r.i.d.

mededeling 78-2

samenstelling en stroming van zoet grondwater in een west-nederlands poldergebied (het eiland van dordrecht)

rijksinstituut
voor
drinkwatervoorziening

r.i.d. mededeling 78-2

samenstelling en stroming van zoet grondwater in een West-Nederlands poldergebied (het Eiland van Dordrecht)

ir. c.r. meinardi en ir. g.j. heij

"R.I.D.-mededelingen" zijn bedoeld als communicatiemiddel ten behoeve van degenen die betrokken zijn bij de vraagstukken waarbij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening door kennis en ervaring hulp kan verlenen. Daarom ook zullen in vele gevallen de conclusies van voorlopige aard zijn, omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Inhoudsopgave

Blz.

Lijst van figuren en tabellen

Samenvatting..... 1

1. Inleiding..... 2

2. Topografische, waterstaatkundige en geologische gegevens van het Eiland van Dordrecht..... 5

3. De geohydrologische schematisering..... 8

4. Kwantificering van de grondwaterstroming..... 11

4.1. Introduktie van het gebruikte model..... 11

4.2. Opzet van het model..... 11

4.2.1. De rand van het model..... 13

4.2.2. Oriëntatie en knooppuntsafstand..... 14

4.2.3. Aannamen..... 14

4.3. De ingevoerde gegevens..... 15

4.3.1. Het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket... 15

4.3.2. De weerstand van het Holoceen..... 17

4.3.3. De intree-weerstand van de waterlopen..... 21

4.3.4. De ondiepe (freatische) grondwaterstanden..... 29

4.3.5. De rivierpeilen..... 29

4.3.6. De onttrekkingen..... 31

4.3.7. De stijghoogten van het grondwater op de rand van het model..... 31

4.4. Bespreking van de resultaten..... 33

4.5. Verifikatie..... 33

5. De samenstelling van het grondwater..... 37

5.1. Algemene opmerkingen..... 37

Blz.

5.2. De samenstelling van het Rijnwater in de loop der tijd..... 37

5.3. Variatie in de samenstelling van het grondwater naar plaats..... 39

5.3.1. Een globaal beeld van de grondwaterkwaliteit in het ondiepe watervoerende pakket..... 39

5.3.2. Het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel..... 44

5.3.3. Het diepere grondwater nabij de Drechttunnel..... 51

5.3.4. Het ondiepe grondwater op de waterwinplaats Wantijpark..... 54

5.4. Variatie in de samenstelling van het grondwater naar tijd..... 61

5.4.1. Het grondwater nabij de Drechttunnel..... 61

5.5. De resultaten van de bepalingen van stabiele en radioaktieve isotopen..... 63

5.5.1. De stabiele isotoop ^{18}O... 66

5.5.2. De radioaktieve isotoop ^{3}H 67

5.6. De relatie tussen het stromingsmodel en de samen stelling van het grondwater..... 68

6. Konklusie wat betreft het Eiland van Dordrecht en het West-Nederlandse poldergebied in het algemeen..... 71

Lijst van geraadpleegde literatuur 76

FIGUREN

1. Topografische en waterstaatkundige kenmerken van het Eiland van Dordrecht.

2. Geologische profielen van de ondiepe ondergrond van het Eiland van Dordrecht (naar R.G.D.).

3. Modelraster.

4. Het doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket.

5. De weerstand van het Holoceen.

6. Rivierweerstanden en gemiddelde halftijstanden.

7. Diepte van het freatisch vlak.

8. Berekende grondwaterpotentialen (met onttrekkingen).

9. Berekende polderkwel/-infiltratie (met onttrekkingen).

10. Berekende grondwaterpotentialen (zonder onttrekkingen).

11. Berekende polderkwel/-infiltratie (zonder onttrekkingen).

12. Verifikatie van de berekende stijghoogten.

13. Het chloridegehalte van het ondiepe grondwater op het Eiland van Dordrecht (oudere gegevens).

14. Oudere gegevens betreffende het totaal gevormde CO_2-gehalte (mg/l) in het ondiepe grondwater van het Eiland van Dordrecht.

15. Lokatie van waarnemingsfilters nabij de Drechttunnel.

16. Chloridegehalten van het rivierwater en van het grondwater nabij de Drechttunnel.

17. Het verband tussen $SO_4^{=}$-gehalte en het totaal gevormd CO_2-gehalte nabij de Drechttunnel.

18. Het patroon van de ondiepe grondwaterstroming rondom de waterwinplaats Wantijpark.

19. Overzicht van het puttenveld op de waterwinplaats Wantijpark en van enige kwaliteitsparameters in 1972.

20. Het verloop van het Cl^-- en het $SO_4^{=}$-gehalte in het Rijnwater volgens frekwente bemonstering.

21. Het verband tussen de reduktie in het $SO_4^{=}$-gehalte en het totaal gevormd CO_2-gehalte in de loop der tijd nabij de Drechttunnel.

22. Het verloop van het ^{18}O-gehalte in enige Nederlandse rivieren volgens Mook.

23. Een schatting van de Tritium (^{3}H)-gehalten in het Rijnwater en de daaruit in 1974 resulterende gehalten in grondwater afkomstig van de Rijn.

TABELLEN

1. De gemiddelde samenstelling van het Rijnwater in de loop der jaren.

2. Samenstelling van het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel in 1970-1971.

3. De invloed van Ca^{++}-Na^{+}-ionenwisseling in het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel.

4. Samenstelling van het diepere grondwater nabij de Drechttunnel in 1970-1971.

5. Karakteristieke analyses van de verschillende soorten grondwater van de waterwinplaats Wantijpark.

6. Samenstelling van het grondwater nabij de Drechttunnel in 1974-1975.

7. Isotoopbepalingen aan het grondwater van het Eiland van Dordrecht.

Samenvatting

Zowel de stroming als de samenstelling van het grondwater zijn nader onderzocht voor het Eiland van Dordrecht dat in vele opzichten representatief mag worden gesteld voor het West-Nederlandse poldergebied.

Voor het verkrijgen van een goed inzicht in het patroon van de grondwaterstroming waren niet genoeg stijghoogtegegevens bekend. Het blijkt echter zeer goed mogelijk te zijn dit patroon te rekonstrueren met behulp van een digitaal model waarin de wél bekende geohydrologische eigenschappen van het gebied worden ingevoerd. De grondwaterstroming kan hiermee geheel worden gekwantificeerd. Een opmerkelijk resultaat van dit model waren de lage hydraulische weerstanden van de rivierbodems die werden gevonden.

Nadat het patroon van de grondwaterstroming bekend is, is het mogelijk de wijze waarop de samenstelling van het zoete grondwater tot stand komt, gedetailleerd te beschrijven. De manier waarop het grondwater wordt gevoed blijkt van zeer grote invloed te zijn op de kwaliteit. Voeding vanuit zandige rivierbeddingen levert een kwaliteit van het grondwater op die gekenmerkt wordt door lichte anaerobie, matig hoge ijzer-, mangaan- en ammoniumgehalten en een lichte verhoging van de hardheid t.o.v. het voedende rivierwater. Fluktuaties in de kwaliteit van het grondwater zijn grotendeels te herleiden tot fluktuaties in de kwaliteit van het rivierwater. Het is vooral het zoete grondwater dat door veenlagen is geïnfiltreerd dat een zeer slechte kwaliteit heeft. Het is volledig anaeroob, het bevat zeer hoge gehalten aan ijzer, mangaan en ammonium en het heeft een hoge hardheid. Een hulpmiddel bij het onderzoek waren de bepalingen aan het gehalte van de isotopen ^{18}O en ^{3}H van het grondwater die zijn uitgevoerd.

De diverse interpretaties die op grond van zowel het model als de samenstelling van het grondwater zijn gemaakt waren met elkaar in overeenstemming.

1. Inleiding

Het grondwater in het laaggelegen Nederlandse poldergebied is in vele gevallen brak of zout met uitzondering van een dunne schil bovenin. Vaak reikt het zoete grondwater niet dieper dan de bouwvoor of enkele meters daaronder. Vooral echter in de provincie Zuid-Holland wordt plaatselijk zoet grondwater tot veel grotere diepte (soms tot ca. N.A.P. -200 m) aangetroffen. De watervoerende pakketten die dit zoete grondwater bevatten worden door de openbare drinkwatervoorziening en de industrie aangeboord voor de winning van grondwater en hebben daardoor grote ekonomische betekenis.

