

Relatie tussen chemische samenstelling en beweging
van het grondwater in de Achterhoek

J. J. de Vries

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.

Inleiding

De chemische samenstelling van het grondwater is een weerspiegeling van zowel de chemische samenstelling en eigenschappen van het milieu waarin het water zich bevindt, als van de geschiedenis van dit water. De levensloop nu, van het grondwater wordt voornamelijk bepaald door de waterhuishoudkundige toestand van het betreffende gebied.

In een gebied als de Achterhoek, waar de watervoerende formaties voornamelijk uit grove grindrijke zanden bestaan, en grote verschillen in samenstelling van de watervoerende sedimenten dus ontbreken, kunnen veranderingen in de chemische samenstelling van het grondwater in ruimtelijke zin, een bijdrage leveren tot het inzicht in het patroon van de grondwaterstroming.

De chemische gegevens zijn ontleend aan een groot aantal analyses van watermonsters, die uitgevoerd zijn ten behoeve van grondwaterexploitatie en het geo-hydrologisch onderzoek van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.

Momenteel zijn 158 volledige analyses beschikbaar en ruim 100 minder volledige. Een deel van deze laatste groep is slechts onderzocht op chloor, sulfaat en hardheid. De analyses zijn voor een deel uitgevoerd op het laboratorium van het Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening in Den Haag en voor een deel in het 'Waterleidinglaboratorium Oost' te Doetinchem.

I. WATERVOERENDE FORMATIES (5)

Figuur 1 geeft een schematisch geologisch oost-west profiel door de Achterhoek. Zoals uit dit profiel blijkt liggen in het oostelijk deel van de Achterhoek slecht doorlatende kleien en fijne, slibhoudende zanden van Tertiaire ouderdom aan, of tot vlak aan het oppervlak.

Dit Tertiaire plateau strekt zich naar het westen uit tot ongeveer de lijn Aalten-Lichtenvoorde-Groenlo. Westelijk van deze lijn duiken deze slechtdoorlatende formaties weg tot een diepte van meer dan 60 m beneden maaiveld in de omgeving van de IJssel.

In dit westelijk gebied ligt op het Tertiair een pakket van ongeveer 30 m matig fijn tot middel grof, grindhoudend zand van fluvioglaciale en fluviatiële oorsprong.

De fluvioglaciale afzettingen reiken tot ongeveer N.A.P., terwijl bovenkant van de daaropvolgende Formatie van Kreftenheye op een ni

ongeveer 12 m + N.A.P. is gelegen.

Dit grove pakket wordt overdekt door een laag dekzand, dat bestaat uit fijn, soms slibhoudend zand van eolische oorsprong. De dikte van dit afdek- kende pakket neemt vanaf de plateaurand naar de IJssel en de Oude IJssel van meer dan 10 m tot nihil af. Dit veroorzaakt een algemene naar het wes- ten gerichte helling van het maaiveld van ongeveer 1:3000.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat in het centrum van de Achterhoek (hiermee wordt in het vervolg bedoeld het gebied gelegen tussen Ruurlo, Hengelo en Zelhem) deze helling praktisch nul is, terwijl er zelfs hier en daar een lichte stijging van het maaiveld in westelijke richting optreedt.

Verder strekt zich van Zelhem in de richting van Aalten een smalle stuifrug uit die enkele meters boven de omgeving uitsteekt. Hierop is, hal- verwege Varsseveld en Lichtenvoorde, het natuurreservaat 'de Vennebulten' gelegen.

Naast deze, slechts gering relief vertonende Jong-Pleistocene afzet- tingen, komen nog resten Oud- en Midden-Pleistocene voor, en wel enerzijds als zogenaamde gestuwd Preglaciaal in de stuwheuvels (Montferland, Lochemse berg en stuwal van Neede), anderzijds als erosieterras op de rand van het Tertiaire plateau (Formatie van Sterksel/Enschede).

Ook deze formaties zijn voor het belangrijkste deel grofzandig.

Samenvattend kunnen we stellen dat in de Achterhoek de volgende water- voerende formaties een rol spelen:

Formatie	Oorsprong	Ligging in m N.A.P. (benadering)
Formatie van Sterksel/Enschede	fluviatiel (Midden-Pleistocene)	30 m + N.A.P. tot N.A.P.
Formatie van Kreftenheye	fluviatiel (Jong-Pleistocene)	12 m + N.A.P. tot N.A.P.
Fluvioglaciale afzettingen	smeltwaterafzetting (Jong-Pleistocene)	N.A.P. tot 50 m - N.A.P.
Gestuwd Preglaciaal	fluviatiel (Oud- en Midden-Pleistocene)	40 m + N.A.P. tot 50 m - N.A.P.

II. HYDROLOGIE

1. Grondwaterstroming en totaal elektrisch geleidingsvermogen van het grondwater

Verloop van de isohypsen van het diepe grondwater

Kaart 1 toont het verloop van de isohypsen van het diepe grondwater, dat wil zeggen grondwater waarvan de stijghoogte bepaald is in een waarnemingsfilter dat meer dan 5 m beneden maaiveld is gesteld.

Uit deze kaart blijkt dat het grondwater zich beweegt vanaf het Tertiair plateau in westelijke en zuid-westelijke richting naar de IJssel en de Oude IJssel.

De algemene helling bedraagt ongeveer 1:3000 en komt dus overeen met de helling van het maaiveld. In aanmerking genomen een gemiddelde doorlatendheid van het watervoerend pakket van $3000 \text{ m}^2/\text{dag}$, betekent dit een ondergrondse afvoer naar beide rivieren van ongeveer $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ of $0,05 \text{ mm/dag}$ (8).

Deze circulatie die beheerst wordt door de algemene terreinhelling zou men een regionaal stroomstelsel kunnen noemen.

Het neerslagoverschot van 250 mm/jaar , komt dus praktisch in haar geheel via sloten en beken tot afvoer. De stroombanen die tot deze lokale stroomstelsels behoren zullen in het algemeen minder diep in de ondergrond doordringen dan de stroombanen van het regionale stelsel.

Als 3e stroomstelsel kunnen we onderscheiden de stroming die begint in relatief hooggelegen gebieden als stuwwel en dekzandruggen. Deze gebieden kenmerken zich door een relatief hoge grondwaterpotentiaal, tengevolge waarvan zij een neergaande stroming te zien zullen geven en dus beschouwd kunnen worden als lokale infiltratiegebieden. In de omgeving van terreinculminaties zal het diepe grondwater dus relatief jong water toegevoerd krijgen.

Totaal elektrisch geleidingsvermogen (E.C.)

Uitgaande van de algemene regel dat, naarmate het grondwater een langere weg heeft afgelegd, haar totale ionenconcentratie zal toenemen, lijkt het waarschijnlijk dat de aanwezigheid van bovengenoemde stroomstelsels (met name het infiltratiesysteem) weerspiegeld zal worden in het verloop

van de E.C. van het grondwater.

Op kaart 2 is het verloop van de E.C. van het grondwater in de fluvio-glaciale afzettingen en het gestuwde Preglaciaal weergegeven. Van de plateau-rand naar het centrum van de Achterhoek neemt de E.C. af van meer dan 500 μ mho tot minder dan 300 μ mho. Van het centrum naar de IJssel neemt de E.C. weer toe tot meer dan 500 μ mho. Verder vertoont ook het water in de stuwheuvelds een lage E.C.

De verklaring van dit patroon is waarschijnlijk dat het water nabij het Tertiair plateau beïnvloed is door de Tertiaire Kleien en langs de oppervlakte afstromend verontreinigd water. Verder naar het westen treedt een zekere verdunning op door menging met infiltrerend neerslagoverschot. In het centrum van het gebied en in de stuwheuvelds wordt door de hoofdzakelijk neergaande stroming het grondwater als het ware verversd.

Door deze toevoer van bovenaf naar het grondwater treedt vanaf deze infiltratiegebieden naar de IJssel en de Oude IJssel geen infiltratie meer op en wordt het water weer ouder, tengevolge waarvan de E.C. weer toeneemt. Zo ligt ten westen van Hengelo een kwelzone, waardoor dit gebied zelfs in de zomer met wateroverlast heeft te kampen (6).

Nabij de IJssel neemt de E.C. zeer snel in westelijke richting af. Hier ontmoeten het water dat afkomstig is uit de Achterhoek, en water dat uit de Veluwe-stuwval komt, elkaar.

Bovenstaande gedachtengang wordt ondersteund door het merkwaardige verloop van de grondwaterisohypsen tussen Ruurlo en Zelhem. Hier neemt het aantal stroomlijnen per oppervlakte-eenheid snel toe. Aangezien echter de doorlatendheid van het watervoerendpakket van het gebied tussen Ruurlo en Zelhem naar de omgeving van Hengelo slechts afneemt van ongeveer 4500 m²/dag tot 3500 m²/dag, moet dit betekenen dat de intensiteit van de diepe grondwaterstroming (dus van het regionale stroomsysteem) in dit gebied toeneemt. Dit is slechts mogelijk wanneer er water van bovenaf naar dit systeem wordt toegevoerd.

Teneinde enige indruk te verkrijgen omtrent de orde van grootte van deze infiltratie, is van een vierkant gebied van 64 km², gelegen tussen Ruurlo, Hengelo en Zelhem een grondwaterbalans opgesteld volgens de volgende vergelijking: (kaart 1)

Infiltratie = totale ondergrondse afvoer - totale ondergrondse toevoer.

(Hierbij is eventuele bergingsverandering buiten beschouwing gelaten)

In formule:

$$0,25 L^2 I = - k_1 D_1 (2 h_m - h_1 - h_2) + k_2 D_2 (2 h_m - h_3 - h_4)$$

Hierin is:

L	de zijde van het vierkant = 8000 m
h_m	de potentiaal in het midden van het vierkant
h_1 t/m h_4	de potentialen aan de hoekpunten van het vierkant
$k_1 D_1$	de doorlatendheid tussen h_1 en $h_2 = 4500 \text{ m}^2/\text{dag}$
$k_2 D_2$	de doorlatendheid tussen h_3 en $h_4 = 3000 \text{ m}^2/\text{dag}$
I	de infiltratie

Dit toegepast op de figuur in kaart 1 levert:

$$I = 0,8 \text{ mm/dag}$$

Dit betekent dat praktisch het gehele neerslagoverschot hier door de diepere ondergrond in de richting van de IJssel en in mindere mate naar de omliggende beken verdwijnt. Dit in tegenstelling tot het afvoerproces in het overige deel van de Achterhoek (uitgezonderd de stuwwallen) waar het overgrote deel van het neerslagoverschot via de sloten wordt afgevoerd, terwijl de rest ondergronds direct naar de, in deze gebieden op kortere afstand van elkaar gelegen, beken verdwijnt.

