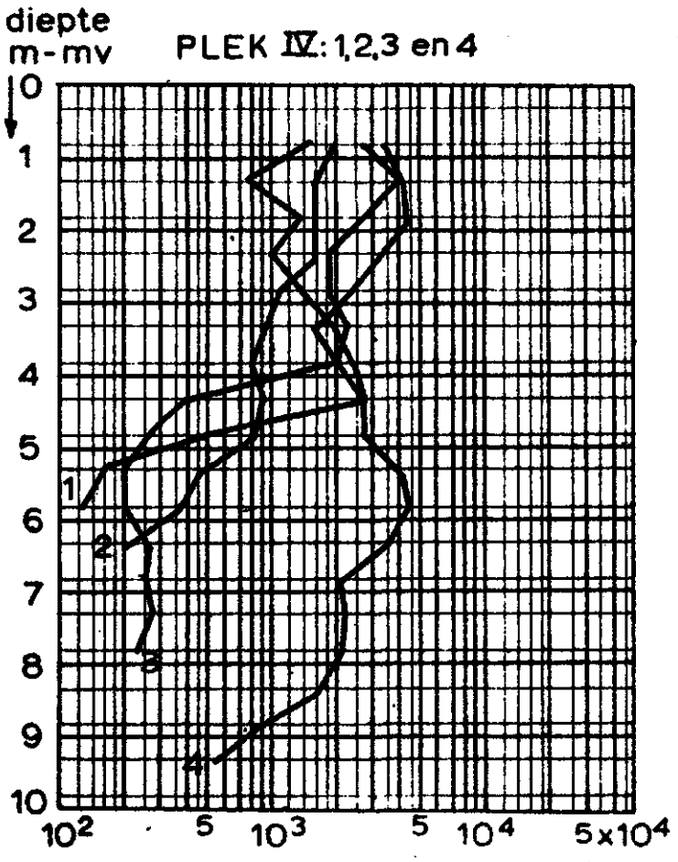
ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN



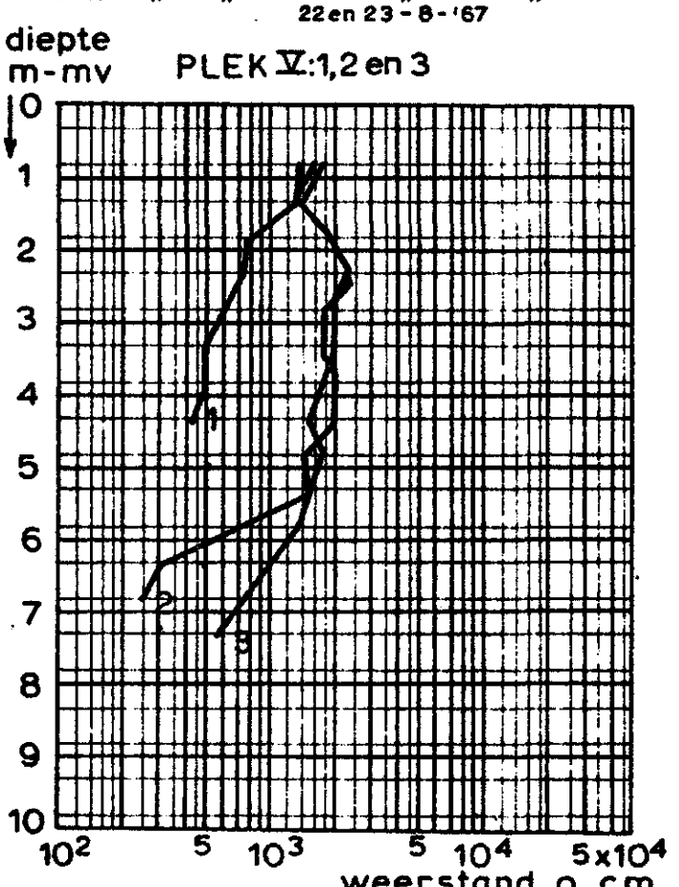
1 bij Bieske maar 23-8-'67
2 5m vanaf Bieske maar 23-8-'67
3 10m vanaf " " "



1 in talud noordzijde Startenhuister maar
2 5 m ten westen " "
3 10m " " " "
22 en 23-8-'67

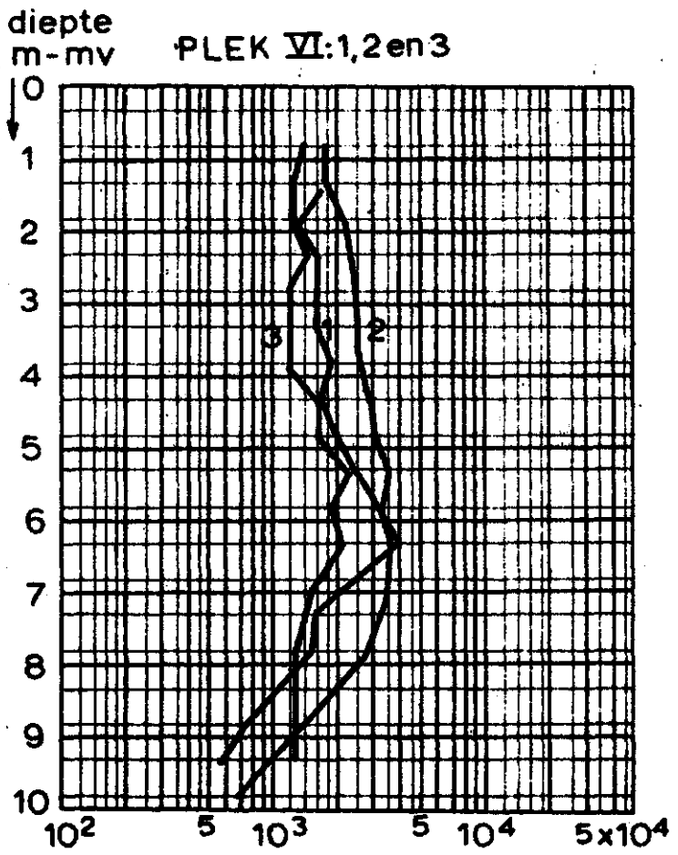


1 bij Boterdiep (Doodstil) 22-11-'66
2 5m ten z. Boterdiep "
3 200m " " " "
4 250m " " " "

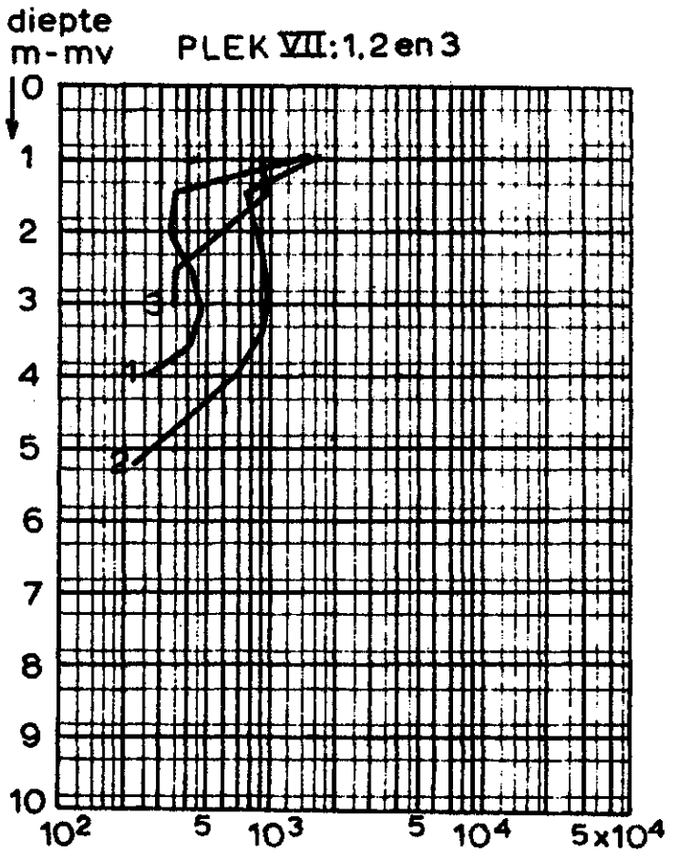


1 in talud Boterdiep (Halfweg) 22 en 23-8-'67
2 5 m ten n Boterdiep "
3 10m " " " "