Het zoete grondwater in het Nederlandse poldergebied heeft een aantal bijzondere kenmerken die het doen verschillen van het grondwater in de hoger gelegen zandgebieden. In de eerste plaats is zowel de horizontale als de vertikale verbreiding beperkt van omvang, doordat de voeding met zoet water van de desbetreffende pakketten in de meeste gevallen relatief gering is. Hierdoor is het gevaar groot dat bij een gekoncentreerde winning zout grondwater wordt aangetrokken van opzij of van beneden. Vervolgens is in het algemeen de kwaliteit van het zoete grondwater in West-Nederland slechter dan in de hogere zandgebieden, ook daar waar het grondwater door het normale landbouwgebruik enigszins is verontreinigd. Deze slechtere kwaliteit komt tot uiting in hogere hardheden, hogere ijzer- en mangaangehalten en vaak een hoger ammoniumgehalte. De winning en de zuivering worden hierdoor bemoeilijkt. Bovendien kunnen in de kwaliteit grote variaties, zowel naar plaats als naar tijd, voorkomen. Ook deze omstandigheid kan aanzienlijke moeilijkheden opleveren bij de bedrijfsvoering van een pompstation.

Het is, gezien het vorenstaande, nuttig om na te gaan door welke faktoren de richting en de grootte van de zoete grondwaterstroming in een Nederlands poldergebied worden bepaald en daarnaast welke omstandigheden de kwaliteit van dit water en de variaties daarin beïnvloeden. Hiertoe is om een aantal redenen als voorbeeld het Eiland van Dordrecht uitgekozen. Van dit gebied is bekend dat de kwaliteit van het zoete grondwater er zeer slecht kan zijn en bovendien sterk naar plaats en naar tijd kan variëren. Bovendien heeft het Eiland van Dordrecht de topografische en waterstaatkundige kenmerken van een poldergebied en heeft de ondergrond een geologische opbouw die karakteristiek is voor West-Nederland. Er mag daarom worden verwacht dat het onderzoek naar de stroming en de samenstelling van het zoete grondwater onder het Eiland van Dordrecht konklusies op zal leveren die representatief kunnen zijn voor het

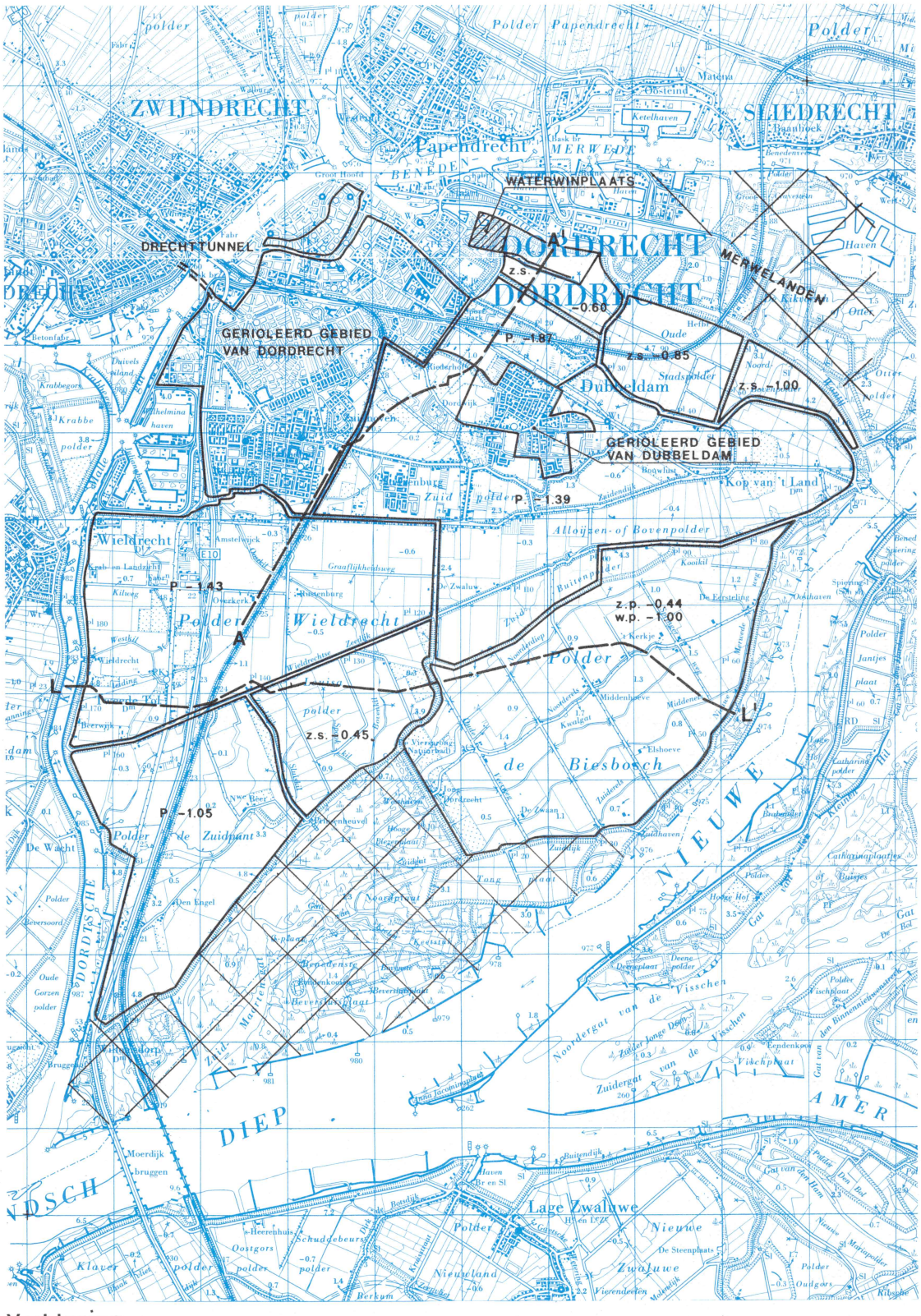
zoete grondwater in het Nederlandse poldergebied in het algemeen.

Het onderzoek is zodanig opgezet dat eerst een zo goed mogelijk beeld wordt verkregen van de richting en de grootte van de stroming van het grondwater onder het Eiland van Dordrecht. De beschikbare hydrologische gegevens (bijv. stijghoogten van het grondwater) waren daartoe te gering. Daarom is, gebaseerd op landbouwkundige (ondiepe grondwaterstanden), waterstaatkundige (polderpeilen en rivierstanden) en geologische gegevens, een geohydrologisch model gekonstrueerd waarmee zowel de richting als de grootte van de grondwaterstroming kon worden bepaald in een gemiddelde situatie. Hierover wordt gerapporteerd in hoofdstuk 1 t/m 4.

De samenstelling van het zoete grondwater kon daarna worden beschreven als het resultaat van:

a. De samenstelling van het water dat het desbetreffende grondwater voedt.
b. De aard van zowel de weerstandbiedende als de watervoerende pakketten waardoor het grondwater heeft gestroomd.
c. De verblijftijd van het water in de ondergrond.

De resultaten hiervan zijn neergelegd in hoofdstuk 5.
Tenslotte is aangegeven in hoeverre de bereikte resultaten algemene geldigheid hebben en in hoeverre ze slechts betrokken mogen worden op het Eiland van Dordrecht (hoofdstuk 6).



Figuur 1
Topografische en waterstaatkundige kenmerken van het Eiland van Dordrecht.