Als oorzaken van de aanwezigheid van relatief jong grondwater kunnen dus genoemd worden:

- Sterke infiltratie naar het diepe grondwater door het ontbreken van afvoer naar sloten.
- Relatief grote afstand tussen de beken waardoor de stroombanen van dit infiltrerende water naar de diepere ondergrond kan doordringen.

In het volgende zal getracht worden dit verband enigszins kwantitatief weer te geven.

2. Relatie tussen infiltratiesterkte, beekafstand en ouderdom van het grondwater

Voor een symmetrisch drainagepatroon geldt voor ieder punt van een stroomlijn dat zijn afstand tot de waterscheiding x_t zich verhoudt tot de afstand van het beginpunt van de betreffende stroomlijn tot de waterscheiding x_o , als de verhouding van de dikte D van het watervoerend pakket tot de afstand van het beschouwde punt tot de ondoorlatende basislaag z_t

of
$$\frac{x_t}{x_o} = \frac{D}{z_t}$$

of
$$x_t z_t = x_o D \quad (1)$$

De stroomsnelheid in de x-richting is:

$$V_x = \frac{1}{\beta} \left(\frac{dq}{dx} \right)_x = \frac{1}{\beta} \cdot q \frac{\text{horizont}}{D}$$

hierin is: β het poriënvolume

q het debiet

Wanneer N het neerslagoverschot is, dan geldt:

$$V_x = \frac{Nx}{\beta D} \quad (2)$$

verder is:

$$V_x = \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

(2) en (3)
$$\frac{dt}{dx} = \frac{\beta D}{Nx}$$

Integratie tussen x_o en x_t , t_o en t levert:

$$\frac{\beta D}{N} \int_{x_o}^{x_t} \frac{1}{x} dx = \int_{t_o}^t dt$$

$$x_t = x_0 e^{\frac{Nt}{\beta D}} \quad (4)$$

$$(1) \text{ en } (4) \quad z_t = D e^{-\frac{Nt}{\beta D}} \quad (5)$$

Met (4) en (5) is dus een uitdrukking gevonden die het verband tussen afgelegde afstand, tijd, diepte, beekafstand en afvoersterkte weergeeft.

Voor het grootste deel van de Achterhoek is de afstand tussen de grote beken gelegen tussen 3000 en 6000 m, en bedraagt de ondergrondse afvoer naar deze beken ongeveer 0,3 mm/dag.

Echter in het centrum van de Achterhoek bedraagt de afstand tussen de omringende beken ongeveer 12 000 m, terwijl uit het voorgaande bleek dat bijna het gehele neerslagoverschot van 0,8 mm/dag naar deze beken (of naar de IJssel) draineert.

Wanneer we deze gegevens op de bovenstaande formules toepassen dan krijgen we voor de diepte waarop het naar de beken drainerende water door-
dringt, en de tijd die het water nodig heeft om deze diepten te bereiken,
de volgende cijfers:

Beekafstand	Ondergrondse afvoer naar de beken N in mm/jaar	Diepte - m.v.	Tijd
3 000 m	80	35 m	300 jaar
6 000 m	80	37 m	500 jaar
12 000 m	240	39 m	200 jaar

Hierbij is van het volgende uitgegaan:

De ondoorlatende basislaag is op 40 m - m.v. gelegen

$\beta = 0,4$ (poriënvolume)

$x_0 = 100$ m

Uiteraard is de absolute waarde van bovenstaande cijfers niet groot, doch relatief geven zij een beeld van het afwijkende karakter van het gebied rond Hengelo en Zelhem.

In het regionale stroomsysteem geldt voor de stroomsnelheid de volgende formule:

$$V = ki\beta$$

hierin is: V de stroomsnelheid in m/dag
i de gradiënt van de potentiaal = 1:3000
k de doorlaatfactor = 50 m/dag
 $\beta = 0,4$

Hieruit volgt $V = 15$ m/jaar. Dit betekent dat het diepste grondwater onder het centrum van de Achterhoek een ouderdom van ongeveer 1000 jaar heeft.

Met behulp van bovenstaande gegevens is een theoretisch stroomlijnenpatroon langs een oost-west profiel samengesteld. Hierin is ook de ouderdom van het grondwater volgens bovenstaande berekening aangegeven (fig. 2).

Verticale temperatuurgradiënten

Teneinde de in figuur 2 voorgestelde hypothese nog eens met behulp van andere fysische grootheden te testen, werden in april 1967 verticale temperatuurgradiënten in waarnemingsbuizen in hoge, middelhoge en laag gelegen gebieden opgenomen. De gedachte achter deze waarnemingen zijn de volgende: Aangezien infiltratie van overvloedige neerslag voornamelijk in de winter plaatsvindt, moeten gebieden met relatief sterke, en diepe doordringende infiltratie gekenmerkt worden door een diep doordringen van de lage temperaturen van de winterneerslag.

De volgende gebieden werden beschouwd:

- | | |
|---|---------------|
| a. Kloosterbos (centrum Achterhoek) - grondwaterstand | 1,50 m - m.v. |
| b. Baak (nabij Steenderen) - grondwaterstand | 1,00 m - m.v. |
| c. 'De Vennebulten' (nabij Varsseveld) - grondwaterstand | 1,00 m - m.v. |
| d. Boringen M168, M174(tussen Zelhem en Varsseveld) - grondwaterstand | 0,40 m - m.v. |
| e. Lichtenvoorde IX - grondwaterstand | 0,40 m - m.v. |

In figuur 3 zijn de waarnemingen weergegeven. Inderdaad blijkt duidelijk dat, terwijl onder de lage gronden reeds op 10 m - m.v. een temperatuur van 10°C bereikt wordt, onder het gebied van het Kloosterbos zelfs op 20 m diepte de temperatuur nog maar $9,2^{\circ}\text{C}$ bedraagt.

De middelhoge gebieden nemen een tussenpositie in.

Om verschillen in temperatuurgeleidingsvermogen te kunnen elimineren zullen deze waarnemingen gedurende een jaar worden voortgezet.

Uit bovenstaande gegevens mogen we wel concluderen dat kleine reliefverschillen een grote invloed kunnen uitoefenen op de beweging van het grondwater. Een geringe maaiveldsverhoging doet de bergingscapaciteit van een gebied toenemen. Door deze bufferwerking kan een groot deel van het winterneerslagoverschot in de zomer worden afgevoerd. Deze vertraagde afvoer maakt het mogelijk om bijna het gehele neerslagoverschot via de diepere ondergrond naar de relatief ver afgelegen beken en rivieren af te voeren.

Voor de Achterhoek bedraagt het verschil tussen zomer- en wintergrondwaterstand globaal 75 cm. In het centrum is dit verschil ongeveer twee maal zo groot (6).

III. CHEMIE VAN HET GRONDWATER

1. Chemische samenstelling van het grondwater uit de verschillende formaties

In figuur 4 is de gemiddelde chemische samenstelling van het grondwater in mg/l in een diagram weergegeven. Ter vergelijking is ook de samenstelling aangegeven van enkele monsters die westelijk van de IJssel zijn genomen, alsmede een monster uit het Marien Mioceen van het Tertiair plateau en een watermonster uit de boring Baak VIII, waarin een zeer hoog chloorgehalte werd aangetroffen. Waarschijnlijk betreft dit laatste monster fossiel zeewater, afkomstig uit een rest Marien Icenien (Oud-Pleistoceen) waarvan de aanwezigheid in een nabijgelegen boring werd aangetoond (3).

Een dergelijk soort water werd aangetroffen in boring M188, gelegen op 3 km ten westen van Lochem.

Teneinde de verschillen in karakter van de diverse soorten water te kunnen vergelijken, is de samenstelling nog eens weergegeven in een zogenaamd

Piper-diagram (fig. 5). Hierin stelt elk punt de samenstelling van een watermonster voor in procenten milliequivalenten.

Uit deze figuur blijkt dat het water uit de fluvioglaciale afzettingen secundaire alkaliniteit vertoont (aardalkaliën in evenwicht met de zwakke zuren). Ditzelfde karakter toont het water uit het Marien Mioceen

Het water uit de Formatie van Sterksel/Enschede daarentegen vertoont kenmerken van secundaire saliniteit dat wil zeggen een toestand waarbij de aardalkaliën enerzijds een evenwicht vormen met de sterke zuren en anderzijds de zwakke zuren overheersen.

De stuwheuvels (gestuwd Preglaciaal) vertonen een soort tussen-positie, waarbij een overheersing van bepaalde soorten ionen niet duidelijk aanwezig is.

Tenslotte overheerst in de analyses Baak VIII en M188 het evenwicht tussen natrium en chloor, hetgeen primaire saliniteit betekent (zeewater-type).

In figuur 4 valt verder op dat het water afkomstig uit Jong-Pleistocene formaties een hoger calciumgehalte bezit dan het water uit de Oud- en Midden-Pleistocene formaties, hetgeen geheel in overeenstemming is met het verschil in kalkgehalte tussen beide sedimenten.

Hierbij moet opgemerkt worden dat het water uit de 'fluvioglaciale afzettingen westelijk van de IJssel' haar oorsprong vindt in de Veluwe-Stuwwal.

Verder kenmerkt dit laatstgenoemde water zich door een relatief hoog magnesium- en een relatief laag sulfaatgehalte.

In tabel 1 zijn de volledige chemische analyses van de in figuur 4 en figuur 5 weergegeven monsters opgenomen.

2. Veranderingen in de chemische samenstelling van het grondwater in horizontale zin

Totale hardheid

Zoals in kaart 2 voor het water uit de fluvioglaciale afzettingen en het gestuwd Preglaciaal het verloop van de E.C. is weergegeven, geeft kaart 3 het patroon van de totale hardheid in deze formaties. Duidelijk blijkt de overeenkomst tussen beide patronen.