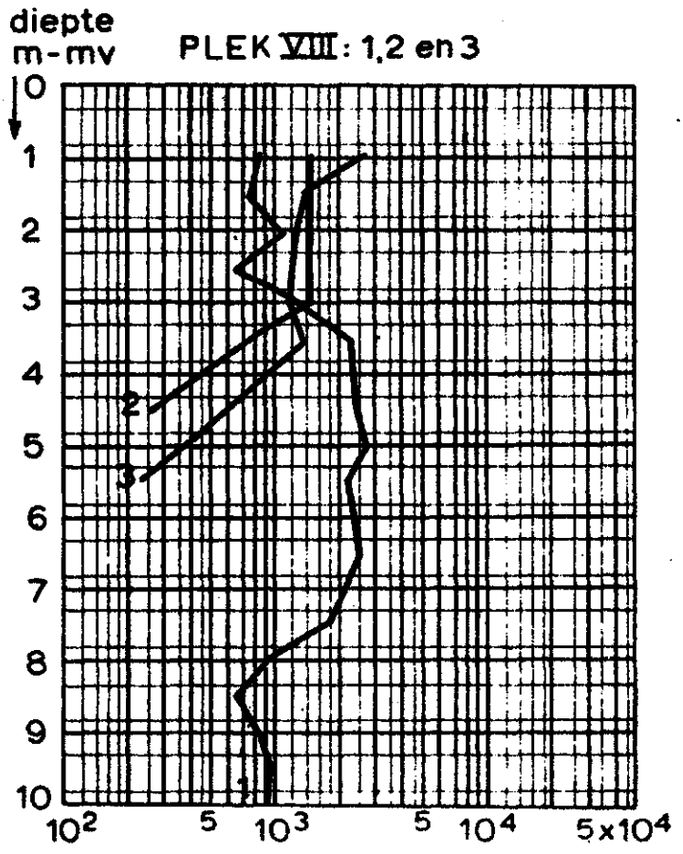
ZOUT SONDERINGEN NOORD GRONINGEN



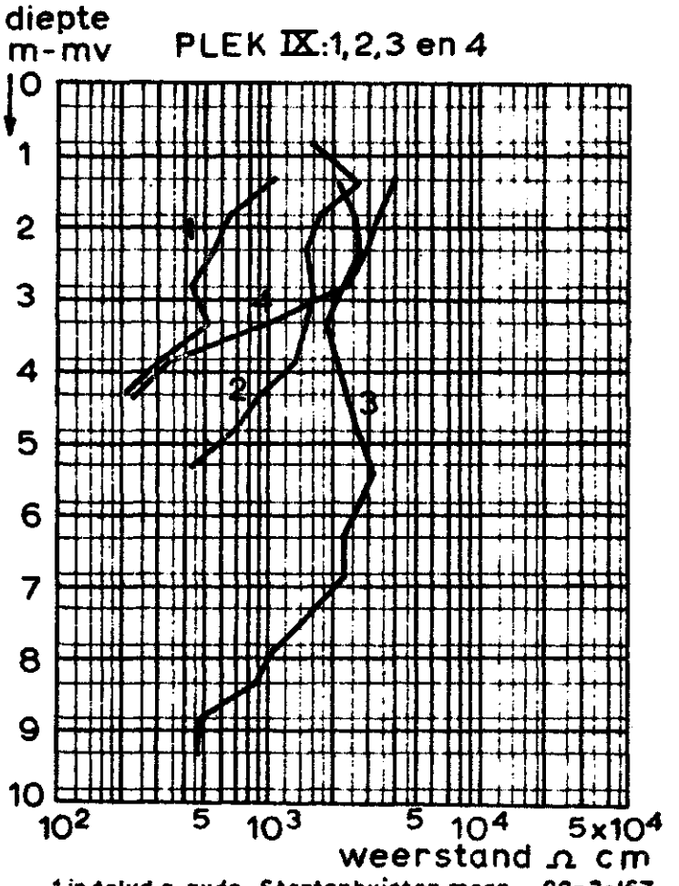
1 in talud Boterdiep (Kantens) 22-3-'67
2 5m ten w. Boterdiep "
3 200m " " " "



1 in talud Boterdiep (Middelstum) 23-8-'67
2 5m ten w. Boterdiep "
3 50m " " " "



1 in talud Huizingermaar 22en23-8-'67
2 5m ten n. " " "
3 10m " " " "



1 in talud z. zijde Startenhuister maar 22-3-'67
2 5m ten z. " " "
3 200m " " " "
4 300m ten n. " " "

fig. 7

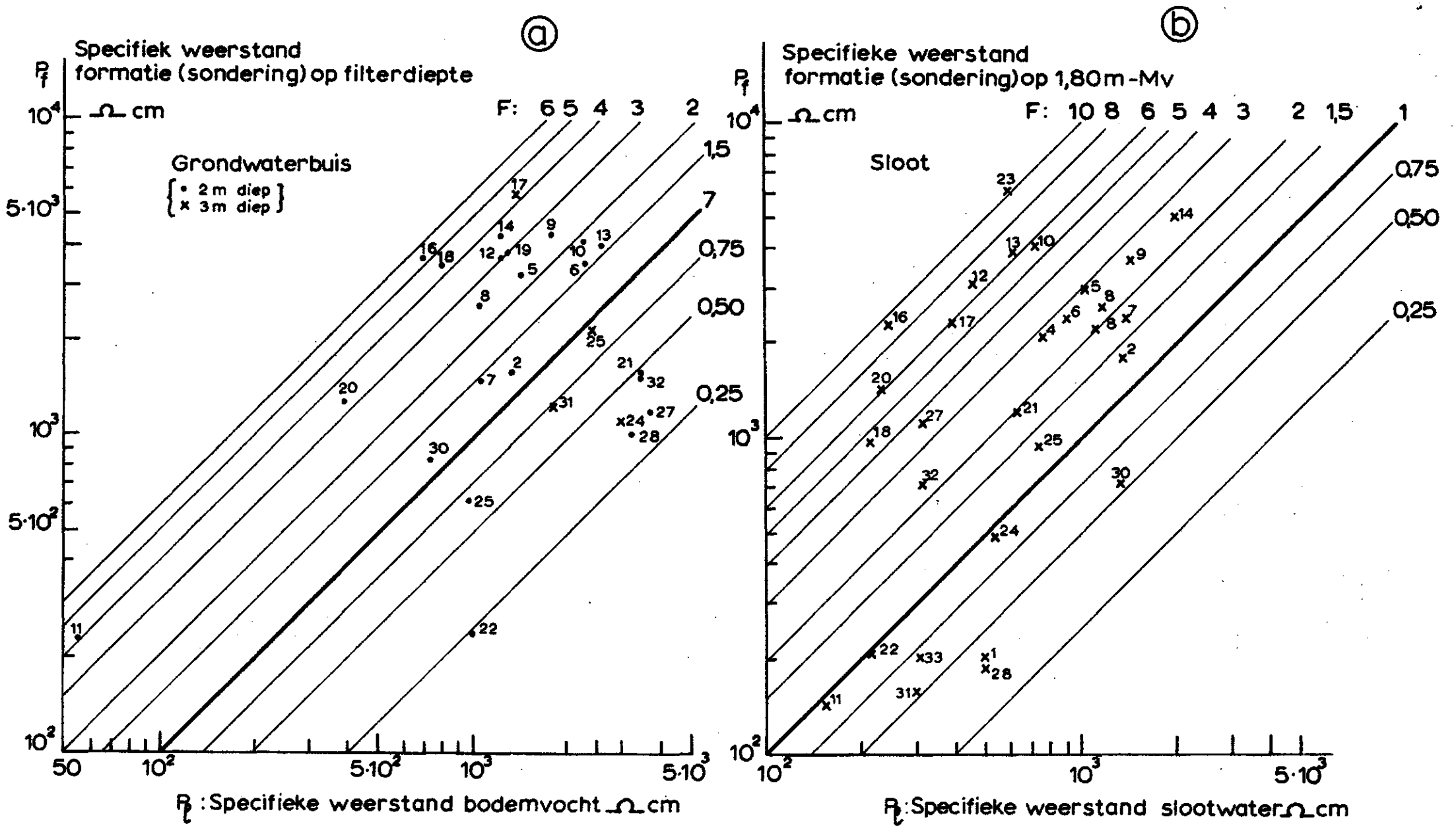

a
Specifiek weerstand
formatie (sondering) op filterdiepte
R_f
Ω cm
F: 6 5 4 3 2 1,5 1 0,75 0,50 0,25
Grondwaterbuis
• 2 m diep
x 3 m diep
10^4
$5 \cdot 10^3$
10^3
$5 \cdot 10^2$
10^2
50
10^2
$5 \cdot 10^2$
10^3
$5 \cdot 10^3$
R_l : Specifieke weerstand bodemvocht Ω cm
b
Specifieke weerstand
formatie (sondering) op 1,80 m - Mv
R_f
Ω cm
F: 10 8 6 5 4 3 2 1,5 1 0,75 0,50 0,25
Sloot
10^4
10^3
10^2
10^2
10^3
$5 \cdot 10^3$
R_l: Specifieke weerstand slootwater Ω cm

fig. 8

specifieke electrische weerstand en chloride-gehalte van watermonsters uit grondwaterbuizen en sloten

