Hydrologische Systeemanalyse in Centraal Zuid-Holland

J.C. de Ruiter
Prov. Waterstaat van Zuid-Holland
Vrije Universiteit, Amsterdam

blz

INHOUD 1

Samenvatting 3
Summary 4

1.Inleiding 5
1.1.Doel van het onderzoek 5
1.2.Regionale hydrologische systeemanalyse 5
1.3.Keuze van het onderzoeksgebied 6

2.Historische ontwikkeling van het onderzoeksgebied 6
2.1.De periode rond 4100 v.Chr. 6
2.2.De periode rond 3000 v.Chr. 7
2.3.De periode rond 2100 v.Chr. 7
2.4.De Romeinse Tijd 7
2.5.De tijd na de Middeleeuwen 7
2.6.Het zeeniveau in de besproken periodes 7

3.Hydrochemie 8

4.Andere hydrologische informatie 10
4.1.Peilverschillen 10
4.1.1.Natuurlijke stroomsystemen 10
4.1.2.Stroomsystemen onder invloed van de mens 11
4.1.3.Huidige situatie van een combinatie van natuurlijke en menselijke invloeden op de stroomsystemen 12
4.2.Chloride-maxima 13
4.3.Chloride-inversies 14

5.Bespreking van de sub-regionale stroomsystemen 16
5.1.Het Haagse-Duin Systeem 16
5.2.Het Noordwijkse-Duin Systeem 19
5.3.Het Oude-Rijn Systeem 21
5.4.Het Braassemer-Westeinder Systeem 24
5.5.Het Amsterdamse Systeem 28
5.6.Het Hollandsche-IJssel Systeem 28
5.7.Het Zoetermeer Systeem 29
5.8.Het Katwijk Systeem 31

6.Gebruiksmogelijkheden van de kaarten 32

7.Conclusies 33

8.Dankwoord 35

Literatuur 36
Lijst van Kaarten 39

Bijlagen

Figuur 1 Paleogeografisch blokdiagram
Figuur 2 Globale opkegeling door ontzanding

A.1-9 Vertikale doorsneden met grondwatersoorten, -stroomsystemen en -stroomlijnen (profielen)
B.1-8 Horizontale doorsneden met grondwatersoorten, -stroomsystemen en -stroomlijnen
C. Legenda van de vertikale en de horizontale doorsneden
D. Transparant met monsterpunten en ligging van de vertikale doorsneden
E. Transparant met potentiële stromingsrichtingen van het ondiepe grondwater op basis van polderpeilen
F. Transparant met topografie
G. Kaart met maximum chloridegehaltes van polderwateren, meren en boezemwater en met de potentiële stromingsrichtingen van het ondiepe grondwater
H. Kaart met geschematiseerde (winter)polderpeilen en met de potentiële stromingsrichtingen van het ondiepe grondwater
I. Lijst met monstergegevens

Samenvatting

De centrale vraag in dit onderzoek kan als volgt geformuleerd worden: Kan een integrale studie van kwantiteit en kwaliteit van oppervlakte- en grondwateren door middel van de regionale hydrologische systeemanalyse een voldoende basis vormen voor de optimalisatie van het provinciale grondwaterpeil-meetnet.

Het onderzoeksgebied ligt tussen twee belangrijke zoetwater-stroomgebieden; het westelijke onstaat in de kustduinen; het oostelijke krijgt zijn aanvoer uit de stuwwallen en van het aangrenzende fluviatiele gebied van de Rijn. Er tussen ligt een laag, oorspronkelijk aan getijden onderhevig gebied, dat later met veen bedekt werd. Vervening en inpoldering in het lage gebied en de vorming van de hogere Jonge Duinen heeft sinds de Middeleeuwen de natuurlijke hydrologische systemen veranderd en nieuwe oppervlakte- en grondwaterstroomsystemen tot gevolg gehad. Het resultaat is een complex patroon van verzoeting en verzilting van oppervlakte- en grondwater.

De hydrochemie is gebruikt om verschillende watertypes te onderscheiden, waarbij kationenuitwisseling extra informatie geeft over processen van verzoeting en verzilting door grondwater. De mate en de richting van de uitwisseling kan bepaald worden door middel van een empirische vergelijking, die het verband geeft tussen de som van Na^+, K^+ en Mg^{2+} en het conservatieve Cl^- voor zoet, brak en zout water. De ruimtelijke verdeling van de verschillende watertypes en hun mate van uitwisseling geeft aan welke processen waar hebben plaats gehad, maar (zonder andere informatie) niet wanneer.
Peilverschillen vroeger en nu geven extra informatie over de ruimtelijke verdeling van de processen in de tijd.

In hoeverre deze regionale hydrologische systeemanalyse voldoet als basis voor de optimalisatie van het grondwaterpeil- meetnet zal moeten blijken. Er zal tijdens de optimalisatie een intensieve samenwerking zijn, zodat eventuele aanpassingen voor het overige deel van Zuid-Holland mogelijk zullen zijn.

Summary

The underlying question for this study can be formulated as follows: Can an integrated study of quantity and quality of surface- and groundwaters by means of the method of regional hydrological systems analysis be used as a support of the optimalization of the provincial groundwater survey network.

The studied area is situated between two major flowsystems of fresh water; the western system originates in the coastal dunes; the eastern system gets its recharge from the ice pushed sandy ridges of the province of Utrecht and from the adjacent fluviatile area of the river Rhine. In between lies a low lying - originally tidal - area, which was later filled by peat deposits. Reclamation of the low lying intermediate zone and the formation of higher coastal dunes since the Middle Ages modified the natural hydrological systems and additional surface- and groundwater flow systems have been created.
As a result of the changes of the existing and addition of new flow systems, complex patterns of freshening or salinizing surface- and groundwater arose.

Hydrochemistry was used to differentiate watertypes and extra information was obtained by the amount of cation exchange. The amount of cation exchange gives information of the processes of freshening or salinizing groundwater. It can be evaluated by means of an empirically known equation relating the sum of Na+K+Mg to conservative Cl in meq/l for fresh, brackish and salt water. The spatial distribution forms an indication of which processes take place and where, but not (without further information) when.
Waterlevel differences now and in former times give further information on spatial distribution of the processes in relation with time.

Whether this study will fulfill its purpose as a support of the optimalization of the groundwater survey network, will become evident during the optimalization itself. From communication during that work possible modifications may follow for the other parts of South-Holland

1.Inleiding

Deze studie is door samenwerking van de Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland en het Instituut voor Aardwetenschappen van de Vrije Universiteit te Amsterdam, onder supervisie van Prof.Dr G.B.Engelen tot stand gekomen.

1.1.Doel van het onderzoek

De Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland is begonnen met optimalisatie van het meetnet van de stijghoogtes van het grondwater. Als basis voor de optimalisatie is een goede kennis van de huidige grondwatersituatie nodig. Die kennis moet tevens gebruikt kunnen worden voor de interpretatie van de meetgegevens na de optimalisatie en voor het voorspellen van gevolgen van veranderingen van polderpeilen, ontzandingen, onttrekkingen of infiltraties. Er moet bovendien rekening gehouden worden met de kwaliteit van het grondwater al wordt het grondwaterkwaliteits-meetnet pas later geöptimaliseerd. Er zijn misschien mogelijkheden om een aantal peilbuizen voor zowel stijghoogte- als kwaliteitsmetingen te gebruiken.

Deze studie is een onderzoek naar de mogelijkheid om regionale hydrologische systeemanalyse (Engelen, 1985) als basis voor de optimalisatie te gebruiken. Ook in de provincies Drenthe, Gelderland, Friesland, Noord-Brabant en Overijssel wordt met deze systeemanalyse gewerkt. De grondwatersituatie in Zuid-Holland is door de zoet/zout problematiek en de peilbeheersing (polders) wezenlijk anders dan in de hogere delen van Nederland.

1.2.Regionale hydrologische systeemanalyse

De regionale hydrologische systeemanalyse is gebaseerd op een theorie van Toth (Toth, 1963). Toth ging uit van een hellend, golvend landschap, waarin het freatisch vlak in grote lijnen het topografisch oppervlak volgt. Het watervoerende pakket is isotroop en wordt aan de onderzijde begrensd door een ondoorlatende laag. De grondwatersystemen die hierin ontstaan liggen als een nest schalen in elkaar. De op een na kleinste "schaal" stelt een sub-regionaal hydrologisch systeem voor, waarin een aantal lokale systemen naast elkaar kunnen voorkomen, terwijl de grootste "schaal" een (supra-)regionaal hydrologisch systeem voorstelt.

Deze theorie is o.a. verder ontwikkeld en toegepast in Z.O. Gelderland (Engelen, 1984), in de Gelderse Vallei (Vasak, 1979), in de Betuwe (Verkooyen, 1981), en in Z.W. Drenthe (Oude Munnik, 1985, 1986). Soortgelijke onderzoeken vinden plaats in Salland (DGV-TNO) en in de Grote Slenk in Noord-Brabant (DGV-TNO). Bij de toepassing van regionale hydrologische systeemanalyse wordt veel verschillende informatie systematisch geanalyseerd, waarna de grenzen van de verschillende hydrologische systemen bepaald kunnen worden.

Een hydrologisch systeem combineert de natuurlijke en de kunstmatige aspecten van de kwantiteit en de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater in een tijd-variabel, driedimensionaal stroomsysteem. De scheiding tussen stroomsystemen van gelijke orde ligt in kwelgebieden, waar het kwellende water aan weerszijde van de scheiding uit de aan elkaar grenzende stroomsystemen afkomstig is. Op grond van chemische analyses is in het algemeen kwalitatief onderscheid te maken tussen de verschillende hydrologische systemen. In deze studie van Centraal West-Nederland vormen de chemische analyses daarom de basisinformatie, waarna met behulp van andere informatie het ontstane patroon aangevuld en zoveel mogelijk verklaard wordt.

1.3.Keuze van het onderzoeksgebied

Het poldergebied ten noorden en ten zuiden van de Oude Rijn vormt samen met de in het westen aangrenzende duinstreek een gebied met grote verschillen in zowel de beheerste als de min of meer natuurlijke grondwaterpeilen. Dit gebied is als voorbeeld gekozen om het verband tussen de grondwaterpeilen en de grondwaterstroomsystemen van verschillende orde goed te kunnen bestuderen.

2.Historische ontwikkeling van het onderzoeksgebied (figuur 1)

Tijdens het Holoceen heeft het onderzochte gebied afwisselend onder invloed gestaan van zout/ brak water en van zoet water (Zagwijn, 1985).

2.1.De periode rond 4100 v.Chr.

In die periode ontstond achter een complex van strandwallen en duinen een milieu van wadden en lagunes. Zout en brak water is in en na die periode door diffusie en door de grotere dichtheid van het brakke water diep in de ondergrond doorgedrongen. Het is waarschijnlijk dat het zoutgehalte landinwaarts door menging met zoet water afnam. Tevens is het waarschijnlijk dat tijdens het verlandingsproces het zoutgehalte afnam. Aan het eind van de waddenzeeperiode nam het zoutgehalte daarom waarschijnlijk in grote lijnen af van west naar oost en van diep naar ondiep.

2.2.De periode rond 3000 v.Chr.

In die periode had het zoute en brakke water in dit gebied minder invloed. Er ontstonden strandwallen oostelijk van de reeds bestaande strandwal. De Rijn verlegde zijn loop ongeveer naar de loop van de huidige Oude Rijn. Vanuit de monding van de (Oude) Rijn en vanuit zeegaten bij IJmuiden en Hoek van Holland was er nog invloed van brak water. Door de verzoeting kon zich laagveen gaan vormen. Doordat brak water een grotere dichtheid heeft dan zoet water, dreef het zoete water op het brakke. De vrij kleine hoogteverschillen tussen de smalle strandwallen, oeverwallen en laagveen hebben in deze periode waarschijnlijk geen diepe verzoeting kunnen veroorzaken.

2.3.De periode rond 2100 v.Chr.

In die periode werd de verzoeting van het milieu groter. Vanuit de monding van de (Oude) Rijn en vanuit IJmuiden en Hoek van Holland had het brakke water nog wel een kleine invloed o.a. door overstromingen van de lage delen tussen de strandwallen, waar wadklei werd afgezet.

2.4.De Romeinse Tijd

In die periode waren grote delen van het onderzochte gebied tussen de rivierarmen met hoogveenkussens bedekt. Afhankelijk van de hoogte van die hoogveenkussens t.o.v. het zeeniveau bestaat de mogelijkheid dat zich een zoetwaterlens onder die hoge venen heeft kunnen ontwikkelen. Dergelijke zoetwaterlenzen zouden in die periode, als de doorlatendheid van het hoogveen het toeliet, plaatselijk voor een diepere verzoeting gezorgd kunnen hebben. Een onderzoek naar deze mogelijkheid zou interessant kunnen zijn.

2.5.De tijd na de Middeleeuwen

De duinen zijn na de Romeinse Tijd hoger en breder geworden, waardoor er een diepere zoetwaterlens kon ontstaan (Stuyfzand 1985). Door de ontveningen en inpolderingen sinds die tijd zijn de peilverschillen in het gebied nog groter geworden.
De Rijn wordt na ongeveer 1100 na Chr. 'Oude' Rijn genoemd omdat toen het meeste water door de Lek ging stromen.

2.6.Het zeeniveau in de besproken periodes

Het gemiddelde zeeniveau in de besproken periodes lag omstreeks 4100, 3000, 2100 v.Chr.en in de Romeinse Tijd resp. ongeveer 5 m, 3 m, 2,25 m en 0,50 m onder het huidige NAP.

3.Hydrochemie

Als basis voor het onderzoek is de hydrochemie gebruikt. Er komen in het gebied grote verschillen in grondwatersamenstelling voor, zodat het voor de hand ligt om daarvan gebruik te maken.
De hier gebruikte, aan deze studie aangepaste indeling in grondwatersoorten berust op een door Stuyfzand ontwikkelde methode (Stuyfzand, 1985a en 1986). De methode is gebaseerd op de volgende drie aspecten van grondwater.

- Het onderscheid tussen zoet (F), brak (B) en zout (S) water, gebaseerd op chloride gehaltes van:
  $F < 300$ mg/l
  $300 \leq B < 10\ 000$ mg/l
  $S \geq 10\ 000$ mg/l

- Het procentuele aandeel in meq/l van de kationen Na+K, Ca en Mg en de anionen Cl, HCO3 en SO4/NO3.

- De mate van kationenuitwisseling tussen het grondwater en het adsorptiecomplex, volgens de hieronder beschreven methode. Indien de berekende kationenuitwisseling wijst op een verzoetings-proces, dan wordt aan het type een + toegevoegd en indien er sprake is van een verziltings-proces, dan wordt een - toegevoegd.
  Voorkomende types zijn o.a. F-CaHCO3, B-NaHCO3+, B-NaCl+, B-NaCl-, S-NaCl-.

Stuyfzand heeft voor zowel zoet, brak als zout oppervlaktewater een vergelijking opgesteld, die het verband weergeeft tussen Cl enerzijds en Na + K + Mg anderzijds. Deze vergelijking geldt als geen verontreiniging heeft plaats gevonden of oplossing van Na, K of Mg heeft plaats gehad. Zodra oppervlaktewater in de bodem komt, kan in het adsorptiecomplex uitwisseling plaats vinden tussen Ca ionen en Na, K en Mg ionen. Het adsorptiecomplex van zoetwaterbodems bevat relatief meer Ca dan Na, K en Mg. Indien zout water met relatief weinig Ca en veel Na, K en Mg door zo'n bodem stroomt, vindt uitwisseling plaats, terwijl het chloridegehalte gelijk blijft. Het zoute water zal meer Ca en minder Na, K en Mg gaan bevatten ten opzichte van het gelijkgebleven Cl. Het omgekeerde vindt plaats bij zoutwaterbodems waar zoet water doorheen stroomt. De uitwisseling ten opzichte van Cl kan met behulp van de vergelijking bepaald worden en geeft dan een aanwijzing voor verzilting (zouter water door een zoetere bodem) of verzoeting (zoeter water door een zoutere bodem).
In het onderzoeksgebied heeft geen oplossing van Na, K of Mg plaats gevonden (Stuyfzand, 1985a), maar wel verontreiniging door rivierwater. Er is in het onderzoeksgebied sprake van een maximale menging met (verontreinigd) Lekwater van 50% voor de Oude Rijn (Stuyfzand, 1985a). Voor het onderzoek op deze schaal bleek het niet nodig te zijn de aangepaste vergelijking die voor Lekwater geldt te gebruiken.

De gebruikte vergelijking is:
(Na + K + Mg) berekend = 1.061 (Cl) gemeten (meq/l).

De kationenuitwisseling (EXCH) wordt bepaald door het verschil tussen de gemeten en de berekende waarden:

EXCH = (Na + K + Mg) gemeten - (Na + K + Mg) berekend (meq/l)

Op basis van chloridegehalte en EXCH is door Stuyfzand onderscheid gemaakt tussen verzoetend en verziltend grondwater. In deze studie is een indeling in de volgende vier grondwatersoorten gebruikt:

zoet (Cl < 300 mg/1)	zoet grondwater
brak (300 ≤ Cl < 10.000 mg/1) (EXCH ≥ +3) / zout (Cl ≥ 10.000 mg/1) (EXCH ≥ +5)	verzoetend brak/zout grondwater
brak (300 ≤ Cl < 10.000 mg/1) (EXCH ≤ -3) / zout (Cl ≥ 10.000 mg/1) (EXCH ≤ -5)	verziltend brak/zout grondwater
brak (300 ≤ Cl < 10.000 mg/1) (-3 < EXCH < +3) / zout (Cl ≥ 10.000 mg/1 (-5 < EXCH < +5)	niet verziltend of verzoetend brak/zout grondwater

Zoet water wordt niet onderverdeeld in verzoetend of verziltend water, omdat bij lage ionenconcentraties de hoeveelheid adsorptie materiaal mogelijk een te grote rol kan spelen. De onderlinge verschillen van EXCH-waarden binnen een klein gebied kunnen wel aanwijzingen geven over het voorkomen van verzoetings- of verziltingsprocessen, maar niet over het tijdstip waarop ze plaats vonden.
De gebruikte grondwateranalyses en chloridegehaltes zijn afkomstig van de ICW nota's 769 (1973) en 679 (1972) en uit de gegevens van het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit van het R.I.V.M.
In negen vertikale doorsneden en zeven horizontale doorsneden op verschillende dieptes (tot 70 m -NAP) zijn de verschillende grondwatersoorten en chloridegehaltes ingetekend, waardoor een driedimensionaal beeld is ontstaan van de verdeling van zoet en brak/zout grondwater en van verzoetings- en verziltingsgebieden (bijlagen A en B).
Daarmee is nog niet bepaald wanneer en waardoor die processen opgetreden zijn. Om die vragen zo veel mogelijk te beantwoorden is gebruik gemaakt van andere hydrologische informatie.

4.Andere hydrologische informatie

4.1.Peilverschillen

In het vorige hoofdstuk zijn op grond van chemische gegevens verschillende grondwatersoorten (Cl, type, EXCH) aangegeven. Die verschillen in grondwatersoort kunnen ontstaan zijn in verschillende stroomsystemen. De verdeling van de grondwatersoorten in het onderzoeksgebied wijst op een grote invloed van peilverschillen op de vorm en de begrenzing van de verschillende stroomsystemen. Omdat de peilverschillen in het hele gebied bekend zijn en de chemische gegevens alleen plaatselijk, is bij het onderscheid tussen de stroomsystemen gebruik gemaakt van peilverschillen. De grondwaterpeilen waren voor de aanvang van de ontvening en de poldervorming anders verdeeld, zij veroorzaakten "natuurlijke" stroomsystemen.

4.1.1.Natuurlijke stroomsystemen

Voor de aanvang van de ontvening en de poldervorming kwamen de volgende natuurlijke stroomsystemen voor:

- De regionale Noordwijkse en Haagse duinsystemen (met strandwallen), die voor verzoeting in oostelijke richting zorgden en die door hun diepe zoetwaterlens zoutwaterintrusie tegengingen.

- Het regionale systeem van de Utrechtse Heuvelrug, dat voor verzoeting in westelijke richting zorgde (tot hoever is nog niet helemaal duidelijk).

- De lokale systemen van de rivieren met hun oeverwallen, die voor beperkte verzoeting zorgden.

- De lokale systemen van de hoogveenkussens, die afhankelijk van hun hoogte en doorlatendheid voor verzoeting gezorgd kunnen hebben.

- De lokale systemen van de meren hadden in die tijd nog weinig invloed, omdat het omringende grondwaterpeil nog niet kunstmatig verlaagd was.

Kwelsituaties traden op langs en tussen de duinen en strandwallen, aan de westelijke rand van de Utrechtse Heuvelrug en langs de oeverwallen. Op de plekken waar kwel voorkwam vormde zich veen. Op de bodemkaart 1:250 000 (Stiboka, 1986) zijn op meerdere plaatsen aanwijzingen te vinden voor kwel tussen de oeverwallen van rivieren en hun zijrivieren, op grond van de opeenvolging van veensoorten tussen de twee oeverwallen (G.B.Engelen, mondelinge mededeling). Als veel van het geinfiltreerde water dichtbij als kwel tevoorschijn komt, is er geen sprake van diepe infiltratie (verzoeting).

4.1.2.Stroomsystemen onder invloed van de mens

Tijdens de ontginning van de veengebieden vanaf ongeveer 1000 na Chr. trad een steeds toenemende kwel op in de reeds ontgonnen delen. Het graven van sloten voor ontwatering en voor het gebruik van veen als brandstof, veroorzaakte oxidatie en klink van het veen, waardoor een maaiveldsdaling optrad. Als gevolg daarvan moest de slootdichtheid weer vergroot worden. Voor de afwatering maakte men gebruik van sluisjes, die bij laag water geopend werden. Op de geomorfologische kaart zijn een aantal van zulke ontginningen met een grote slootdichtheid nog te herkennen. In de polder Zegvelderbroek is een ontginning vanuit Zegveld ontgonnen en een ontginning die gericht is op de kerk van Zegveld. In de polder Reeuwijk is een ontginning vanuit Oud-Reeuwijk ontgonnen en misschien een aantal andere in die omgeving. De grote slootdichtheid in het midden van de Riethoornse polder zuid-westelijk van Alphen aan de Rijn is misschien ook zo ontstaan.
Tijdens de ontvening sinds de Middeleeuwen zijn veenstroken voor bewoning en kanalen gespaard gebleven. Zij hebben een belangrijke invloed op de lokale kwel- en infiltratieverdeling gekregen. De plaats en de hoogte van die veenstroken is op de waterstaats-, bodem- en geomorfologische kaarten te vinden.

Polders en boezemwateren vormen de belangrijkste componenten van de stroomsystemen die onder invloed van de mens ontstaan zijn. Afhankelijk van de grondsoort en het landgebruik wordt bepaald hoe groot de drooglegging (diepte van het slootpeil t.o.v. het maaiveld) van een polder moet zijn in zomer en winter. In dit onderzoek is steeds met de laagste peilen (winter) gewerkt, omdat de laagste polderpeilen het grootste verschil met de boezempeilen geven.

Waar veen in de ondergrond ondiep voorkomt is de drooglegging van de polder en de slootafstand klein i.v.m. het tegengaan van inklinken en van oxydatie van het veen. Bij klei is de drooglegging en de slootafstand groter. Een grote slootdichtheid kan ook nodig zijn in een kwelsituatie of omdat een zeer nauwkeurige grondwaterstand nodig is in verband met tuinbouw.
Vooral op de geomorfologische kaart zijn dergelijke gebieden goed te herkennen langs de Kromme Mijdrecht en de Drecht, langs de Gouwe, in de Veender en Lijkerpolder ten westen van het Braassemermeer, in het gebied van de Langeraarsche Plassen en in het gebied ten zuidoosten van de Kager Plassen.

Het landgebruik is o.a. afhankelijk van het chloridegehalte van het ondiepe grondwater. Vooral tuinbouw is erg gevoelig voor zelfs licht verhoogde chloridegehaltes. Kascultuur is minder afhankelijk van grondwater, omdat regenwater dat op de kassen valt, of leidingwater gebruikt kan worden. Het regenwater kan in (plastic) spaarbekkens bewaard worden.

Onttrekking van grondwater en kunstmatige infiltratie veroorzaken nieuwe grondwaterstromingsstelsels en hebben ook invloed op de omliggende stroomsystemen, afhankelijk van de mate waarin dat gebeurt.

4.1.3.De huidige situatie van een combinatie van natuurlijke en menselijke invloeden op de stroomsystemen.

De kuststrook met duinen en strandwallen is de enige streek in het onderzoeksgebied met een niet nauwkeurig beheerst grondwaterpeil. De diepte en breedte van de zoetwaterlens onder de duinen is afhankelijk van de verdeling van de stromingsweerstand in de ondergrond, de hoogte en de breedte van de duinen, de effectieve neerslag, de variatie van het neerslagoverschot of -tekort in de tijd, de afvoer en tenslotte van de mate van grondwateronttrekking en kunstmatige infiltratie.

Bij Noordwijk en bij Den Haag is de duinstrook vrij hoog en breed en bestaat al lang genoeg om een diepe, brede zoetwaterlens gevormd te kunnen hebben.
Bij Katwijk heeft het (Oude)-Rijn estuarium de duinvorming beperkt. Omstreeks de Romeinse Tijd zijn daar vanuit zee overstromingen geweest, die nu als inversies in de vertikale chlorideverdeling herkenbaar zijn.

Doordat bij Katwijk de zoetwaterlens smal en ondiep is, zou daar een grotere, ondiepere zoutwaterintrusie kunnen optreden. Het peilverschil tussen het gemiddelde zeeniveau en de polders is minimaal 0.60 m en maximaal 7.10 m. De polderpeilen ten westen van Katwijk zijn echter niet erg diep.

Door de ontveningen en inpolderingen zijn grotere peilverschillen ontstaan, die kunstmatig in stand gehouden worden. De verdeling van infiltratie en kwel is daardoor sterk veranderd t.o.v. de natuurlijk situatie. Er moet zich een nieuw evenwicht instellen tussen het zoete grondwater en het zoute/brakke grondwater. De grote grondwaterpeilverschillen tussen de duinen en de diepe polders (bijlage H) komen goed tot uitdrukking in de isohypsenkaarten.

Ook lokale peilverschillen blijken grote invloed te hebben op de vorm en de grootte van de hydrologische systemen.
Er is een kaart gemaakt, waarop systematisch de richting aangegeven is van hoger naar lager polderpeil (bijlage E). Daarbij wordt het gebied verdeeld in stroomgebiedjes, begrensd door lokaal de hoogste peilen (meestal boezempeil). De pijlen geven de potentiële ondiepe grondwaterstroming weer, vanaf de grenzen naar het diepste lokale peil. Bij vergelijking van deze kaart met de verdeling van de chemische grondwatersoorten (horizontale doorsneden), blijkt er grote overeenkomst te zijn tussen de diepste lokale peilen en de opkegeling van het brakke water en tussen de hoogste lokale peilen en het dieper voorkomen van het zoete/verzoetende water. Grote lokale peilverschillen hebben meer invloed op de opkegelingen dan de absolute diepte van de peilen met de opkegelingen.