Relatie tussen sulfaat en ijzer

In kaart 4 is het verloop van het percentage sulfaat ten opzichte van het percentage chloor in milliequivalenten weergegeven. Ook van deze grootte lijkt het patroon op dat van de E.C., echter hier ligt het gebied met het laagsteverhoudingsgetal iets oostelijk van het centrum. Zoals later zal blijken wordt het patroon voornamelijk bepaald door veranderingen in het sulfaatgehalte, zodat het gebied tussen Zelhem en Borculo gekenmerkt wordt door een laag sulfaatgehalte.

Verder zijn in kaart 4 de extreem hoge ijzergehalten dat wil zeggen meer dan 10 mg/l, aangegeven. Direct valt op dat in de Achterhoek een laag sulfaatgehalte samengaat met een hoog ijzergehalte.

In figuur 6 is het verband tussen ijzer en sulfaat in een frequentie-diagram weergegeven. Ook hierin blijkt dat hoge ijzergehalten plegen samen te gaan met lage sulfaatgehalten en omgekeerd.

Het ligt voor de hand deze ijzer-sulfaatrelatie toe te schrijven aan reductieverschijnselen. Immers onder reducerende omstandigheden wordt enerzijds sulfaat onder invloed van sulfaat-reducerende bacteriën omgezet in sulfide, anderzijds echter is in een gereduceerd milieu het oplosbare tweewaardige ijzer stabiel (2).

Deze gedachtengang wordt nog ondersteund door het feit dat het kaliumpermanganaatverbruik voor het water waarvoor geldt:

$$\frac{\text{SO}_4^{=}}{\text{Cl}^{-}} \text{ meq/l} < 0,4 ,$$

gemiddeld 17 mg/l bedraagt, terwijl het water uit dezelfde omgeving waarvan het sulfaatgehalte hoger is een gemiddeld kaliumpermanganaatverbruik van 11 mg/l te zien geeft.

Overwegende dat op grotere diepten in meerdere mate reducerende omstandigheden zullen heersen dan meer aan de oppervlakte, is in figuur 7 een frequentieverdeling weergegeven die het voorkomen van verschillende sulfaatklassen aangeeft in water gelegen tussen 5 m - m.v. en 15 m - m.v. en water dat zich op meer dan 15 m - m.v. bevindt.

Hieruit blijkt dat terwijl in het diepe grondwater het sulfaatgehalte normaal verdeeld is, het ondiepe grondwater een top vertoont in de hoogste

sulfaatklasse.

(Voor de figuren 6 en 7 is gebruik gemaakt van alle beschikbare analyses, ongeacht de geologische formatie).

Formatie van Kreftenheye

Terwille van de duidelijkheid is het water uit de Formatie van Kreftenheye in figuur 5 niet opgenomen, echter uit figuur 4 blijkt wel dat dit water in karakter geheel overeenkomt met het water uit de fluvioglaciale afzettingen.

In een 8-tal boringen (gelegen tussen de plateaurand en het centrum van de Achterhoek) is zowel een watermonster uit het diepe pakket, (meest fluvioglaciaal) als uit de (ondiepe) Formatie van Kreftenheye genomen. In verband met het bovenstaande (fig. 7) is het goed deze monsters eens te vergelijken:

Boring	$\frac{\text{SO}_4^{=}}{\text{Cl}^{-}} \text{ meq/l}$		Fe mg/l	
	Formatie van Kreftenheye	diepe pakket	Formatie van Kreftenheye	diepe pakket
M 68	0,30	0,33	4,1	7,2
M 73	1,33	0,82	4,0	6,2
M150	1,20	1,19	2,7	6,2
M153	0,89	0,73	4,5	5,8
M158	1,19	0,57	6,5	7,1
M166	1,55	0,67	5,9	6,3
M139	0,30	0,27	6,4	7,6
M154	0,88	0,67	7,8	8,8
Gemiddeld	0,94	0,66	5,2	6,9

Ook uit deze cijfers blijkt het verband tussen diepte, sulfaat en ijzer.

Chemisch profiel van de Achterhoek

In de figuren 8 en 9 is een gemiddeld chemisch profiel van de plateau-rand naar de IJssel weergegeven. De ionenverdeling op een verticale lijn stelt dus de gemiddelde chemische samenstelling voor in een noord-zuid verloopend traject.

De samenstelling van de monsters die in deze profielen zijn verwerkt zijn samengebracht in tabel 1.

Figuur 8

In dit profiel is de chemische samenstelling van het grondwater in mg/l voorgesteld.

Hieruit blijkt dat in de fluvioglaciale afzettingen de concentraties van alle ionen analoog aan elkaar verlopen, zodat dus in het centrum van het gebied alle ionen een minimum concentratie te zien geven.

Apart is in dit profiel de samenstelling van het grondwater met laag sulfaatgehalte aangegeven. Duidelijk blijkt dat alleen sulfaat een concentratie vertoont die niet overeenkomt met de plaats die dit water in het profiel heeft. Ook hieruit kan men concluderen dat sulfaat beïnvloed is door verschijnselen die de andere ionen onberoerd heeft gelaten.

Figuur 9

Hierin is het gemiddelde verloop van de chemische samenstelling weergegeven in procenten-milliequivalenten. Hierdoor komt in dit profiel de verandering in het karakter van het water tot uiting.

Kenmerkend voor dit profiel is dat naar het centrum van het gebied het percentage natrium, chloor en sulfaat afneemt, terwijl het percentage calcium, magnesium en bicarbonaat toeneemt. Verder heerst in het centrum een toestand waarbij calcium en bicarbonaat ten naaste bij met elkaar in evenwicht zijn. Ook in figuur 5 is deze toename van het 'calcium-bicarbonaat-karakter' van het grondwater met de laagste E.C. duidelijk te zien.

Dit resultaat is precies tegengesteld aan wat GISCHLER (1) constateerde in de Pleistocene afzettingen in Friesland, Drente en Groningen. Hier bleek juist bij toenemende E.C. (in het traject 0-750 μ mho) het 'calcium-bicarbonaat-karakter' van het grondwater toe te nemen. De oorzaak van dit verschil ligt waarschijnlijk in het feit dat GISCHLER'S studie voornamelijk berust op water dat afkomstig is uit Midden- en Oud-Pleistocene formaties die in het algemeen een geringer kalkgehalte bezitten dan de Jong Pleistocene

sedimenten, waarmee we hier te maken hebben.

Bij de figuren 8 en 9 dient opgemerkt te worden dat de monsters met laag sulfaatgehalte die apart zijn aangegeven, ook normaal in het profiel in de betreffende E.C.-klasse zijn opgenomen.

Samenvatting en conclusies

1e. Het grondwater in de Oud-Pleistocene formaties onderscheidt zich van dat uit de Jong-Pleistocene formaties door een geringer calciumgehalte, hetgeen overeenstemt met het geringere kalkgehalte van de oudere sedimenten.

2e. Het lage elektrische geleidingsvermogen van het grondwater in de fluvio-glaciale afzettingen in het centrum van de Achterhoek wijst op de aanwezigheid van relatief jong water, dus op infiltratie. De aanwezigheid van een belangrijke neergaande component in de grondwaterstroming in dit gebied wordt bevestigd door het verloop van de isohypsen van het grondwater en het verloop van de verticale temperatuurgradiënt.

Dit betekent dat geringe reliëfverschillen in het maaiveld, grote invloed kunnen uitoefenen op de waterhuishouding.

3e. In dit infiltratiegebied vertoont het grondwater een relatieve toename aan calcium-bicarbonaat en een relatieve afname van de sterke zuren.

4e. In het algemeen vertonen de veranderingen in concentratie van de verschillende ionen in hetzelfde watervoerende pakket eenzelfde patroon. Alleen sulfaat vormt hierop een uitzondering.

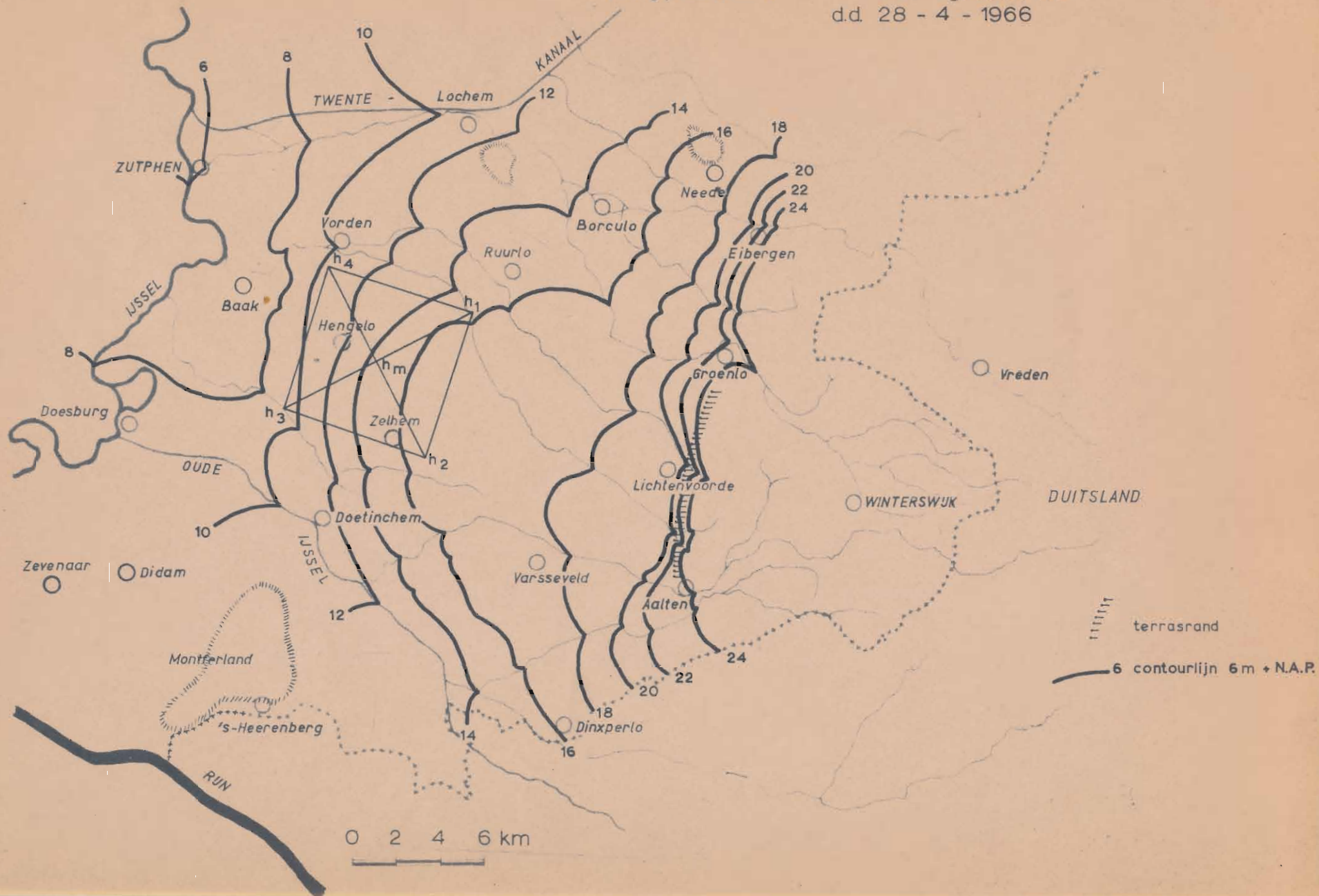
Gezien het feit dat bij een afname van het sulfaatgehalte een toename van het ijzergehalte en een toename van het kaliumpermanganaatverbruik optreedt, lijkt het gerechtvaardigd om anomalieën in het sulfaatgehalte aan reductieverschijnselen toe te schrijven. Deze gedachtengang wordt ondersteund door het feit dat in het algemeen het sulfaatgehalte naar de diepte afneemt.