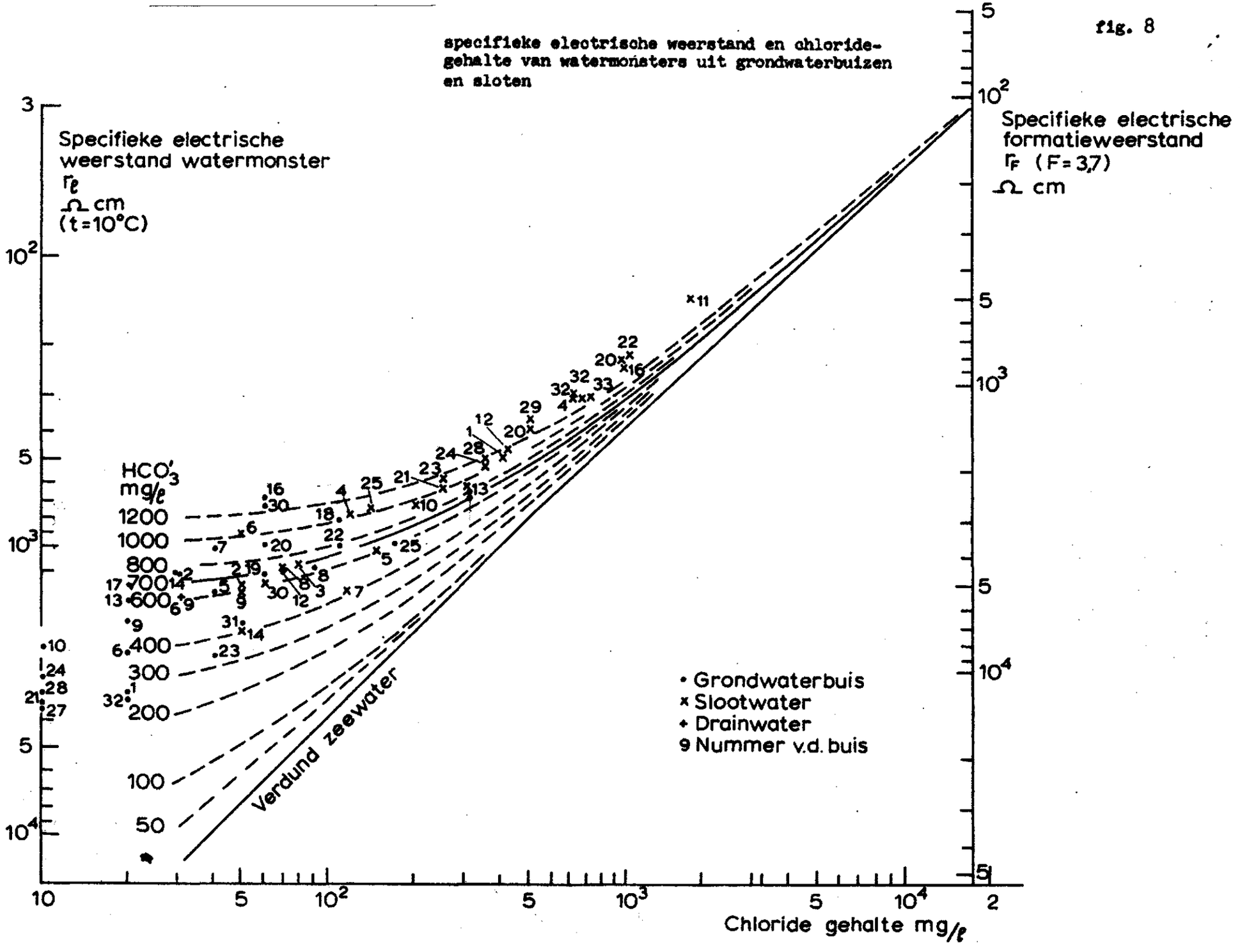
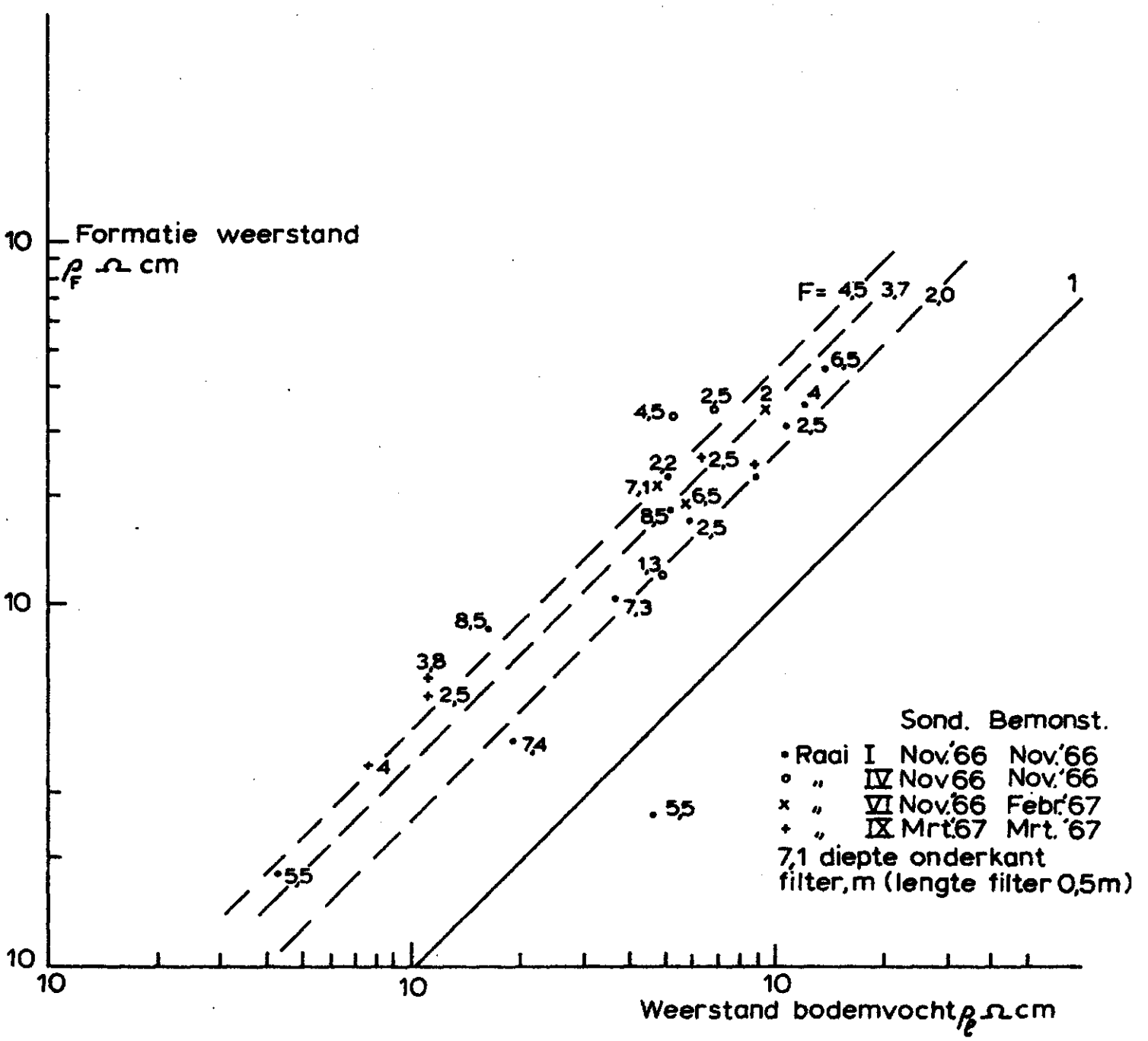


fig. 9


Formatie weerstand
ρ_F Ω cm
10
10
10
10
10
10
F= 4,5 3,7 2,0
1
Sond. Bemonst.
• Raai I Nov.'66 Nov.'66
∘ „ IV Nov.'66 Nov.'66
× „ VI Nov.'66 Febr.'67
+ „ IX Mrt.'67 Mrt.'67
7,1 diepte onderkant filter, m (lengte filter 0,5m)
Weerstand bodemvocht ρ_ℓ Ω cm

Specifieke electrische weerstand en chloridegehalte
van de watermonsters uit de grondwaterbuizen van de raaien.