4.2.Chloride-maxima

De chloridegehaltes van boezemwateren en polderwateren (de laatsten in het algemeen bij de uitlaat gemeten) kunnen een aanwijzing zijn voor het zoutgehalte van het ondiepe grondwater. De metingen worden door de meeste Hoogheemraadschappen uitgevoerd en in jaarverslagen opgenomen (Hoogheemraadschap van Rijnland, Delfland en Schieland, 1984), of door de kwaliteitsbeheerders van het oppervlaktewater (Provinciale Waterstaat van Utrecht en Zuiveringschap van Amstel en Gooiland). Opvallend is het grote verschil tussen gemiddelden en maxima voor een aantal boezemwateren en polders. Als men in eerste instantie uitgaat van de gedachte dat chloride-maxima van polderwater niet hoger zullen zijn dan het chloridegehalte van het grondwater in de polder, zijn die gegevens bruikbaar. Het hanteren van chloridemaxima moet echter zorgvuldig gebeuren i.v.m. de volgende mogelijkheden:

- Het ingelaten water kan een hoger chloridegehalte hebben dan het grondwater van de polder.

- Gasbronnen leveren dieper grondwater dan de normale kwel. Zij zijn daar geslagen, waar dieper grondwater een grotere stijghoogte heeft dan het ondiepe en waar veen in de ondergrond voorkomt. Het diepere grondwater bij gasbronnen is vaak brak. In het noordelijk deel van de polder Nieuwkoop is het bij uitzondering zoet.

- In het geval van een grote polder is het mogelijk, dat slechts een deel van de polder voor het hogere chloridegehalte zorgt, zoals heel waarschijnlijk is in de Riethoornse polder ten zuiden van Alphen aan de Rijn.

- Het chloridegehalte in de onverzadigde zone kan door verdamping in de zomer verhoogd zijn. Door uitspoeling daarvan in het najaar kan verhoging van het chloridegehalte van het uitgelaten polderwater optreden.

Er blijkt echter toch een goede relatie te zijn tussen de toename van de polderchloride-maxima en de grondwaterstroming zoals afgeleid uit polderpeilverschillen (bijlage G). De ondiepe grondwaterstroming wordt onderweg gemengd met dieper kwelwater dat een toenemende hoeveelheid chloride kan bevatten, i.v.m. opkegeling onder de diepste lokale peilen (bijlage G en horizontale doorsneden).
Een uitzondering vormen de Papenwegse- en Oranjepolder waar een ondiep brak grondwatersysteem met daaronder zoet water voorkomt. In paragraaf 4.3.a. wordt op die inversie nader ingegaan. Grote verschillen tussen gemiddeld en maximum chloridegehalte duiden op overwegend weinig of geen kwel met soms korte tijd een grotere kwel, waardoor het chloridegehalte tijdelijk hoger is. Kleine verschillen met hoge gemiddelden duiden op polders met overwegend een grote kwel, die de oorzaak van de verzilting is.

Op grond van de gebruikte gegevens is een indeling in acht sub-regionale hydrologische systemen en hun globale stromingsrichting mogelijk.
In het onderzoeksgebied zijn alleen de grotere hydrologische systemen onderscheiden, omdat een verdere verdeling in kleine lokale systemen de grote lijn vertroebelt:

H Het Haagse-Duin Systeem, gevoed door lokale neerslag en kunstmatige infiltratie
N Het Noordwijkse-Duin Systeem, gevoed door lokale neerslag en kunstmatige infiltratie
O.R. Het fluviatiele Oude-Rijn Systeem
B/W Het lacustriene en fluviatiele Braassemer-Westeinder Systeem
A Het lacustriene Amsterdam Systeem
H.IJ. Het fluviatiele Hollandsche-IJssel Systeem
Z Het Zoetermeer Systeem
K Het mariene Katwijk Systeem, gevoed door zoutwaterintrusie

4.3.Chloride-inversies

Chloride-inversies die op meerdere plaatsen voorkomen, worden hier beschreven voordat met de behandeling van de grotere hydrologische systemen wordt begonnen.
Omstreeks de Romeinse Tijd heeft de zee de lage delen tussen de strandwallen vanuit de monding van de (Oude) Rijn overstroomd. Ook in het zuidelijk deel van het onderzoeksgebied is zoiets gebeurd. Daar zijn de lage delen tussen de strandwallen vanuit de monding van de 'Nieuwe Waterweg' overstroomd, ook kleiafzettingen van de Formatie van Duinkerke wijzen daar op.
Deze mariene inbraken zijn aan inversies van het chloridegehalte te herkennen. Ze zijn te vinden door vergelijking van de horizontale doorsneden op 10 m en 20 m diepte. In de meeste gevallen vertoont het brakke grondwater verzoetingskenmerken, maar bij de Papenwegse- en Oranjepolder (profiel G-G') is dat (nog) niet het geval. De oude overstromingen zijn gekarteerd op grond van een combinatie van gegevens:
a.Het vertikale chlorideverloop
b.Het polderchloridegehalte
c.De archeologische kaart van de Romeinse Tijd.

Op de inversie in de Duivenvoorde vlakte, waarin de Papenwegse- en de Oranjepolder liggen (profiel G-G' en horizontale doorsneden op 10 en 20 m diepte) wordt met behulp van die gegevens wat dieper ingegaan:

a.Het vertikale chlorideverloop:
Het monsterpunt 30H-136 (zie tabel 1) ligt net iets noordelijk van de Oranjepolder. Op 10 m is sprake van een hoog chloridegehalte en van verzilting, terwijl er op 29 m sprake is van een lager chloridegehalte en van verzoeting (zie tabel 1). Het zoete water dat hier op ongeveer 20 m voorkomt stemt overeen met de lage chloridegehaltes van de monsters 30H-137, 30G-87 en 30G-88 in de omgeving. Het winterpeil van deze twee polders is slechts 1.60 en 1.10 m - NAP, zij kwellen maar weinig. De verzoeting door het diepere zoete water verloopt daardoor zo langzaam, dat het grondwater nog op het verziltingsproces wijst, dat door de de overstroming werd veroorzaakt.

Tabel 1

Chemische gegevens uit de omgeving van de Duivenvoorde vlakte.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30H	1976	136	10	B-NaCl-	3.556	-8	-9
			29	B-NaCl+	998	+7	-3
			43	B-NaCl-	6.124	-81	-3
			56	B-NaCl-	6.751	-97	-10
30H	1976	137	4	F-CaMix	236	+2	-0
			20	F-Mg/CaMix+	166	+3	+7
			28	B-NaCl+	595	+3	-2
			40	B-NaCl-	5.105	-24	-11
			73	B-NaCl-	5.246	-20	-7
30G	-	87	26		22		
	-		36		23		
	-		46		27		
	-		56		51		
	-		72		5.148		
30G	-	88	25		22		
	-		36		44		
	-		45		1.344		

Een aantal ionenbalansen van zoute monsters 30H-136 en 30H-137 (zie tabel 1) zijn niet helemaal kloppend, maar de hoge chloridegehaltes en de grote EXCH mogen wel als aanwijzing gebruikt worden.

b.Het polderchloridegehalte:
Het polderchloridegehalte is er in 50% van het aantal waarnemingen < 175 mg/l. Na langdurige regenperiodes (P.E.Beukema, mondelinge mededeling) is het polderchloridegehalte een enkele keer echter uitzonderlijk hoog, tot 1000 mg/l. Een verklaring hiervoor is waarschijnlijk een stijging van de grondwaterspiegel in de strandwallen aan weerszijde, waardoor tijdelijk een meer (brakke) kwelpuls optreedt.

c.De archeologische kaart uit de Romeinse Tijd:
De ligging van een laagveengebied tussen twee strandwallen en kleiafzetting van de Formatie van Duinkerke aan de kant van de Oude Rijn (van der Plassche, 1982, fig.61) maakt overstroming vanuit zee via de (Oude) Rijnmonding aannemelijk.

De besproken inversiezones vormen geen aparte hydrologische systemen, omdat zij geen actieve invoer maar wel passieve afvoer hebben via een stromingsstelsel waarvan ze een onderdeel vormen. Zij zullen daarom langzaam verdwijnen.

5.Bespreking van de sub-regionale stroomsystemen

5.1.Het Haagse-Duin Systeem

Het Haagse duin- en strandwallengebied is vrij breed en is in het Holoceen niet onderbroken geweest. Ten oosten van het strandwallengebied liggen een aantal diepe polders (4.50 -NAP), die op de overgang voor een grote peilgradiënt zorgen. De zee heeft in de lagere delen tussen de strandwallen vanuit het noorden en het zuiden tot de vorming van de Nieuwe Duinen nog enige invloed gehad (zie paragraaf 4.3). Gedurende lange tijd is er voldoende zoet water geinfiltreerd om een diepe zoetwaterlens te vormen. In het aangrenzende gebied met brak water zijn grote delen door het zoete water uit de duinen verzoet. Dit proces van verzoeting ontstond doordat er een peilverschil tussen de duinen en het veenlandschap en later een nog groter peilverschil tussen de duinen en het polderlandschap was .

Bij het bekijken van de horizontale doorsneden valt het kleiner worden van de zoetwaterlens met de diepte op. Op profiel N-N' is het verband tussen de diepte van de zoetwaterlens en de duinen goed te zien, hoewel ook een diepe geul in de Kedichem Formatie invloed op de diepte kan hebben gehad.
Op de profielen N-N' en F-F' en op de horizontale doorsnede op 10 m is de invloed van het Haagse-Duin Systeem te zien onder het Oude-Rijn Systeem door. Op grotere diepte heeft het Oude-Rijn Systeem zo dicht bij zee geen invloed meer. Beide systemen hebben en hadden een verzoetende invloed.

De indringende zoetwaterlenzen van het Haagse-Duin Systeem, het Oude-Rijn Systeem en het Zoetermeer Systeem hebben een compenserende brakke opkegeling tot gevolg in het poldergebied ten noorden van Zoetermeer. Met volumetrische compensatie wordt bedoeld het omhoog komen van dieper (brak) water als gevolg van verdringing door een toenemend volume van infiltrerend (zoet) water. Op de horizontale doorsneden en op profiel G-G' is dat te zien. Onder de top van de opkegeling is het polderpeil niet erg diep (2.30 -NAP), terwijl de polder omgeven wordt door vaarten op boezempeil. Op profiel G-G' en de doorsnede op 30 m is de scherpe overgang tussen zoet en brak water goed te zien.

Bij monsterpunt 30H-83 (zie tabel 2) is de grens tussen verzoeting en verzilting duidelijk tussen 22 m en 32 m te trekken.
Bij 30H-107 zijn van de ondiepe monsters alleen de chloridegehaltes bepaald, zodat de grens tussen verzoeting en verzilting daar vermoedelijk bij de sprong in het chloridegehalte tussen 16 m en 22 m ligt. Op 12 m is het chloridegehalte hoger dan op 16 m; verschillen in bodemdoorlatendheid kunnen daarvan de oorzaak zijn. Er komen daar n.l. zandige kreekruggen voor (voorlopige geomorfologische kaart van de STIBOKA), die ofwel verzilting op 12 m, ofwel sterkere verzoeting op 16 m mogelijk maken. Het is niet duidelijk of de opkegeling daar in de tijd toeneemt, afneemt of stabiel is. De monsterpunten 30H-83 en 30H-107 zouden geschikt kunnen zijn om eventuele veranderingen in de tijd te volgen.

Tabel 2

Een aantal monsters bij de scherpe overgang tussen zoet en brak water en in de opkegeling.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30H	1966	83	22	B-NaHCO3+	494	+8	-2
			32	B-NaCl-	2.350	-3	-7
30H	1966	84	27	F-NaHCO3+	252	+6	-1
			31	B-NaCl+	486	+6	-2
			37	B-NaCl	1.590	+0	-5
30H	1966	85	21		173		
			26		172		
			31		224		
30H	1968	86	16		225		
			22		164		
			27		258		
			32		370		
30H	1968	89	13		94		
			24		77		
			34		113		
			46		2.857		
30H	1967	95	11		113		
			21		1.277		
30H	-	107	12		879		
	-	(H63)	16		452		
	-		22		1.578		
	-		26		2.801		
	-		32		3.774		
	1969		34	B-NaCl-	3.689	-27	-9

Het zoete water van het Haagse-Duin Systeem wordt gekenmerkt door zeer lage chloridegehaltes. In sommige gevallen heeft ondieper grondwater hogere chloride gehaltes dan dieper grondwater (zie tabel 3). De oorzaak kan infiltrerend boezemwater zijn, dat bestaat uit Rijnwater met in de laatste decennia een toegenomen chloridegehalte gemengd met water uit de polders. De oorzaak kan ook een ver gevorderd stadium van verzoeting van een inversiesituatie zijn.

Tabel 3

Monsters met ondiep een licht verhoogd chloridegehalte.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30G	1957	253	10	F-CaHCO3+	167	+4	-1
			30	F-CaHCO3	32	+2	-1
			60	F-NaHCO3+	210	+10	-1
30G	1979	574	9	F-CaHCO3	143	+2	-0
		(P60)	13	F-CaHCO3	126	+1	-1
			23	F-CaHCO3	51	+0	-1
30G	1982	575	5	F-CaHCO3+	110	+4	-0
		(P92)	18	F-CaHCO3+	28	+4	-0
			23	F-CaHCO3+	26	+3	-0

Bij 574 en 253 is waarschijnlijk sprake van geinfiltreerd boezemwater. Bij 575 is op grond van de ligging en op grond van de hoge EXCH-waarde waarschijnlijk sprake van verzoeting van een inversie.
Bij 253 wijst het hoge chloridegehalte op 60 m diepte op verzoeting van het diepe brakke water (EXCH +10).

Langs de kust neemt de Haagse zoetwaterlens met zijn verzoetende invloed in de diepte naar het noorden en naar het zuiden af, zodat daar minder diep intrusie van zeewater zou kunnen plaats vinden. In het noorden kan daar zeewaterintrusie van het Katwijk Systeem optreden en in het zuiden van het Waterweg Systeem.

5.2.Het Noordwijkse-Duin Systeem

In het Noordwijkse duin- en strandwallengebied zijn de duinen breed, behalve in het zuidelijk deel waar de enkele duinenrij smal is. In het zuiden gaat het duin- en strandwallengebied over in een poldergebied met peilen > 3.92 -NAP en veel open water op boezempeil o.a. de Kager Plassen. In het noorden gaat het gebied via de Ringvaart (boezempeil) over in de diepe Haarlemmermeerpolder met peilen < 5.95 -NAP.

De invloed van het verschil in breedte en hoogte van de duinen op de diepte van de zoetwaterlens is duidelijk op de horizontale doorsneden en op de profielen te zien. In profiel E-E' is de invloed van het voormalige (Oude) Rijn estuarium op de slechte ontwikkeling van de duinen (enkele smalle duinenrij) en daarmee op de zoetwaterlens goed te zien. De monsters van 30F-387 (zie tabel 4) geven een interessant beeld van een vertikale chlorideinversie met daaronder op een diepte van 58 m zout water, waarvan de EXCH op een proces van verzoeting wijst. De chlorideinversie is waarschijnlijk omstreeks de Romeinse Tijd ontstaan (archeologische kaart van de Romeinse Tijd) en verzoet na de duinvorming daar, terwijl het zoute water op 58 m waarschijnlijk pas na de poldervorming verzoet is.

Tabel 4

Inversie van het chloridegehalte met verzoetingsverschijnselen.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30F	1975	387	4	F-CaMix	156	-0	-0
			24	B-NaCl+	1.073	+3	-3
			39	F-CaHCO3	44	+2	-0
			58	S-NaCl+	15.020	+6	-0

Op de profielen E-E' en N-N' is een andere ondiepe brakke inversiezone tussen twee strandwallen te zien, die gedeeltelijk contact maakt met het al eerder verzoete diepere brakke water.
Het zoete grondwater van het Noordwijkse-Duin Systeem heeft in het algemeen een laag chloridegehalte en een lage EXCH-waarde (zie tabel 5), hetgeen wijst op een langdurige infiltratie van duinwater. Soms komen hogere chloridegehaltes tussen lagere voor zoals in de reeks monsters van 24H-329 en 24H-18. Er is vermoedelijk sprake van verschillen in bodemdoorlatendheid.

Tabel 5

Chloridegehaltes in duinwater.

24H-18

diepte	5	12	22	32	42	50	61	63	75	84	88	90	100	105
Cl mg/l	30	35	28	30	32	29	30	34	90	136	175	173	78	128

24H-329

jaar	-	-	'71	-	-	-	-	'71	-	-	'71	-	-	-
diepte	19	24	30	34	41	44	49	55	59	73	77	82	87	91
Cl mg/l	70	70	110	70	140	70	70	110	180	70	139	110	210	570
EXCH	-	-	+0	-	-	-	-	+0	-	-	+1	-	-	-

In profiel D-D' is de brede en diepe zoetwaterlens te zien, die in een deel van de Haarlemmermeerpolder voor zoete kwel zorgt. De grootte van de zoetwaterlens geeft de situatie van ongeveer 1970 weer. Na die tijd is de zoetwaterlens door infiltratie en onttrekking door de Amsterdamse Waterleiding Maatschappij beinvloed. Door o.a. bestudering van de verzamelde chloridegegevens uit bijlage 22 van Geohydrologisch Onderzoek Duingebieden van Zuid-Holland (Boswinkel, 1980) zijn die veranderingen in de tijd waarschijnlijk te bepalen.
De zoetwaterlenzen van het Noordwijkse-Duin Systeem en het Braassemer/Westeinder Systeem zorgen samen voor een opkegeling in de Haarlemmermeerpolder.
Nieuwe veranderingen in de waterhuishouding kunnen hier zeer waarschijnlijk grote gevolgen hebben voor de plaats, de vorm en de hoogte van de opkegeling, zoals bijvoorbeeld:

- Diepe kunstmatige infiltratie in het Noordwijkse duingebied kan toename van de opkegeling veroorzaken, terwijl ondiepe onttrekking een verbreding van de opkegeling tot gevolg kan hebben.

- Verlaging van de grondwaterspiegel in de duinen zou een afname van de opkegeling kunnen geven, maar een stijging van de zoet/zoutgrens onder de duinen veroorzaken.

- Een verlaging van het peil in de Haarlemmermeerpolder kan toename van de opkegeling veroorzaken.

- Een peilverlaging van een deel of van de hele Westeinder Plassen zou verbreding van de opkegeling kunnen veroorzaken, maar een afname van de hoogte van de opkegeling.

- Ontzanding in de Westeinder Plassen zou misschien toename zou kunnen veroorzaken.

De zoetwaterlenzen van de Noordwijkse Duin-, Braassemer/Westeinder-, Oude Rijn- en Haagse Duin Systemen zorgen samen voor een volumetrisch compenserende opkegeling van brak water bij Leiden. Het omringende brakke water dat op verzoeting wijst, kan plaatselijk voor de opkegeling dieper in de bodem verzoet zijn. De chemische samenstelling van dat water wijst in zo'n geval niet op recente verzoeting.

In de Kager Plassen komen een aantal "polder"eilandjes voor, waarvan het peil lager is dan het boezempeil van de plassen (figuur 2). Een van de eilandjes is gedeeltelijk voor ontzanding gebruikt (Hiemstra, 1979), waarna de diepte van de plas daar ongeveer 30 m werd. Er vond dus een peilverandering en een weerstandsverandering plaats. Voor de ontzanding kwam er waarschijnlijk tot ongeveer 10 m -NAP brak water voor. Na de ontzanding kon het zoete water uit de plas vanuit die 30 m diepe put met bovendien een verhoogd peil dieper en ook zijdelings infiltreren. Juist door de eilandjes heeft in ongeveer 5500 BP een oude wadgeul gelopen en grof materiaal afgezet (A.P.Pruissers, in voorbereiding). Het brakke water dat om de put nog in de bodem aanwezig was, kon het gemakkelijkst daarheen verdrongen worden. Het resultaat was een afname van het maximum polderchloridegehalte in het verkleinde eilandje en een toename in de middelste eilandjes, terwijl geen verandering is opgetreden in het eilandje het dichtst bij de Ringvaart.

5.3.Het Oude Rijn Systeem

De (Oude) Rijn heeft zijn loop in dit gebied niet gewijzigd, behalve bij de monding. Daar zijn vanuit zee overstromingen geweest, waarbij klei werd afgezet (Formatie van Duinkerke), waarna de loop zich iets verlegde. De duinen hebben zich daardoor bij de monding van de Oude Rijn slecht kunnen ontwikkelen. Na ongeveer 1100 na Chr. verlegde de Rijn zijn belangrijkste loop naar het zuiden, waardoor de daarna 'Oude' Rijn genoemde rivier veel kleiner werd. In de loop der tijden zijn er verschillende zijriviertjes geweest, is er rivierklei afgezet en is er veengroei langs de oevers geweest. Na plaatselijke vervening en door het inklinken van veen is er een rivierinversierug ontstaan. De daar ingerichte polders hebben tot vlakbij de Oude Rijn een polderpeil van rond de 2.00 -NAP, terwijl de Oude Rijn zelf op boezempeil (ongeveer 0.65 -NAP) gehouden wordt. De loop van de Oude Rijn waar infiltratie kon plaats vinden, is gedurende lange tijd ongeveer gelijk gebleven. Op de horizontale doorsneden en op de noord-zuid profielen is de diepe zoetwaterlens onder de Oude Rijn te zien. De zoetwaterlens neemt in westelijke richting in grootte af, zowel in de breedte als in de diepte.

Op de noord-zuid profielen R-R', Q-Q', P-P' en N-N' is het verband tussen infiltratie en kwel met de lokale peilverschillen zeer duidelijk te zien. Ten zuiden van de Oude Rijn is op profiel R-R' te zien hoe het zeer grote peilverschil tussen de ondiepe en de diepe polders de oorzaak is van de scherpe grens tussen de zoetwaterlens en een opkegeling. Op de horizontale doorsneden is te zien hoe de langgerekte opkegeling veroorzaakt wordt door zoetwaterlenzen van het Oude Rijn-, Hollandsche IJssel-, Zoetermeer- en Haagse Duin Systeem. De Gouwe heeft slechts ondiep een beperkende invloed op de opkegeling, zoals op de horizontale doorsneden te zien is. De veenrest, waarop Hazerswoude-Dorp ligt heeft een peil van 1.92 -NAP. De polder ten zuiden daarvan heeft een peil van 6.40 -NAP en in de smalle strook diepe polders ten noorden daarvan komen peilen voor van < 5.15 -NAP. De veenrest heeft wel een beperking van de opkegeling tot gevolg, maar die invloed zou waarschijnlijk veel groter zijn als de strook met diepe polders ten noorden ervan er niet was. De veenrest kan nu voor een plaatselijke versterking van de zoute kwel zorgen.
Het polderpeil boven de opkegeling loopt van NW naar ZO af van ongeveer 2.30 via 6.00, 6.40 en 7.00 naar 7.10 -NAP.

Bij Bodegraven (31D-59 op profiel G-G') ligt de diepe Tempelpolder (5.60 -NAP) erg dicht bij de Oude Rijn. De peilgradiënt is, mede door de omringende niet verveende polders (2.20 -NAP) zo groot, dat een opkegeling daardoor dagzoomt (polderchloride-maximum ongeveer 1000 mg/l).

Verlaging van de polderpeilen langs de Oude Rijn zou vermoedelijk een verdere versmalling van de zoetwaterlens tot gevolg hebben, waardoor de opkegeling breder zou kunnen worden.

Zoetwaterlenzen van het Oude Rijn-, Noordwijkse Duin-, Haagse Duin- en het Braassemer/Westeinder Systeem veroorzaken samen aan de noordkant een opkegeling bij Leiden. Op de profielen E-E' en F-F' samen met de horizontale doorsneden, b.v. 30 m, is te zien dat oostelijk van de opkegelingen de zone met verzoet brak water relatief erg dik is. Het is mogelijk dat waar nu de opkegeling is, voor de poldervorming ook een dikke zone met brak grondwater was, waarin verzoeting plaats vond. De verzoeting zou door een langdurige infiltratie uit een aaneengesloten hoogveenpakket ontstaan kunnen zijn (zie paragraaf 2.4). De peilverschillen zouden daarbij waarschijnlijk niet zo groot zijn, waardoor het vrij hoge chloridegehalte verklaard zou kunnen worden. De door de poldervorming ontstane opkegeling zou die verzoete zone dan weer verzilt kunnen hebben, terwijl het overige deel langzaam vanuit het noorden en zuiden verder verzoet wordt.

De chloridegehaltes van het zoete grondwater in het Oude Rijn Systeem zijn gemiddeld hoger dan in de duinsystemen (zie tabel 6). Het valt op dat monsters uit latere jaren langs de Oude Rijn een hoger chloridegehalte hebben dan de monsters uit vroegere jaren en dat de diepere monsters daarbij soms een lager chloridegehalte hebben dan de ondiepere (31C-108 en 31C-146).
Het chloridegehalte van de Oude Rijn is in de loop van de tijd door vervuiling steeds hoger geworden, zodat de hogere chloridegehaltes door later geinfiltreerd vervuild water ontstaan kunnen zijn. Zonder gedetailleerder onderzoek kunnen nog geen conclusies getrokken worden over de infiltratiesnelheid.
Het valt ook op dat delta sulfaat van de monsters in het Oude Rijn Systeem positief is, terwijl dat elders in het zoete water in het algemeen negatief is. Vermoedelijk is de sulfaattoename ontstaan door oxidatie van veen langs de Oude Rijn, nadat het grondwaterpeil daar een aantal maal verlaagd is (Stuyfzand, 1985c, blz. 2.32).

Tabel 6

Monsters langs de Oude Rijn oostelijk van Leiderdorp.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31D	-	26	30		65		
	-		70-82		43		
31D	1957	31	26	F-CaHCO3	39	+2	+0
		e.a.	26	F-CaHCO3	36	+2	+0
31D	-	10/11	30		33		
31C	1966	117	20-36		119		
31C	-	45	31		60		
31C	1968	104	6	F-CaHCO3+	107	+3	+3
			37	F-CaMix+	139	+3	+3
			49	F-CaMix	117	+1	+2
31A	1938	59	32	F-CaMix	107	+2	+3
31C	1931	39	30	F-CaHCO3	89	+2	+1
31C	1968	146	44	F-CaMix+	110	+3	+4
			65	F-MgHCO3+	89	+4	+1
31C	1979?	184	10	F-CaMix	183	+0	-0
		(P56)	14	F-CaMix	188	-2	+3
			25	F-CaMix	168	+1	+4
31C	1931	38	31	F-CaHCO3+	89	+3	+1
31C	1965	109	20		139		
31C	1965	108	20		119		
			30		81		
			41		71		
31C	1926	80	17	F-CaMix+	82	+4	+5
	1930		22	F-CaHCO3+	82	+3	+1
	1926		34	F-CaHCO3+	89	+3	+2
30H	1969	106	28	F-CaHCO3+	142	+3	+1
		(H57)	48	F-CaMix/HCO3+	131	+5	+3

De grens van het Oude-Rijn Systeem met het Braassemer/Westeinder Systeem is ten oosten van het Aarkanaal niet goed te bepalen. Het water uit de Nieuwkoopsche Plassen (1.52 -NAP) infiltreert waarschijnlijk niet diep. In de bovenste 20 m ligt de grens daarom waarschijnlijk zuidelijk van de Nieuwkoopsche Plassen, terwijl hij dieper, op grond van de verzoete zone met brak water mogelijk wat noordelijker van de plassen ligt (paragraaf 5.4).

De grens met het Hollandsche-IJssel Systeem is oostelijk van de Tempelpolder niet erg duidelijk, omdat er noch duidelijke peilverschillen zijn, noch monsters op grond waarvan een grens bepaald zou kunnen worden.