Literatuurlijst

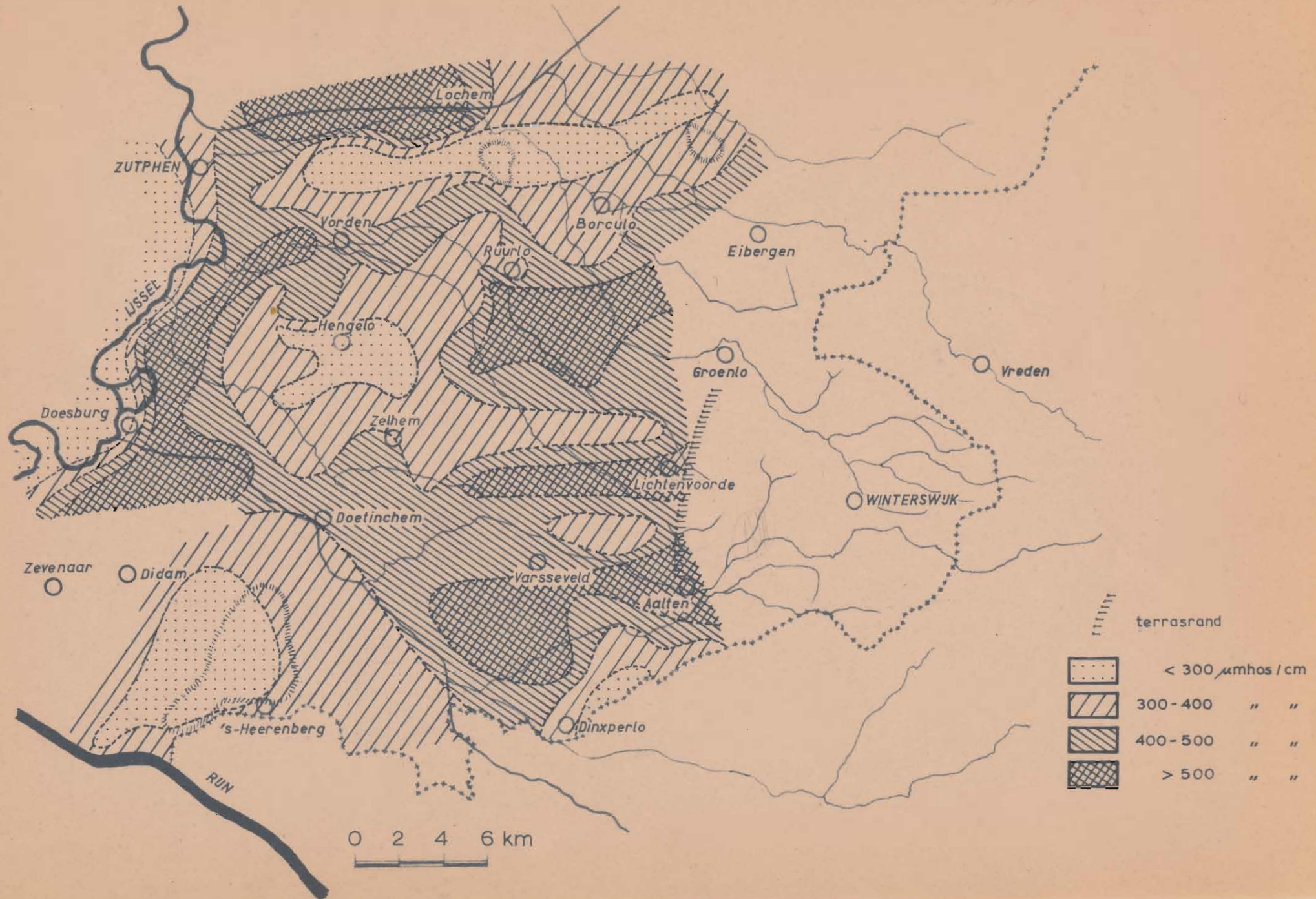
1. GISCHLER, C.E. (1967). A semi qualitative study of the hydrogeology of the North Netherlands, Thesis Leiden.
2. HEM, J.D. (1960). Some chemical relationships among sulfur species and dissolved ferro ionen. Geol. Survey Water-Supply paper 1459-c. Washington.
3. REES VELLINGA, E. VAN en N.A. DE RIDDER (1965). Een vondst van Marien Icenien in de Achterhoek. Geol. en Mijnbouw 44 p. 345
4. _____ (1965). Het gehalte aan ijzer in het diepe grondwater van het Peelgebied en de naaste omgeving. Med. no. 85. I.C.W.-Wageningen.
5. RIDDER, N.A. DE (1966). De geo-hydrologische gesteldheid van de Achterhoek. Nota no. 344 I.C.W.-Wageningen.
6. REUTER, K.N. en J.J. KOUWE (1958). De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland. C.O.L.N.-T.N.O.
7. SCHOELLER, H. (1962). Les Eaux Souterraines. Masson .
8. VRIES, J.J. DE (1967). De geo-hydrologische gesteldheid van de Achterhoek en de consequenties van toenemende grondwaterwinning. Nota nr. 390 I.C.W.-Wageningen.

KAART 1: Overzichtskaart

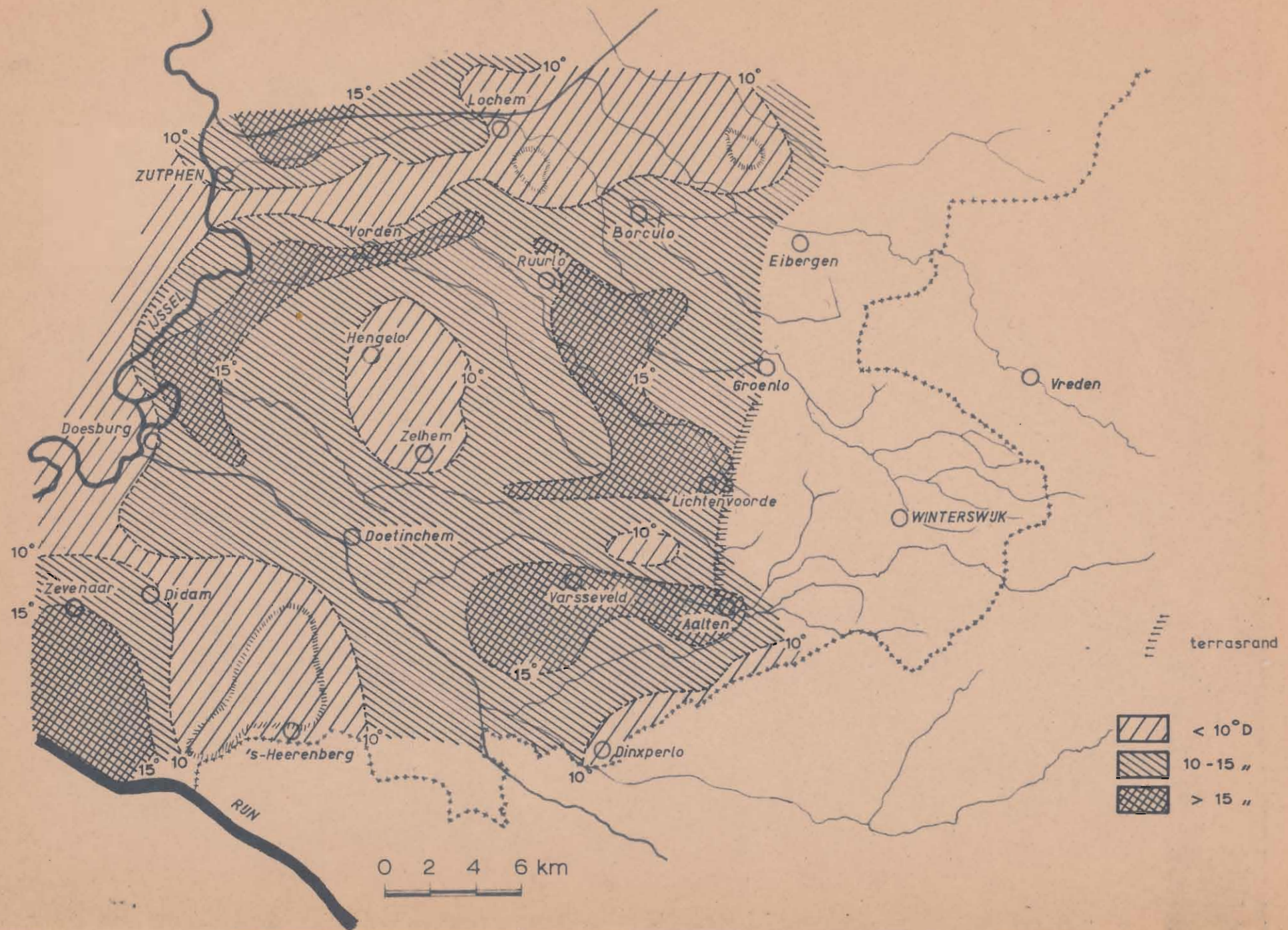
Isohypsenaart van het diepe grondwater
d.d. 28 - 4 - 1966