2. Topografische, waterstaatkundige en geologische gegevens van het Eiland van Dordrecht en omgeving

Het Eiland van Dordrecht heeft de holle vorm die karakteristiek is voor vele landstreken die gevormd zijn onder invloed van de grote rivieren. Een dergelijke schotelvorm ontstaat in oorsprong doordat naast de rivier een relatief hoge oeverwal wordt opgeworpen van zandig materiaal. Binnen deze oeverwallen liggen lagere kommen waar een kleiiger sediment bezinkt en veen kan worden gevormd. Na het in kultuur brengen en de bedijking van een dergelijk gebied worden de verschillen in maaiveldshoogte nog groter door het kunstmatige drainagestelsel dat daarvoor moet worden aangebracht. Dit betekent namelijk dat de ondiepe grondwaterstand wordt verlaagd waardoor de ondergrond inklinkt en dat des te meer naarmate er meer samendrukbaar materiaal (met name veen) in wordt aangetroffen. Het gevolg van de inklinking kan zijn dat de ontwateringsdiepte moet worden aangepast, waardoor de inklinking weer toeneemt, enz.; de ouderdom van de diverse polders speelt dus ook een rol.

Het Eiland van Dordrecht (zie figuur 1) wordt omgeven door de rivierarmen Beneden Merwede, Wantij, Nieuwe Merwede, Hollands Diep, Dordtse Kil en Oude Maas. Van belang is dat de aangrenzende gebieden in het oosten en het zuiden, namelijk de Merwelanden en de Biesbosch bestaan uit riviermoerassen met daarin een aantal kleine ondiepe polders. Aan de zuidoostzijde van het Eiland zijn nog in deze eeuw een aantal polders ingedijkt die vroeger de Hollandse Biesbosch vormden.

Het grootste gedeelte van het Eiland van Dordrecht is in gebruik als landbouwgrond (akkerbouw) hoewel thans een aanzienlijk deel wordt ingenomen door de stedelijke bebouwing van Dordrecht. De polderpeilen die worden aangehouden liggen 1 à 1,5 m onder het maaiveld.

De geologische opbouw van de ondergrond van het Eiland van Dordrecht is als volgt (lit. 6):

- Van maaiveld (van ca. N.A.P. +1 m tot N.A.P. -1 m) tot in het noorden op ca. N.A.P. -15 m en in het zuiden op ca. N.A.P. -7,5 m zijn Holocene lagen aanwezig die vooral uit klei en veen zijn opgebouwd (zie figuur 2).
- Onder de Holocene lagen bevindt zich een zandig of zelfs grofzandig pakket dat geologisch tot de Formatie van Kreftenheye behoort en gedeeltelijk tot de Formatie van Twente. De basis van dit pakket helt van ca. N.A.P. -15 m in het zuiden naar ca. N.A.P. -25 m in het noorden.
- Hier weer onder worden de Formaties van Tegelen en Kedichem aangetroffen.

Figuur 2
Geologische profielen van de ondiepe ondergrond van het Eiland van Dordrecht. (naar R.G.D.). Lokatie zie fig. 1

Dit zijn fluviatiele Onder-Pleistocene afzettingen die gedeeltelijk in elkaar overgaan zodat geen duidelijk onderscheid kan worden gemaakt. Het staat echter wel vast dat het bovenste gedeelte van deze lagen, tot een dikte van een tiental meters of meer, onder het Eiland van Dordrecht bestaat uit klei- en leemlagen. Plaatselijk zijn dieper in deze formaties zandiger trajecten aanwezig die soms geschikt zijn om er grondwater aan te onttrekken.

- De bovengenoemde fluviatiele Pleistocene afzettingen rusten op de mariene Formatie van Maassluis die eveneens tot het Onder-Pleistoceen behoort en waarvan de top ongeveer op N.A.P. -60 à 100 m ligt. De Formatie van Maassluis bestaat uit een afwisseling van (fijn)zandige en kleiige lagen.

3. De geohydrologische schematisering

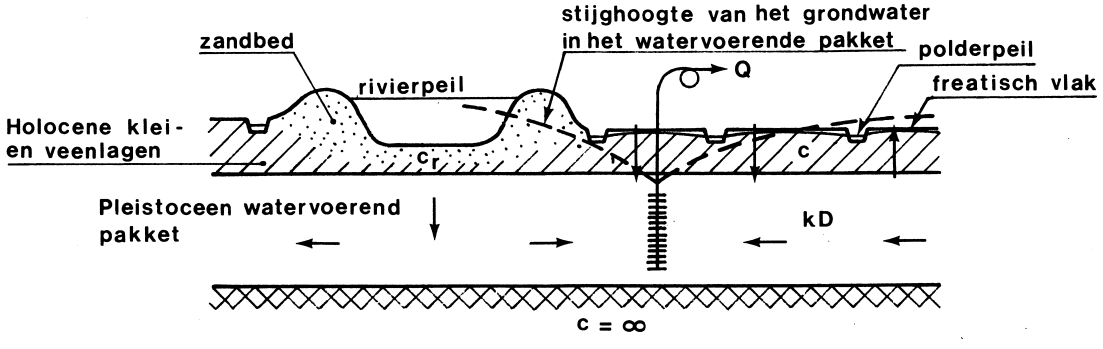
In het algemeen kan de geohydrologische opbouw van de ondergrond worden afgeleid uit de geologie en uit de onderlinge vergelijking van de stijghoogten van het grondwater op verschillende diepten. Aangezien er weinig gegevens beschikbaar zijn over de stijghoogten van het grondwater onder het Eiland van Dordrecht (hierop wordt in hoofdstuk 4 nog teruggekomen) kan de geohydrologische schematisering in dit geval slechts hoofdzakelijk gebaseerd worden op geologische gegevens. Als ondersteuning kunnen enkele onderzoeken, die aan de westrand van het Eiland zijn uitgevoerd (lit. 1, 2, 5, 8 en 10) dienen, benevens de resultaten van geohydrologisch onderzoek in gebieden met een vergelijkbare opbouw van de ondergrond (lit. 7 en 9).

De geologische opbouw van de ondergrond geeft aanleiding tot de volgende geohydrologische schematisering:

De overwegend uit klei en veen opgebouwde Holocene afzettingen vormen als geheel een aan grondwaterstroming weerstandbiedende laag. De zich daaronder bevindende zandige afzettingen, die behoren tot de Formaties van Kreftenheye en Twente vormen een watervoerend pakket. Dit pakket wordt aan de onderzijde begrensd door klei- en leemlagen behorende tot de Formaties van Kedichem en Tegelen; in het vervolg zullen deze lagen worden beschouwd als de ondoorlatende basis van het watervoerende pakket. Deze aanname is gebaseerd op de volgende overweging. Gezien de dieptelligging (de top ligt op 15 à 25 m onder maaiveld) en de dikte (10 m of meer) mag worden verwacht dat de klei en leem zodanig is verdicht, dat de weerstand van de laag tegen grondwaterstroming hoog is (in verhouding tot die van de afdekkende Holocene lagen). Een indikatie geeft het onderzoek te 's-Gravendeel (lit. 10), waar bij de pompproef in het ondiepe watervoerende pakket de filters onder de Formatie van Kedichem/Tegelen weinig of geen verlaging te zien gaven; er werd een weerstand gevonden van ca. 3000 dagen. Bij het onderzoek in het kader van de geprojekteerde Drechttunnel (lit. 1) bleek, dat tussen de stijghoogten van het grondwater boven en onder de slechtdoorlatende laag van Kedichem/Tegelen een aantal decimeters verschil bestaat. Dit wijst eveneens op een aanzienlijke weerstand tegen grondwaterstroming van deze laag. Een zeer globale berekening, gebaseerd op verschillen in ouderdom van het grondwater boven en onder de laag, leverde hier een weerstand op van ca. 6 jaar (ongeveer 2200 dagen). In dit verband zijn tevens de resultaten van het geohydrologisch onderzoek in het westelijk deel van de provincie Utrecht illustratief. Voor de weerstand van de

slechtdoorlatende laag van de Formatie van Kedichem, die in dit gebied eveneens een dikte heeft van 10 à 20 m, zijn bijv. te Linschoten en te Jutphaas uit pompproeven c-waarden te berekenen die in de orde van grootte van enkele duizenden dagen liggen.