5.4.Bespreking van het Braassemer-Westeinder Systeem

Het tot grote diepte verzoete deel van dit systeem wordt ongeveer begrensd door het Braassemer Meer, de Westeinder Plassen, de Drecht en de Kromme Mijdrecht, allemaal op boezempeil, en de Nieuwkoopsche Plassen op 1.52 -NAP. Het door deze wateren ingesloten gebied heeft een laag polderpeil (< 5.00 -NAP), waar als een soort rug het Aarkanaal (boezempeil) met de Langeraarse Plassen (1.60 -NAP) doorheen loopt. Het Aarkanaal volgt gedeeltelijk de bedding van een oud zijriviertje van de (Oude) Rijn (geomorfologische kaart van STIBOKA), die als een rivier-inversierug boven het polderlandschap uitsteekt. Infiltratie kan daar al voor de poldervorming begonnen zijn. Monsterpunt 31A-102 (zie tabel 7) ligt precies in die oude bedding, terwijl 31A-106 ten westen daarvan en 31B-101 ten oosten daarvan liggen (bijlage D). Door vergelijking van de monsters is te zien dat het zoete water onder het Aarkanaal dieper is doorgedrongen dan in de direkte omgeving van het kanaal. Op de horizontale doorsneden van 30 m en 40 m en op profiel F-F' is dat ingetekend.

Tabel 7

Monsters uit de omgeving van het Aarkanaal.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31A	1979	106	15	F-CaHCO3+	40	+6	-1
		(P52)	24	B-CaCl/HCO3+	572	+5	-2
			29	B-NaCl+	935	+3	-3
31A	-	102	10		139		
	-	(H55)	15		106		
	-		20		87		
	-		23		29		
	1969		25	F-CaHCO3	103	+2	-0
	-		25		99		
	-		30		100		
	-		35		119		
31B	-	101	10		28		
	-	(H56)	14		38		
	-		19		112		
	-		25		238		
	-		29		335		
	-		31		504		
	1969		32	B-NaCl+	479	+5	-2
	-		34		964		
	-		40		1.250		
	-		45		1.185		
	1969		51	B-NaCl+	923	+6	-3
	-		51		967		

Gezien de chloridegehaltes van de monsters (zie tabel 8) moet de diepe verzoeting vanuit de omringende wateren en het Aarkanaal plaats gevonden hebben voordat het boezemwater hoge chloridegehaltes bevatte (vervuiling) of voor de poldervorming. Dat kan gebeurd zijn vanuit riviertjes met hogere oeverwallen en/of vanuit hoogliggende veenkussens, of door een combinatie van de genoemde mogelijkheden.
In tegenstelling tot andere gebieden met een grote peilgradiënt is hier geen sprake van een brakke opkegeling. Als de aanvoer (infiltratie) van zoet water nu kleiner is dan de afvoer (kwel), dan kan hier tenslotte ook een brakke opkegeling komen.

Tabel 8

Lage chloridegehaltes en hoge EXCH-waarden van het centrale zoete grondwater.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31A	1958	32	36	F-CaHCO3+	46	+3	-1
31A	1966	94	33	F-Ca/MgHCO3+	121	+6	-1
31A	1966	95	30	F-CaHCO3+	89	+8	-1
31A	1979	106	15	F-CaHCO3+	40	+6	-1
31B	1958	44	33	F-MgHCO3+	82	+8	-1
			49	F-NaHCO3	206	+13	-1
31B	1958	45	19	F-CaHCO3+	25	+4	-1
			34	F-CaHCO3+	53	+5	-1
	1958		60	F-NaHCO3+	64	+10	-0
31B	1958	46	25	F-MgHCO3+	92	+8	-1
			71	F-NaHCO3+	181	+16	-1
31B	1958	47	32	F-CaHCO3+	75	+5	-1
			53	F-NaHCO3+	39	+11	?
31B	-	52	15		80		
	-	(G110)	22		82		
	-		27		107		
	1971		32	F-Ca/MgHCO3+	110	+7	-1
31B	1966	55	23	F-Ca/MgHCO3+	110	+6	-1
31B	1958	56	24	F-MgHCO3+	60	+8	-1
31B	1971	104	25	F-CaHCO3+	57	+8	-0
		(G111)	41	F-NaHCO3+	217	+15	-1
31B	1979	110	15	F-CaHCO3+	73	+4	-1
		(P53)	19	F-CaHCO3+	144	+5	-1

Het chloridegehalte van de Nieuwkoopsche Plassen is erg laag, < 70 mg/l, doordat er geen doorspoeling met boezemwater plaats vindt. Door het relatief hoge peil (1.52 -NAP) zou men een vrij diepe infiltratie en verzoeting verwachten. Uit de monsters van 31B-101 (zie tabel 7), net iets noordelijk van de Nieuwkoopsche Plassen echter, is te zien dat er op 29 m al brak water voorkomt, waarvan de EXCH wel wijst op verzoeting. Het verzoetingsproces verloopt daar langzamer door een grotere ondoorlatendheid in de diepere ondergrond. Daarnaast kan het verzoetingsproces daar later begonnen zijn door een andere peilverdeling voor de vervening van de Nieuwkoopsche Polder.
Het lijkt waarschijnlijk dat het water uit de Nieuwkoopsche Plassen niet diep infiltreert en al snel als kwelwater in de polders te voorschijn komt. De brakke zone kan vanuit het Oude Rijn Systeem en vanuit het Aarkanaal en de Kromme Mijdrecht verzoet worden.
De grens tussen het Oude Rijn Systeem en het Braassemer/Westeinder Systeem ligt ten oosten van het Aarkanaal in de bovenste 20 m vermoedelijk zuidelijk van de Nieuwkoopsche Plassen, terwijl hij dieper wat noordelijker, in de brakke zone kan liggen.

De zoete kwel vanuit de Westeinder Plassen naar de Haarlemmermeerpolder is op profiel D-D' goed te zien. De grens tussen zoet en brak water is hier zeer scherp. De afwezigheid van een zone van verzoetend brak water kan een aanwijzing zijn voor een snel, nog actief indringings- en verdringingsproces.
Die grens is gebaseerd op het monster 31A-32 uit 1958 (zie tabel 9).

Tabel 9

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31A	1958	32	36	F-CaHCO3+	46	+3	-1
			43	B-NaCl-	3.621	-26	-11

Omdat het mogelijk is dat een dergelijke scherpe overgang niet stabiel is, kan die grens sinds 1958 wel wat verschoven zijn. Verstoringen in de waterhuishouding kunnen hier zeer waarschijnlijk grote gevolgen hebben voor de plaats, de vorm en de hoogte van de opkegeling, zoals bijvoorbeeld:

- Een peilverlaging van een deel of van de hele Westeinder Plassen zou verbreding van de opkegeling kunnen veroorzaken, maar afname van de hoogte van de opkegeling.

- Ontzanding in de Westeinder Plassen zou misschien toename van de opkegeling kunnen veroorzaken.

- Diepe kunstmatige infiltratie in het Noordwijkse duingebied kan toename van de opkegeling veroorzaken, terwijl ondiepe onttrekking een verbreding van de opkegeling tot gevolg kan hebben.

- Verlaging van de grondwaterspiegel in de duinen zou een afname van de opkegeling kunnen geven, maar een stijging van de zoet/zoutgrens onder de duinen veroorzaken.

- Verlaging van het peil in de Haarlemmermeerpolder kan toename van de opkegeling veroorzaken.

De zoetwaterlenzen van het Braassemermeer en van de Wijde Aa hebben samen met de zoetwaterlenzen van het Noordwijkse Duin-, Oude Rijn- en Haagse Duin Systeem een opkegeling bij Leiden tot gevolg.

In het Braassemermeer heeft een ontzanding plaats gehad, waardoor het zoete water daarna dieper kon infiltreren, zoals uit 31A-33 blijkt (zie tabel 10). Het is niet duidelijk of die verstoring invloed gehad heeft op de opkegeling bij Leiden.

Tabel 10

Monsters voor en na de ontzanding in het Braassemermeer.

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31A	1959	33	27	B-NaCl+	1.637	+4	-5
	1977		27	F-NaHCO3+	223	+10	-1
	1959		68	B-NaCl-	3.763	-7	-10
	1977		68	B-NaCl-	3.759	-10	-11

5.5.Het Amsterdamse Systeem

Dit systeem komt maar in een klein deel van het onderzoeksgebied, in het noord-oosten voor. Het water dat in het Nieuwe Meer en in de Sloter Plas geinfiltreerd is, veroorzaakt enige zoete kwel in een klein deel van de Haarlemmermeer Polder. Het veroorzaakt ook samen met het Noordwijkse-Duin Systeem een opkegeling in het noorden van het onderzoeksgebied (zie profiel P-P'). Het Amsterdamse Systeem, het Braassemer-Westeinder Systeem en het Noordwijkse-Duin Systeem veroorzaken samen door volumetrische compensatie de opkegeling wat zuidelijker in de Haarlemmermeer Polder (zie profiel Q-Q').

5.6.Het Hollandsche-IJssel Systeem

Dit systeem komt maar in een klein deel van het onderzoeksgebied, in het zuid-oosten voor.
Het peil van de Reeuwijkse Plassen is gelijk aan het peil van de omringende polders. Er is zandwinplas aangelegd, in het noorden grenzend aan de plassen. De Heidemij heeft metingen verricht om eventuele gevolgen in de omgeving te ontdekken (Heidemij, 1982). De kwel is in de polders Middelburg en de Tempel toegenomen, maar toename van de chloridegehaltes zijn nog niet waargenomen (brief van Rijnland aan de Heidemij, 1986).
De grens met het Oude Rijn Systeem is oostelijk van de Tempelpolder nog niet goed te bepalen. Er zijn noch duidelijke peilverschillen, noch voldoende monsters om een grens te kunnen bepalen.
De grens met het Zoetermeer Systeem is duidelijker omdat zoetwaterlenzen uit beide systemen een opkegeling in het tussenliggende gebied met een peil van 7.10 -NAP veroorzaken. Tijdens een volgend onderzoek zal het Hollandsche IJssel Systeem uitgebreider bekeken worden.

5.7.Het Zoetermeer Systeem

In het Zoetermeer Systeem zijn de polderpeilen < 5.00 -NAP, behalve een aantal bewaard gebleven veenstroken. Het oude Zoetermeer is gebouwd op zo'n veenstrook, waarvan het peil op 1.69 -NAP gehouden wordt. Nootdorp is gebouwd op een andere veenstrook met een laagste peil van 2.35 -NAP. De veenstrook waarop Benthuizen ligt, heeft een peil van 1.77 -NAP. Om de Zoetermeersche Meerpolder ligt een veenrestdijk met peilen van 2.06 en 2.14 - NAP. Het Zoetermeer is tussen 700 en 1300 na Chr. ontstaan middenin een groot veengebied (A.P.Pruissers, in voorbereiding) en in 1614 drooggemaakt (Atlas van Nederland, Water).
Tussen de Rotte en de Gouwe liggen nog wat veenrestdijken met peilen die iets hoger zijn dan het polderpeil aan weerskanten. De Rotte en een aantal vaarten ten zuiden van Zoeterwoude worden op boezempeil gehouden.
Het Zoetermeer Systeem heeft als geheel niet veel infiltratiemogelijkheden, het is dan ook minder diep verzoet dan het Braassemer-Westeinder Systeem.
De verzoeting van het Systeem zou voor de poldervorming begonnen kunnen zijn. In het Zoetermeersche Meer liggen een aantal zandige kreken (voorlopige geomorfologische kaart van STIBOKA), waar goede infiltratiemogelijkheden zijn. Het peil van het meer was echter zeker lager dan het omringende veen. Na de drooglegging in 1614 was het peil nog lager dan de omgeving, omdat die pas later ontgonnen werd. Van grote verzoeting door het Zoetermeersche Meer kan daarom geen sprake geweest zijn.
Vanuit het hoogveen kan wel verzoeting hebben plaatsgevonden als het peilverschil voldoende was.
Vanuit de Rotte is verzoeting voor de poldervorming door het ontbreken van een peilverschil ook niet mogelijk. Wel had de omgeving van de Rotte al in de 18e eeuw beheerste polderpeilen, zodat pas daarna vanuit de Rotte verzoeting kon plaatsvinden.
Na de poldervorming (peilen < 5.70 -NAP) kan verzoeting vanuit een aantal poldervaarten (1.69 -NAP) en vanuit de Rotte (boezempeil) begonnen zijn.

Omdat niet het hele Zoetermeer Systeem binnen dit onderzoeksgebied valt, zal de verzoeting van het Systeem uitvoeriger bestudeerd worden in een vervolgstudie.
Het zoete grondwater vertoont steeds een grote EXCH-waarde en een wisselend chloridegehalte (zie tabel 9). Het grondwater met lage chloridegehaltes moet in ieder geval ouder zijn dan de vervuiling van het boezemwater (doorspoeling met rivierwater met hogere chloridegehaltes dan enkele decennia geleden). Bij Zoetermeer (1.69 -NAP), monsterpunt 30H-14, is op 30 m en op 36 m het chloridegehalte resp. 149 mg/l en 77 mg/l. Het ondiepste is vrij zeker geinfiltreerd vervuild boezemwater. Bij 30H-112, in de Driemanspolder (5.80 -NAP), niet ver van de vaart (1.69 -NAP) komt niet vervuild grondwater als kwelwater omhoog.
De smalle strook met zoet water, die op de horizontale doorsnede van 40 m en op profiel P-P' bij de kruising met H-H' is te zien, kan door die vaart (1.69 -NAP) sterker verzoet zijn dan de omgeving. Op de voorlopige geomorfologische kaart van de STIBOKA zijn daar ook wat oude zandige kreekafzettingen te zien, die door hun grotere doorlatendheid een snellere verzoeting veroorzaakt kunnen hebben.

De toenemende chloridegehaltes van de diepere monsters (zie tabel 11) duiden op nog niet helemaal verzoet grondwater, zoals bij 30H-101 in de Binnenwegsepolder (6.00 -NAP) vlak bij een vaart (1.69 -NAP). Bij 30H-115 en 30H-146 zijn de vaarten op polderpeil (5.80 -NAP), zodat daar geen lokaal peilverschil is, al ligt de Rotte (boezempeil) wel enigszins in de buurt. Een afdoende verklaring voor de verzoeting in het Zoetermeer Systeem is nog niet gevonden.

Tabel 11

Een aantal monsters in het Zoetermeer Systeem:

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l		exch.	SO4
30H	1927	14	30	F-CaHCO3+	149		+7	-0
	-		36		77			
30H	1962	81	22	F-CaHCO3+	39		+5	-1
30H	-	101	15		120			
	-	(H52)	19		110			
	-		23		140			
	1968		30	F-CaHCO3+	210		+6	-1
	-		33		370			
	-		39		370			
	1968		44	B-NaCl+	415		+4	-2
30H	-	112	16		55			
	-	(H71)	22		41			
	-		25		48			
	-		31		158			
	1970		31	F-Ca/NaHCO3+	167		+8	-1
	-		34		220			
	-		39		206			
	-		45		213			
	-		50		596			
	1970		59	B-NaCl+	1.321		+4	-4
30H	1970	115	26	F-CaHCO3+	64		+9	-0
		(H72)	46	B-NaCl	802		+2	-3
			63	B-CaCl-	1.111		-12	-4
30H	1971	124	35	B-CaHCO3/Cl	412	(H80)	+2	-2
			61	B-Na/CaCl-	1.285		-10	-4
30H	1971	125	38	F-CaHCO3+	71	(H81)	+7	-1
	1971		58	B-Ca/NaHCO3+	405		+3	-2
	1971		97	B-NaCl-	1.903		-8	-5
30H	1971	126	34	F-CaHCO3	139		+2	-1
		(H90)						
30H	1979	146	17	F-Ca/MgHCO3+	43		+10	+3
		(P57)	23	F-Ca/MgHCO3+	32		+9	-0
			28	F-CaHCO3+	92		+9	-1

Zoetwaterlenzen van het Zoetermeer Systeem, het Haagse Duin Systeem, het Oude Rijn Systeem en het Hollandsche IJssel Systeem hebben samen voor een opkegelingszone gezorgd. De polderpeilen zijn juist in dat gebied plaatselijk omstreeks 1968 veranderd door samenvoeging van een aantal polders. Wat precies de gevolgen van die verstoringen zijn, vereist een gedetailleerdere studie. Het zou vooral interessant zijn te weten wat de snelheid was, waarmee de aanpassingen aan de veranderde situatie plaats vonden.

5.8.Het Katwijk Systeem

Zoutwaterintrusie kan daar optreden, waar langs de kust de zoetwaterlens van de duinen geen afgrendelende invloed meer heeft. Bij Katwijk zijn de duinen ten noorden van de Oude Rijn laag en smal, waardoor de daaronder ontstane zoetwaterlens ook ondiep en smal is. Het zoute water zou daar ondiep kunnen intruderen. Het geintrudeerde water lijkt het brakke water dat elders opkegelt enigszins aan te vullen.

Het gemiddelde zeeniveau is hoger dan het boezempeil en ongeveer 7.10 m hoger dan het laagste peil in het onderzoeksgebied.
Door het ontbreken van diepe polders ten westen van Katwijk is de intrusiesnelheid waarschijnlijk toch laag. Op grond van chloridegehaltes en EXCH-waarden is niet overtuigend een scheiding tussen de systemen te maken.
Met behulp van isotopenmetingen is misschien iets te zeggen over de plaats en de diepte van zoutwaterintrusie.

6.Gebruiksmogelijkheden van de kaarten

De transparante kaarten van bijlagen D en F zijn bedoeld om ter oriëntatie op de andere kaarten te leggen.

Op de kaarten en profielen van bijlagen A en B is de huidige situatie van de verdeling tussen zoet en brak water en de verdeling van verzoetings- en verziltingsverschijnselen weergegeven. Door het aangeven van de verschillende sub-regionale stroomsystemen en de (zeer) schematische stroomlijnen is de interactie tussen de sub-regionale systemen duidelijk gemaakt.

De transparante kaart, bijlage E, met de potentiële stromingsrichtingen van het ondiepe grondwater kan in combinatie met de kaarten van bijlage B gebruikt worden. Er is een duidelijke relatie tussen de potentiële ondiepe grondwaterstroming en het voorkomen van infiltratie en brakke opkegeling. Die relatie is in grote lijnen een weerspiegeling van de grondwaterpeilen.
De gebiedsindeling, die bij het intekenen van de potentiële stromingsrichting van het ondiepe grondwater is ontstaan, kan daarom geschikt zijn om gebruikt te worden bij de optimalisatie.

De kaart met de (winter)polderpeilen (bijlage H) is de geschematiseerde basis van de potentiële stromingsrichtingen van het ondiepe grondwater. De kaart geeft een goed overzicht van de verdeling van de polderpeilen in het onderzoeksgebied.

De kaart met maximum chloridegehaltes van polderwater, meren en boezemwater met daarop de potentiële ondiepe grondwaterstroming (bijlage G) is geschikt om gebieden te herkennen, die gevoelig zijn voor verzilting. Het regelmatig bijhouden van de kaart met de laatste gegevens, zou nuttig zijn om veranderingen van het chloridegehalte van het ondiepe grondwater in een vroeg stadium te herkennen.

Het doel van dit onderzoek (zie paragraaf 1.1) was o.a. het verzamelen van goede kennis van de huidige situatie van het grondwater met het oog op de optimalisatie van het grondwaterpeil-meetnet. De kennis is verwerkt in alle kaarten, terwijl de kaart van bijlage H waarschijnlijk het meest geschikt is om bij de optimalisatie te gebruiken.

7.Conclusies

De betekenis van de verschillende stappen op de uitvoering van de hydrologische systeemanalyse in dit onderzoek vormt de hoofdlijn van de conclusies.

- Historische ontwikkeling

In het onderzoeksgebied heerste ongeveer 7000 jaar geleden een waddenzeemillieu (figuur 1). Het brakke water heeft doordat het zwaarder is dan zoet water en door diffusie langzaam de ondergrond verzilt. De daardoor ontstane zoet/zout problematiek staat centraal in dit onderzoek.

- Hydrochemie

De hydrochemie heeft vooral met behulp van de kationenexchange (EXCH) een heel duidelijk beeld opgeleverd van de verdeling van van verzoetings- en verziltingsverschijnselen van het brakke water. Doordat de tijdsfaktor bij deze benadering buiten beschouwing blijft, kan hiermee niet bepaald worden of het om oudere of om nog actieve processen gaat. De dichtheid van het waarnemingsnet is onvoldoende om alleen hierop gebaseerd nauwkeurige grenzen te kunnen trekken. Daarom is vervolgens naar peilverschillen gekeken.

- Peilverschillen

De verdeling van verzoetings- en verziltingsverschijnselen bleek in nauw verband te staan met de regionale en lokale peilverschillen. In de loop van de tijd zijn de grondwaterpeilen veranderd, zodat ook daar rekening mee gehouden moet worden.

- Oudere regionale peilverschillen

Voor de ontvening en de poldervorming zorgde een regionaal peilverschil tussen de duinen/ strandwallen en het lage vlakke land daarachter en daartussen voor verzoeting van een strook laag land. De zoetwaterlens onder de duinen, die sinds de vorming van de Jonge Duinen veel dieper is geworden, vormde en vormt een barriere tegen zeewaterintrusie.
De Utrechtse Heuvelrug zorgde voor een regionaal peilverschil met het vlakke land ten westen daarvan. De uitgestrektheid van de daardoor ontstane verzoeting is nog onduidelijk.

- Oudere lokale peilverschillen

Omdat een aantal diepe verzoetingen niet makkelijk verklaard kunnen worden, is gedacht aan de mogelijkheid van verzoeting door peilverschillen tussen hoogveenkussens en het vlakke land er om heen. Misschien is de diepe verzoeting in een deel van het Braassemer-Westeinder Systeem zo ontstaan, evenals de minder diepe verzoeting in het Zoetermeer Systeem. Ook de dikke verzoetingszone boven de opkegeling ten noorden van Leiden is misschien zo ontstaan. Later kan de verzoetingszone door volumetrische compensatie omhoog gekomen zijn, zonder daarbij zijn oorspronkelijk verzoetende kenmerken verloren te hebben.
Rivieren met hun oeverwallen kunnen lokaal ook verzoeting veroorzaakt hebben, zoals de (Oude) Rijn voor de poldervorming.

- Jongere regionale peilverschillen

Na de ontvening en poldervorming zijn de regionale peilverschillen toegenomen doordat enerzijds de duinen rond 1000 na Chr. hoger en breder zijn geworden en anderzijds doordat de peilen in veel polders ver onder NAP zijn gebracht (zie bijlage H). De verzoeting is daardoor vanuit de duinen toegenomen met als gevolg elders verzilting door volumetrische compensatie. Er zijn ook grote regionale peilverschillen ontstaan tussen grote open wateren op boezempeil en de polders. Het peilverschil tussen de Oude Rijn en zijn omgeving bijvoorbeeld is door de poldervorming regionaal toegenomen, waardoor de verzoeting versterkt is.

- Jongere lokale peilverschillen

De grote afwisseling van polders met verschillende peilen en open wateren (zie kaart H) geeft grote lokale peilverschillen die gesuperponeerd zijn op de regionale peilverschillen. Het gevolg is het ontstaan van ondiepe lokale systemen van infiltratie en kwel boven diepere regionale systemen, afhankelijk van de rangschikking van de verschillende peilen.

- Superpositie van jongere processen op oudere

De processen die onder de huidige peilverdelingen ontstaan, zijn weer gesuperponeerd op de eerdere processen. Daardoor kunnen nu verzoetingsverschijselen gevonden worden waar men verziltingsverschijnselen zou verwachten, of omgekeerd;
de stroomlijnen zijn niet dezelfde als de stromingswegen (historie van het waterdeeltje). De dikke verzoetingszone boven de opkegeling ten noorden van Leiden is hier een voorbeeld van.
Andere voorbeelden zijn de diepe verzoeting in het Braassemer-Westeinder Systeem en de verzoeting in het Zoetermeer Systeem die onder andere omstandigheden zijn ontstaan.

- Positie van opkegelingen van brak water

De plaats waar opkegeling kan optreden wordt bepaald door de ruimtelijke verdeling van de peilen. Waar rondom of aan weerskanten infiltratie plaatsvindt, kan door volumetrische compensatie opkegeling optreden. Infiltratie en opkegeling worden niet bepaald door het peil zelf, maar door de rangschikking van peilen. Een goed voorbeeld is weer de opkegeling ten noorden van Leiden, waar het polderpeil boven het hoogste punt van die opkegeling maar ongeveer 2.00m -NAP is. In de andere gevallen van opkegeling is wel sprake van wel een diep peil, al komen plaatselijk uitstulpingen voor onder invloed van lokale peilverschillen, die minder diep zijn (b.v. de Tempelpolder).
Nauwkeurige bestudering van de peilen is noodzakelijk om een juist beeld te krijgen van de optredende processen. Daarnaast kunnen verschillen in bodemdoorlatendheid de oorzaak zijn van een ruimtelijke verschuiving van opkegelingen.

- Chloridemaxima

Aanwijzingen voor het ondiep voorkomen van brak water worden gevonden met behulp van de maximale chloridegehaltes van het uitgemalen polderwater (Bijlage G). Als er ondiep geen brak water voorkomt, kan er afgezien van gasbronnen in het algemeen geen brak water kwellen. Door de maximale chloridegehaltes en de richtingen van de potentiële ondiepe grondwaterstroming te vergelijken, valt op dat bijna overal het hoogste chloridegehalte met het diepste polderpeil van de omgeving samenvalt. Alleen de Riethoornse polder wijkt duidelijk af.

- Inversies van de chloridegehaltes

Het beeld van de chloridegehaltes tussen de strandwallen is gecompliceerder dan elders, omdat hogere chloridegehaltes voorkomen boven lagere (chloride inversies). Tussen de strandwallen is plaatselijk na verzoeting nog zoutwaterinvloed geweest tijdens transgressiefasen vanuit het (Oude) Rijnestuarium. De chloride inversies die hierdoor ontstaan zijn, kunnen gekarteerd worden met behulp van chloridegehaltes van de monsters, chloridemaxima van de polders en de archeologische kaart van de Romeinse tijd. De polder Kamphuizen ten westen van Leiden en de Papenwegse en Oranje Polders ten zuiden van Leiden zijn goede voorbeelden.

- Tot slot

De toepassing van de hier besproken stappen in de hydrologische systeemanalyse hebben geleid tot een duidelijk beeld van de hydrologie in het onderzoeksgebied.

De gebiedsindeling die is ontstaan door de verdeling van de potentiële stromingsrichtingen van het ondiepe grondwater (zie o.a. transparant E) is waarschijnlijk een geschikt uitgangspunt voor de optimalisatie van het meetnet voor het ondiepere grondwater. De gevonden hydrochemische patronen geven informatie over het diepere grondwater voor de optimalisatie van het meetnet door DGV-TNO.

Dankwoord

Veel dank ben ik verschuldigd aan Prof. Dr G.B. Engelen van de Vrije Universiteit te Amsterdam en aan drs J.W. Stellingwerf, ir W.J. de Lange en ing. J. Halbertsma van de Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland voor hun ideeen en begeleiding van dit onderzoek.
Ook ing. P.E. Beukema van het Hoogheemraadschap van Rijnland bedank ik voor zijn hulp bij het verzamelen en hanteren van chloridegegevens van polders.
Vooral E.A. Zilstra en P.A. van der Zwaan van Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland wil ik bedanken voor hun inzet en grote deskundigheid bij de uitvoering van het vele tekenwerk.

Literatuurlijst

Boswinkel, J.A. (1980)
Geohydrologisch Onderzoek Duingebied van Zuid-Holland
Dienst Grondwaterverkenning TNO Delft

Cock, J.K. de (1965)
Bijdrage tot de historische Geografie van Kennemerland in de Middeleeuwen op fysisch geografische Grondslag
Amsterdam

Couwenhoven, T., Toussaint, C.G. (1969)
Water-Zoutbelasting Poldergebied-'Midden-West-Nederland'
Bronnen van Verzilting
Nota ICW 530

Dam, J.C. van (1976)
Partial Depletion of saline Groundwater by Seepage
Journal of Hydrology, 29 pp. 315-339

Engelen, G.B. (1980)
Hydrologische Indeling van Nederland.
Een Regionale, Systeemanalytische Benadering.
CHO/TNO, Rapporten en Nota's 5, pp.29-36.