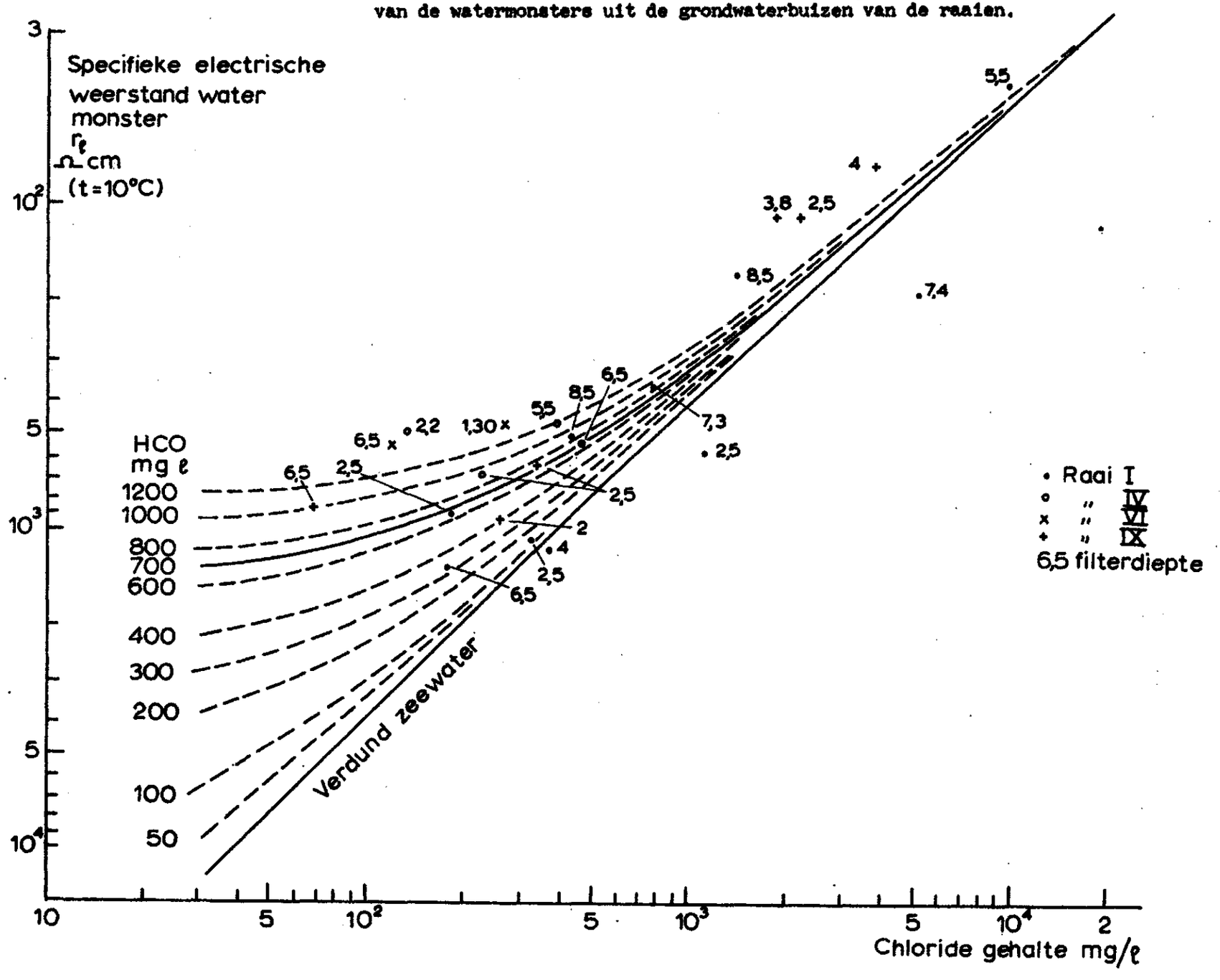


fig. 11

Bepaling van de formatiefactor, resp. de electrische weerstand van het bodemvocht, uit het chloride-, resp. het bicarbonaatgehalte. (bemonstering augustus '67)