Als bij dit alles in aanmerking wordt genomen, dat eventueel dieper in de Formatie van Kedichem/Tegelen voorkomende zandlagen waarschijnlijk een klein doorlaatvermogen zullen hebben vanwege de geringe dikte en de kleine doorlatendheidscoëfficiënt, kunnen de lagen van Kedichem/Tegelen met betrekking tot de grondwaterstroming in het ondiepe watervoerende pakket worden opgevat als de praktisch ondoorlatende basis van dat pakket.



kD = doorlaatvermogen
c = weerstand tegen grondwaterstroming
c_r = intreeweerstand van de rivier

4. Kwantificering van de grondwaterstroming

4.1. Introduktie van het gebruikte model

In de inleiding is opgemerkt dat kennis omtrent richting en grootte van de stroming van het grondwater noodzakelijk is bij de interpretatie van de samenstelling ervan. Eveneens is in de inleiding ter sprake gekomen, dat bij gebrek aan hydrologische gegevens een geohydrologisch model is gemaakt waarmee zowel de richting als de grootte van de grondwaterstromingen kon worden bepaald. In dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij het model, de ingevoerde gegevens en de verkregen resultaten.

Bepalend voor grootte en richting van de grondwaterstroming zijn de geologische gesteldheid, het stijghoogteverloop in de ondergrond, de topografie en de waterstaatkundige situatie. Hieruit worden een aantal gegevens afgeleid, waarmee de grondwaterstromingen kunnen worden gekwantificeerd. Deze gegevens zijn de geohydrologische schematisering, de grondkonstanten en de optredende potentiaalverschillen.

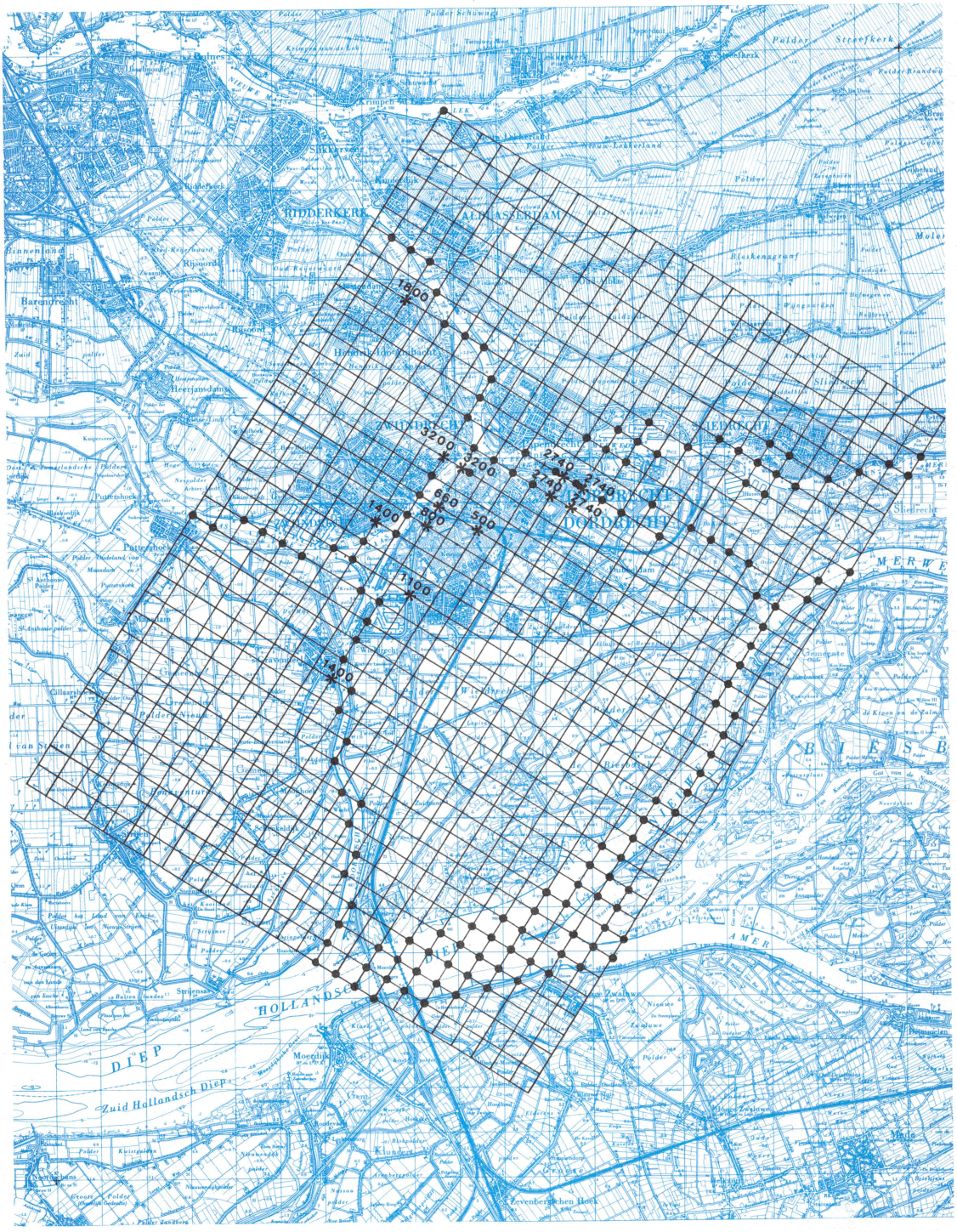
De geohydrologische schematisering is in hoofdstuk 3 besproken. Over de grondkonstanten zijn betrekkelijk weinig gegevens beschikbaar. Echter met name de stijghoogte van het grondwater in het watervoerende pakket geeft moeilijkheden; hierover is t.p.v. het Eiland van Dordrecht nauwelijks iets bekend.

Aangezien deze stijghoogte echter een essentiële schakel vormt in het bepalen van de grondwaterstromingen naar richting en grootte, zijn gegevens hierover onontbeerlijk. Deze gegevens zijn verkregen met behulp van een digitaal model.
In nevenstaande figuur zijn de grootheden, die nodig zijn om de grondwaterstromingen te kunnen kwantificeren (geohydr. schematisering, grondkonstanten en stijghoogten) bijeengebracht, evenals de richting van de optredende grondwaterstromingen.

Uit de figuur blijkt de belangrijke rol die de stijghoogten van het grondwater in het watervoerende pakket in het hele grondwaterstromingspatroon spelen. Enerzijds zijn ze mede bepalend voor de kwel/infiltratiestroming door de weerstandbiedende, afdekkende Holocene laag en anderzijds zijn ze van groot belang voor de horizontale stroming door het uitgestrekte watervoerende pakket waar het pakket onder het Eiland van Dordrecht deel van uitmaakt.

4.2. Opzet van het model

In het algemeen is het bij grondwaterstromingsproblemen noodzakelijk om aannamen, schematisering en nauwkeurigheid van het verlangde resultaat op el-



Verklaring

2740 PUNT WAAR ONTTREKKING PLAATSVINDT (IN HET MODEL)
* TER GROOTTE VAN 2740 m^3/dag

● RIVIERKNOOPPUNT

0 1 2km

Figuur 3
Modelraster

kaar af te stemmen. Nagegaan moet worden welke aannamen en vereenvoudigingen aanvaardbaar zijn en welke schematiseringen kunnen worden toegepast om de best mogelijke benadering van het grondwaterstromingsbeeld te verkrijgen in relatie tot datgene wat onderzocht wordt.

Voor het berekenen van de stijghoogten van het grondwater in het watervoerende pakket met opvolgend de kwantificering van de grondwaterstromingen is hier gebruik gemaakt van een stationair digitaal model gebaseerd op de eindige-elementenmethode. Hiertoe is over het onderzoeksgebied een rasterwerk gedacht, in dit geval bestaande uit vierkanten met een oppervlakte van 0,25 km^2 (zie figuur 3). De hoekpunten van de vierkanten vormen de knooppunten van het model; ieder knooppunt ligt in het centrum van een gebiedje ter grootte van 0,25 km^2, dat door het knooppunt gerepresenteerd wordt. De in- en uitvoer van het model loopt via deze knooppunten. De waterlopen die de grondwaterstroming beïnvloeden dienen geschematiseerd te worden tot rechte lijnstukken, die door knooppunten lopen. Voor een beschrijving van de eindige-elementenmethode wordt verwezen naar de literatuur.