Engelen, G.B. (1981)
A Systems Approach to Groundwater Quality.
In: Quality of Groundwater.
Studies in Env.Science 17, pp.1-25, Elsevier, Amsterdam.

Engelen, G.B. (1985)
Hydrological Systems Analysis.
A Regional Case Study
TNO - DGV Institute of applied Geoscience,
report no: OS 84-20.

Geirnaert, W. (1973)
The Hydrology and Hydrochemistry of the lower Rhine Fluvial Plain
Leidse Geologische Mededelingen deel 49 blz. 59 - 84

Heidemij Adviesbureau (1982)
Geohydrologisch Onderzoek Zandwinplas Vettenbroek/Broekvelden
Bijlage (1986); Aanvulling Geohydrologisch Onderzoek Zandwinplas Vettenbroek/Broekvelden

Hiemstra, H. (1979)
Desalinisation of Groundwater as a Result of Construction of Sandpits
Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland

Hoogheemraadschap van Rijnland (1984)
Technisch Deelverslag Waterkwantiteitsbeheer

Oude Munnik, J.M.E. (1985)
Geohydrochemisch Onderzoek Zuidwest Drenthe.
Een Toepassing van de regionale hydrologische Systeemanalyse
Amsterdam

Oude Munnik, J.M.E. (1986)
Toepassingsmogelijkheden van Systeemanalyse
Amsterdam

Plassche, O. van de (1982)
Sea-level Change and Water-level Movements in the
Netherlands during the Holocene
Amsterdam

Pomper, A.B. (1981)
Hydrochemical Observations in the Subsoil of the western
Part of the Netherlands
Proceedings of the Salt Water Intrusion Meeting

Pomper, A.B. (1983)
The Geohydrological Situation of the western Part of
the Netherlands
In: Geologie en Mijnbouw 62 blz. 519-528

Pruissers, A.P., Gans, W.de (1988)
De Bodem van Leidschendam
Publkatie in voorbereiding ter gelegenheid van
het 50-jarig bestaan van Leidschendam.
Rijks Geologische Dienst, Haarlem

Rees Vellinga, E. van (1972a)
Enkele Resultaten van een Geohydrologisch Onderzoek
in Midden-West-Nederland.
Nota ICW 679

Rees Vellenga, E. van, Toussaint, C.G., Gils, J.B.H.M., van
(1972b)
Het Chloridegehalte van het Grondwater in
Midden-West-Nederland
Nota ICW 695

Rees Vellenga, E. van, Toussaint, C.G., Wit, K.E. (1981)
Waterquality and Hydrology in a coastal Region
of the Netherlands
Journal of Hydrology 50 pp. 105 - 127

Stol, Ph.Th., Vrijhof, B. (1958)
De Landbouwhuishouding in de Peovincie van Zuid-Holland
Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O.

Stuyfzand, P.J. (1985a)
Hydrochemie en Hydrologie van het Duingebied tussen Egmond en
Wijk aan Zee.
KIWA Rapport SWE-85.012

Stuyfzand, P.J. (1985b)
Hydrologie, Herkenning en Datering
In: Drinkwater uit Oevergrondwater
KIWA Mededeling nr. 89

Stuyfzand, P.J. (1985c)
Anorganische Bestanddelen
In: Drinkwater uit Oevergrondwater
KIWA Mededeling nr. 89

Stuyfzand, P.J. (1986)
A New Hydrochemical Classification of Watertypes:
Principles and Application to the coastal Dunes Aquifers
System of the Netherlands
Paper presented at the 9th Salt Water Intrusion Meeting

Toth, J. (1963)
Groundwater Geology, Movement, Chemistry and Resources near
Olds, Alberta.
Research Council of Alberta, (Canada), bulletin 17.

Toussaint, C.G., Rees Vellinga. E. van, Witt, H (1973)
De Chemische Samenstelling van het diepe Grondwater in
Midden-West-Nederland en de Invloed hiervan op de
Gebruiksmogelijkheden.
Nota ICW 769

Vasak, L. (1979)
De chemische Samenstelling van het Grondwater in het
Barneveldse Beek-gebied/ Basisrapport ten behoeve van
de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland

Verkooyen, R.G.V.A. (1981)
Een hydro-geologische Inventarisatie voor het Gelderse
Rivierengebied en een regionaal-hydrologische
Systeembenadering voor het Rivierengebied ten oosten
van Tiel
Provincie Gelderland, Dienst Waterbeheer, Arnhem

Werkgroep Midden West-Nederland (1976)
Hydrologie en Waterkwaliteit van Midden West-Nederland
Regionale Studie 9
ICW Wageningen

Wesseling, J. (1980)
Saline Seepage in the Netherlands, Occurrence and Magnitude
In: Research on possible Changes in the Distribution of
saline Seepage in the Netherlands
Verslagen en Mededelingen Commisie Hydrologisch Onderzoek
TNO No. 26

Wit, K.E. (1974)
Hydrologisch Onderzoek in Midden-West-Nederland
Nota ICW 792

Zagwijn, W.H., Beets,D.J., Berg, M. van den,
Montfrans, H.M. van, Rooijen, P. van (1985)
Atlas van Nederland, Deel 13, Geologie
Hoofdstuk: De holocene Afzettingen
Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland,
Staatsuitgeverij.

Lijst van Kaarten

Archeologische Kaart van Nederland
Archeologische Vindplaatsen Romeinse Tijd
Blad 5/6, (beide gedeeltelijk), schaal 1:100 000
Hallewas, D.P., Regteren Altena, J.F., ROB, Amersfoort
Bijlage bij: Bloemers , J.H.F. (1978)
Rijswijk (Z.H.), "De Bult", (Nederlandse Oudheden 8)

Atlas van Nederland, Deel 13, Geologie, (1985)
Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland,
Staatsuitgeverij

Atlas van Nederland, Deel 15, Water, (1986)
Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland,
Staatsuitgeverij

Bodemkaart van Nederland, (1985)
schaal 1:250 000
Stiboka, Wageningen

Geohydrologische Kartering Deelgebied V ("Drecht en Vecht")
schaal 1:50 000
Provinciale Waterstaat van Noord-Holland

Geomorfologische Kaart van Nederland
blad 31, Utrecht, (1970)
blad 30 oost, voorlopige kaart
schaal 1:50 000
Stiboka, Wageningen

Isohypsenkaarten van het eerste en tweede watervoerende
pakket (Gem. 1978)
Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland

Waterstaatkundige Kaart van de Provincie Zuid-Holland
in 40 bladen
schaal 1:25 000
Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland

BIJLAGE I

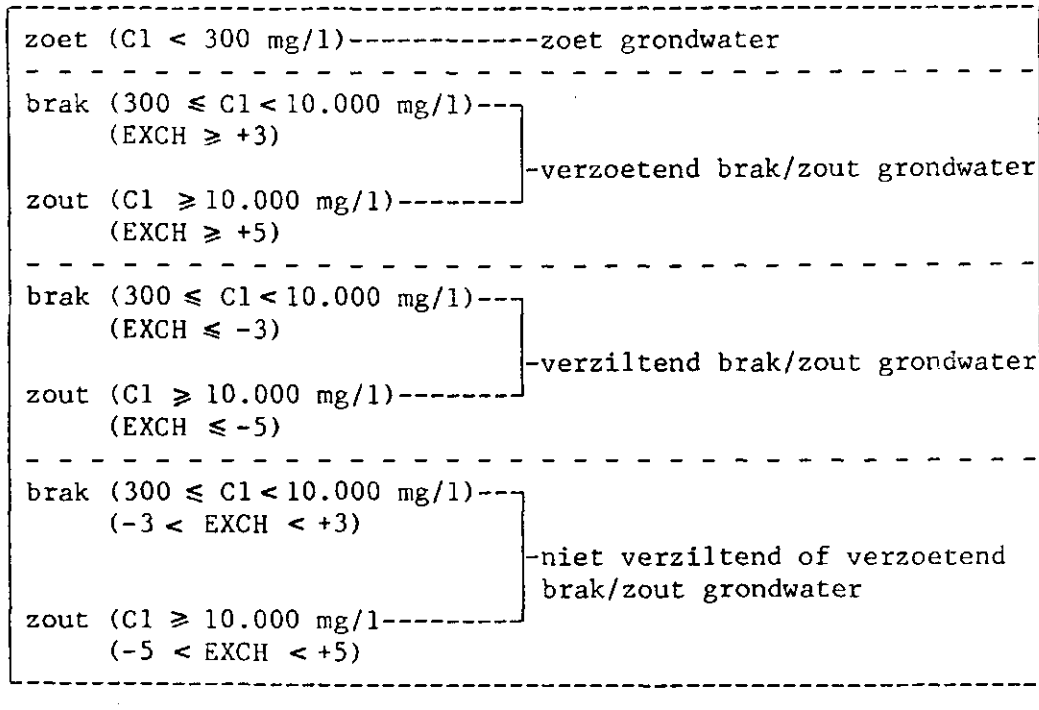
LIJST MET MONSTERGEGEVENS

Hydrologische Systeemkartering Centraal Zuid-Holland

legenda

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch. SO4

krt : nummer van de kaartbladindeling schaal 1:25 000
jaar : jaar waarin het monster geänalyseerd is
nr : R.I.D. (R.I.V.M.)-nummer van de boorput
: 'P', R.I.V.M.-nummer van het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit
: 'H', nummers uit de I.C.W. nota's 769 en 679
diep : gemiddelde filterdiepte onder NAP
type : zoet: F < 300 mg/l Cl-
brak: 300 ≤ B < 10 000 mg/l Cl-
zout: S ≥ 10 000 mg/l Cl-
kation: grootste aandeel in meq/l van Na+K, Ca en Mg
anion : grootste aandeel in meq/l van Cl, HCO3 en SO4/NO3
+ verzoetend grondwater
- verziltend grondwater
Cl- : chloridegehalte van het monster in mg/l
EXCH : de mate van kationenuitwisseling tussen het grondwater en het adsorptiecomplex
(Na+K+Mg)berekend = 1.061*(Cl)gemeten (meq/l)
EXCH = (Na+K+Mg)gemeten - (Na+K+Mg)berekend (meq/l)
SO4 : een maat voor het SO4 2- verschil t.o.v. de natuurlijke situatie voordat de bodem gepasseerd is.
Voor meer informatie wordt verwezen naar Stuyfzand (1985a)



krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch. SO4
24H	-	18	3		48	
	-		5		30	
	-		12		35	
	-		22		28	
	-		32		30	
	-		42		32	
	-		50		29	
	-		61		30	
	-		63		34	
	-		75		90	
	-		84		136	
	-		88		175	
	-		90		173	
	-		100		78	
	-		105		128	
	-		110		441	
	-		115		2.711	
	-		120		11.836	
	-		125		15.948	
24H	-	76	5		55	
	-		15		46	
	-		25		29	
	-		35		55	
	-		45		29	
	-		50		29	
	-		55		30	
	-		60		29	
	-		65		30	
	-		71		26	
	-		75		29	
	-		80		29	
	-		85		30	
	-		90		32	
	-		95		32	
	-		101		35	
	-		105		35	
	-		110		49	
	-		113		484	
	-		115		1.440	
	-		117		2.444	
	-		119		5.636	
	-		121		6.734	
	-		123		10.918	
	-		125		12.690	
	-		130		13.650	
24H	-	116	34		37	
	-		52		41	

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
24H	-	156	20		31		
	-		28		32		
	-		39		32		
	-		49		32		
	-		58		33		
	-		67		65		
24H	-	181	36		28		
	-		47		32		
	-		50		32		
24H	-	190	51		62		
	-		58		1.180		
	-		74		1.100		
	-		83		1.300		
	-		92		3.875		
	-		103		14.390		
24H	1960	192	34	F-CaHCO3	28	+1	-1
	-		42		29		
24H	1965	237	31	F-CaHCO3	32	+2	+1
			60	F-CaHCO3	32	+2	-1
24H	-	239	63		166		
	-		73		3.500		
24H	-	329	19		70		
	-	(H83)	24		70		
	1971		30	F-CaHCO3	110	+0	-1
	-		34		70		
	-		41		140		
	-		44		70		
	-		49		70		
	1971		55	F-CaHCO3	110	+0	-1
	-		59		180		
	-		73		70		
	1971		77	F-MgHCO3	139	+1	-1
	-		82		110		
	-		87		210		
	-		91		570		
24H	1980	468	5	F-CaHCO3	62	-1	+1
		(P47)	8	F-CaHCO3	45	+0	+1
			24	F-CaHCO3	41	+1	+1
24H	1980	469	7	F-CaHCO3	87	+0	-2
		(P48)	14	F-CaHCO3	77	+1	+1
			23	F-CaHCO3	32	+3	-1
24H	1981	501	7	F-CaMix	98	+0	+2
		(P303)	12	F-CaHCO3/Mix	95	-0	+1
			25	F-CaHCO3	64	+0	+1

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
25C	-	12	12		238		
	-		14		227		
	-		23		355		
	-		26		415		
	-		33		177		
	-		39		168		
	-		43		269		
	-		53		440		
	-		63		4.360		
	-		72		8.224		
	-		74		9.000		
	-		98		379		
	-		102		344		
	-		104		364		
	-		109		429		
	-		114		936		
	-		118		3.018		
	-		124		7.440		
	-		128		9.928		
	-		134		11.960		
25C	-	32	31		294		
25C	-	129	27		265		
	-		37		993		
25C	-	166	26		38		
	-		42		34		
	-		61		266		
	-		69		1.368		
	-		97		3.467		
	-		107		9.544		
25C	-	173	19		51		
	-		24		60		
	-		28		57		
	-		34		63		
	-		36		33		
	-		39		102		
	-		44		110		
	-		48		138		
	-		54		172		
	-		59		201		
25C	1958	180	13	F-CaSO4+	57	+3	+12
			45	B-NaCl-	4.892	-20	-7
25C	1958	181	21	B-NaCl-	941	+7	-3
			49	B-NaCl-	3.969	-5	-12

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
25C	-	182	19		66		
25C	1958	183	35	F-CaHCO3	156	+2	-1
			71	B-NaCl-	5.982	-33	-6
25C	-	260	12		255		
	-		24		445		
25C	-	291	19		51		
	-	(G96)	24		60		
	-		28		57		
	-		34		63		
	1969		37	F-CaHCO3+	96	+3	-1
	-		38		33		
	-		40		102		
	-		45		110		
	-		50		138		
	-		54		172		
	1969		60	F-NaHCO3+	224	+13	-1
25C	-	292	14		83		
	-	(G98)	19		1.024		
	-		24		5.358		
	-		30		5.730		
	-		32		5.880		
	1969		32	B-NaCl-	6.269	-24	-10
	-		34		5.951		
	-		40		6.000		
	-		45		5.007		
	-		49		6.515		
	-		54		6.142		
	1969		54	B-NaCl-	6.590	-33	-9
25C	-	293	4		53		
	-	(G100)	20		46		
	-		25		4.658		
	-		29		4.906		
	1969		34	B-NaCl-	5.080	-25	-6
	-		35		4.732		
	-		40		4.761		
	-		45		4.835		
	-		50		4.846		
	-		53		5.158		
	-		60		4.673		
25C	1969	294	30	B-NaCl+	998	+11	-2
		(G101)	60	B-NaCl	6.568	+2	-7
25C	-	295	31		1.837		

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
25D	-	22	15		255		
25D	-	26	18		280		
25D	-	50	27		75		
	-		33		42		
	-		48		50		
	-		59		576		
	-		70		3.763		
	-		80		5.538		
	-		102		6.517		
	-		125		7.852		
25D	1957	137	36	B-NaHCO3+	511	+15	-2
			72	B-NaCl	3.479	-2	-7
			84	B-NaCl-	4.012	-3	-7
25D	1958	138	20	B-Ca/Nacl-	2.450	-18	-8
			42	B-NaCl-	6.248	-20	-7
25D	1962	157	24	B-NaCl+	515	+6	-2
			44	B-NaCl	2.119	-2	-6
			64	B-NaCl-	6.142	-31	-6
			82	B-NaCl-	6.241	-33	-6
25D	1963	184	12	F-CaHCO3+	28	+5	-1
			22	F-Ca/MgHCO3+	36	+4	-1
			28	F-Ca/MgHCO+	64	+6	-1
			32	F-Mg/CaHCO3+	64	+6	-1
			43	F-Mg/NaHCO3+	174	+8	-1
			53	B-NaCl+	568	+5	-2
			63	B-NaCl+	735	+5	-3
			73	B-NaCl+	1.001	+4	-3
25D	-	221	16		55		
	-	(G99)	20		62		
	-		24		140		
	-		29		811		
	-		34		2.565		
	1969		34	B-NaCl-	2.911	-16	-8
	-		40		4.157		
	-		44		4.487		
	-		50		4.789		
	-		55		5.045		
	-		60		5.254		
	1969		64	B-NaCl-	5.829	-33	-6
	-		65		5.325		
25D	1969	222	27	B-NaCl-	3.696	-15	-9
		(G103)	59	B-NaCl-	5.499	-21	-3

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
25D	-	225	14		178		
	-	(G109)	20		678		
	-		24		1.669		
	-		31		2.162		
	-		36		3.390		
	-		44		4.611		
	1971		49	B-NaCl-	6.241	-19	-6
	-		55		6.994		
	-		60		7.100		
	-		65		7.182		
	-		70		7.104		
	-		75		7.100		
	-		80		6.937		
	1971		95	B-NaCl-	6.781	-18	-8
30D	-	3	7		48		
	-		12		40		
	-		17		36		
	-		22		32		
	-		27		32		
	-		33		22		
	-		38		38		
	-		43		52		
	-		47		575		
30D	-	4	10		50		
	-		21		32		
	-		25		52		
	-		31		32		
	-		35		32		
	-		40		32		
	-		45		43		
	-		50		145		
	-		55		1.700		
	-		60		3.900		
	-		65		5.100		
	-		71		5.500		
	-		81		7.500		
	-		86		7.380		
30D	-	7,8,9	2		56		
	-	zeekant	5		52		
	-		13		48		
	-		24		40		
	-		29		40		
	-		31		42		
	-		35		40		
	-		36		45		
	-		40		52		
	-		43		64		

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
	-		45		532/388		
	-		50		2.580/2840		
	-		55		4.500/4.780		
	-		60		6.363/6.100		
	-		63		6.580		
30D	-	7,8,9	0		188		
	-	landkant	3		120		
	-		6		252		
	-		13		2.360		
	-		16		38		
	-		21		38		
	-		26		38		
	-		31		44		
	-		34		40		
	-		41		160		
	-		47		764		
	-		51		260		
	-		54		300		
	-		57		362		
	-		62		450		
	-		67		450		
	-		74		1.340		
	-		77		2.190		
	-		82		3.200		
30D	-	48	23		53		
30D	1931	63	24	F-CaHCO3	124	-1	-1
	-		34		188		
	-		40		485		
	-		46		1.571		
30D	1938	64	329	B-CaCl-	14.498	-55	-42
30D	1954	65	40	F-CaHCO3/Mix	60	+0	+2
30D	-	81,83	23		26		
	-		31		72		
	-		34		40		
	-		36		30		
30D	1956	92	23	F-CaHCO3	50	+1	-0
			35	F-CaHCO3	50	+1	-0
			43	F-CaHCO3	57	+0	-1
			46	F-CaCl/HCO3	181	-1	-1
			55	B-NaCl-	5.435	-6	-7

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30E	1932	37	35	F-CaHCO3	28	+0	-1
			49	F-CaHCO3	36	+1	+1
30E	1932	38	34	F-CaHCO3	50	+2	-1
30E	1932	39	18	F-CaHCO3	39	+1	-1
			28	F-CaHCO3	43	+0	-1
			39	F-CaHCO3	39	+0	-0
			51	F-CaHCO3	43	+0	-1
	-		69		15.300		
30E	1932	40	12	F-CaHCO3	57	+1	+1
			25	F-CaHCO3	60	+1	+1
			40	F-CaHCO3	50	+1	+1
			51	F-CaHCO3	53	+0	+1
30E	1932	41	24	F-CaHCO3	50	+0	+1
			38	F-CaHCO3	43	+0	-1
			48	F-CaHCO3	50	+0	-0
30E	1932	42	26	F-CaHCO3	36	+0	-1
			36	F-CaHCO3	32	+1	-1
	-		53		9.727		
30E	1957	57	4	F-CaMix	160	-0	+1
30E	-	59	15		34		
30E	-	65	31		19		
	-		36		19		
	-		42		23		
30E	-	90	24		50		
	-		34		34		
	1932		39	F-CaHCO3	39	+0	-0
	-		57		712		
	1932		59	F-CaHCO3	32	+1	-1
	1932		69	F-CaHCO3	75	-0	-1
30E	1932	91	26	F-CaHCO3	53	+0	-1
			41	F-CaHCO3	43	+0	-1
30E	1932	92	25	F-CaHCO3	50	+1	-0
	1932		34	F-CaHCO3	36	+1	-0
	-		39		39		
	-		59		32		
	-		69		74		
	-		80		16.014		
30E	1932	93	28	F-CaHCO3	25	+1	-1
			46	F-CaHCO3	25	+1	-1
			69	F-CaHCO3	28	+1	-1

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30E	1969	114	20	F-NaHCO3+	132	+8	-1
30E	1970	116	8	F-Ca/MgHCO3/Mix+	97	+7	-5
30E	1975	119	5	B-NaCl+	1.885	+17	-5
			15	F-NaHCO3+	236	+11	-0
			26	B-NaHCO3+	342	+11	-1
			42	B-NaHCO3+	1.762	+22	-5
			55	S-NaCl-	15.255	-26	-4
30E	1975	120	14	F-CaMix	128	+1	-0
			27		394		
			48	S-NaCl	11.100	-4	-0
30E	1975	124	26?	F-NaHCO3+	215	+7	-0
30E	1975	125	26?	F-NaHCO3+	160	+5	-1
		126	26?	F-NaHCO3+	107	+5	-0
30E	1980	143	7	F-CaMix/Cl	282	-2	+1
		(P50)	16	F-CaHCO3	53	+1	-1
			24	F-MgHCO3+	35	+3	-1
30F	-	7	14		230		
	-		20		373		
	-		25		384		
	-		30		522		
	-		37		2.059		
30F	1931	27	9	B-NaHCO3+	327	+23	-2
			19	F-NaHCO3+	53	+4	-1
			29	B-NaCl	1.150	+2	-3
			34	B-NaCl-	5.524	-6	-2
			39	S-NaCl-	11.200	-11	-0
			45	S-NaCl	14.551	-3	-1
30F	1940	39	28	F-CaHCO3	39	+0	-0
30F	-	43	10		326		
	-		20		53		
	-		30		1.150		
			40		11.200		
30F	-	48	30		572		
30F	1958	53	21	B-NaCl-	5.964	-15	-12
30F	-	67	23		248		
	-		27		488		
	-		36		1.444		
30F	-	90	8		691		
	-		23		532		
	-		31		2.018		

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30F	-	102	20		4.310		
	-		27		5.971		
	-		31		6.840		
30F	-	107	7		4.388		
	-		15		1.527		
	-		22		600		
	-		29		3.085		
30F	-	132	26		2.651		
30F	1954	217	30	B-NaCl-	5.325	-9	-8
30F	1957	222	33	B-NaCl+	1.356	+5	-3
30F	1957	257	5		190		
			16		308		
			19		692		
			29		2.290		
			35		2.885		
30F	1961	282	23	F-CaHCO3+	273	+6	-0
30F	1965	292	30?		1.170		
30F	1965	296	29	F-CaHCO3+	28	+4	-1
	-		43		950		
30F	-	332	13		174		
	-	(G95)	17		161		
	-		22		159		
	-		27		154		
	1969		31	F-NaHCO3+	273	+8	-1
	-		32		269		
	-		38		174		
	-		43		1.335		
	1969		46	B-NaCl	2.521	-0	-7
	-		48		2.526		
30F	-	333	5		75		
	-	(H58)	19		330		
	-		21		689		
	-		27		1.925		
	-		31		4.666		
	1969		33	B-NaCl-	5.751	-10	-10
	-		34		6.147		
	-		37		6.760		
	-		43		7.274		
	-		48		7.810		
	1969		49	B-NaCl-	8.570	-10	-7
	-		52		9.113		

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30F	-	335	15		57		
	-	(H62)	20		60		
	-		25		121		
	-		30		170		
	-		35		1.587		
	1969		35	B-NaCl+	1.700	+5	-4
	-		40		7.278		
	-		44		11.193		
	-		59		12.762		
30F	1975	387	4	F-CaMix	156	-0	-0
			24	B-NaCl+	1.073	+3	-3
			39	F-CaHCO3	44	+2	-0
			58	S-NaCl+	15.020	+6	-0
30F	1975	388	5	F-NaMix	260	+2	+3
			25	F-NaMix+	239	+4	+2
			34	F-NaMix+	174	+3	-0
			60	B-NaCl-	9.080	-28	-23
30F	1975	389	60	S-NaCl-	29.750	-33	-44
30F	1979	421	14	B-NaCl/Mix+	910	+15	-3
		(P51)	20	B-NaCl+	3.321	+9	-10
			25	B-NaCl-	5.413	-6	-16
30F	1978	422	12		380		
			35		9.000		
			61		17.000		
			112		20.500		
			208		9.000		
30G	1956	19	33	F-CaHCO3+	85	+4	-1
30G	1956	21	26	F-Ca/MgHCO3+	107	+7	-1
30G	-	22	33		494		
30G	-	24	39		440		
30G	1915	38	30	F-CaHCO3	18	+0	-0
			31	F-CaHCO3	21	+1	-0
			35	F-CaHCO3	18	+0	+2
			40	F-CaHCO3	21	+0	-0
30G	1915	39	23	F-CaHCO3	21	+1	-1
			28	F-CaHCO3	21	+0	-1
			29	F-CaHCO3	21	+1	-0
			34	F-CaHCO3	18	+1	-0

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30G	-	87	26		22		
	-		36		23		
	-		46		27		
	-		56		51		
	-		72		5.148		
30G	-	88	25		22		
	-		36		44		
	-		45		1.344		
30G	-	133	29		503		
30G	-	135	33		627		
30G	-	136	40		1.258		
30G	1929	198	40	F-NaHCO3+	21	+6	-1
30G	-	212	8		77		
	1914		46	F-CaHCO3+	39	+4	-0
	1914		69	B-NaCl+	1.381	+4	-0
30G	1955	251	26	F-CaHCO3	32	+2	-1
			58	F-NaHCO3+	99	+9	-1
			79	B-NaCl-	2.726	-9	-5
30G	1957	253	10	F-CaHCO3+	167	+4	-1
			30	F-CaHCO3	32	+2	-1
			60	F-NaHCO3+	210	+10	-1
30G	1957	254	31	F-CaHCO3	36	+2	-1
			59	F-NaHCO3+	57	+7	-1
30G	1957	255	34	F-CaHCO3	32	+2	-1
			65	F-NaHCO3+	153	+9	-1
			76	F-NaHCO3+	298	+9	-1
30G	1957	256	37	F-Mg/CaHCO3+	28	+4	-1
			78	B-NaHCO3+	419	+11	-2
			82	B-NaCl-	2.840	-6	-5
30G	-	305	38		47		
30G	-	310	37		255		
30G	-	466	19		250		
	-	(H47)	24		280		
	1968		29	F-CaHCO3+	75	+7	-1
	1968		50	B-CaCl-	1.069	-8	-4