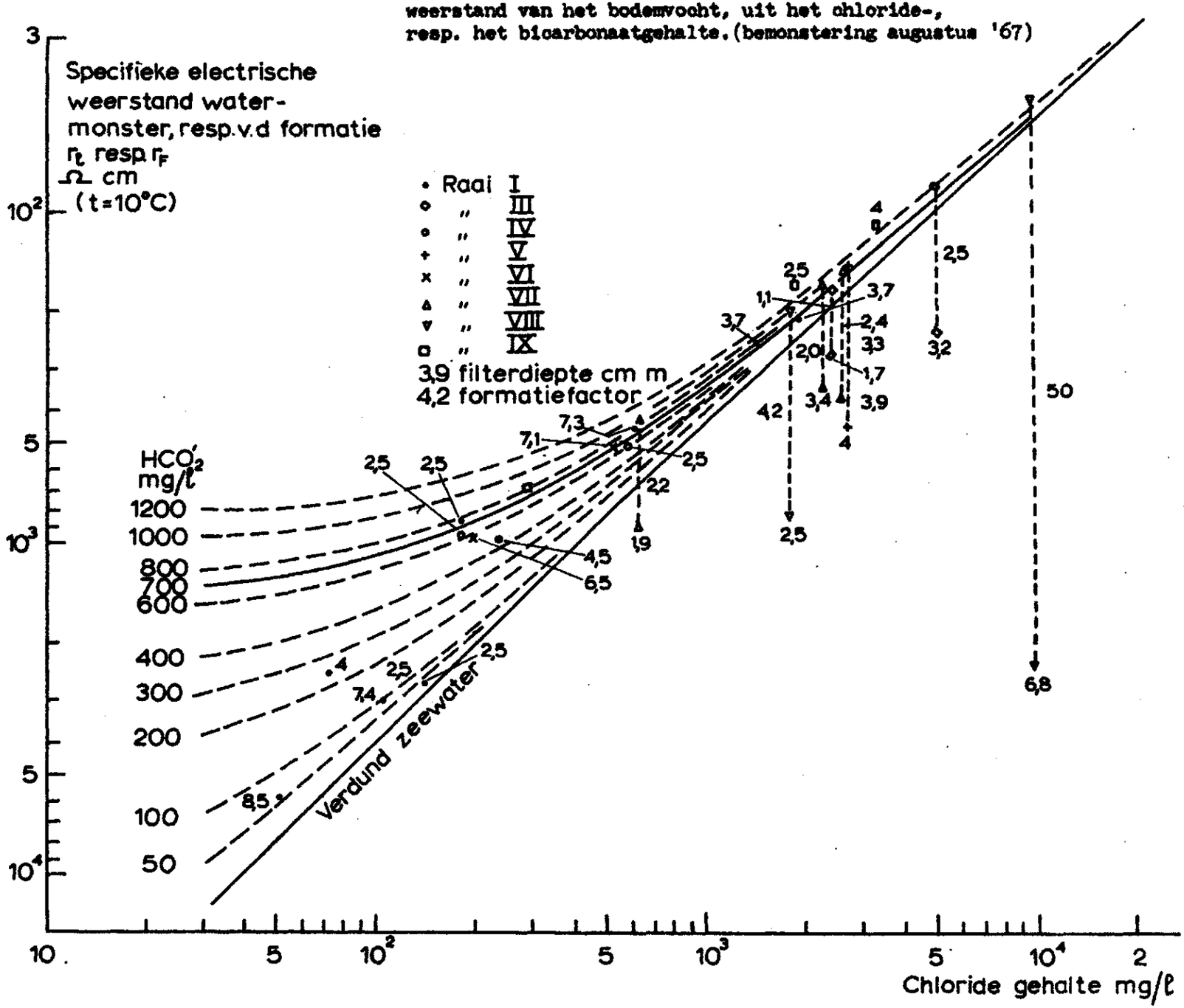
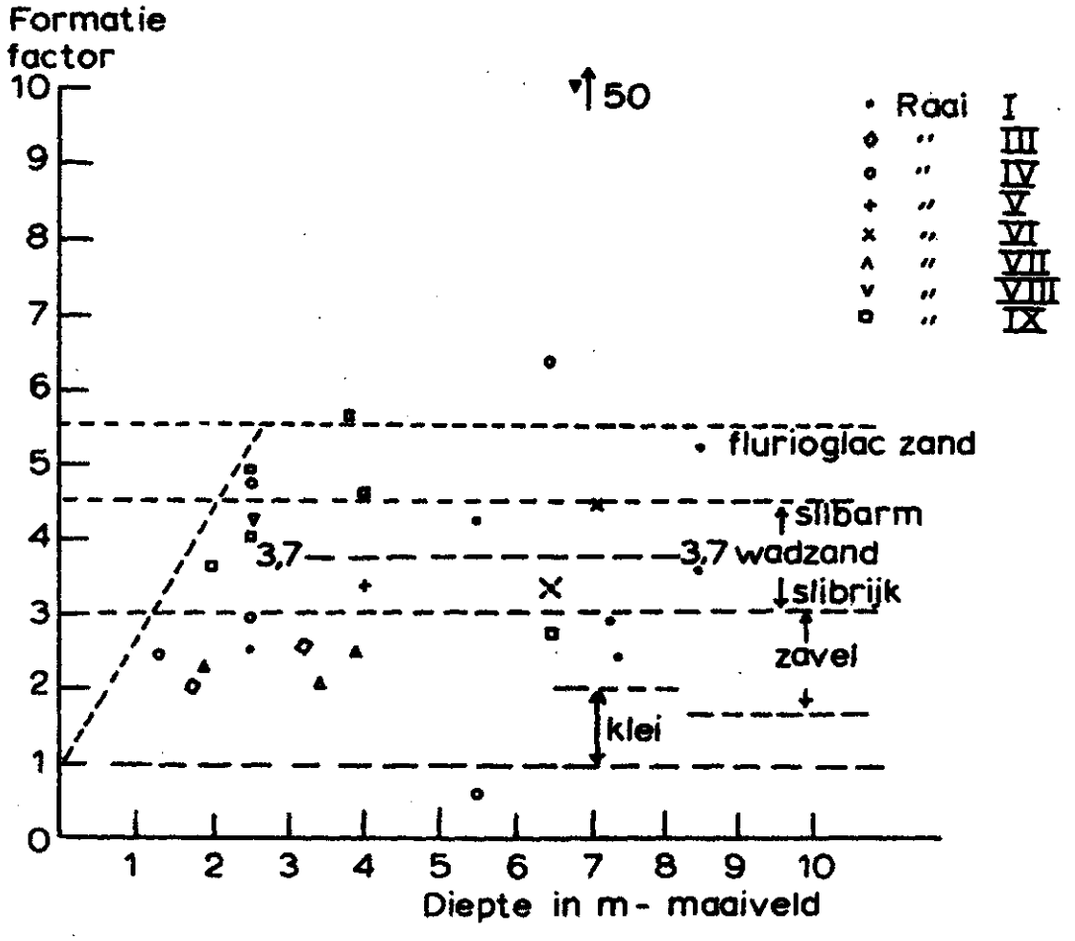


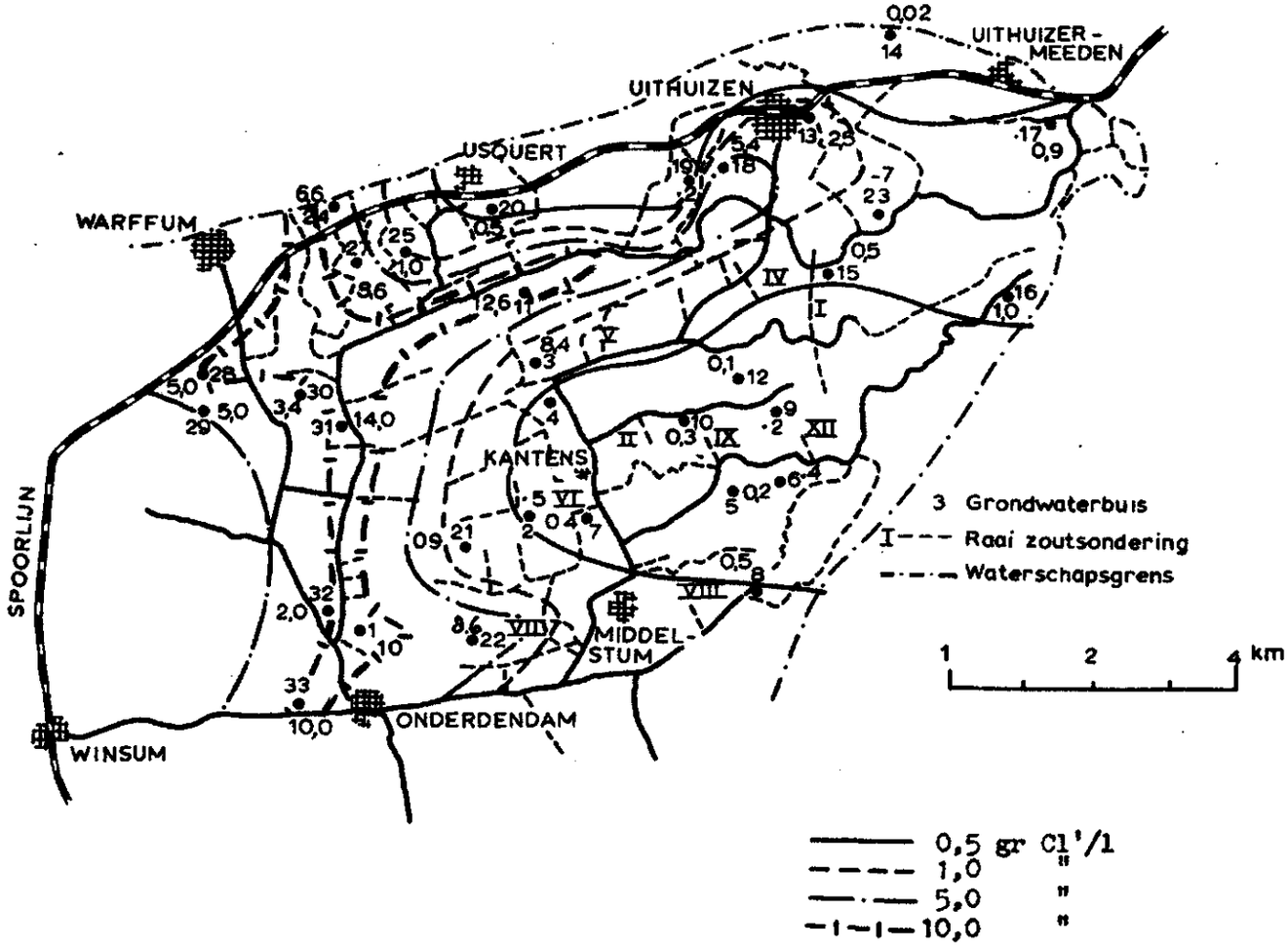
fig. 12



De formatiefactoren van de bemonsterde plekken in de raaien I - X uitgezet tegen de diepte onder maaiveld.