Het gebied waarvoor het model is gemaakt, is (uiteraard) begrensd; het gaat er nu om de oriëntatie, de begrenzing en de knooppuntsafstand van het model zó te kiezen, dat hiermee en met de ingevoerde gegevens stijghoogten en grondwaterstromingen berekend kunnen worden, die zo goed mogelijk aansluiten bij de werkelijkheid.

4.2.1. De rand van het model

De potentiaal op de rand van het model is konstant gehouden. Dit betekent dat t.p.v. de rand geen verandering van de stijghoogte mogelijk is. Er kan wel een verhang aanwezig zijn, zodat toestroming over de rand kan plaatsvinden.

De rand dient bij deze aanname zodanig ver weg te liggen, dat het grondwaterstromingsveld in het onderzoekgebied niet noemenswaard door de op de rand ingevoerde voorwaarde wordt beïnvloed. In dit geval betekent dat, dat de randen zó ver buiten het Eiland van Dordrecht dienen te liggen, dat het reëel is om aan te nemen, dat de potentiaal op deze rand in werkelijkheid ook ongewijzigd blijft als er een hydrologische ingreep op het Eiland zelf gepleegd wordt.

Aangezien de Nieuwe Merwede nagenoeg overal het afdekkende klei/veenpakket doorsnijdt, lag het voor de hand om deze rivier als rand in het model op te nemen. Immers, door de diepe insnijding zal de bodemweerstand gering zijn, waardoor de stijghoogte van het grondwater in het watervoerende pakket praktisch gelijk zal zijn aan het rivierpeil en dus onafhankelijk van de (geo) hydrologische situatie in het onderzoeksgebied. Zodoende wordt gebruik ge-

maakt van een van nature aanwezige randvoorwaarde.

De overige randen zijn op ruime afstand van de onttrekking in het Wantijpark (de grootste grondwateronttrekking op het Eiland van Dordrecht) gelegd.

4.2.2. Oriëntatie en knooppuntsafstand

Door het aanhouden van de Nieuwe Merwede als een rand van het model ligt de oriëntatie globaal genomen vast. De precieze oriëntatie benevens de aangehouden knooppuntsafstand is afgestemd op de ligging van de putten van het puttenveld van de gemeente Dordrecht (in het Wantijpark), en de loop van de Merwede en het Wantij. Wil men namelijk een redelijke benadering van de werkelijke stromingssituatie verkrijgen, dan dienen de faktoren die het meest bepalend zijn voor het optredende grondwaterstromingsveld zo werkelijkheidsgetrouw mogelijk in het model te worden ingebracht. Dat houdt in dat in de eerste plaats de belangrijkste onttrekkingspunten zo mogelijk met een knooppunt moeten samenvallen en vervolgens dat bij het schematiseren van de waterlopen zo weinig mogelijk afwijkingen van het werkelijke verloop dienen te worden geïntroduceerd. Dit geldt allereerst voor die waterlopen die het dichtst in de buurt liggen van de onttrekking welks invloed onderzocht wordt.

Rekening houdend met het vorenstaande is uiteindelijk het model roosterwerk ontstaan zoals aangegeven in figuur 3.

4.2.3 Aannamen

Voor de berekeningen met het model is uitgegaan van de volgende aannamen:

- De grond is isotroop, d.w.z. in een willekeurig punt zijn de eigenschappen van de grond in alle richtingen gelijk.
- De grond is niet homogeen (dus bijv. de k-waarde is afhankelijk van de plaats). Dit is in overeenstemming met de werkelijkheid. Deze invloed kan worden verdisconteerd door de in te voeren grondkonstanten zo goed mogelijk overeenstemmend met de werkelijkheid per knooppunt te variëren.
- De grondwaterstromingen zijn stationair. Dit is in werkelijkheid niet het geval. Een belangrijke verstoorder van het stationaire beeld vormt het getij in de, het Eiland van Dordrecht omringende, waterlopen. Dit zal, met enige vertraging en uitdemping, z'n invloed hebben op de stijghoogten van het grondwater in het watervoerende pakket. Aangezien het getij globaal gezien echter opgevat kan worden als een schommeling van de waterstand om een bepaalde evenwichtstoestand, zal, als de evenwichtstoestand beschouwd wordt toch een algemeen beeld verkregen worden van de grondwaterstroming. De invloed van het getij kan dan gezien worden als de superpositie van een "rimpeling" op het basispatroon van de grondwaterstijghoogten. De fluktuaties in het freatisch peil zijn ook van sekundaire betekenis uit een oogpunt

van invloed op het algemene beeld van de grondwaterstroming.

- De grondkonstanten veranderen niet in de tijd. Dit is, met name wat betreft de spreidingslengte L (en dus de weerstand c) waarschijnlijk niet het geval. Door permanente bemaling van de polders vindt voortgaande inklinking van het Holocene klei/veenpakket plaats (zie ook hoofdstuk 2), met als te verwachten gevolg een vermindering van de doorlatendheid. Ook indien ergens een permanente grondwateronttrekking plaatsvindt, waardoor grondwaterstandsverlagingen geïntroduceerd worden, zal, om dezelfde reden, de weerstand van de slechtdoorlatende lagen boven het pakket waaruit onttrokken wordt naar alle waarschijnlijkheid toenemen. Hoe groot in een konkreet geval deze toename zal zijn is bij de huidige stand van zaken van het grondkonstanten-onderzoek moeilijk na te gaan. Toch is onder punt 4.3.2. een poging hiertoe ondernomen.
- Aangenomen wordt verder dat de stroming in het watervoerend pakket horizontaal is en in de afdekkende slechtdoorlatende laag vertikaal. Deze aanname geeft geen grote afwijkingen van de werkelijkheid indien c veel groter is dan D/k, ofwel indien L veel groter is dan D. Aangezien D = 7,5 à 10 m (zie hoofdstuk 2) zal, gezien de dikte en de aard van de afdekkende lagen zeker aan deze voorwaarde worden voldaan. Dit wordt bevestigd door de resultaten van een aantal in het modelgebied gehouden pompproeven, waarvan een overzicht is opgenomen in lit. 7. Als aanvulling hierop kunnen genoemd worden de ondiepe pompproef te 's-Gravendeel (lit. 10) waaruit een L is berekend van 200 m en het geohydrologisch onderzoek t.b.v. de aanleg van de Kiltunnel (lit. 8), waarbij een L-waarde van 1000 m als meest waarschijnlijk werd aangehouden.