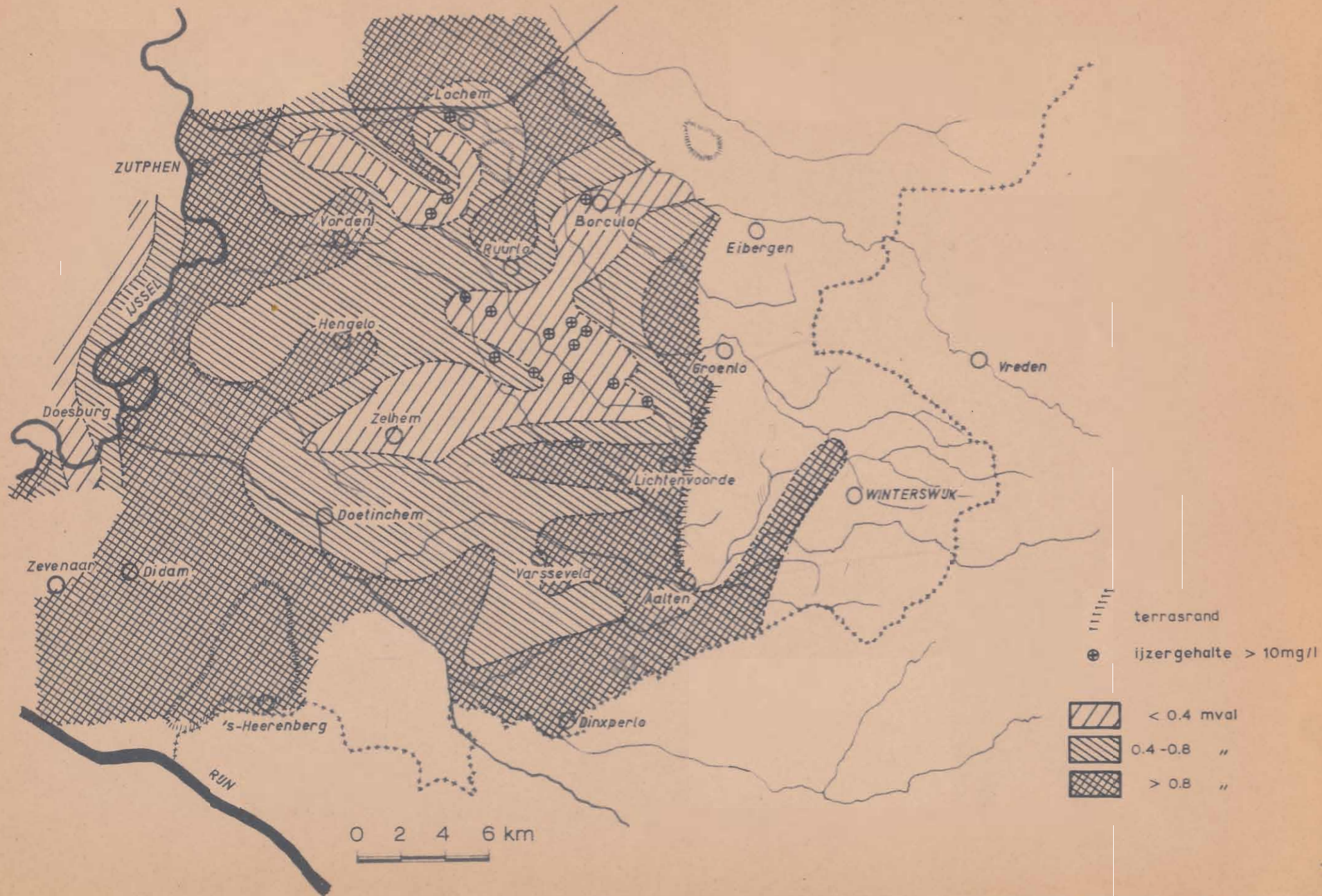
KAART 2: Totaal elektrisch geleidingsvermogen (E.C.)
van het diepe grondwater (>15 m -mv.)
(fluvio-glaciale - en gestuwde preglaciale afzettingen)



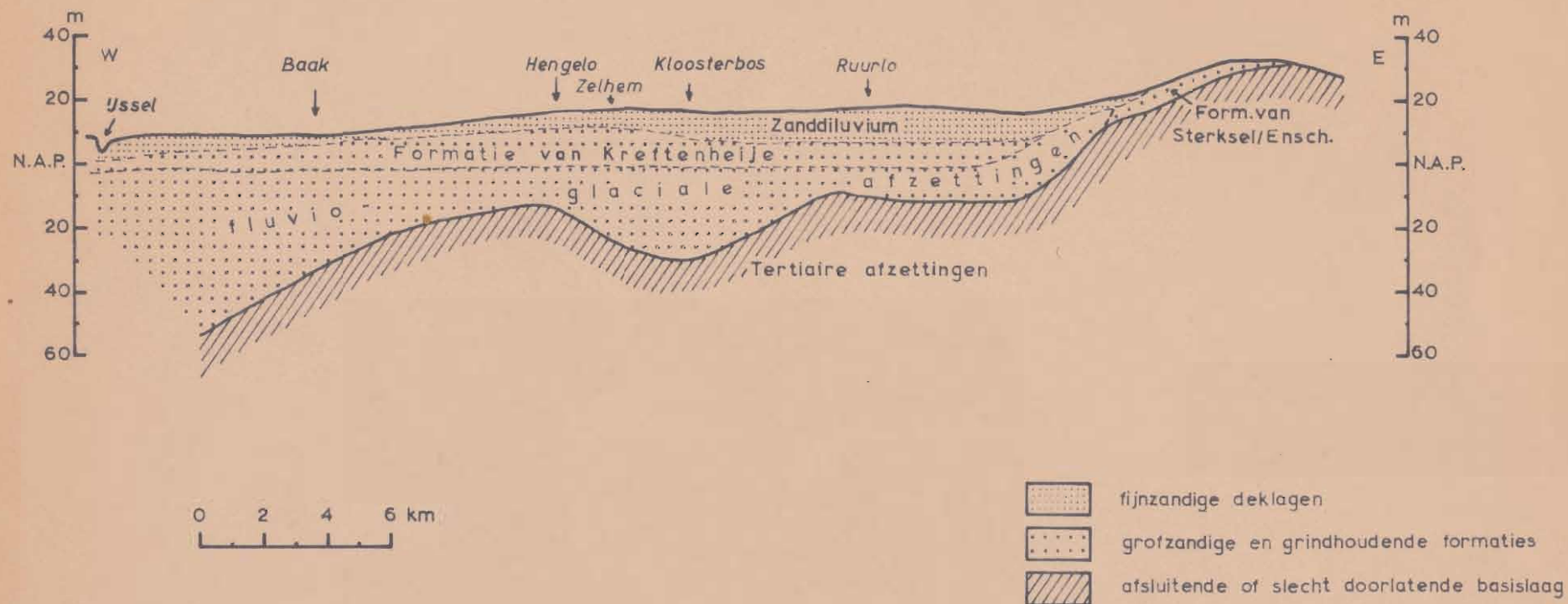
KAART 3: Totale hardheid van het diepe grondwater in de fluvioglaciale - en gestuwde preglaciale afzettingen



KAART 4: Het percentage $\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$ in mval en het ijzergehalte in mg/l van het diepe grondwater (>15m - mv.)