fig. 13

Noord Oost Hunsingo

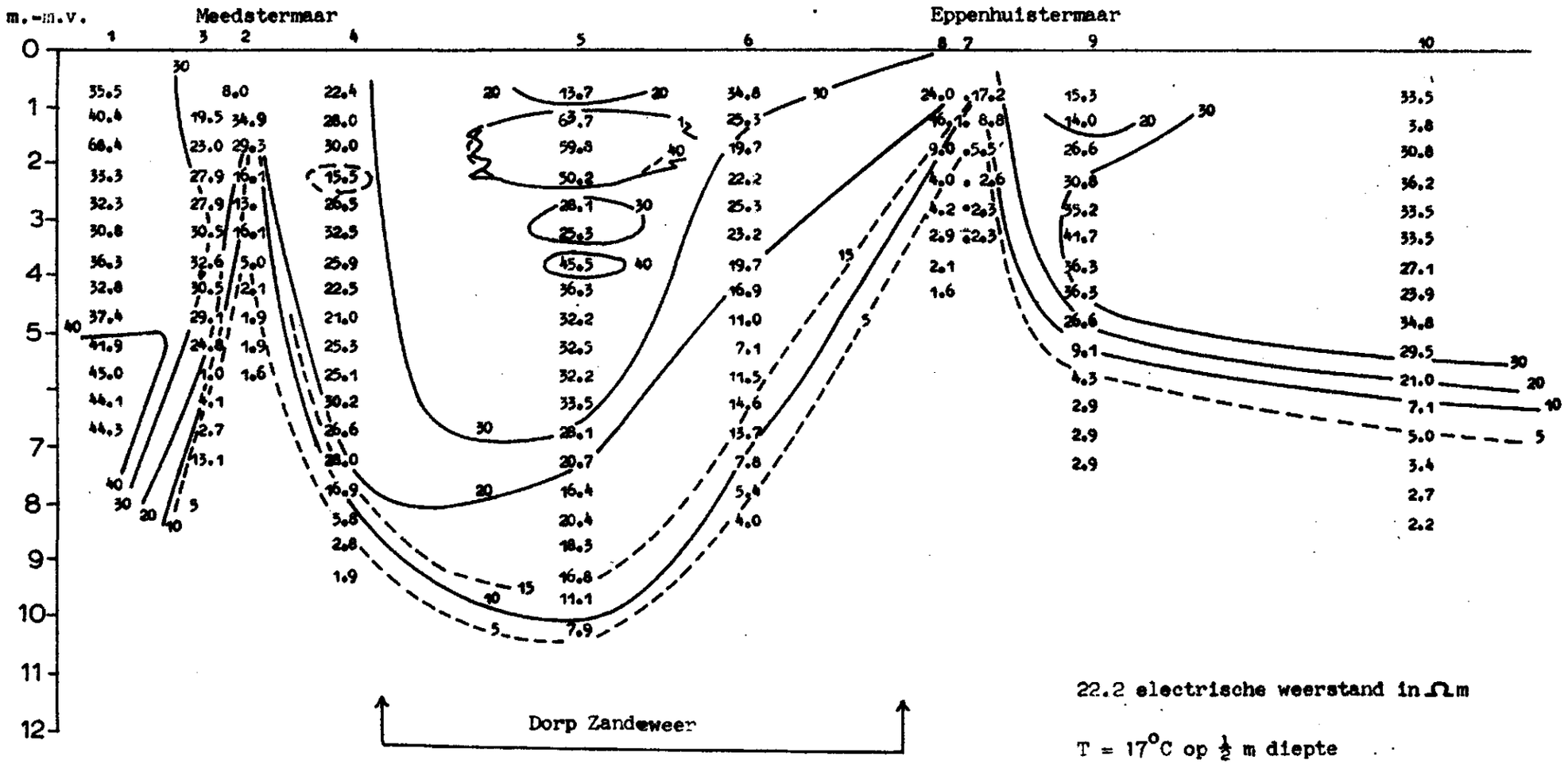


Het chloridegehalte van het grondwater onder de sloten op een diepte van 3 m onder maaiveld. (F=3,7; [HCO' = 700 mg/l)