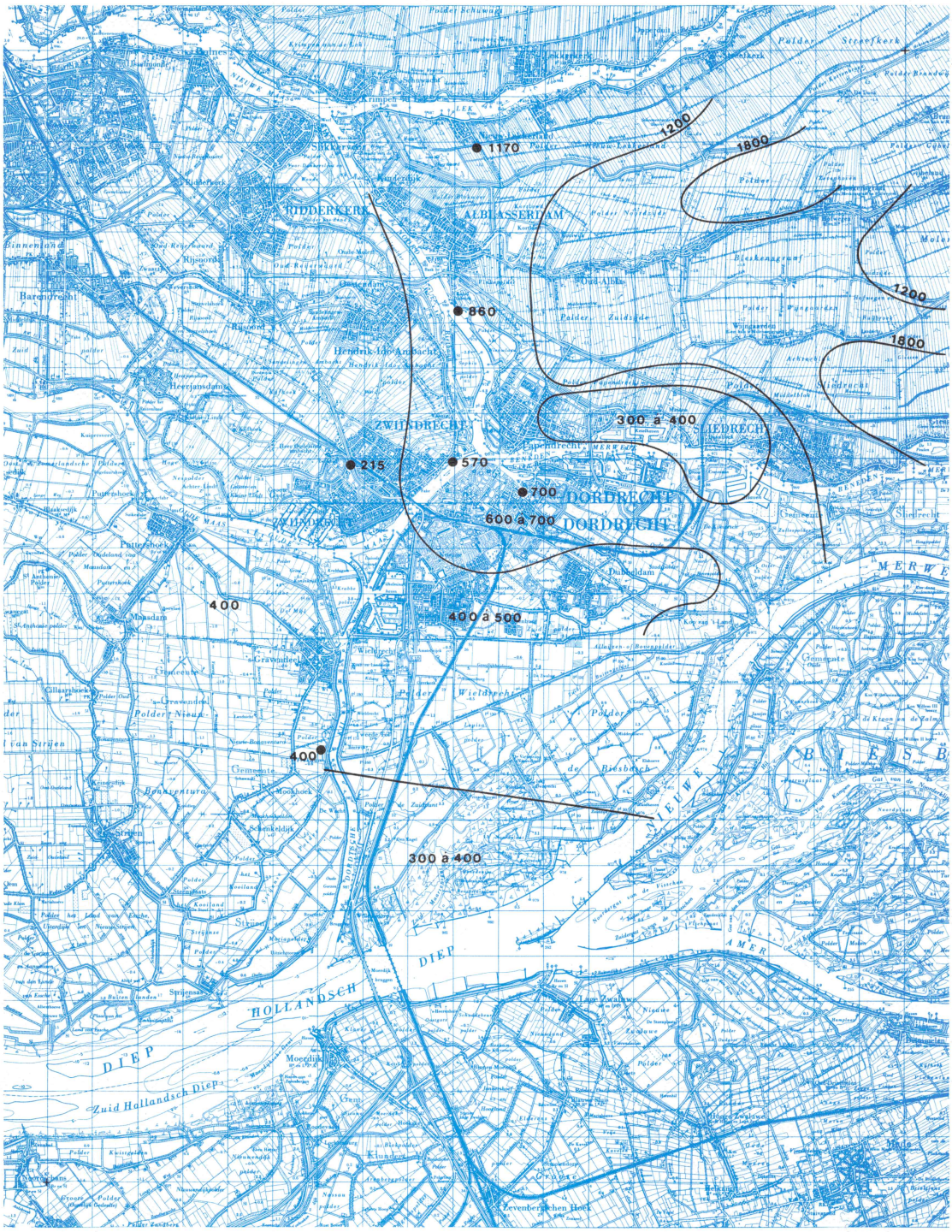
4.3. De ingevoerde gegevens

De waarde van de resultaten, die verkregen worden uit berekeningen met een model, hangt voor een groot deel af van de juistheid van de gehanteerde aannamen en van de nauwkeurigheid van de ingevoerde gegevens. De aannamen zijn besproken onder punt 4.2.3. De in te voeren gegevens komen onder dit punt ter sprake.

De gegevens dienen per knooppunt te worden ingevoerd en ze moeten daarom bekend zijn of geschat worden voor het gehele modelgebied. Gegevens in kwantitatieve zin zijn in dit gebied vrij schaars. In het hiernavolgende is uiteengezet hoe, aan de hand van bekende waarden, een indruk is verkregen van de grootte van de benodigde (geo)hydrologische invoergegevens voor het gehele modelgebied.

4.3.1. Het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket

Uit een inventarisatie van pompproefresultaten in lit. 7, waarin opgenomen



Verklaring

● 700 kD-WAARDE GEVONDEN UIT POMPPROEF IS 700 m² / dag

600 LIJN VAN kD = 600 m² / dag

0 1 2km

Figuur 4
Het doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket.

de resultaten van pompproeven te Zwijndrecht, Dordrecht en Alblasserdam, plaatsen die in het modelgebied liggen, blijkt dat de doorlatendheidscoëfficiënt k van het boven de Formatie van Kedichem/Tegelen gelegen watervoerende pakket in de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden vrij konstant is (ca. 60 m/dag).
In het gebied van het Eiland van Dordrecht is deze waarde, in zuidelijke richting gaande, waarschijnlijk iets lager (40 à 50 m/dag). Dit blijkt uit de resultaten van een te 's-Gravendeel gehouden pompproef (lit. 10) en uit het geohydrologisch onderzoek ten behoeve van de aanleg van de Kiltunnel (lit. 8).

Uitgaande van deze k-waarden is het nu mogelijk om een schatting te maken van het doorlaatvermogen kD van het watervoerende pakket in het gehele modelgebied als de dikte ter plaatse bekend is. De dikte van dit pakket is voor het grootste gedeelte van het modelgebied af te leiden uit de isopachenkaart, die als bijlage 2 is opgenomen in lit. 7. Deze is gebaseerd op onderzoek van de Werkgroep Geo-elektrisch Onderzoek TNO (rapport "Grote Rivieren I"). In de rest van het modelgebied is de dikte van het watervoerende pakket vrij konstant (nabij Dordrecht ca. 10 m, afnemend tot ca. 8 m in het zuiden van het Eiland van Dordrecht, zie lit. 6).

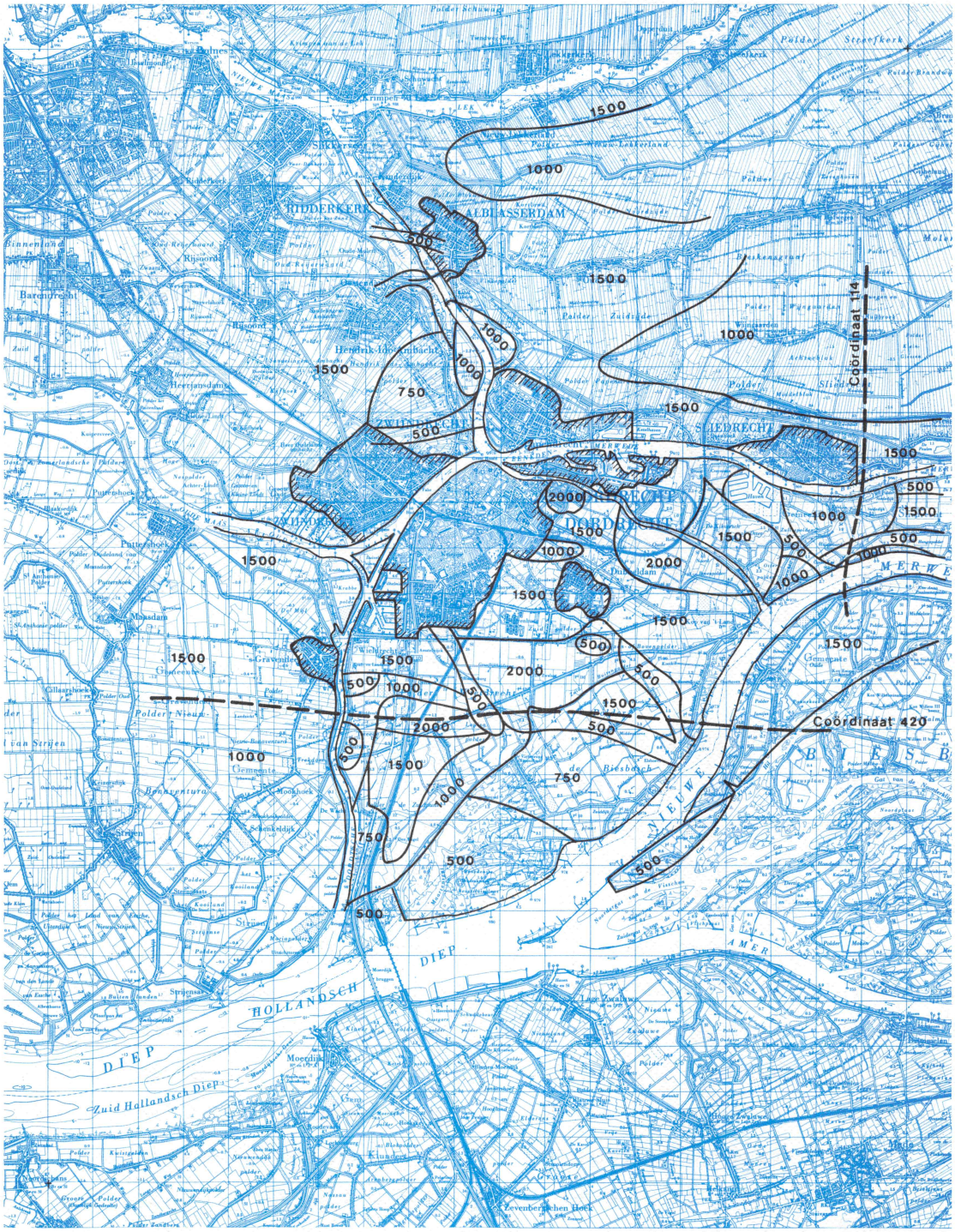
Met deze gegevens is door vermenigvuldiging van de k-waarde met de dikte de kD-waardenkaart van het watervoerende pakket vervaardigd, weergegeven in figuur 4.