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30G	-	467	17		160		
	1968	(H48)	22	F-NaHCO3+	71	+6	-1
	-		27		160		
	-		33		410		
	1968		37	B-NaCl-	3.234	-10	-7
	-		42		4.000		
	-		45		4.350		
	1968		49	B-NaCl-	4.668	-21	-7
30G	-	494	8		750		
	-	(H82)	18		110		
	-		21		140		
	-		26		200		
	1971		32	F-CaHCO3	121	+0	-1
	-		35		210		
	-		41		370		
	-		46		1.080		
	-		52		1.560		
	-		56		2.100		
	-		62		2.460		
	-		67		2.820		
	1971		76	B-NaCl	3.000	-9	-5
30G	1980	573	6	F-CaHCO3	55	+0	+1
		(P59)	11	F-CaHCO3/Mix	57	-0	+1
			21	F-CaMix/HCO3	64	+1	+4
30G	1979	574	9	F-CaHCO3	143	+2	-0
		(P60)	13	F-CaHCO3	126	+1	-1
			23	F-CaHCO3	51	+0	-1
30G	1982	575	5	F-CaHCO3+	110	+4	-0
		(P92)	18	F-CaHCO3+	28	+4	-0
			23	F-CaHCO3+	26	+3	-0
30H	-	12	59		405		
	-		63		462		
	-		71		699		
	-		76		518		
	-		82		904		
	-		87		1.471		
	-		93		1.612		
	-		98		1.903		
30H	1927	14	30	F-CaHCO3+	149	+7	-0
	-		36		77		
30H	-	45	15		78		
	-		36		1.081		
30H	1962	81	22	F-CaHCO3+	39	+5	-1

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30H	1966	83	22	B-NaHCO3+	494	+8	-2
			32	B-NaCl-	2.350	-3	-7
30H	1966	84	27	F-NaHCO3+	252	+6	-1
			31	B-NaCl+	486	+6	-2
			37	B-NaCl	1.590	+0	-5
30H	1966	85	21		173		
			26		172		
			31		224		
30H	1968	86	16		225		
	-		16		279		
	1968		22		164		
	-		22		257		
	1968		27		258		
	-		27		259		
	1968		32		370		
	-		32		328		
30H	1968	89	13		94		
			24		77		
			34		113		
			46		2.857		
30H	1967	95	11		113		
			21		1.277		
30H	-	100	15		370		
	-	(H51)	20		1.380		
	-		24		2.420		
	1968		28	B-NaCl-	2.588	-9	-8
	-		34		2.620		
	-		40		2.550		
	-		46		2.410		
30H	-	101	15		120		
	-	(H52)	19		110		
	-		23		140		
	1968		30	F-CaHCO3+	210	+6	-1
	-		33		370		
	-		39		370		
	1968		44	B-NaCl+	415	+4	-2
30H	1969	106	28	F-CaHCO3+	142	+3	+1
		(H57)	48	F-CaMix/HCO3+	131	+5	+3
30H	-	107	12		879		
	-	(H63)	16		452		
	-		22		1.578		
	-		26		2.801		
	-		32		3.774		
	1969		34	B-NaCl-	3.689	-27	-9
	-		37		3.788		
	-		42		3.799		
	-		48		3.781		

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
30H	-	H67	13		185		
30H	-	112	16		55		
	-	(H71)	22		41		
	-		25		48		
	-		31		158		
	1970		31	F-Ca/NaHCO3+	167	+8	-1
	-		34		220		
	-		39		206		
	-		45		213		
	-		50		596		
	1970		59	B-NaCl+	1.321	+4	-4
30H	1970	115	26	F-CaHCO3+	64	+9	-0
		(H72)	46	B-NaCl	802	+2	-3
			63	B-CaCl-	1.111	-12	-4
30H	-	124	19		92		
	-	(H80)	24		85		
	-		30		110		
	-		34		852		
	1971		35	B-CaHCO3/Cl	412	+2	-2
	-		40		902		
	-		45		951		
			61	B-Na/CaCl-	1.285	-10	-4
30H	-	125	19		36		
	-	(H81)	23		43		
	-		29		57		
	-		33		43		
	1971		38	F-CaHCO3+	71	+7	-1
	1971		58	B-Ca/NaHCO3+	405	+3	-2
	1971		97	B-NaCl-	1.903	-8	-5
30H	1971	126	34	F-CaHCO3	139	+2	-1
		(H90)					
30H	1976	136	10	B-NaCl-	3.556	-8	-9
ionenbalansen			29	B-NaCl+	998	+7	-3
niet kloppend			43	B-NaCl-	6.124	-81	-3
			56	B-NaCl-	6.751	-97	-10
30H	1976	137	4	F-CaMix	236	+2	-0
ionenbalansen			20	F-Mg/CaMix+	166	+3	+7
niet kloppend			28	B-NaCl+	595	+3	-2
			40	B-NaCl-	5.105	-24	-11
			73	B-NaCl-	5.246	-20	-7
30H	1979	146	17	F-Ca/MgHCO3+	43	+10	+3
		(P57)	23	F-Ca/MgHCO3+	32	+9	-0
			28	F-CaHCO3+	92	+9	-1

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31A	-	26	20		82		
31A	-	27	20		252		
31A	1958	32	36	F-CaHCO3+	46	+3	-1
			43	B-NaCl-	3.621	-26	-11
31A	1959	33	27	B-NaCl+	1.637	+4	-5
	1977		27	F-NaHCO3+	223	+10	-1
	1959		68	B-NaCl-	3.763	-7	-10
	1977		68	B-NaCl-	3.759	-10	-11
31A	-	43/44	18		338		
31A	-	53	23		135		
	-		40		179		
31A	-	54	17		336		
31A	-	57	20		1.162		
31A	-	58	20		223		
	-		31		1.217		
31A	1938	59	32	F-CaMix	107	+2	+3
31A	-	83	22		65		
31A	1966	94	33	F-Ca/MgHCO3+	121	+6	-1
31A	1966	95	30	F-CaHCO3+	89	+8	-1
31A	-	101	13		520		
	-	(H54)	18		641		
	-		23		1.564		
	1969		26	B-NaCl+	1.832	+5	-6
	-		26		1.862		
	-		29		1.850		
	-		33		2.576		
	1969		43	B-NaCl-	3.621	-26	-11
	-		44		3.830		
31A	-	102	10		139		
	-	(H55)	15		106		
	-		20		87		
	-		23		29		
	1969		25	F-CaHCO3	103	+2	-0
	-		25		99		
	-		30		100		
	-		35		119		

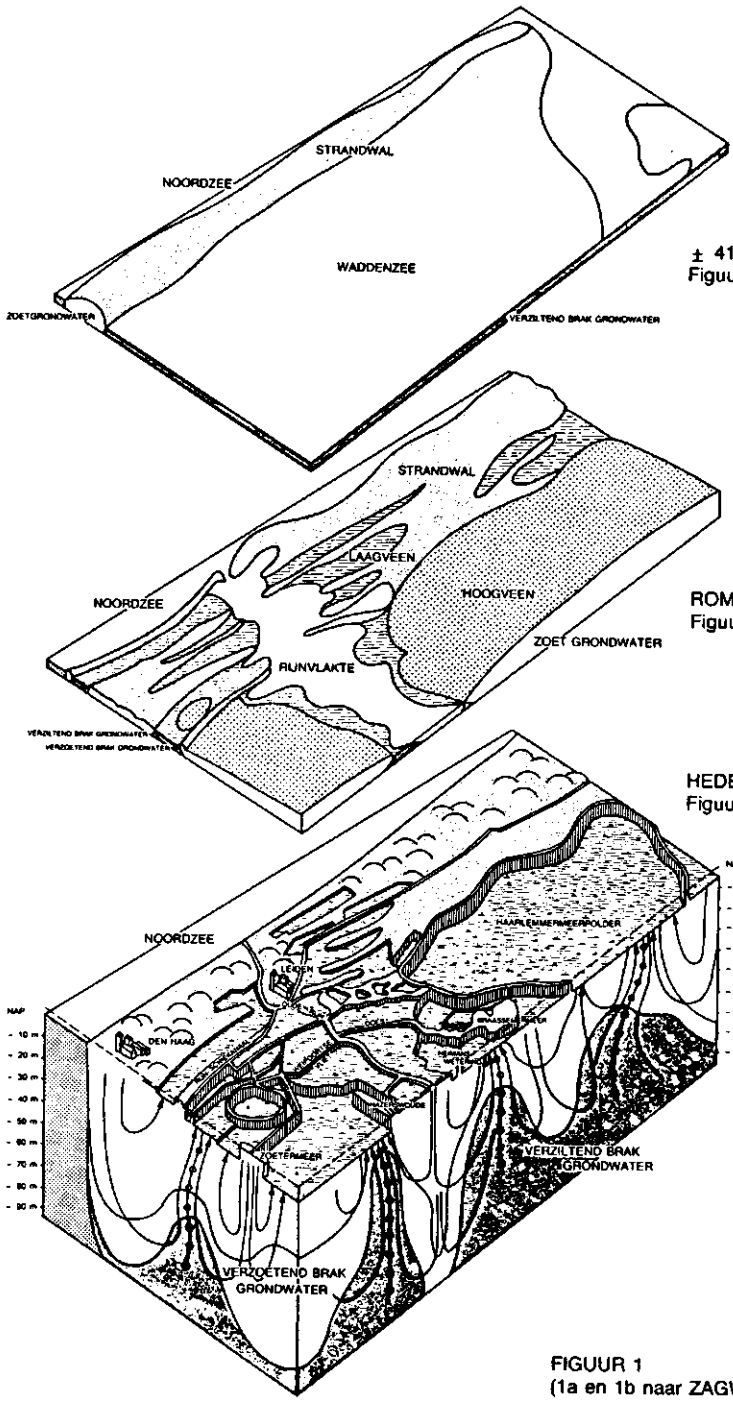
krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31A	-	103	19		302		
	-	(G97)	24		608		
	-		29		1.030		
	-		31		1.033		
	1969		32	B-NaCl	1.065	-1	-4
	-		34		1.195		
	-		39		2.135		
	-		44		3.278		
	-		58		4.714		
	-		61		4.845		
	1969		62	B-NaCl-	4.860	-6	-12
31A	1979	106	15	F-CaHCO3+	40	+6	-1
		(P52)	24	B-CaCl/HCO3+	572	+5	-2
			29	B-NaCl+	935	+3	-3
31B	-	2	22		376		
	-		30		610		
	-		40		613		
	-		85		1.432		
31B	-	6	11		87		
	-		14		128		
	-		23		145		
	-		31		1.470		
31B	-	3/40	15		48		
	-		24		38		
	-		32		87		
31B	1958	44	33	F-MgHCO3+	82	+8	-1
			49	F-NaHCO3	206	+13	-1
31B	1958	45	19	F-CaHCO3+	25	+4	-1
			34	F-CaHCO3+	53	+5	-1
	-		40		66		
	1958		60	F-NaHCO3+	64	+10	-0
31B	1958	46	25	F-MgHCO3+	92	+8	-1
			71	F-NaHCO3+	181	+16	-1
			83	B-NaCl+	1.019	+19	-3
31B	1958	47	32	F-CaHCO3+	75	+5	-1
			53	F-NaHCO3+	39	+11	-

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31B	-	52	15		80		
	-	(G110)	22		82		
	-		27		107		
	1971		32	F-Ca/MgHCO3+	110	+7	-1
	-		35		107		
	-		40		110		
	-		48		170		
	-		52		390		
	1971		66	B-NaCl+	604	+7	-2
	-		70		568		
	-		75		825		
31B	1966	53	20	B-NaCl/HCO3+	476	+5	-2
31B	1966	55	23	F-Ca/MgHCO3+	110	+6	-1
31B	1958	56	24	F-MgHCO3+	60	+8	-1
31B	1966	57	21	F-CaHCO3+	238	+6	-1
31B	1958	58	21	F-CaHCO3	202	-0	-1
31B	1958	59	16	F-CaHCO3	85	+1	-1
	-	e.a.	30		16		
	-		32		16		
	1961		36	B-Ca/NaCl	689	-1	-2
	-		74		15		
31B	-	101	10		28		
	-	(H56)	14		38		
	-		19		112		
	-		25		238		
	-		29		335		
	-		31		504		
	1969		32	B-NaCl+	479	+5	-2
	-		34		964		
	-		40		1.250		
	-		45		1.185		
	1969		51	B-NaCl+	923	+6	-3
	-		51		967		
31B	1971	104	25	F-CaHCO3+	57	+8	-0
		(G111)	41	F-NaHCO3+	217	+15	-1
31B	1979	110	15	F-CaHCO3+	73	+4	-1
		(P53)	19	F-CaHCO3+	144	+5	-1
			29	B-NaHCO3+	369	+7	-1

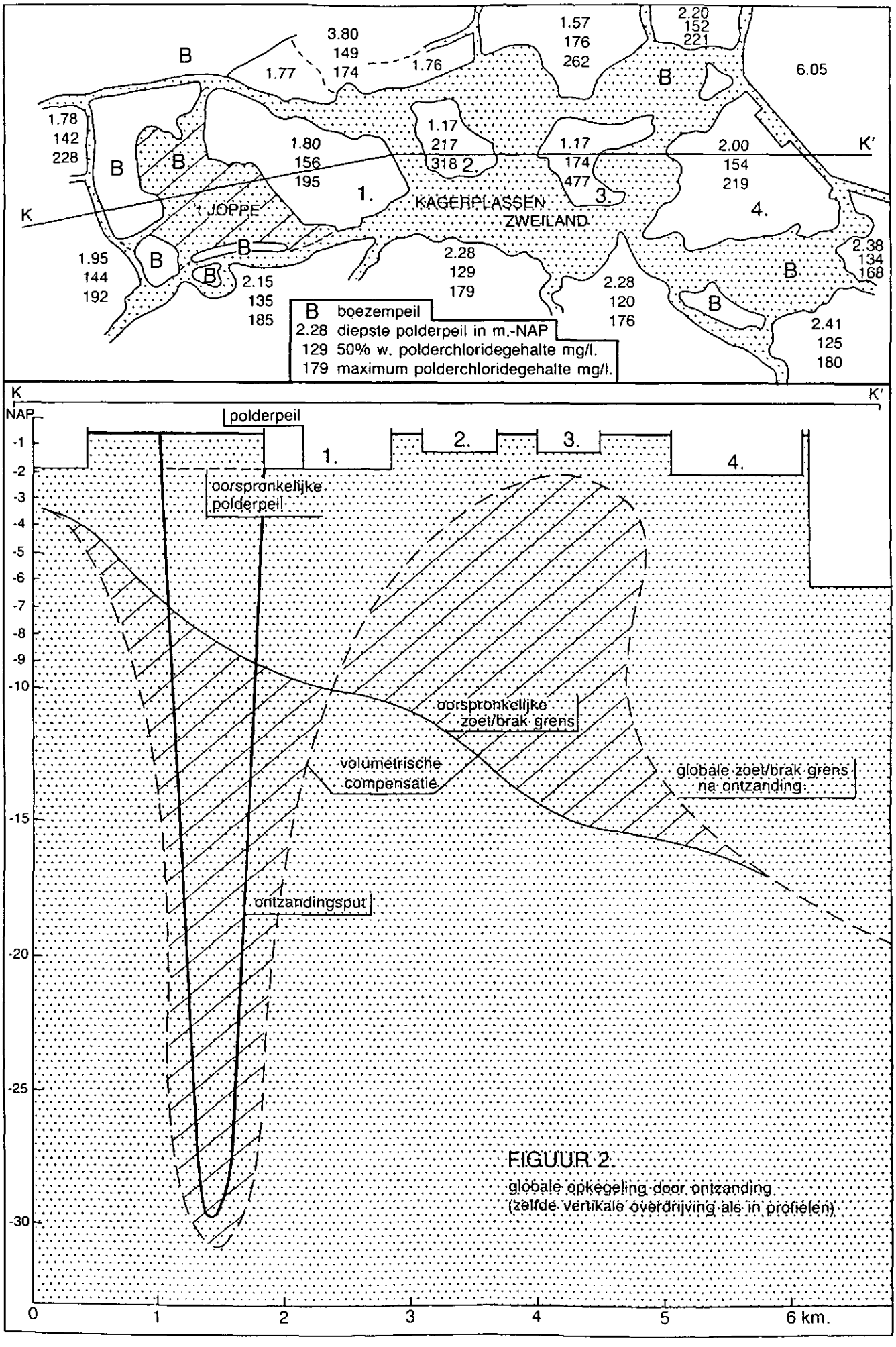
krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31C	-	15	13		131		
	-		22		193		
	-		28		355		
	-		34		670		
31C	-	16	44		1.734		
31C	-	19	31		259		
	-		36		74		
	-		38		57		
	-		72		3.690		
31C	1931	38	31	F-CaHCO3+	89	+3	+1
31C	1931	39	30	F-CaHCO3	89	+2	+1
31C	-	45	31		60		
31C	1926	80	17	F-CaMix+	82	+4	+5
	1930		22	F-CaHCO3+	82	+3	+1
	1926		34	F-CaHCO3+	89	+3	+2
	1926		40	F-CaHCO3+	117	+6	+3
	1930		48	B-NaHCO3/Mix+	437	+17	+1
	-		53		438		
	-		63		536		
	-		71		549		
31C	1964	103	17		248		
31C	1968	104	6	F-CaHCO3+	107	+3	+3
			37	F-CaMix+	139	+3	+3
			49	F-CaMix	117	+1	+2
31C	1965	108	20		119		
			30		81		
			41		71		
31C	1965	109	20		139		
31C	1966	117	20-36		119		
31C	1968	146	44	F-CaMix+	110	+3	+4
			65	F-MgHCO3+	89	+4	+1
31C	-	158	18		160		
	-	(H49)	23		410		
	-		28		810		
	1968		34	B-NaCl	809	-0	-3
	1969		34	B-NaCl+	820	+3	-3
	-		38		960		
	-		43		920		
31C	1968	159	16	F-CaHCO3+	99	+3	+1
		(H53)	26	F-CaHCO3+	71	+3	+1

krt	jaar	nr	diep	type	Cl- mg/l	exch.	SO4
31C	1979	183	21	F-CaHCO3	175	-1	-1
		(P55)	27	F-CaHCO3/Cl	187	-1	-1
31C	1979?	184	10	F-CaMix	183	+0	-0
		(P56)	14	F-CaMix	188	-2	+3
			25	F-CaMix	168	+1	+4
31D	1958	3	21	F-CaHCO3+	82	+6	-1
31D	-	10/11	30		33		
31D	-	26	30		65		
	-		70/82		43		
31D	-	27	26		214		
31D	1957	31	26	F-CaHCO3	39	+2	+0
		e.a.	26	F-CaHCO3	36	+2	+0
	1955		72	F-CaHCO3	28	+1	-1
	1966		74	F-CaHCO3	102	+1	-1
	1955		75	F-CaHCO3	43	+1	-0
	1961		76	F-CaHCO3	50	+1	-0
	1955		78	F-CaHCO3	36	+3	-1
	1955		81	F-CaHCO3	57	+2	-1
	1955		86	F-NaCl/HCO3	146	+1	-1
	1955		89	F-NaCl	288	-1	-1
	1955		92	F-NaCl	149	+1	-1
	1955		95	F-CaCl	149	+1	-1
	1955		98	F-NaCl	195	-0	-1
	1955		101	F-NaCl	188	+0	-6
	1955		107	B-CaCl-	426	-5	-2
	1955		113	B-NaCl-	1.299	-11	-4
31D	1964	50	17	F-CaHCO3	53	+1	-1
			37	F-CaHCO3	39	+2	-1
31D	-	59	12		238		
	-	(H77)	15		362		
	1970		23	F-CaHCO3+	124	+3	+1
	-		25		209		
	-		31		263		
	-		42		628		
	1970		47	B-NaCl+	557	+6	-2
	-		54		774		
	-		58		824		
	-		65		884		
	-		68		2.270		
	-		74		1.796		
	-		79		2.102		
	1970		86	B-NaCl-	2.041	-7	-5
	-		92		2.258		

Fig. 1 Paleogeografisch blokdiagram



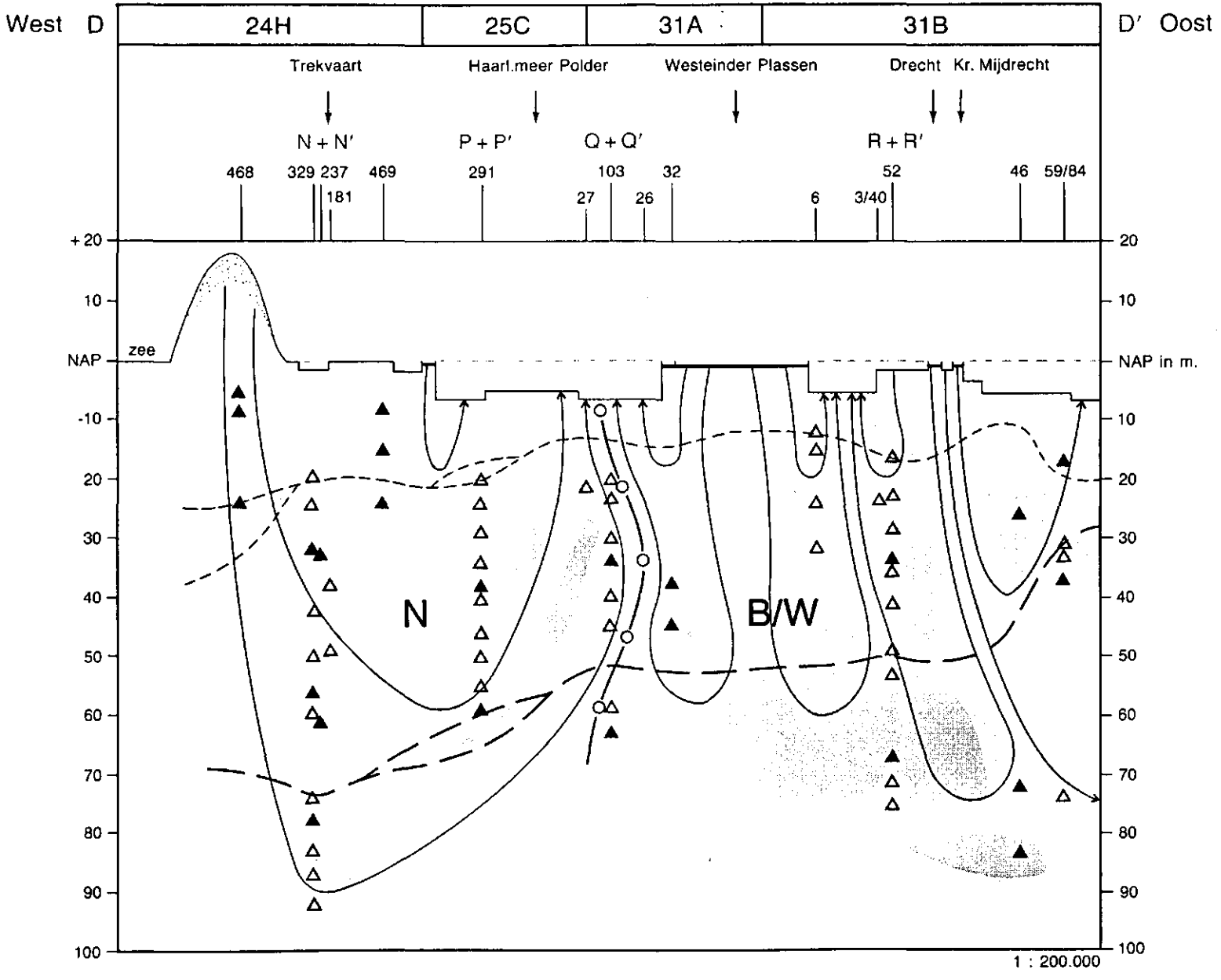
FIGUUR 1
(1a en 1b naar ZAGWIJN 1985)



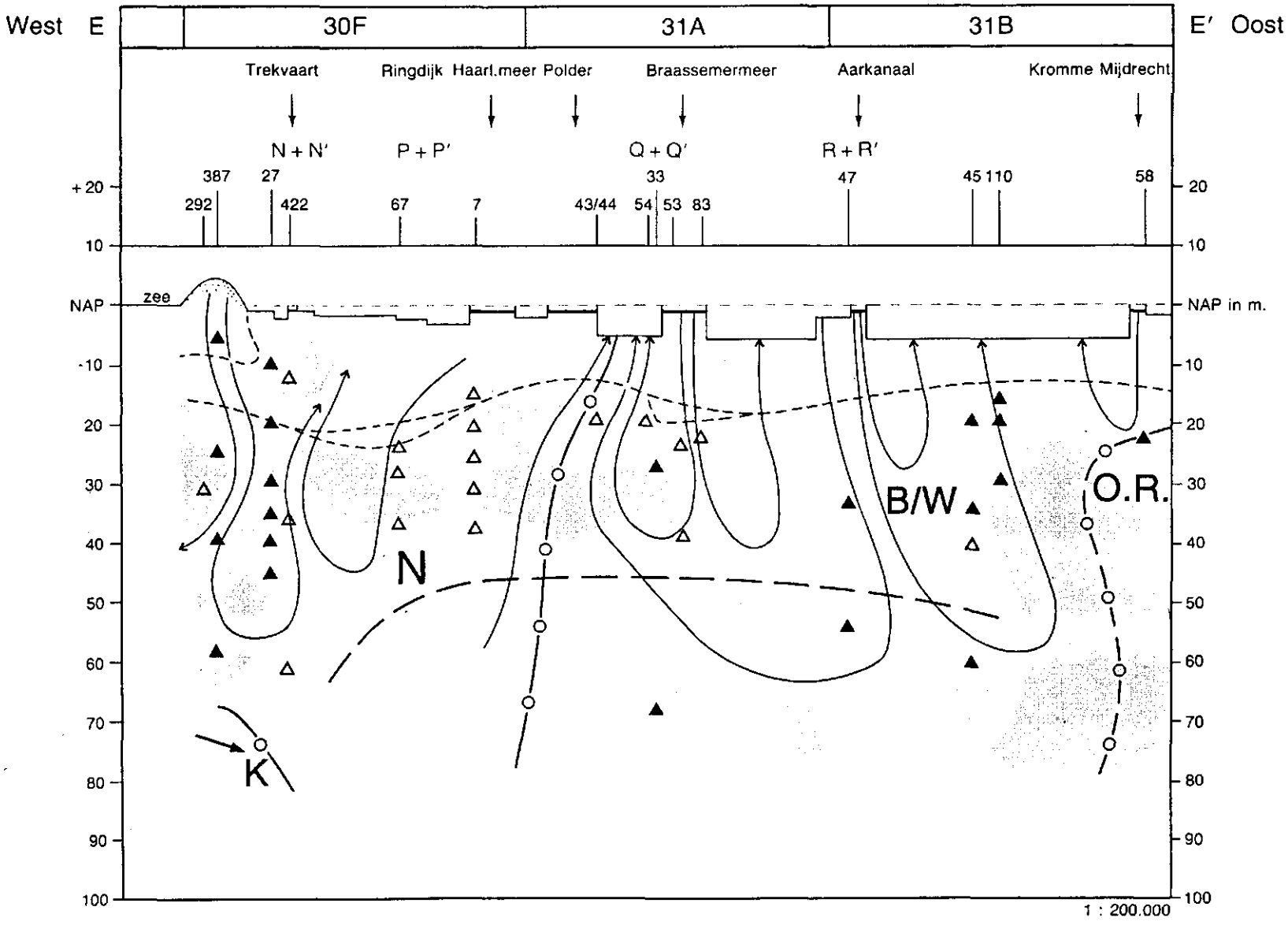
FIGUUR 2.