fig. 14a

Raai I : Zandeweer

Schaal Vert. : 1:100
hor. : 1:8350

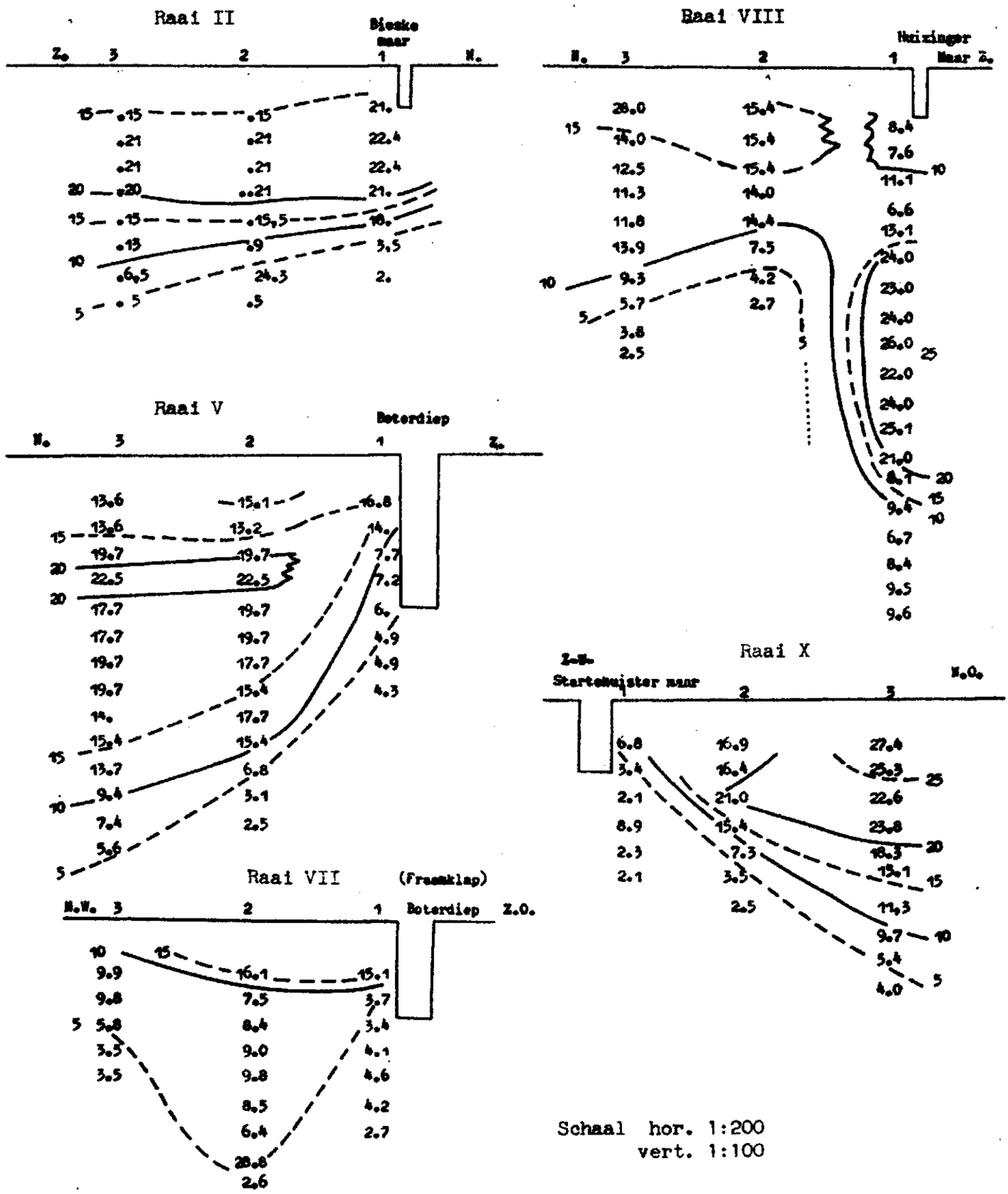


22.2 electrische weerstand in Ωm

T = 17°C op ½ m diepte

Nov. 1966

fig. 14b

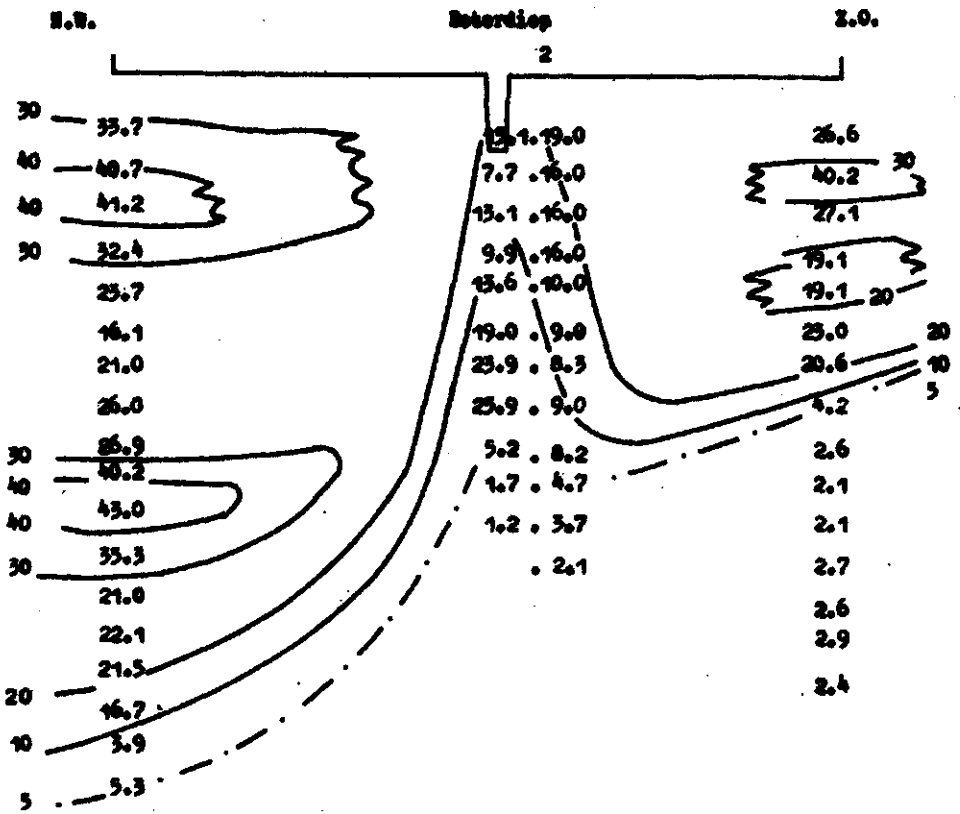


Schaal hor. 1:200
vert. 1:100

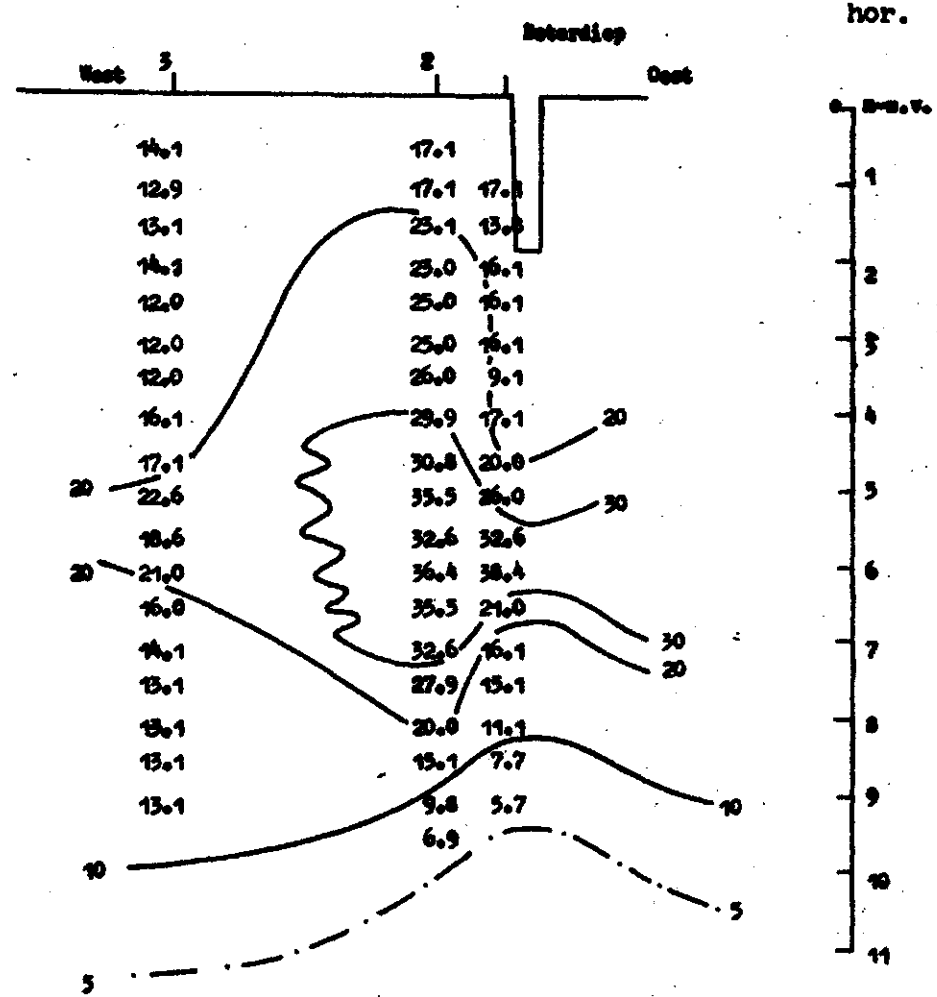
fig. 14°

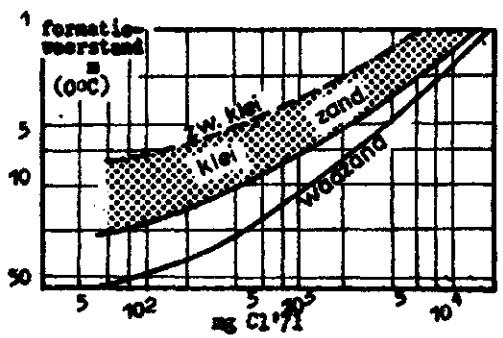
Schaal vert. 1:100
hor. 1:500

Raai IV (DOODSTIL)



Raai VI (KANTENS)





(naar Boehner en Walter (6))