Vereenvoudigd geologisch profiel van de Achterhoek

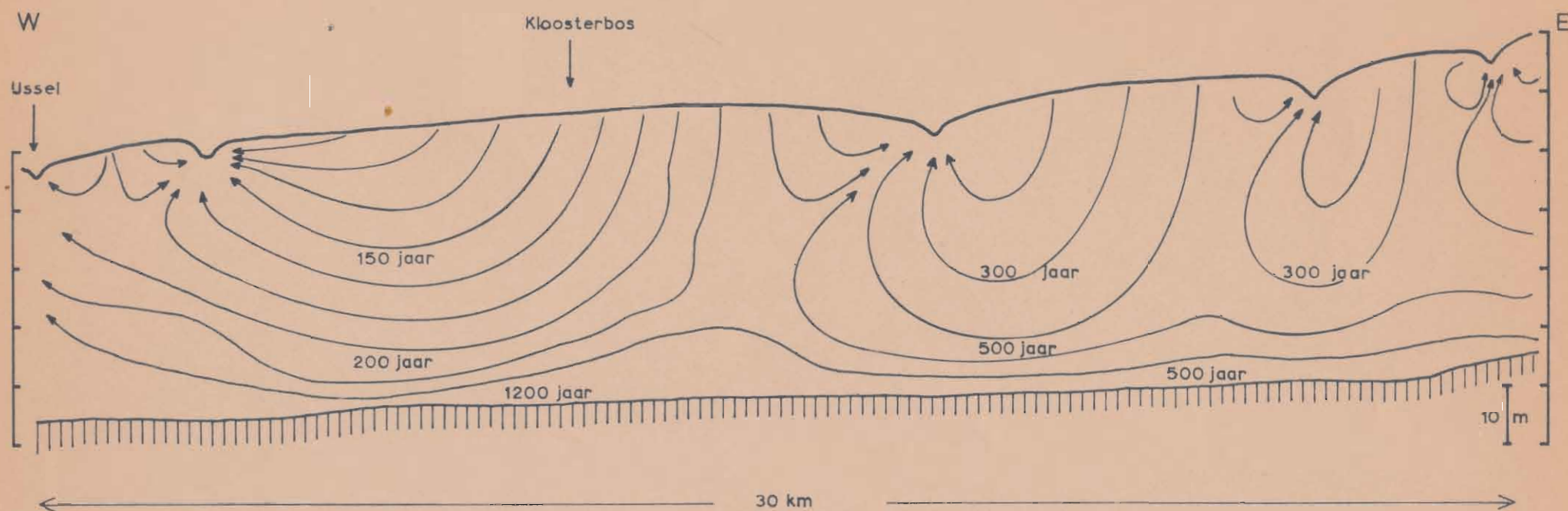


Hypothetisch stroomlijnen-patroon door de Achterhoek

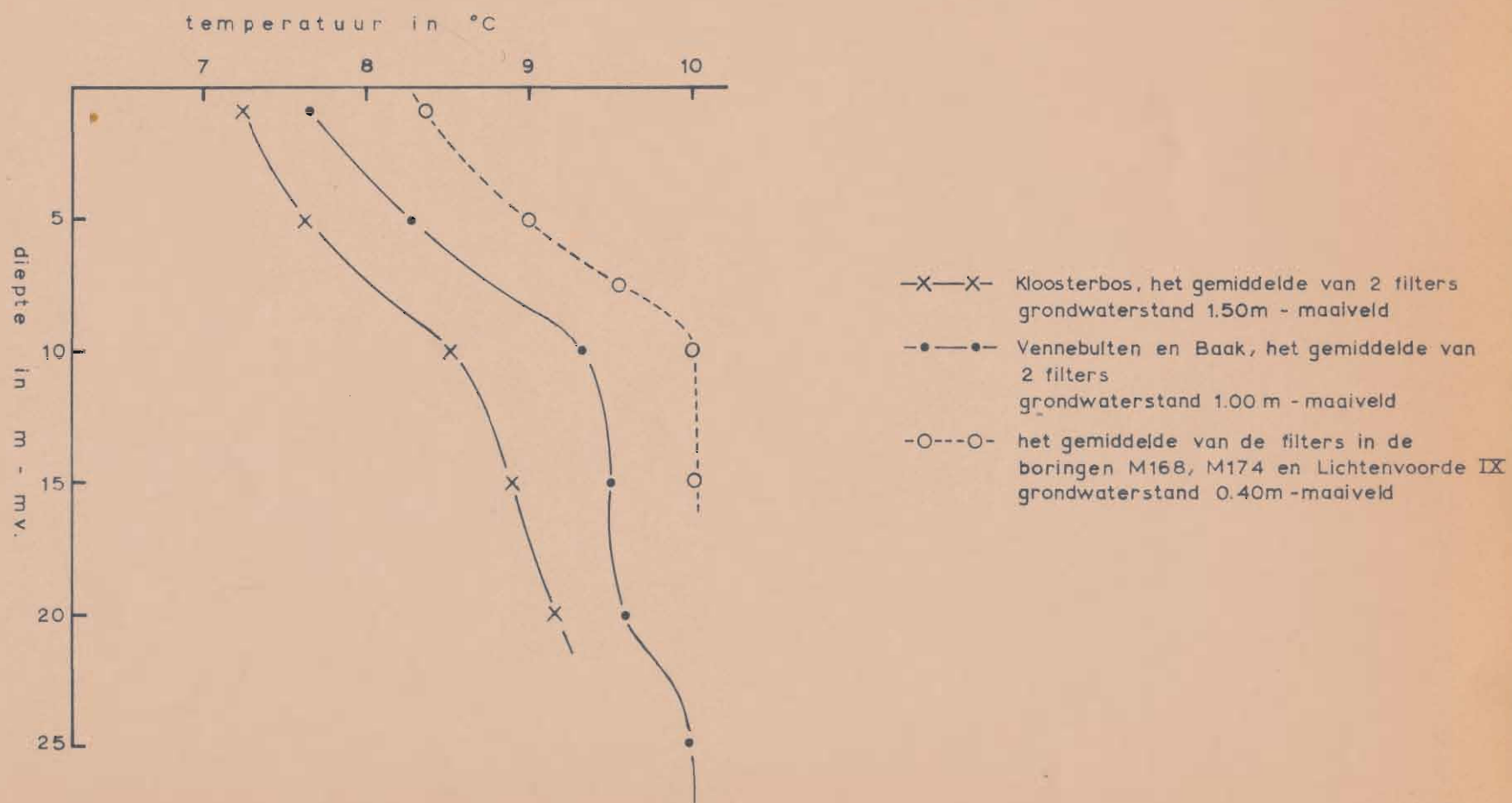
ONDERGRONDSE AFSTROMING NAAR BEKEN:

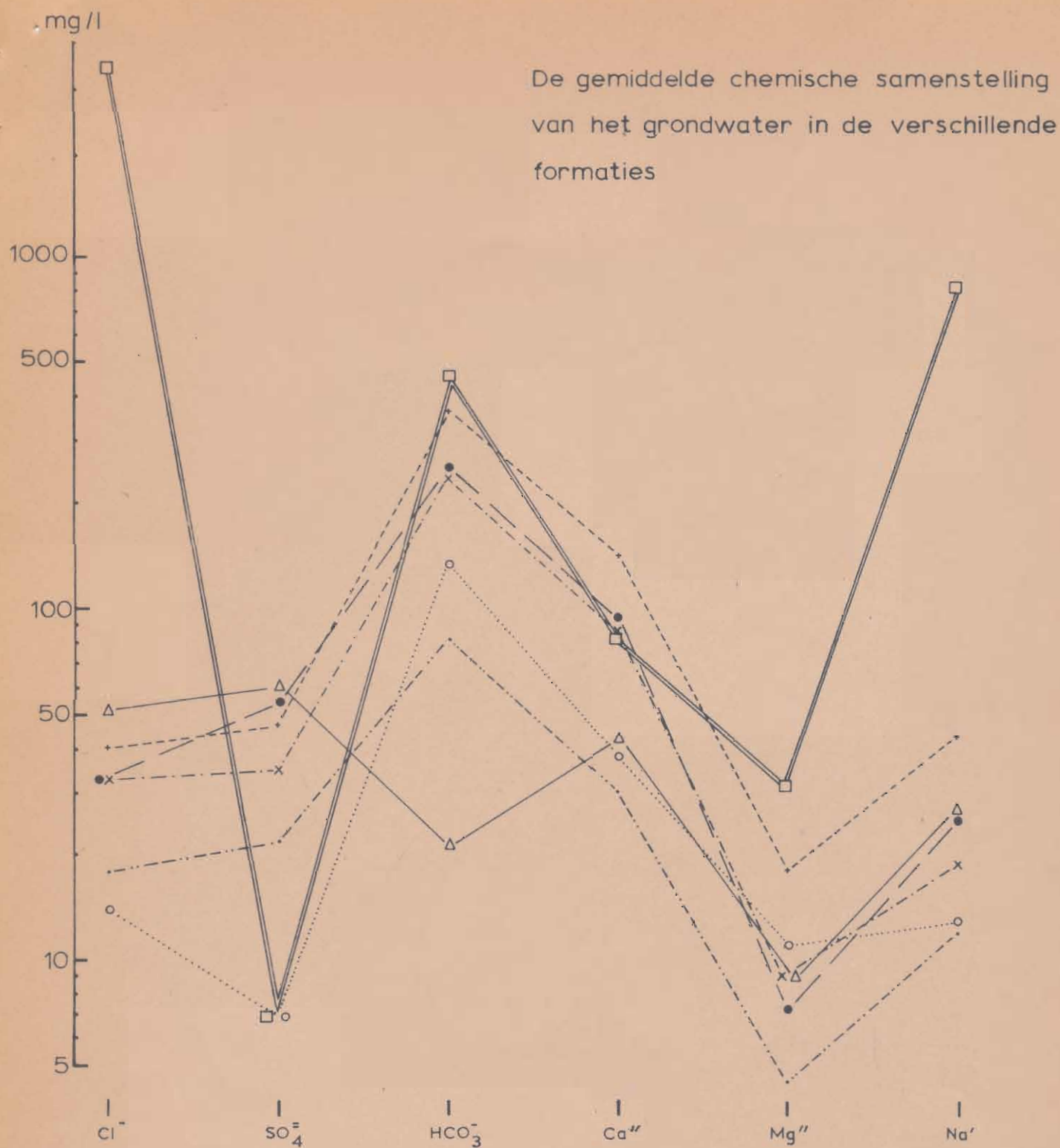
ca. 200 mm / jaar

ca. 80 mm / jaar



Verticale temperatuurgradiënten in het grondwater van enige boringen in de Gelderse Achterhoek d.d.18 april 1967