4.3.2 De weerstand van het Holoceen

Het verkrijgen van een indruk van de weerstand tegen vertikale grondwaterstroming van de Holocene klei- en veenlagen in het gehele modelgebied is niet eenvoudig. Dit wordt veroorzaakt door het inhomogene karakter van deze afzettingen en door de aanwezigheid van zandbanen (met zand opgevulde oude rivierlopen). Hierdoor is tevens voorzichtigheid geboden ten aanzien van de representativiteit van de beschikbare gegevens.

a. Orde van grootte van de weerstand.

Een indruk van de orde van grootte van de weerstanden van het Holoceen in het modelgebied is verkregen door de resultaten van in het gebied verricht onderzoek (kritisch) te bezien. Voor wat betreft de pompproeven wordt aangenomen dat, voorzover uit de resultaten een c-waarde kan worden berekend, deze geldt voor het Holoceen (zie ook geohydrologische schematisering, hoofdstuk 3). In gevallen, dat formules zijn toegepast bij de analyse van pompproefgegevens, waarbij geen rekening wordt gehouden met uitlevering uit de slechtdoorlatende laag, kan nauwelijks enige waarde worden gehecht aan de hieruit berekende L-waarden. Deze verwaarlozing is bij diktes van het klei/veenpakket, zoals die in het modelgebied voorkomen, niet geoorloofd.



Figuur 5
De weerstand van het Holoceen(in dagen).

De resterende onderzoeken, waaruit een redelijk betrouwbare c-waarde kon worden berekend zijn:

- pompproef Nieuw Lekkerland:
  c = ongeveer 850 dagen;
- pompproef Alblasserdam:
  c = 450 dagen;
- hydrologisch onderzoek in Midden-West-Nederland (lit. 11):
  ten noorden van de Lek, tussen Schoonhoven en Krimpen aan de Lek:
  c = 1000 à 2500 dagen;
- onderzoek Bergambacht (lit. 5):
  c = 1000 dagen;
- onderzoek Kiltunnel (lit. 8):
  c = 600 dagen;
- onderzoek West-Utrecht (lit. 9):
  te Ammerstol:
  c = ca. 2500 dagen.

Deze waarden verschaffen enig inzicht in de orde van grootte waaraan wat betreft de weerstand van het Holoceen in het modelgebied moet worden gedacht.

b. Spreiding over het modelgebied.

In figuur 5 zijn de c-waarden die in het modelgebied zijn aangehouden weergegeven.

De volgende gebieden kunnen worden onderscheiden:

I. Eiland van Dordrecht en de Merwelanden.

De c-waarden in dit gebied zijn grotendeels verkregen met behulp van schattingen aan de hand van het elektrische weerstandsonderzoek van de R.G.D. (lit. 6). De hiernavolgende beschouwing moge dienen ter verduidelijking.

De specifieke (soortelijke) weerstand van een stof wordt meestal uitgedrukt in Ohm-meter (Ωm). Ter plaatse van het Eiland van Dordrecht variëren de specifieke formatieweerstanden tussen ca. 3 Ωm voor bepaalde kleien en ca. 60 Ωm voor zeer grove zanden. Voornamelijk bepalend voor de specifieke weerstand zijn de mineralogische samenstelling, poriënvolume en samenstelling van het poriënwater en de verdeling van de poriën in de formatie. Het weerstandslijnenpatroon uit lit. 6 verschaft duidelijke informatie inzake de lithologische variaties binnen de bovenste 15 m van de ondergrond. De weerstand die hier wordt aangegeven is de schijnbare weerstand (in Ωm), die in meerdere of mindere mate beïnvloed wordt door de specifieke weerstanden van alle door de stroom doorlopen aardlagen. Het blijkt, dat deze lithologische variaties vaak zeer abrupt zijn en een zeer grillig verloop kunnen hebben, waardoor onderlinge samenhang niet altijd duidelijk is. Het in het R.G.D.-rapport onderzochte gebied kan globaal in drie eenheden worden opgesplitst, nl.:

- Het gedeelte van het Eiland van Dordrecht ten zuiden van coördinaat 420 waar, met uitzondering van het uiterste zuidelijke gedeelte, de Pleistocene afzettingen vrij hoog voorkomen.

- Het gedeelte van het Eiland van Dordrecht ten noorden van coördinaat 420 waar een zeer grillig systeem van geulen behorende tot de Afzetting van Gorkum aanwezig is.
- De Merwelanden waar in het bijzonder ten oosten van coördinaat 114 belangrijke geulen behorende tot de Afzetting van Tiel voorkomen. Het westelijk gedeelte van de Merwelanden sluit meer aan bij het noordelijk gedeelte van het Eiland van Dordrecht.

Het (elektrische) weerstandslijnenpatroon kan niet rechtstreeks gekorreleerd worden aan een bepaalde profielopbouw, doordat verschillende profieltypen zich met dezelfde weerstandswaarde kunnen manifesteren. Wèl kan in het algemeen gesteld worden dat de schijnbare weerstand daalt naarmate het profiel kleiiger is en stijgt naarmate het zandiger wordt. Met deze relatie als uitgangspunt is een schatting gemaakt van de c-waarden van het Eiland van Dordrecht en de Merwelanden, waarbij de hiervóór vermelde ordes van grootte als indikatie zijn aangehouden. Uitgegaan is van de volgende globale indeling:

Gemeten schijnbare weerstand (Ωm)	c-waarde (dagen)
$<$ 12,5	2000
10 -17,5	1500
17,5-20 à 25	1000
20 -30	750
$>$ 25 à 30	$\leqslant$ 500

II. De Alblasserwaard, Oost-IJsselmonde en het oostelijk deel van de Hoeksche Waard.

Evenals op het Eiland van Dordrecht komen ook hier met zand opgevulde oude Holocene stroomgeulen voor. De loop ervan is niet precies bekend, behalve in en direkt ten zuiden van de Crezéepolder (ten westen van Alblasserdam) als resultaat van een geo-elektrisch onderzoek (zie lit. 13). Ten noorden van Hendrik-Ido-Ambacht loopt vermoedelijk een verzande stroomgeul van de Waal en in de Crezéepolder zelf is naar alle waarschijnlijkheid de vroegere loop van het riviertje de Alblas terug te vinden. Uit boorgegevens blijkt, dat ten noord-oosten van Zwijndrecht de dikte van het Holocene klei/veenpakket plaatselijk eveneens veel geringer is (ca. 4 m), dan gebruikelijk is in dit gebied (ca. 12-15 m). Dit duidt wellicht eveneens op de aanwezigheid van een oude stroomgeul. Een en ander is aangegeven in figuur 5. Hoe de aangegeven geulen verder lopen en wat er in dit gebied nog meer aan storingen in het Holoceen voorkomt is (nog) niet bekend. Aangehouden is een c-waarde van 1000 à 1500 dagen en voor de geulen van 500 dagen.

Enkele speciale gebieden verdienen nog nadere aandacht, namelijk de stedelijke gebieden, de haventerreinen en de gebieden waar grondwater wordt gewonnen. Aangezien het grootste deel van de op-

pervlakte van stedelijke gebieden bestaat uit bebouwing en bestrating op een sterk verdichte toplaag met daaronder nog Holocene klei- en veenlagen, zal de weerstand daar ter plaatse zeer hoog kunnen zijn.

De havengebieden zijn sterk geschematiseerd; de "waterknooppunten" hebben een weerstand gekregen die iets hoger is dan van de rivier (zie 4.3.3.) en de "landknooppunten" een hoge weerstand.