globale opkegeling door ontzanding
(zelfde vertikale overdrijving als in profielen)

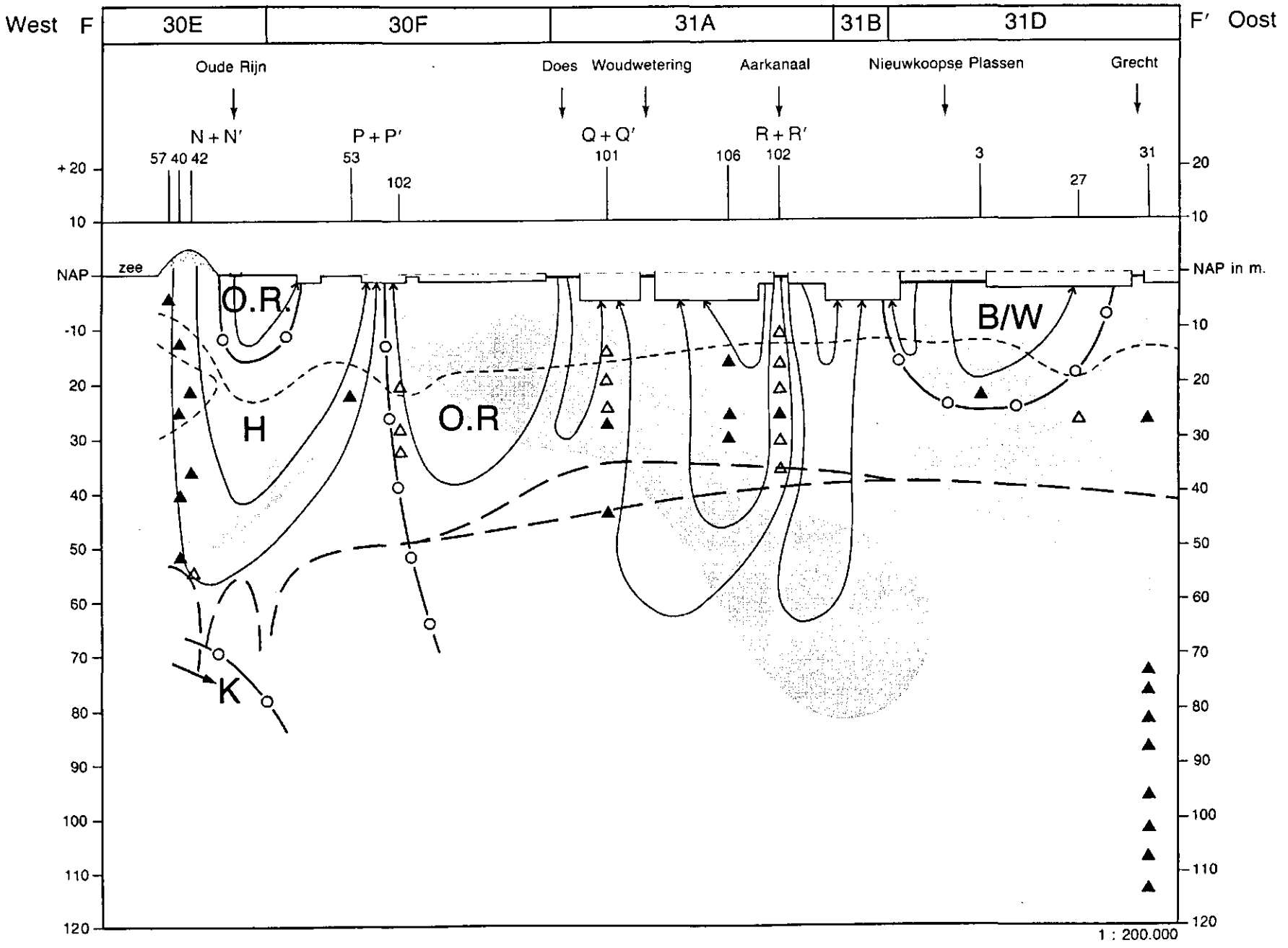
Bijlage A1:


West D
24H
25C
31A
31B
D' Oost
Trekvaart
Haarl.meer Polder
Westeinder Plassen
Drecht
Kr. Mijdrecht
N + N'
P + P'
Q + Q'
R + R'
468
329
237
181
469
291
27
103
26
32
6
3/40
52
46
59/84
+20
10
NAP
zee
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
N
B/W
NAP in m.
1 : 200.000

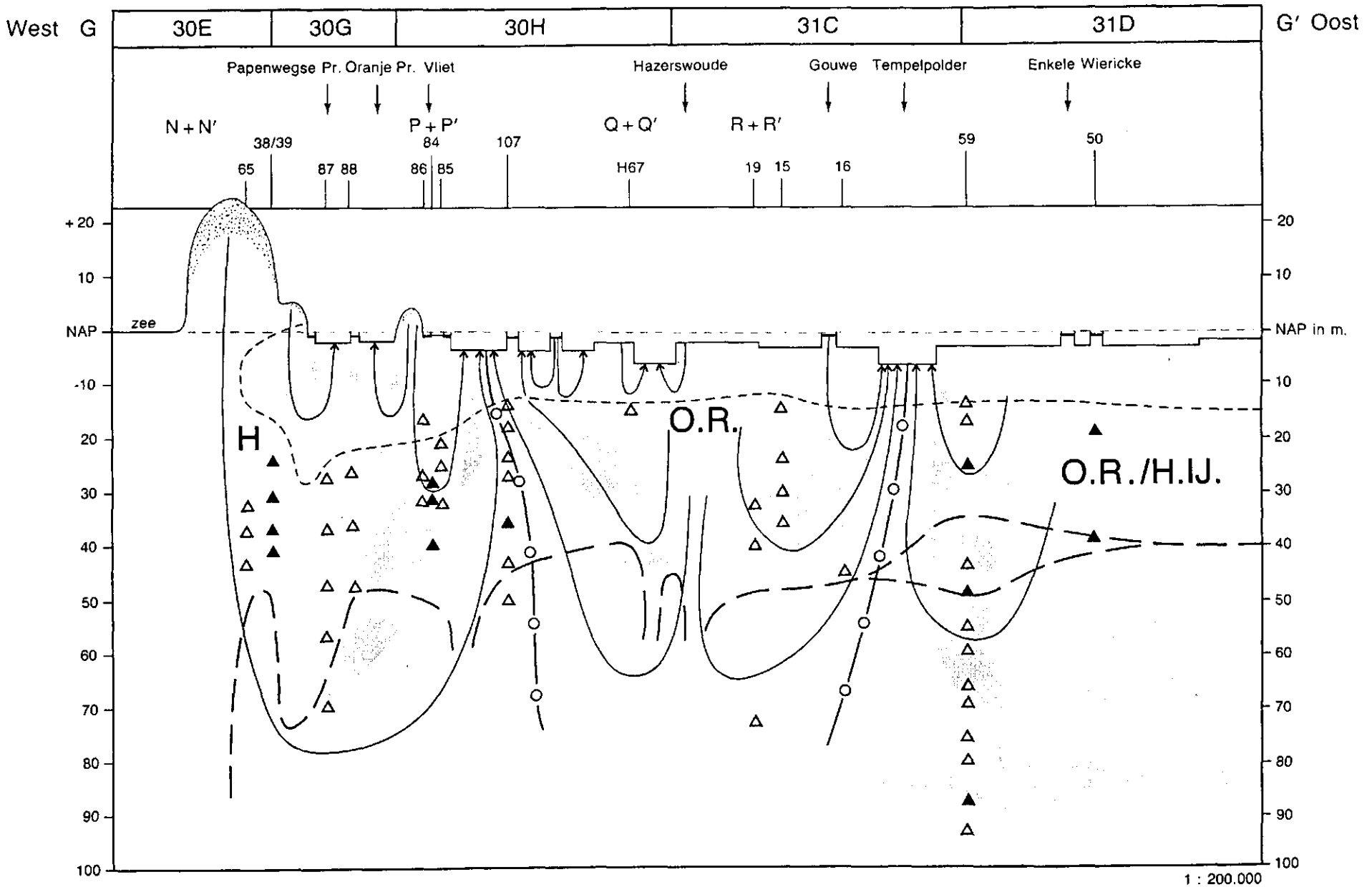
Bijlage A2:


West E
30F
31A
31B
E' Oost
Trekvaart
Ringdijk
Haarl.meer Polder
Braassemermeer
Aarkanaal
Kromme Mijdrecht
N + N'
P + P'
Q + Q'
R + R'
387
27
292
422
67
7
43/44
33
54
53
83
47
45
110
58
+20
10
NAP
zee
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
NAP in m.
N
K
B/W
O.R.
1 : 200.000

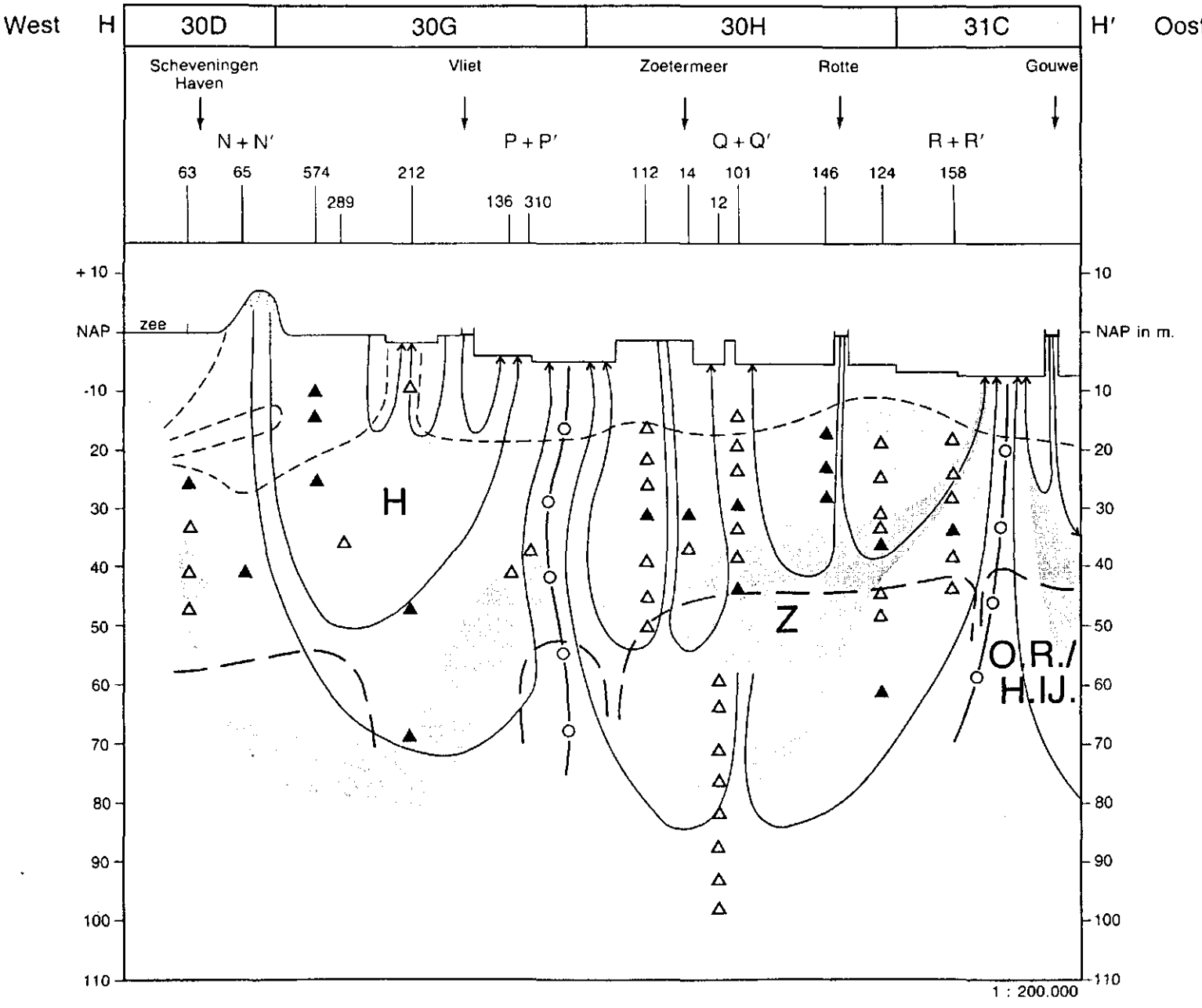
Bijlage A3:


West F
30E
30F
31A
31B
31D
F′ Oost
Oude Rijn
Does
Woudwetering
Aarkanaal
Nieuwkoopse Plassen
Grecht
N + N′
P + P′
Q + Q′
R + R′
57 40 42
53
102
101
106
102
3
27
31
+ 20
10
NAP
zee
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
O.R.
H
O.R
K
B/W
NAP in m.
1 : 200.000

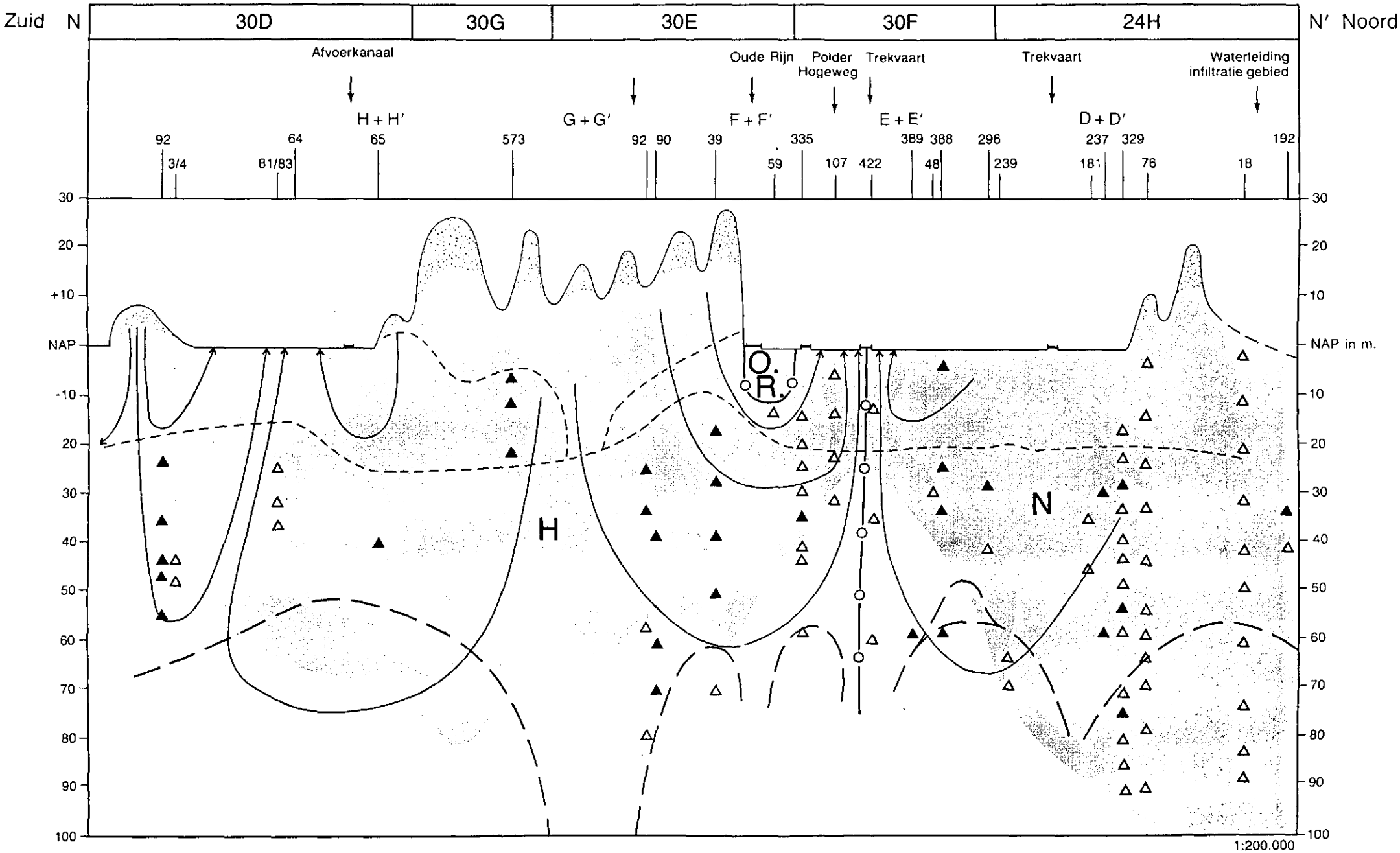
Bijlage A4:


West G
30E
30G
30H
31C
31D
G' Oost
Papenwegse Pr.
Oranje Pr.
Vliet
Hazerswoude
Gouwe
Tempelpolder
Enkele Wiericke
N + N'
P + P'
Q + Q'
R + R'
65
38/39
87
88
84
86
85
107
H67
19
15
16
59
50
+20
10
NAP
zee
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
H
O.R.
O.R./H.IJ.
NAP in m.
1 : 200.000

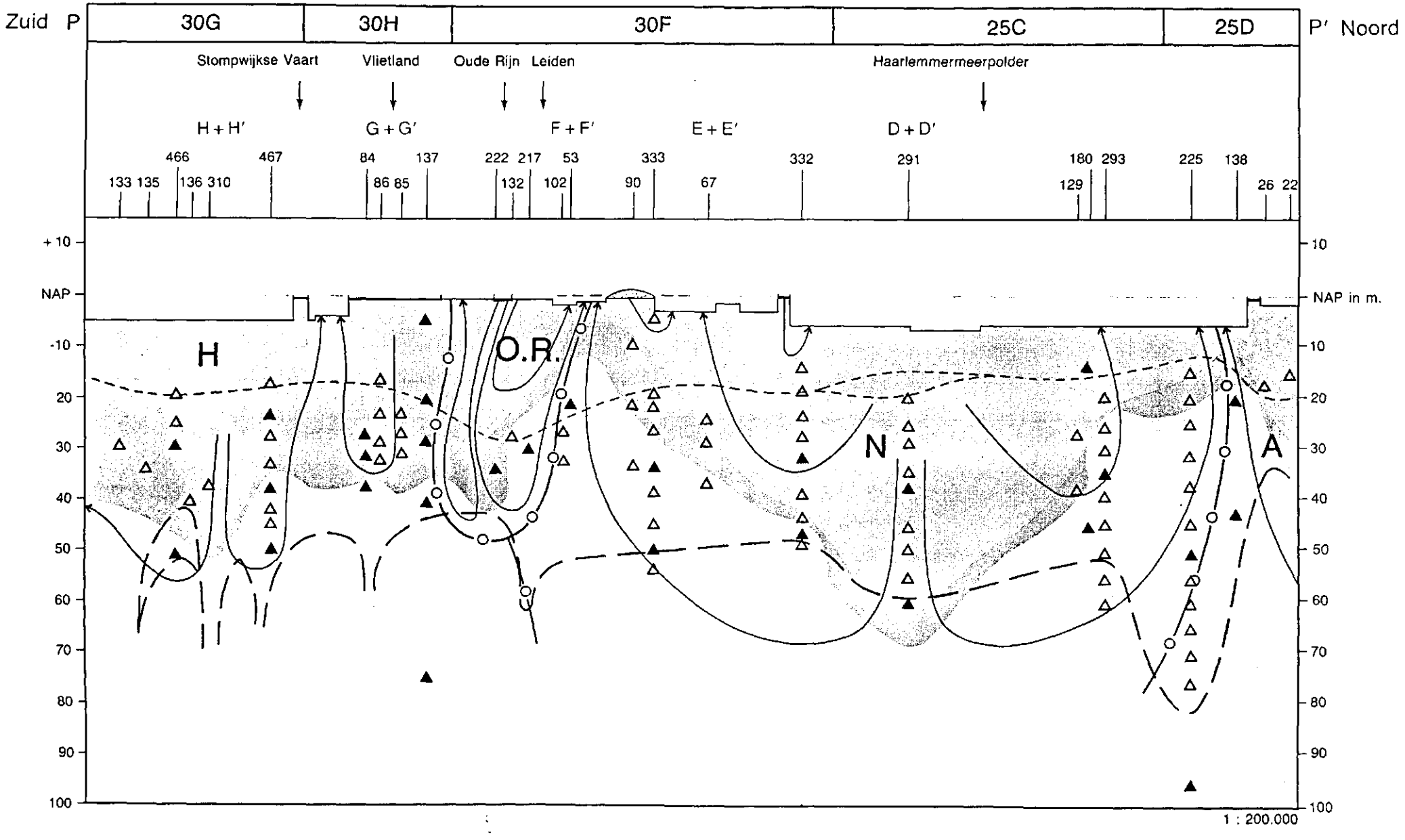
Bijlage A5:


West
H
30D
30G
30H
31C
H'
Oost
Scheveningen Haven
Vliet
Zoetermeer
Rotte
Gouwe
N + N'
P + P'
Q + Q'
R + R'
63
65
574
289
212
136
310
112
14
12
101
146
124
158
+ 10
NAP
zee
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
10
NAP in m.
H
Z
O.R./
H.IJ.
1 : 200.000

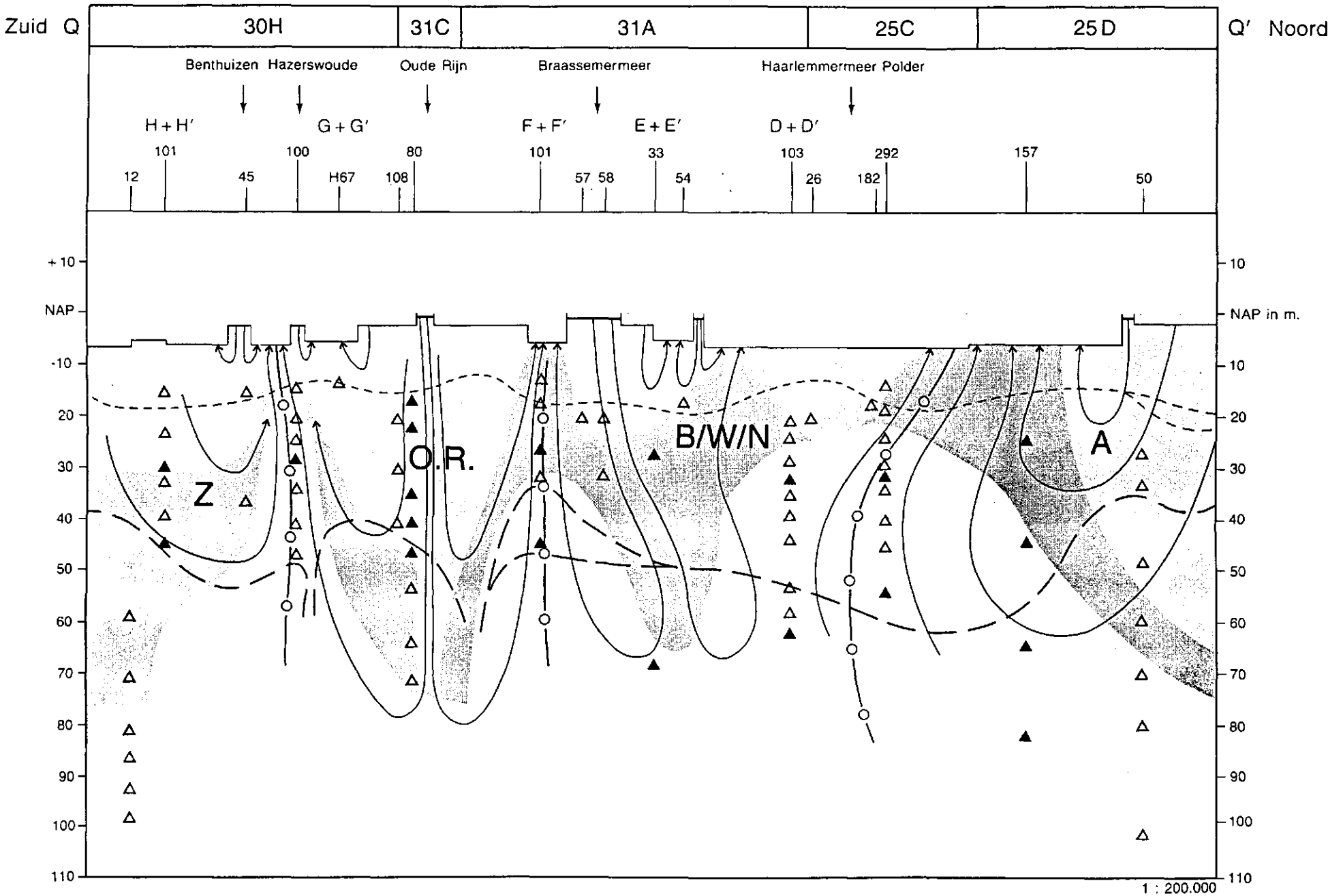
Bijlage A6:


Zuid N
30D
30G
30E
30F
24H
N' Noord
Afvoerkanaal
Oude Rijn
Polder Hogeweg
Trekvaart
Trekvaart
Waterleiding infiltratie gebied
H + H'
G + G'
F + F'
E + E'
D + D'
92
3/4
64
81/83
65
573
92
90
39
59
335
107
422
389
48
388
296
239
237
181
329
76
18
192
30
20
+10
NAP
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
O.
R.
H
N
NAP in m.
1:200.000

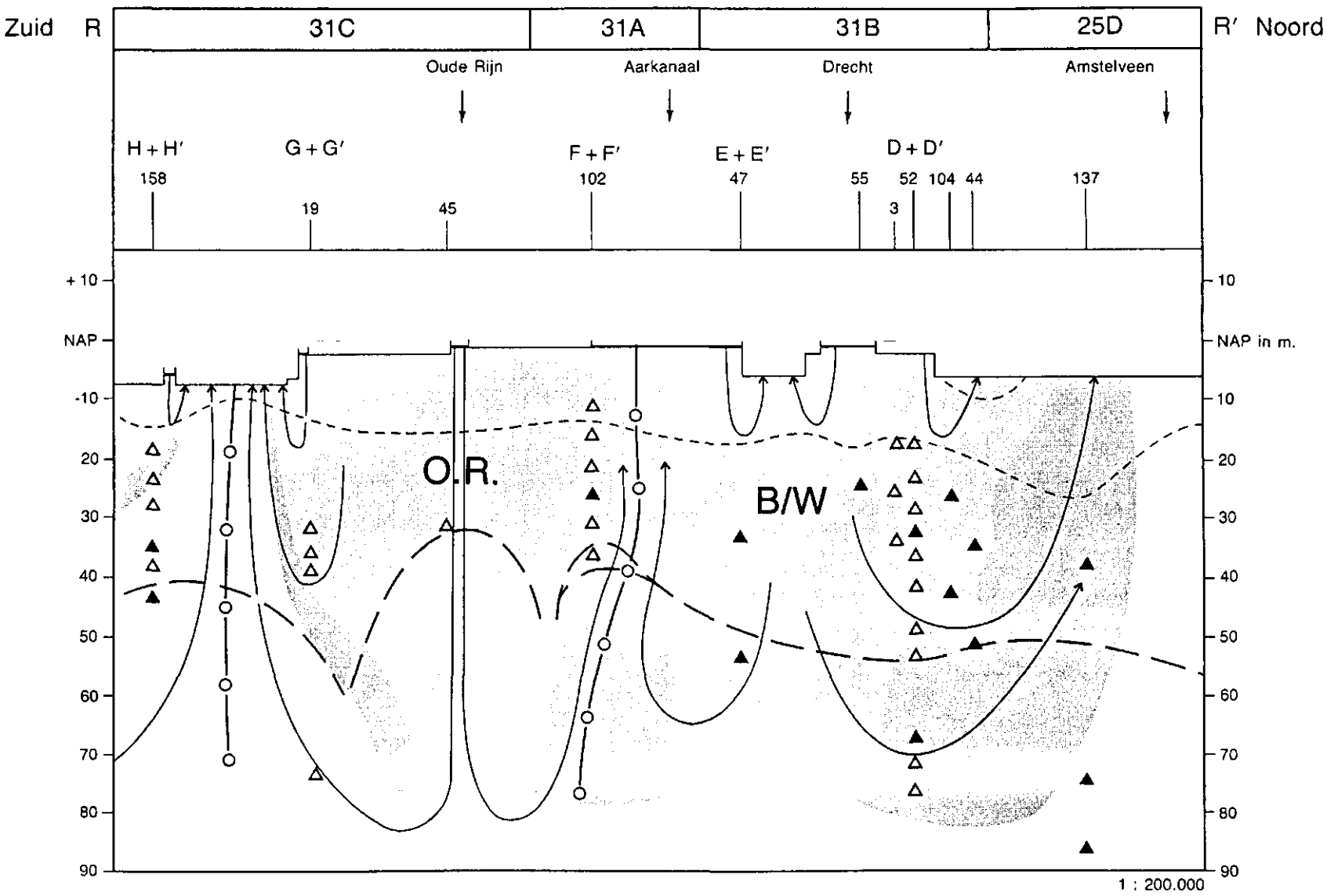
Bijlage A7:

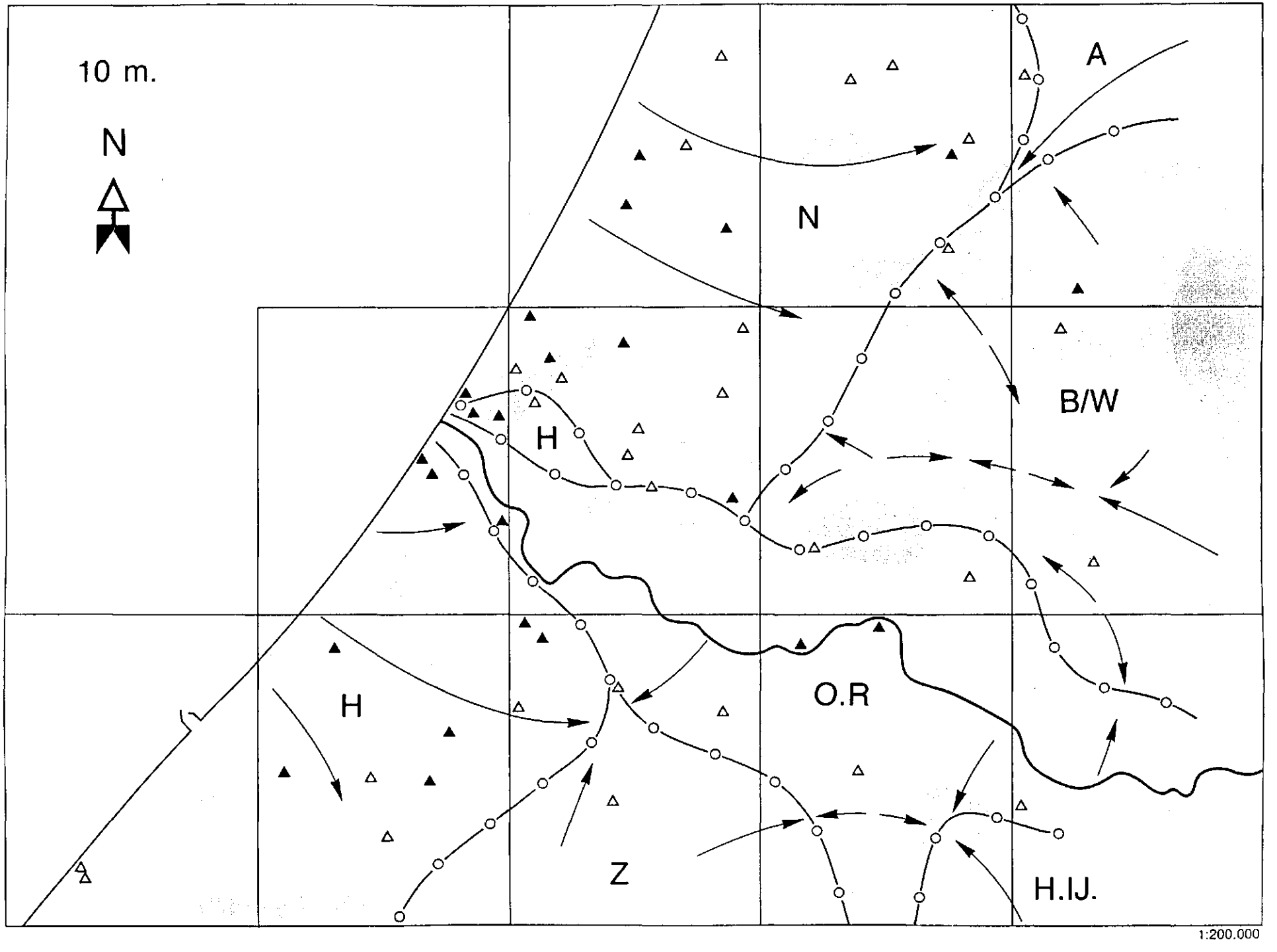

Zuid P
30G
30H
30F
25C
25D
P' Noord
Stompwijkse Vaart
Vlietland
Oude Rijn
Leiden
Haarlemmermeerpolder
H + H'
G + G'
F + F'
E + E'
D + D'
133 135
466
136 310
467
84
86 85
137
222 217
132
53
102
333
90
67
332
291
180 293
129
225
138
26 22
+ 10
NAP
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
H
O.R.
N
A
10
NAP in m.
1 : 200.000

Bijlage A8:

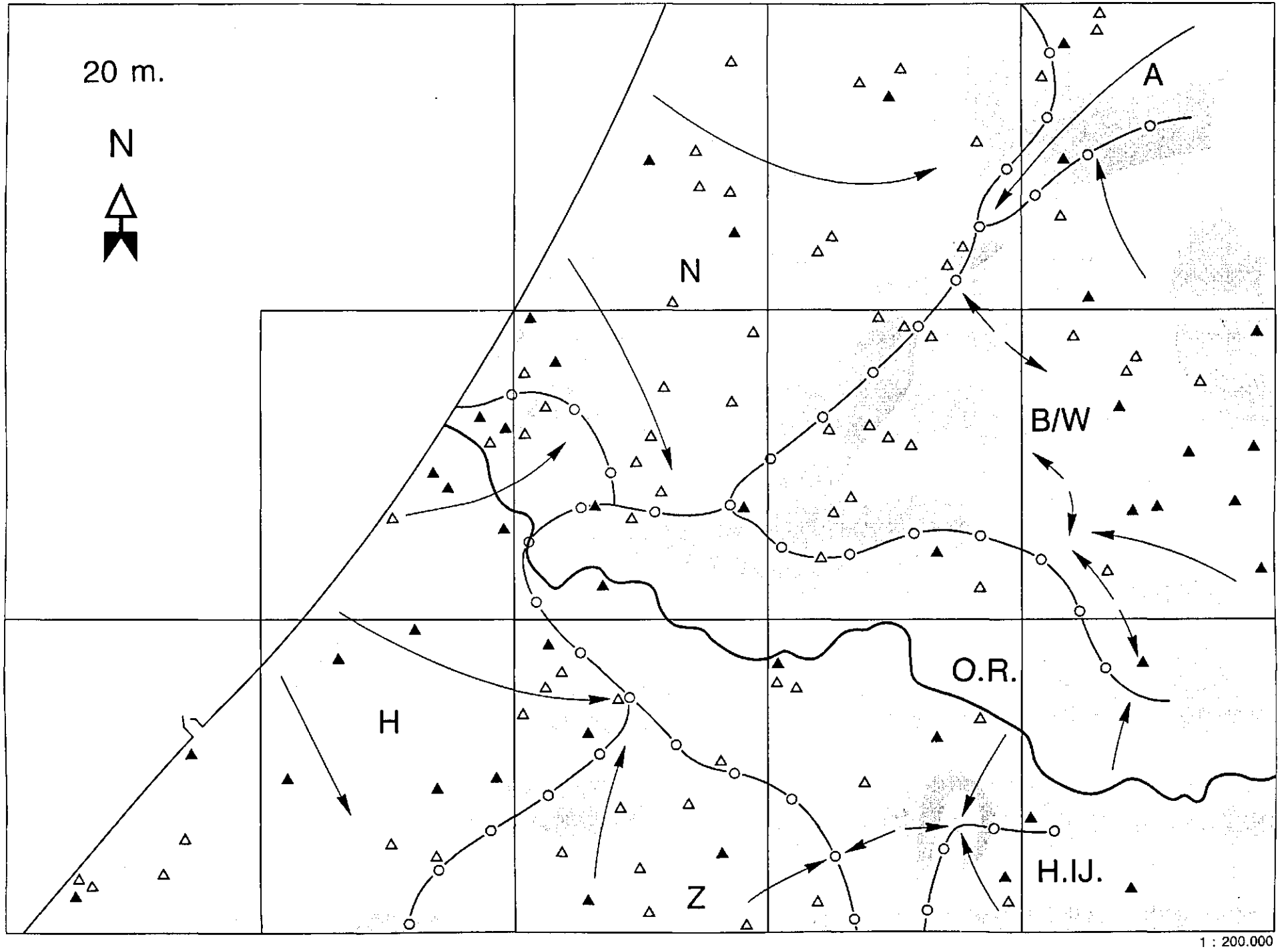

Zuid Q
30H
31C
31A
25C
25D
Q' Noord
Benthuizen
Hazerswoude
Oude Rijn
Braassemermeer
Haarlemmermeer Polder
H + H'
G + G'
F + F'
E + E'
D + D'
101
100
80
101
33
103
292
157
12
45
H67
108
57 58
54
26
182
50
+10
NAP
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
10
NAP in m.
Z
O.R.
B/W/N
A
1 : 200.000

Bijlage A9:

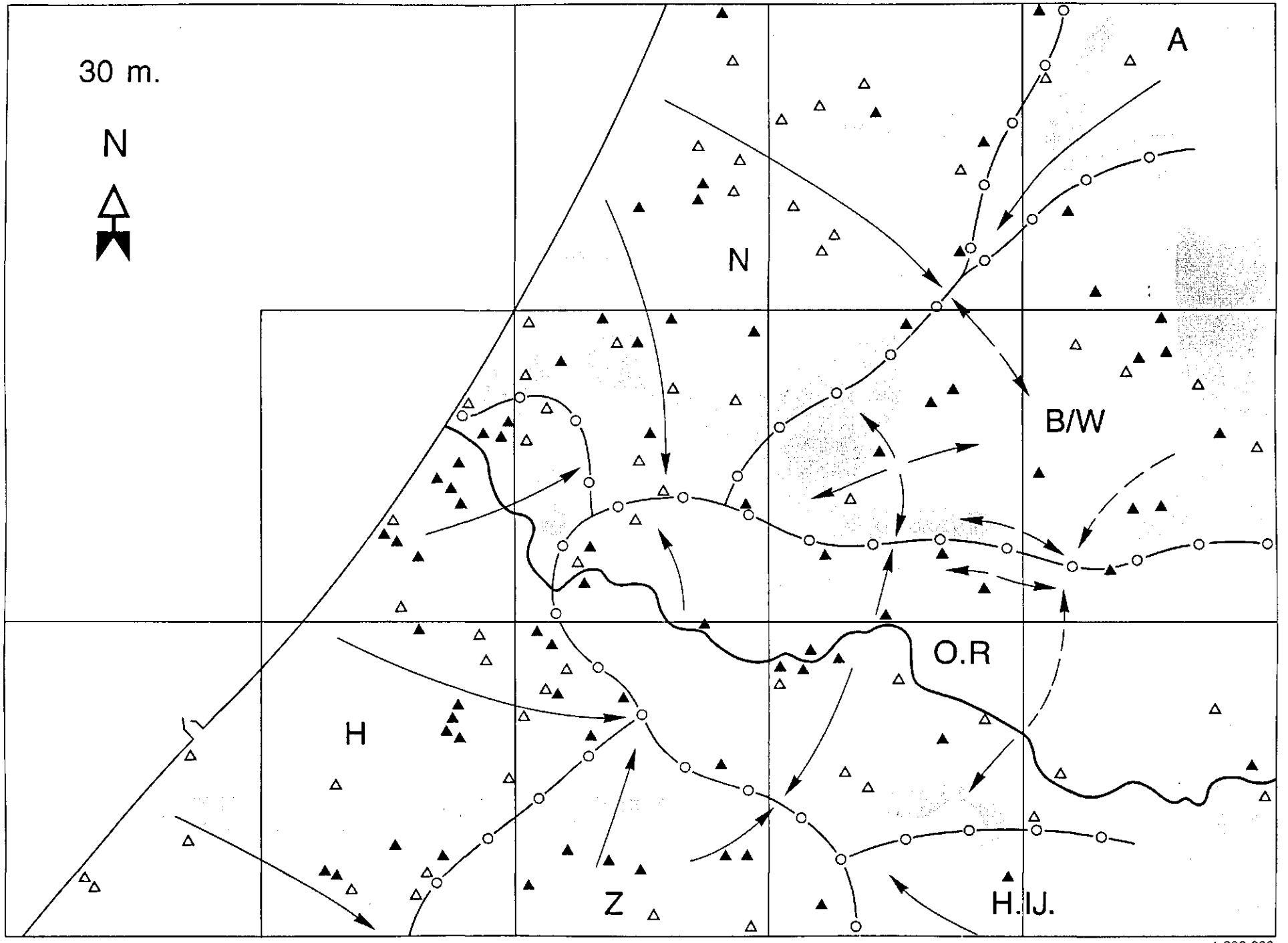

Zuid
R
31C
31A
31B
25D
R'
Noord
Oude Rijn
Aarkanaal
Drecht
Amstelveen
H + H'
158
G + G'
19
45
F + F'
102
E + E'
47
D + D'
55
3
52
104
44
137
+10
NAP
-10
20
30
40
50
60
70
80
90
O.R.
B/W
10
NAP in m.
1 : 200.000