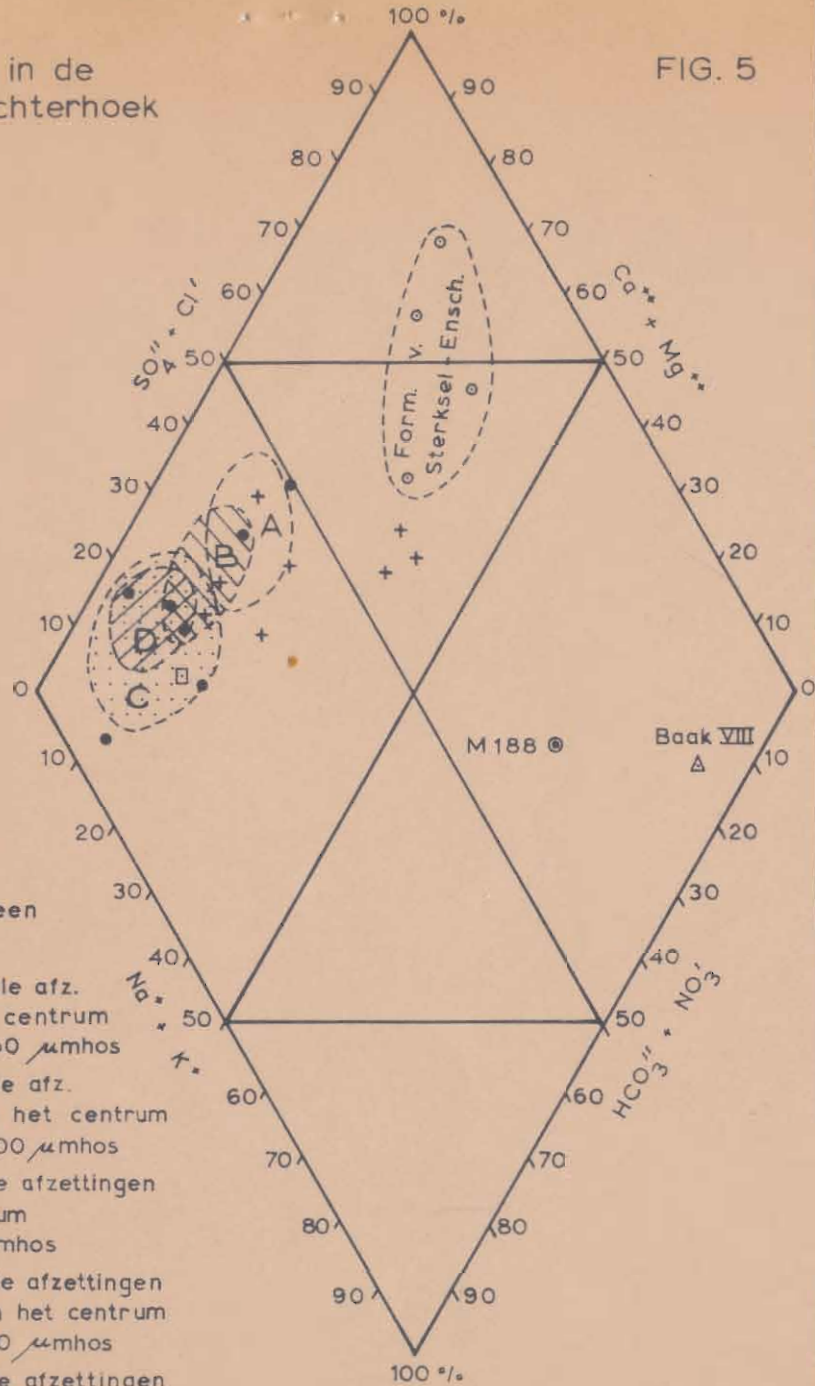




- Marien Mioceen (Tertiair plateau), 1 monster
- Δ Formatie van Sterksel/Enschede (terrasrand), 7 monsters
- stuwheuveld (Montferland, Lochemerberg), 8 monsters
- x fluvio-glaciale afzettingen, 58 monsters
- o " " " (westelijk van de IJssel), 3 monsters
- Formatie van Kreftenheije, (< 15 m - my.), 8 monsters
- Boring Baak VIII

Watertypen in de Gelderse Achterhoek

FIG. 5



aantal monsters:

- 1 □ Marien Mioceen
- 8 + stuwheuveld
- 15 A fluvio-glaciale afz. oostelijk v.h. centrum E.C. 500-650 μmhos
- 19 B fluvio-glaciale afz. oostelijk van het centrum E.C. 350-500 μmhos
- 11 C fluvio-glaciale afzettingen in het centrum E.C. <350 μmhos
- 8 D fluvio-glaciale afzettingen westelijk van het centrum E.C. 350-500 μmhos
- 7 ● fluvio-glaciale afzettingen westelijk van het centrum E.C. 500-650 μmhos

Het verband tussen het ijzergehalte en het sulfaatgehalte van het diepe grondwater (> 5m -mv.) in de Gelderse Achterhoek (196 monsters)

frequentie in %

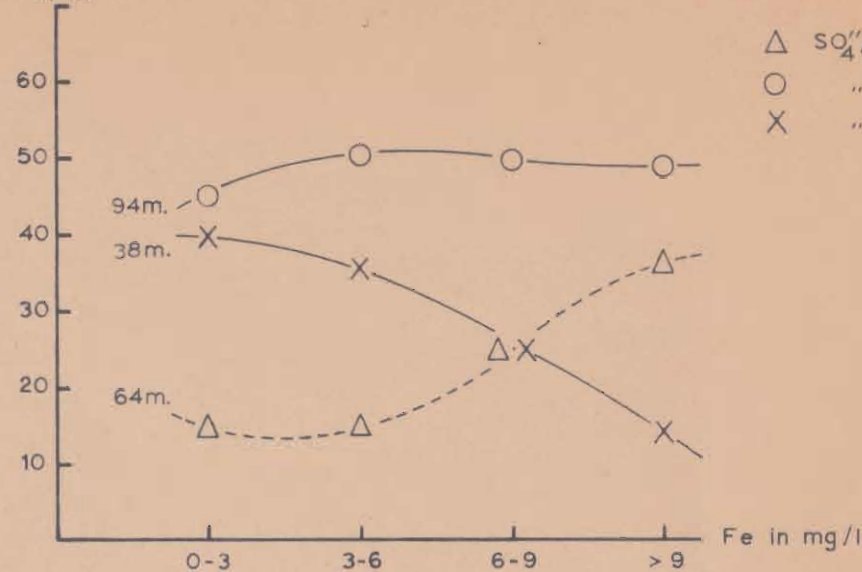


FIG. 6

Het verband tussen de diepte en het gehalte aan sulfaat van het grondwater in de Gelderse Achterhoek (238 monsters)

frequentie in %

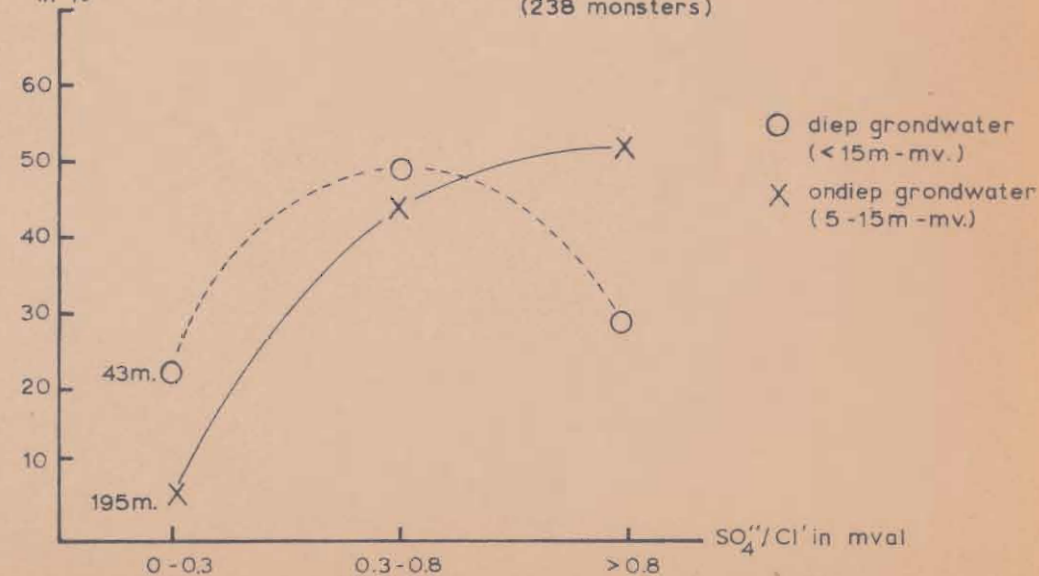
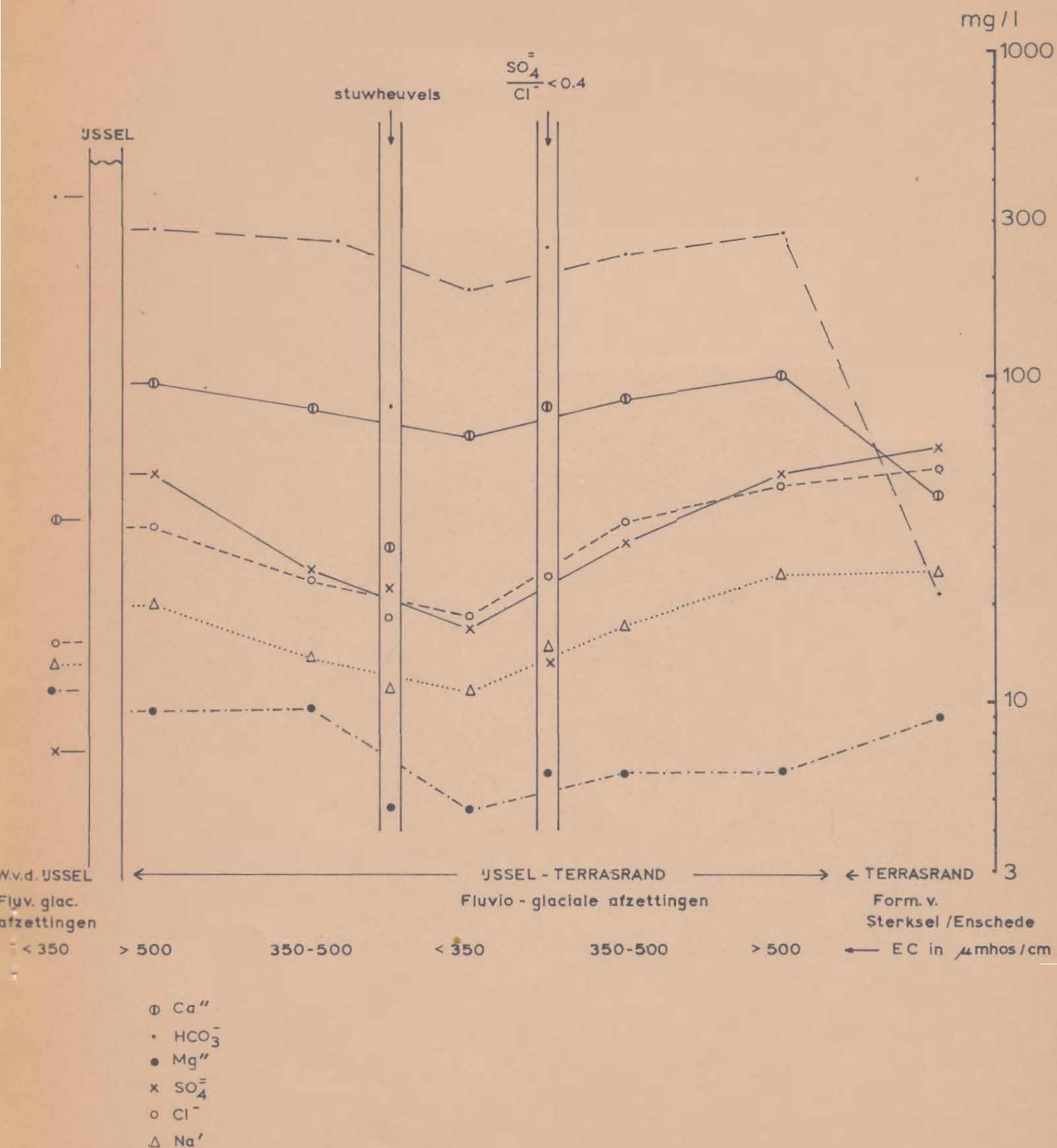
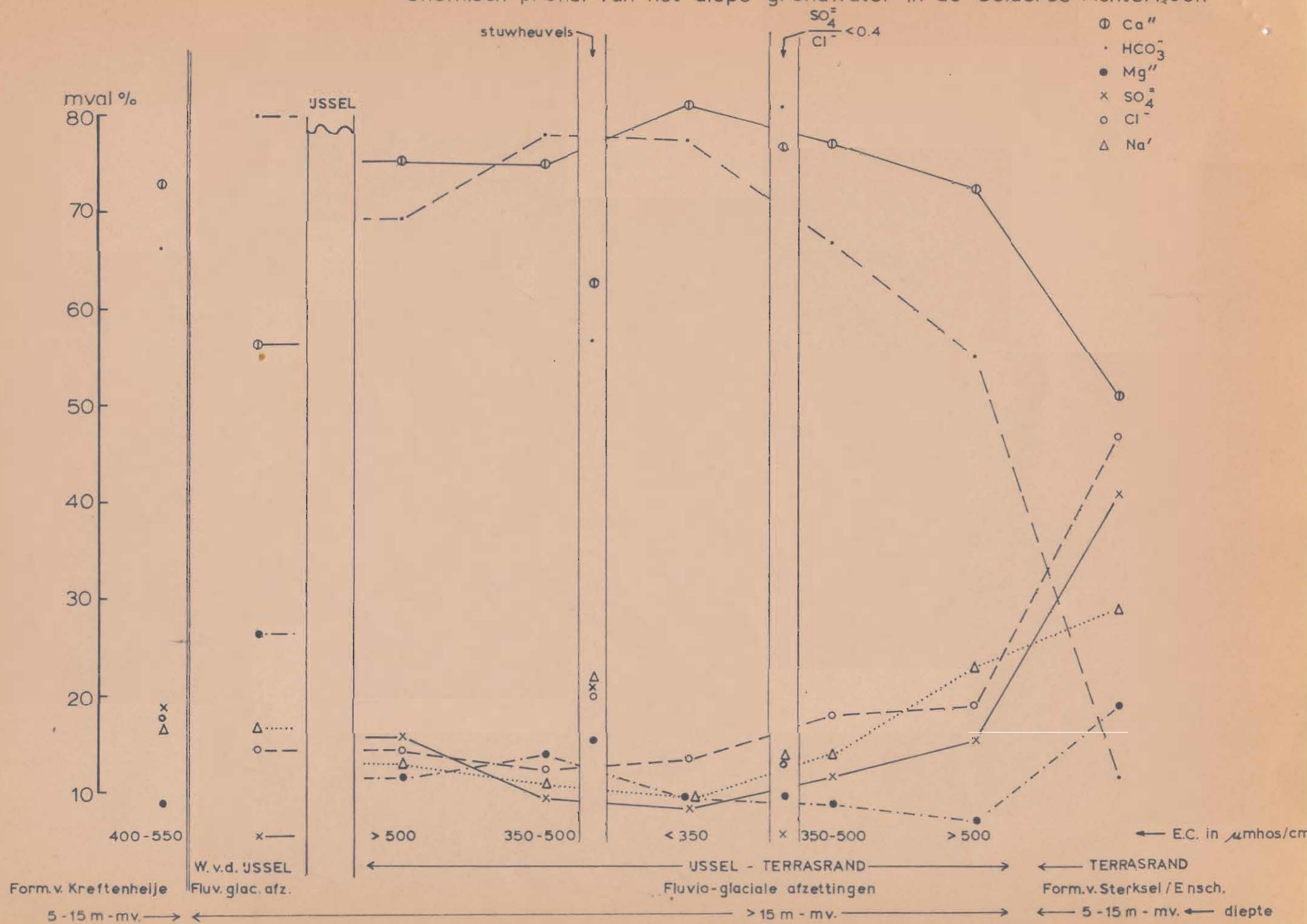