Maart 1967

T = 6°,5 C op ½ m diepte

fig. 14d

Raai IX
Startenhuister Maar

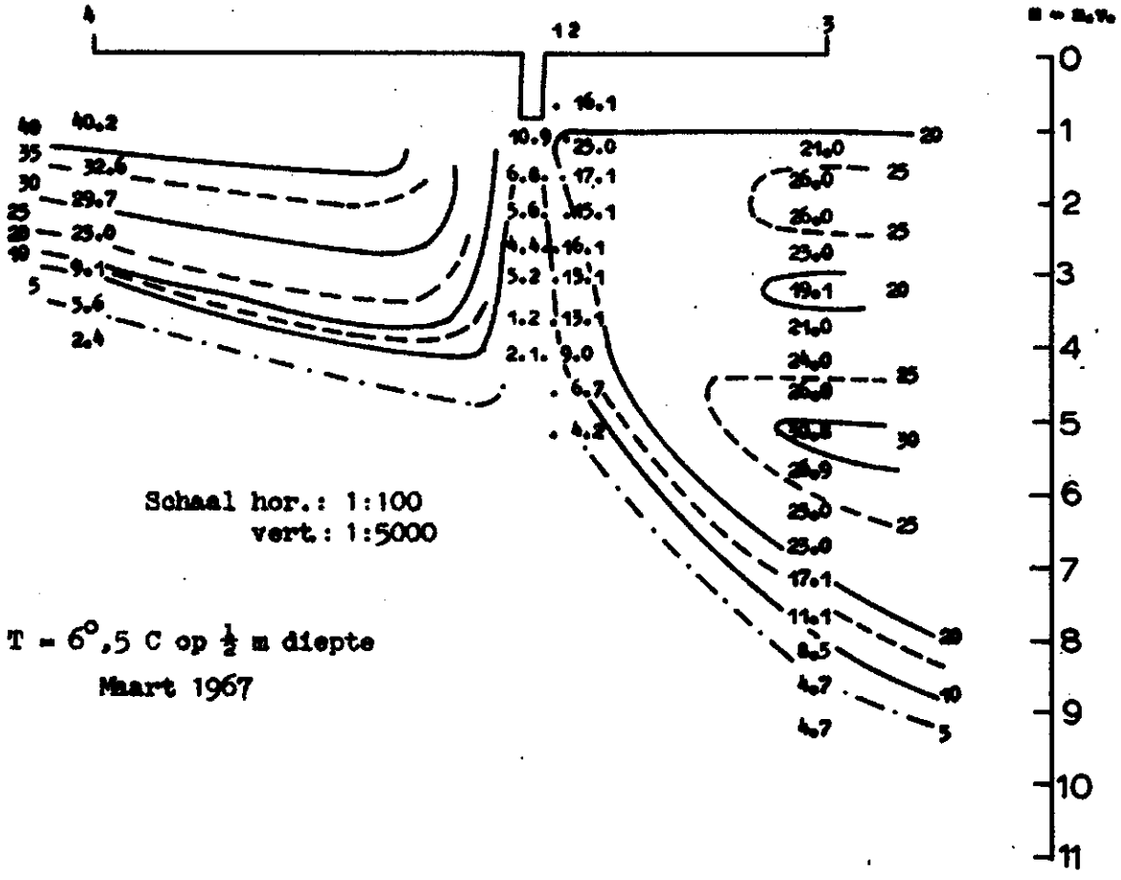
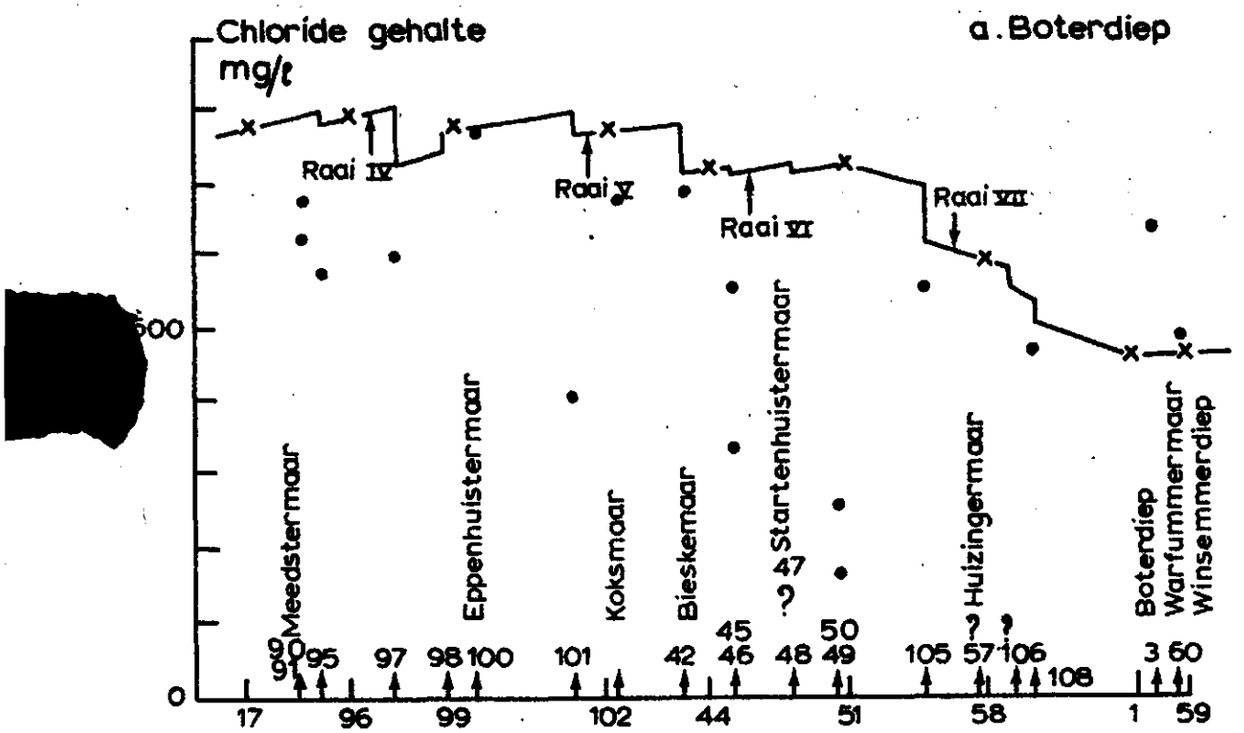
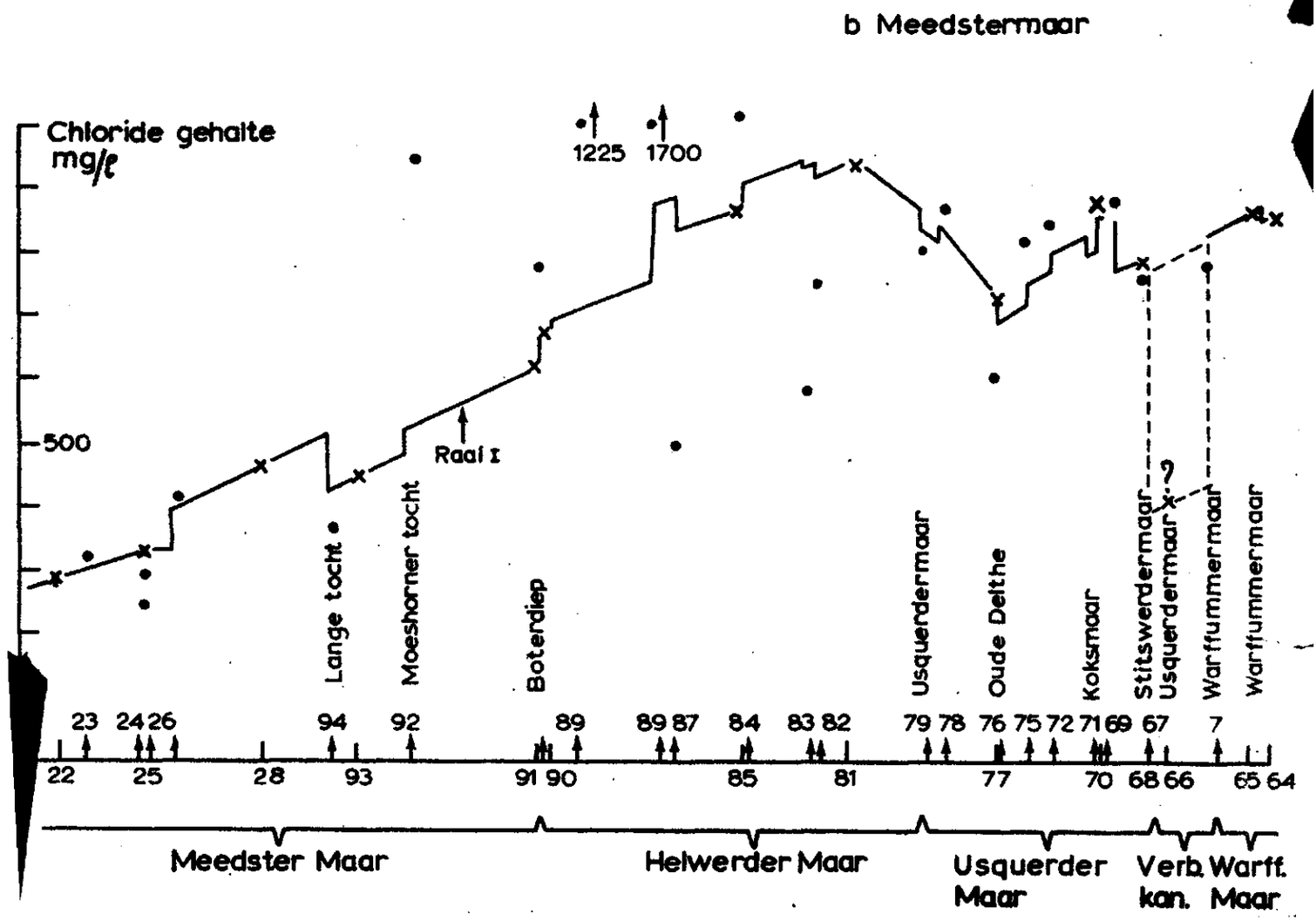


fig. 15





Schematische reconstructie van het chloride-gehalte verloop op 14-10-1966 in het Boterdiep (a) en het Meedster Maar ⟶ Warffumer Maar (a) met aansluitende zijleidingen.
x monsterplek in het Maar; • plaats instroming zijleiding; beide met chloride-gehalte van het geloosde water; 92 : nummer van de bemonsteringsplek (schaal hor. 1:100.000)