10 m.
N
A
N
B/W
H
H
O.R
Z
H.IJ.
1:200.000

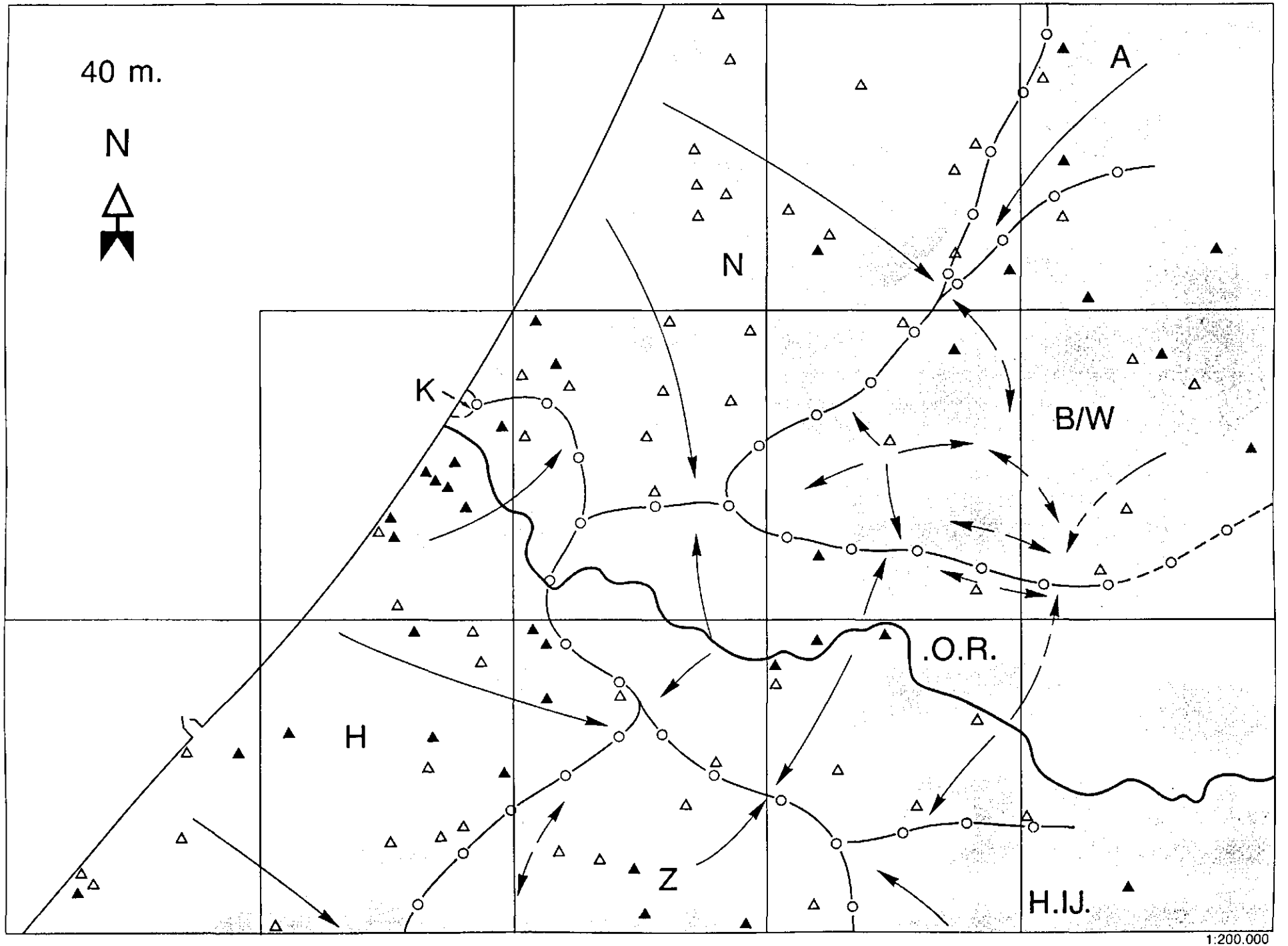
Bijlage B2



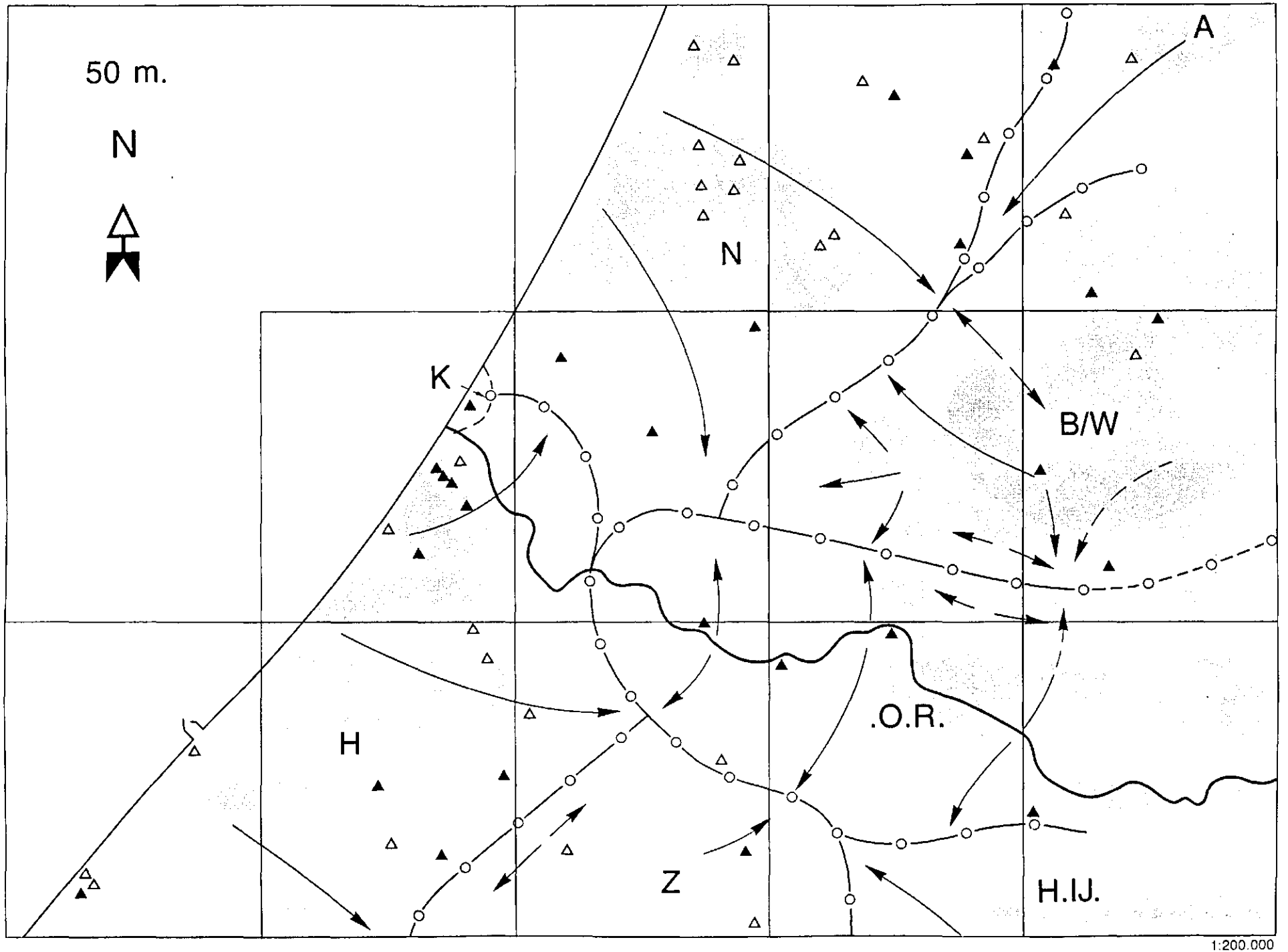
Bijlage B3



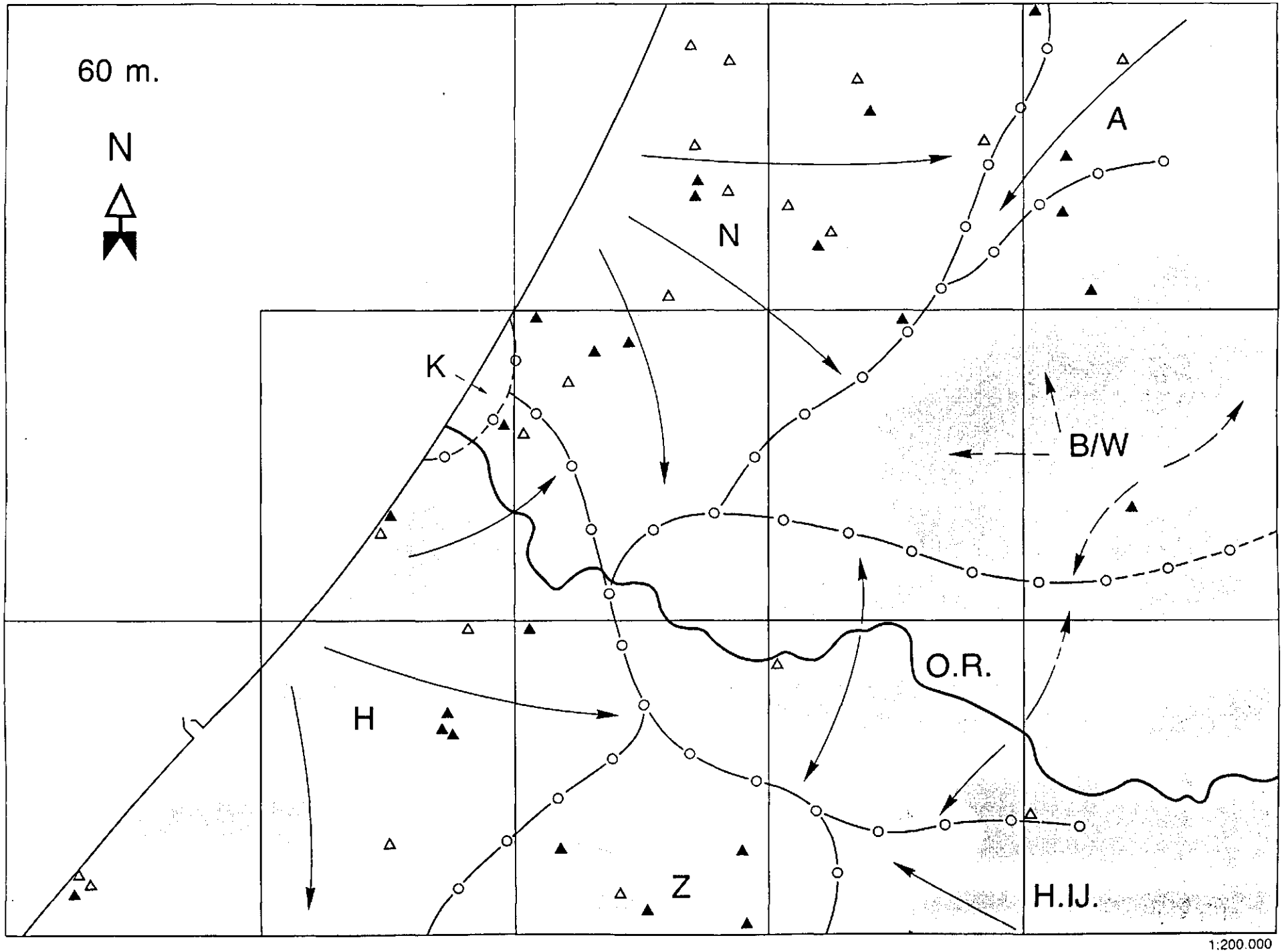
Bijlage B4



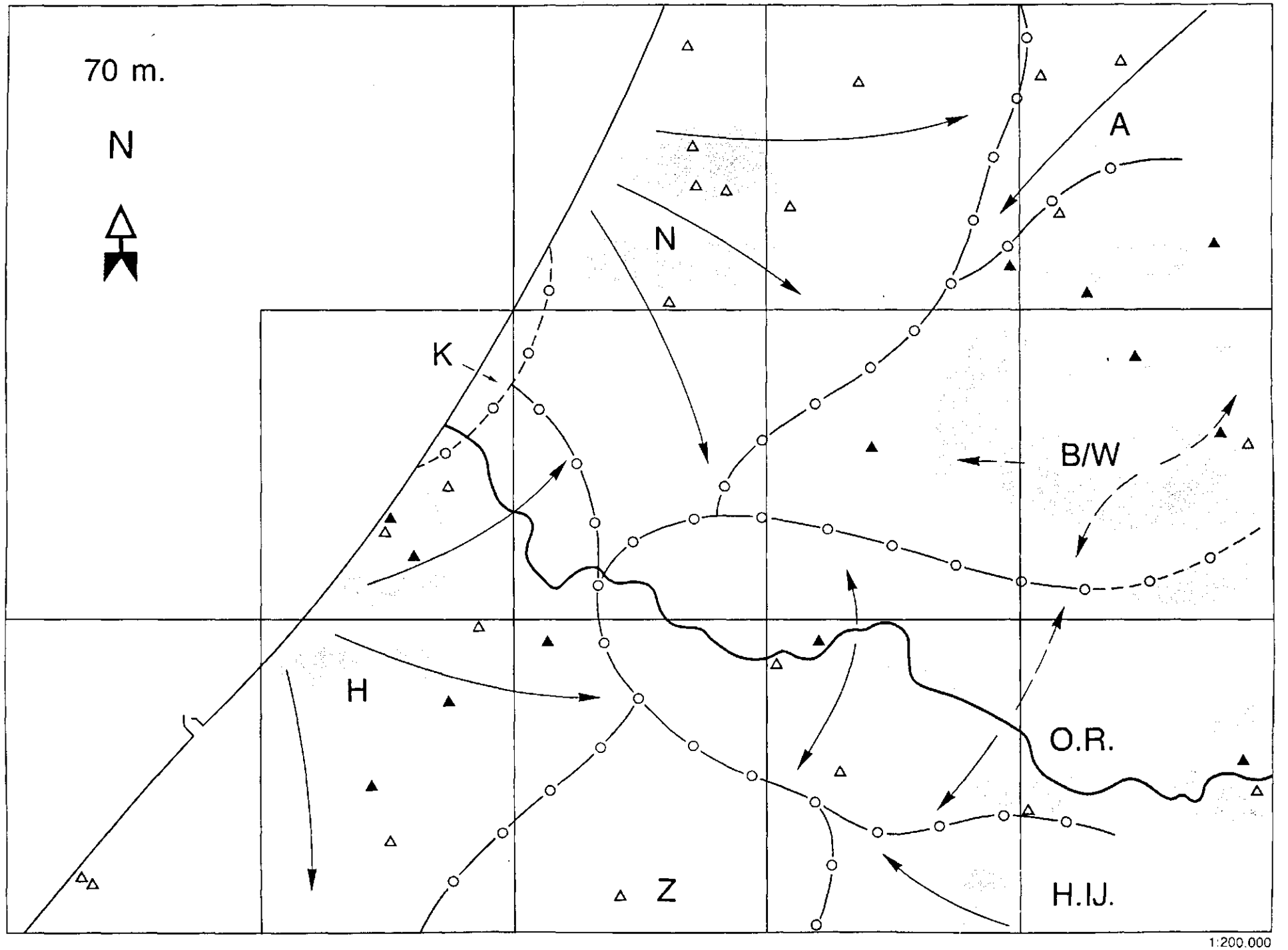
Bijlage B5



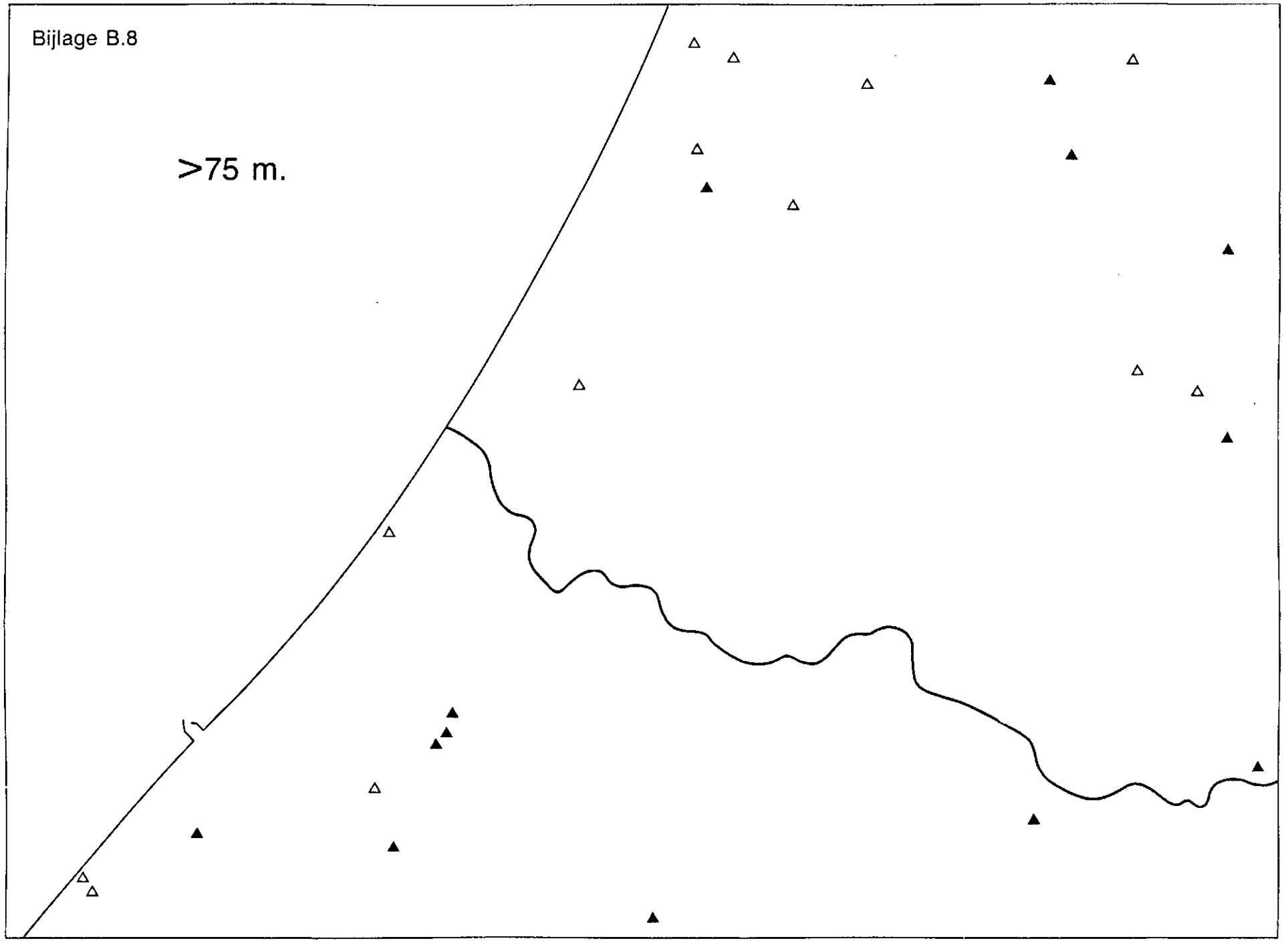
Bijlage B6



Bijlage B7



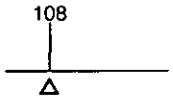
Bijlage B.8



1 : 200.000

LEGENDA behorend bij bijlagen A en B

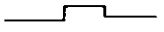
zoet water fresh water	CL^- < 300 mg/l		
verzoetend brak water freshening brackish water	CL^- = > 300 mg/l	EXCH = > +3	
verziltend brak water salinizing brackish water	CL^- = > 300 mg/l	EXCH = < −3	
evenwichts brak water brackish water in equilibrium	CL^- = > 300 mg/l	−3 > EXCH > +3	



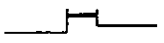
monster met alleen CL^- bepaling
sample with determination of CL^- only



monster met hoofdcomponenten bepaling
sample with determination of main components



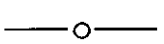
polderpeil
polder level



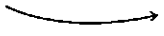
open water
open water

basis van het HOLOCEEN
base of the HOLOCENE

top van de KEDICHEM FORMATIE
top of the KEDICHEM FORMATION



sub-regionale hydrologische systeemgrens
sub-regional hydrological system divide



ZEER schematische stroomlijn
SCHEMATICALLY drawn flowline

H — Haags - Duin Systeem
The Hague - Dune System

N — Noordwijks - Duin Systeem
Noordwijk - Dune System

B/W — Braassemer - Westeinder Systeem (lacustrien - fluviatiel)
Braassem - Westeinder System (lacustrine - fluviatile)

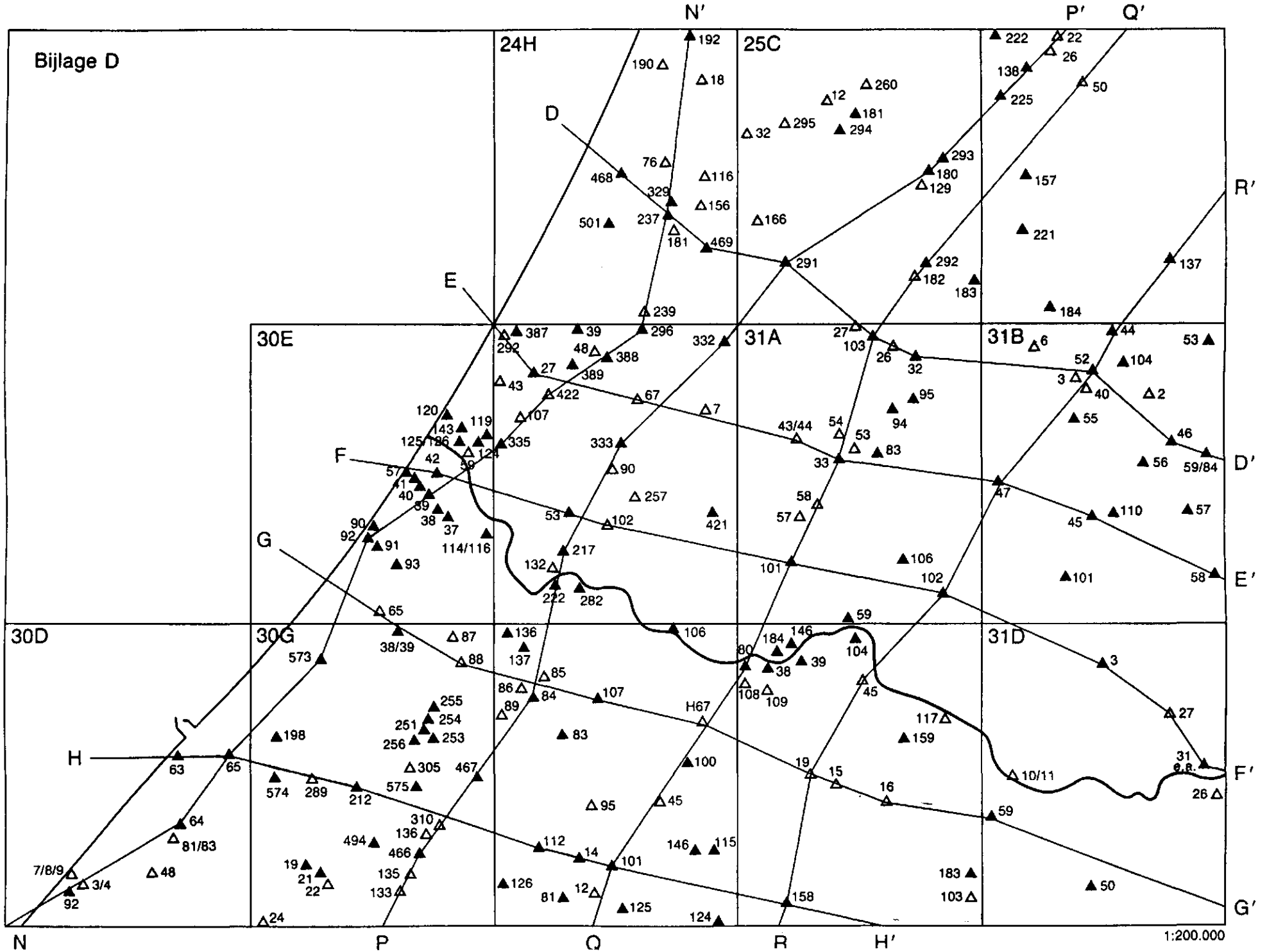
A — Amsterdams Systeem (lacustrien - fluviatiel)
Amsterdam - System (lacustrine - fluviatile)

O.R. — Oude- Rijn Systeem (lacustrien - fluviatiel)
Old - Rhine System (lacustrine - fluviatile)

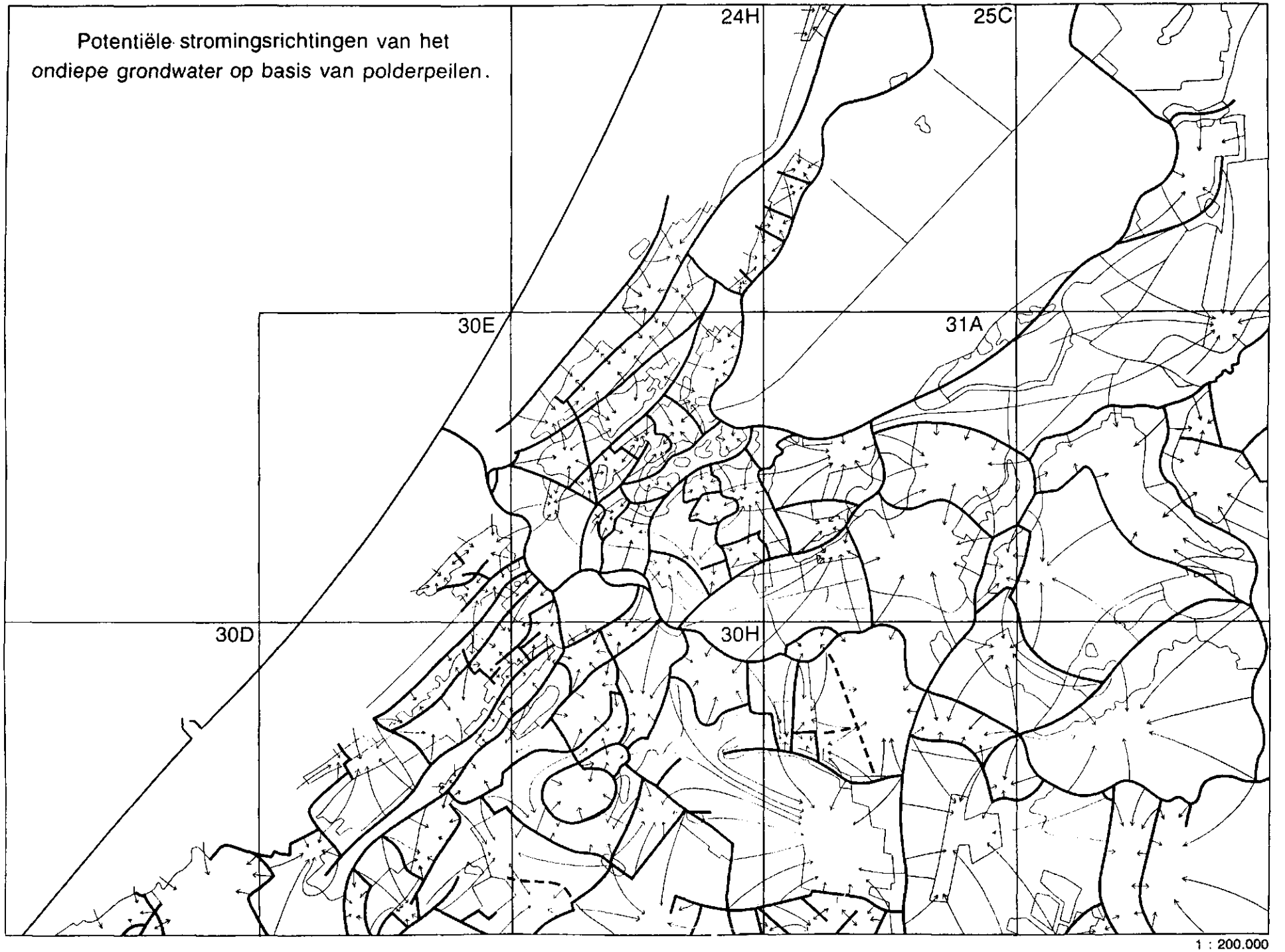
H.IJ. — Hollandsche - IJssel Systeem (fluviatiel)
Hollandsche - IJssel System (fluviatile)

Z — Zoetermeer - Systeem
Zoetermeer - System

K — Katwijk Systeem (marien)
Katwijk System (marine)

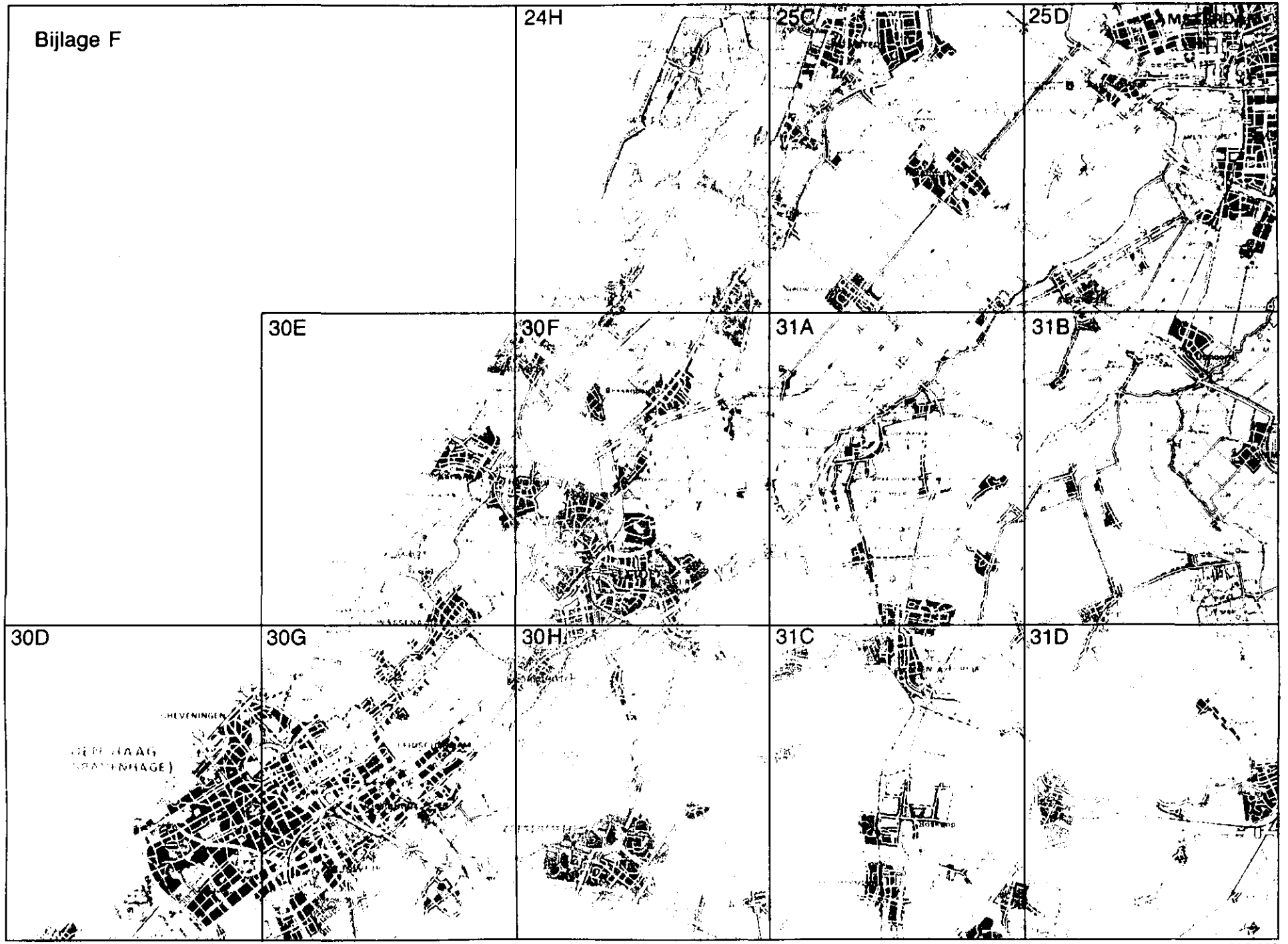

Bijlage D
24H
25C
30E
31A
31B
30D
30G
31D
N'
P'
Q'
R'
D'
E'
F'
G'
H'
D
E
F
G
H
N
P
Q
R
1:200.000

Potentiële stromingsrichtingen van het ondiepe grondwater op basis van polderpeilen.

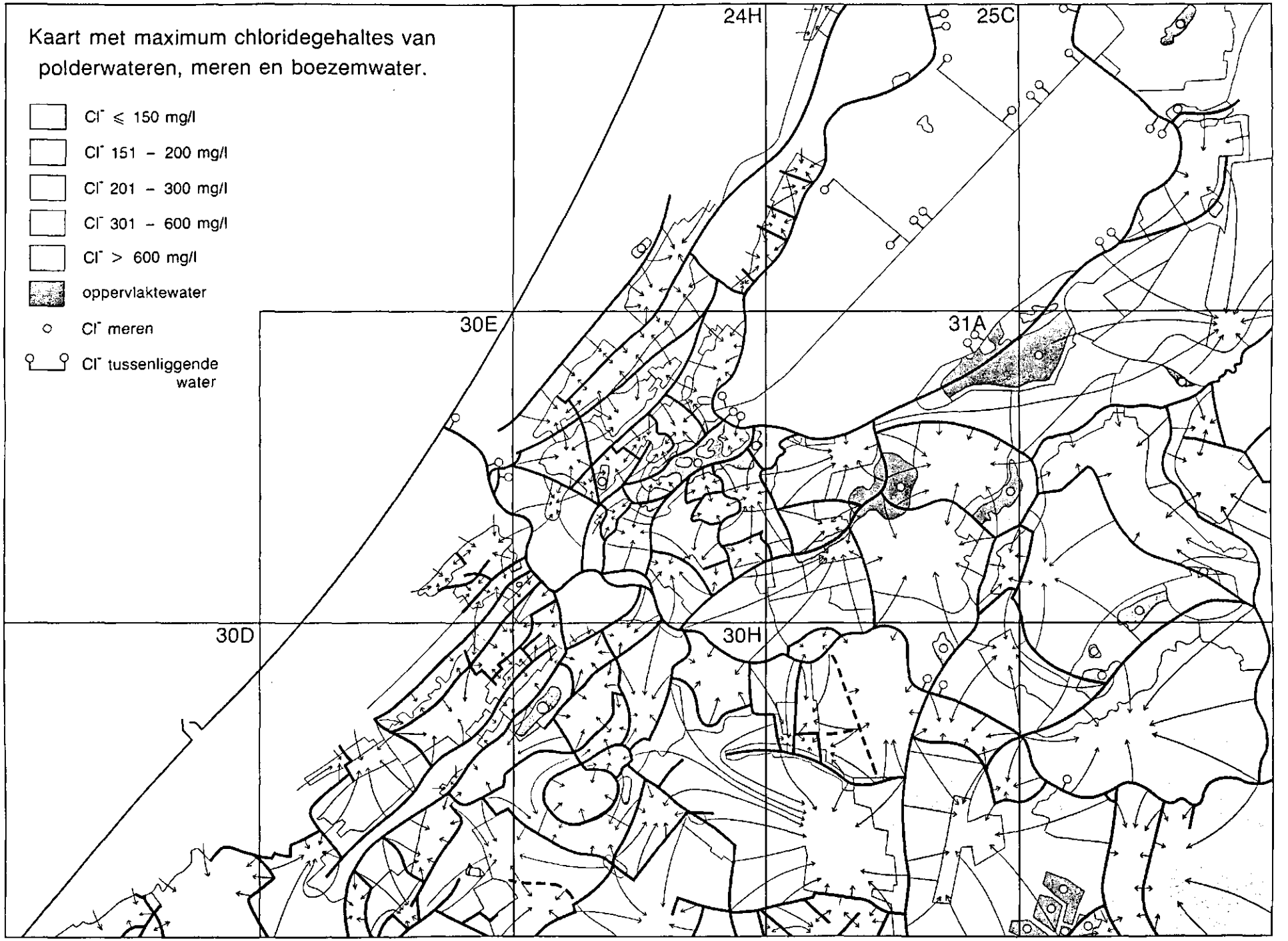


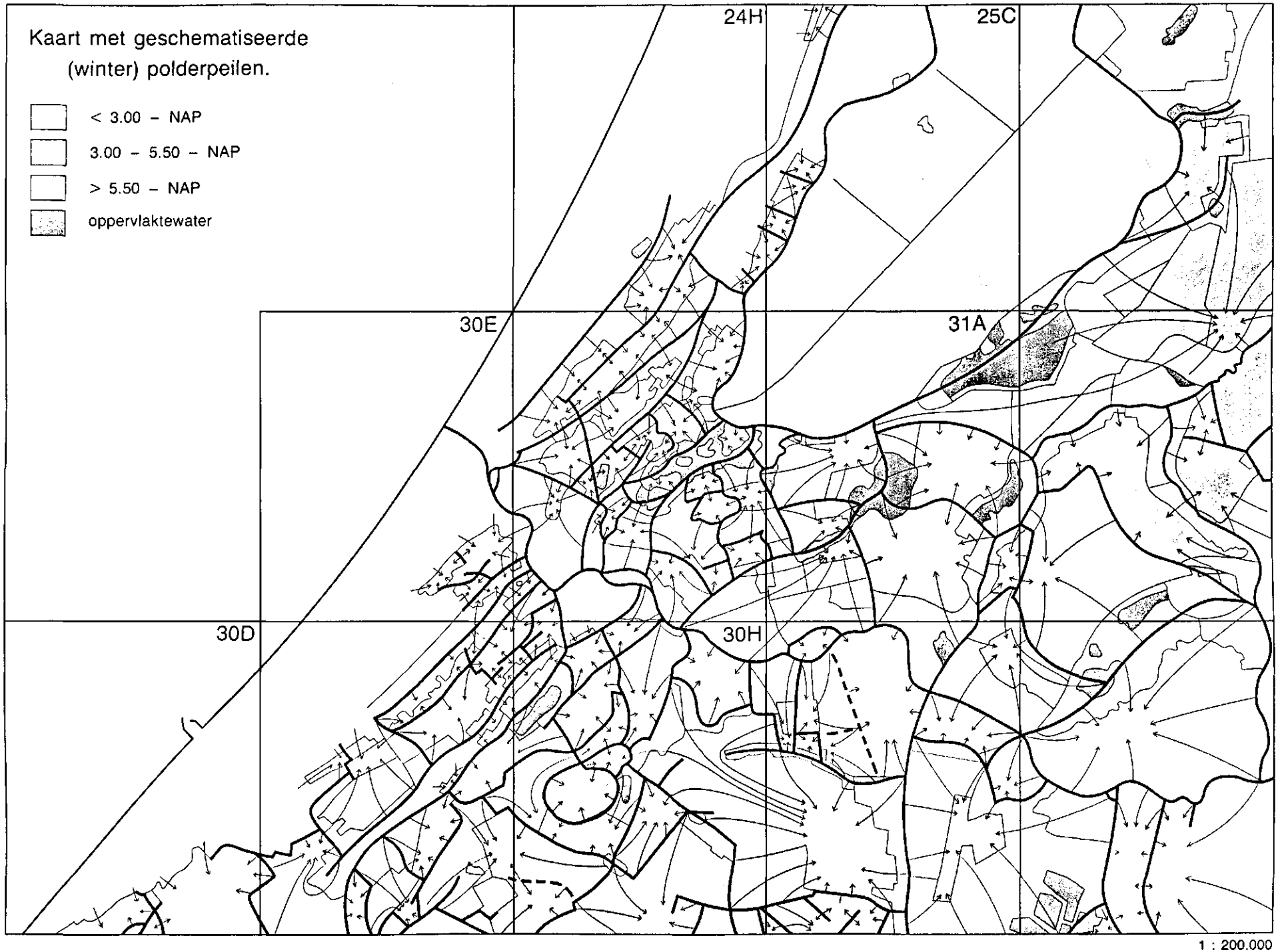
1 : 200.000

Bijlage F



1 : 200.000


Kaart met maximum chloridegehaltes van polderwateren, meren en boezemwater.
Cl⁻ ⩽ 150 mg/l
Cl⁻ 151 - 200 mg/l
Cl⁻ 201 - 300 mg/l
Cl⁻ 301 - 600 mg/l
Cl⁻ > 600 mg/l
oppervlaktewater
Cl⁻ meren
Cl⁻ tussenliggende water
24H
25C
30E
31A
30D
30H
1 : 200.000


Kaart met geschematiseerde
(winter) polderpeilen.
< 3.00 - NAP
3.00 - 5.50 - NAP
> 5.50 - NAP
oppervlaktewater
24H
25C
30E
31A
30D
30H

1 : 200.000