FIG. 7

Chemisch profiel van het diepe grondwater
in de Gelderse Achterhoek

Chemisch profiel van het diepe grondwater in de Gelderse Achterhoek



Wateranalysen uit verschillende gebieden en geologische formaties

Fluvio-glaciale afzettingen oostelijk van het centrum

Tabel 1

Boring	mg / l						E.C. mm/cm
	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	
M 192	75	57.5	245	106	6.6	33	589
M 72	42	88.6	250	108	7.2	27	548
Ruuro VI	25	18	261	98	2.5	16	512
Ruuro V	26	14	311	107	4.8	9	513
Lichtenornde XI	25	70	290	103	4.2	32	518
Meinelfabr. Lichtenornde	55	88	244	121	11	20	692
M 174	60	46.6	238	94	9.9	25	511
M 157	52	62.6	256	99	7.2	34	532
M 158	56	43.3	196	90	2.6	23	513 +)
Ruuro XI	41	58	227	95	4.7	22	535
Ruuro VII	32	21	280	96	5	22	493
M 139	77	31.3	248	104	10.2	20	558
Haltin III	58	70	202	102	1.8	39	542
M 155	47	44.7	275	102	6	27	520
M 154	48	53.8	265	102	7.2	28	523 +)
M 156	50	44.7	217	88.4	5.8	25	466
M 201	36	46.6	205	80.8	5.1	21	438
M 165	40	45.3	250	97	6.6	18	476
M 166	32	28.4	239	84.4	4.2	21	409 +)
M 167	40	45.7	241	91.5	8.4	18	460
M 152	35	30.3	248	86.8	7.4	17	447
M 199	38	34.4	264	70.4	19.6	22	453
M 153	38	45.5	232	89	5.4	23	409 +)
M 150	39	62.6	183	77	7.8	23	430 +)
Lichtenornde IX	13	2	351	90	3.8	31	438
Lichtenornde III	12	1	289	89			443
Lichtenornde X	18	1	302	82			417
M 73	43	47.4	232	94.4	5.3	20.7	463 +)
M 140	28	17.5	262	87.4	4.1	17	423
M 139	29	10.7	250	182	5.3	14	428 +)
Hongelo V	49	31	175	78		15	437
M 194	25	31.1	245	81.8	7.1	16	404
M 193	25	10.7	234	75	5.9	11	379
M 68	39	17.3	284	92	9.6	18	475

+) deze boringen hebben ook een filter in de
Formatie van Krefen Leije

Fluvio-glaciale afzettingen in het centrum

Vorden I	15	17	153	56	4.1	5	294
M 187	30	31.7	165	61	3.9	20	320
M 182	21	14	221	70	3.6	14	340
Kloosterbos I	11	9	190	50	2.8	8	279
Kloosterbos IV	18	25	171	54	2.3	8	290
M 175	24	7.2	202	62.4	7.6	9	325
M 176	13	0	185	55.5	4.2	7	277
Vennebulten W 2	10	11	216	56	7.1	15	321
M 181	23	22	199	64	5.4	16	331
Steenderen V	12	5	224	67	6	8	305

Fluvio-glaciale afzettingen westelijk van het centrum

Boring	mg / l						E.C. mm/cm
	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	
M 195	24	2.1	324	91.6	12.2	10	460
M 183	31	30.1	241	58	18.6	23.5	405
M 177	23	35.2	221	78.8	7.8	10	404
M 198	24	38	282	100.4	8.4	9	473
M 180	25	25.3	254	76.4	7.9	21	409
Stenderum IV	20	18	254	84	7.4	9	362
Stenderum VI	18	13	240	76	6	8	416
M 168	26	14.6	232	71.4	6.4	17	358
M 198	24	38	282	100.4	8.4	9	473
M 184	47	97	204	97.5	6.3	30	525
M 186	11	6.2	378	95.6	11.3	21	580
53 G/49	37.7	40	351	119.4	9.4	22.1	558
53 G/47	36.2	54	328	96.6	13.2	38.5	602
33 G/83	27.3	61	360	110	12	33	556
Formatie van Kruftenhijl							
M 68	57	23.1	284	90	6.0	37.5	532
M 73	43	78.4	262	108	6.7	27.7	546
M 150	39	62.8	177	80	6.0	21	422
M 153	38	45.4	232	89	5.4	23	462
M 154	48	53.8	265	102	7.2	28	523
M 158	49	57.1	249	98	7.2	27	513
M 166	53	68.6	239	97	7.8	31	515
M 139	77	31.3	248	103.8	10.2	20	558
Formatie van Sterksel - Eersel							
34 G/58 ^I	58	28.8	12				314
34 G/58 ^{II}	53	63.7	6				236
34 G/75	12		27				
M 64	36	16.5	43	22	3.6	16.1	208
M 65	72	69.6	55	62	8.4	25.3	493
M 142	86	131	12	58	14.8	52	592
M 149	45	59.3	3	29	9.2	13	313
Gestuwde preglaciale afzettingen							
Lochemerberg:							
34 C/9 ^{II}	12	11.5	91	28.9	3.7	7.7	175
34 C/9 ^{III}	21	8.2	73	22.6	3.5	14.6	289
34 C/9 ^{IV}	16	57.6	119	47.2	8.9	13.1	163
34 C/9 ^V	18	26.7	6.1	16.6	5	17	156
34 C/4 ^{II}	22	23.5	119	31.5	5.2	13	117
34 C/11	20	18.1	91	38	4.6	10.6	224
Montferland:							
P.M. 6	14	15	28	11	1.9	11	120
40 H/29	18	18.5	67	30	1.8	10.6	191

Fluvio-glaciale afzettingen westelijk van de Yssel

Boring	mg / l						E.C. mm/cm
	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	
33 G/7	13	8.2	159	43.4	26	12.3	225
33 G/29	15.5	5	122	33	2.6	13	185
33 G/40	13.6	8	128	37	3	3	192
<u>Marium Mioceen (op het Tertiair plateau)</u>							
34 G/57 ^{II}	41	47	488	140	18.4	43.7	669
<u>Fossiel zeewater (?)</u>							
M188	306	2.7	354	68	13.2	230	1272
Boek VIII	1244	2	439	83	36	820	3650