Voor gebieden, waar stijghoogteverlagingen optreden als gevolg van permanente grondwateronttrekking geldt, dat de weerstand tegen vertikale grondwaterstroming waarschijnlijk groter zal zijn dan in het geval, dat geen grondwater zou worden onttrokken. Indien immers grondwater uit het watervoerende pakket wordt onttrokken nemen de waterspanningen af, waardoor de afdekkende slechtdoorlatende laag zal gaan inklinken. Als gevolg van de inklinking zal de weerstand van de slechtdoorlatende laag tegen grondwaterstroming groter worden. Op grond van de in lit. 9 gegeven weerstandsformule kan voor dit geval worden afgeleid dat, ervan uitgaande dat het praktisch einde van de konsolidatie ten opzichte van de situatie zonder grondwateronttrekking is bereikt, de c-waarde als gevolg van de grondwateronttrekking toegenomen is met een faktor: $\frac{d - \Delta\varphi + s}{d - \Delta\varphi}$,

waarin:

d = dikte van de slechtdoorlatende laag, in m;

$\Delta\varphi$ = stijghoogteverschil van het grondwater onder en boven de slechtdoorlatende laag, in m;

s = stijghoogteverlaging in het watervoerend pakket als gevolg van onttrekking, in m.

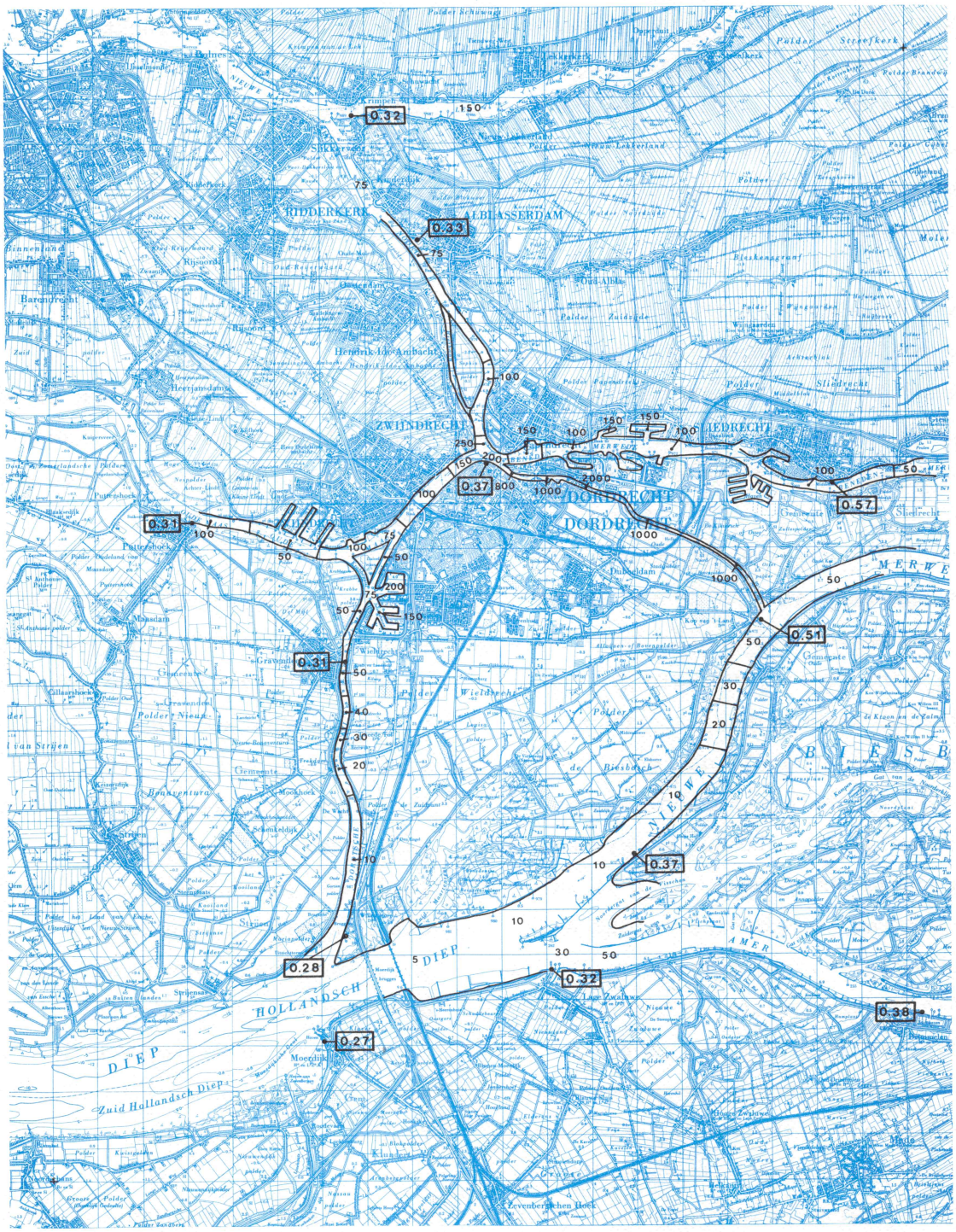
Deze faktor dient als zeer globaal te worden beschouwd; aan de gebruikte formule liggen sterke vereenvoudigingen ten grondslag.

De grootste onttrekking in het modelgebied vindt plaats in het Wantijpark (gemeente Dordrecht). Volgens opgaaf van de gemeente Dordrecht bedraagt de afpomping in het Wantijpark 3 à 4 meter. Uitgaande van een totale dikte van de slechtdoorlatende klei- en veenlagen ter plaatse van ca. 10 m geeft dit een vergrotingsfaktor van ca. 1,5 voor de toename van de weerstand als gevolg van de onttrekking. Dit is verdiskonteerd in de ingevoerde c-waarden voor de knooppunten 311, 312, 338 en 339.

De andere onttrekkingen in het modelgebied veroorzaken waarschijnlijk veel geringere verlagingen; de vergroting van de c-waarde zal hier waarschijnlijk gering zijn.

4.3.3. De intree-weerstand van de waterlopen

De belangrijkste waterlopen in het modelgebied zijn de Nieuwe Merwede, de



Verklaring

50 RIVIERWEERSTAND IN ETMAAL

GEMIDDELDE HALFTIJSTANDEN OVER DE PERIODE 1951–1960, IN m + N.A.P.

0 1 2km

Figuur 6
Rivierweerstanden en gemiddelde halftijstanden.

Beneden Merwede, de Noord, de Oude Maas, de Dordtse Kil en het Wantij. Uit onderzoeken te Dordrecht (lit. 1), te 's-Gravendeel (lit. 2), in de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (lit. 7) en ten behoeve van de geprojekteerde Kiltunnel (lit. 8) blijkt, dat vanuit deze rivieren infiltratie van water plaatsvindt naar het watervoerend pakket. De weerstand die het water hierbij ondervindt kan opgebouwd worden gedacht uit een bodemweerstand en een radiale weerstand. Bodemweerstand kan optreden als gevolg van onder de rivierbodem aanwezige Holocene lagen. Op de bodem aanwezig slib kan in principe óók aan deze weerstand bijdragen. Aangenomen wordt echter dat dit bij deze waterlopen niet het geval is vanwege de optredende stroomsnelheden.

Als gevolg van afbuigen van de stroombanen bij de stroming van water uit de rivier naar het watervoerend pakket moet, in het geval dat de rivier niet over de volle hoogte van het watervoerend pakket reikt, hetgeen bij deze waterlopen het geval is, rekening worden gehouden met een radiale weerstand. Gezien de breedte van de betreffende rivieren ten opzichte van de diepte zal de radiale weerstand zeer gering zijn.

Er zijn geen direkte gegevens beschikbaar omtrent de intree-weerstand van de waterlopen in het modelgebied. Op de in het hiernavolgende aangegeven wijze is getracht een indruk ervan te krijgen.

In de eerste plaats diende weer de orde van grootte te worden nagegaan waaraan moet worden gedacht. Hiertoe zijn drie lokaties nader onderzocht en wel de rivier de Lek, ter hoogte van Bergambacht (zie lit. 9), de Dordtse Kil, nabij 's-Gravendeel (zie lit. 2) en de Oude Maas, nabij de geprojekteerde Drechttunnel (zie lit. 1). De reden van deze keuze is de beschikbaarheid van gegevens over de grondwaterstijghoogten ter plaatse.

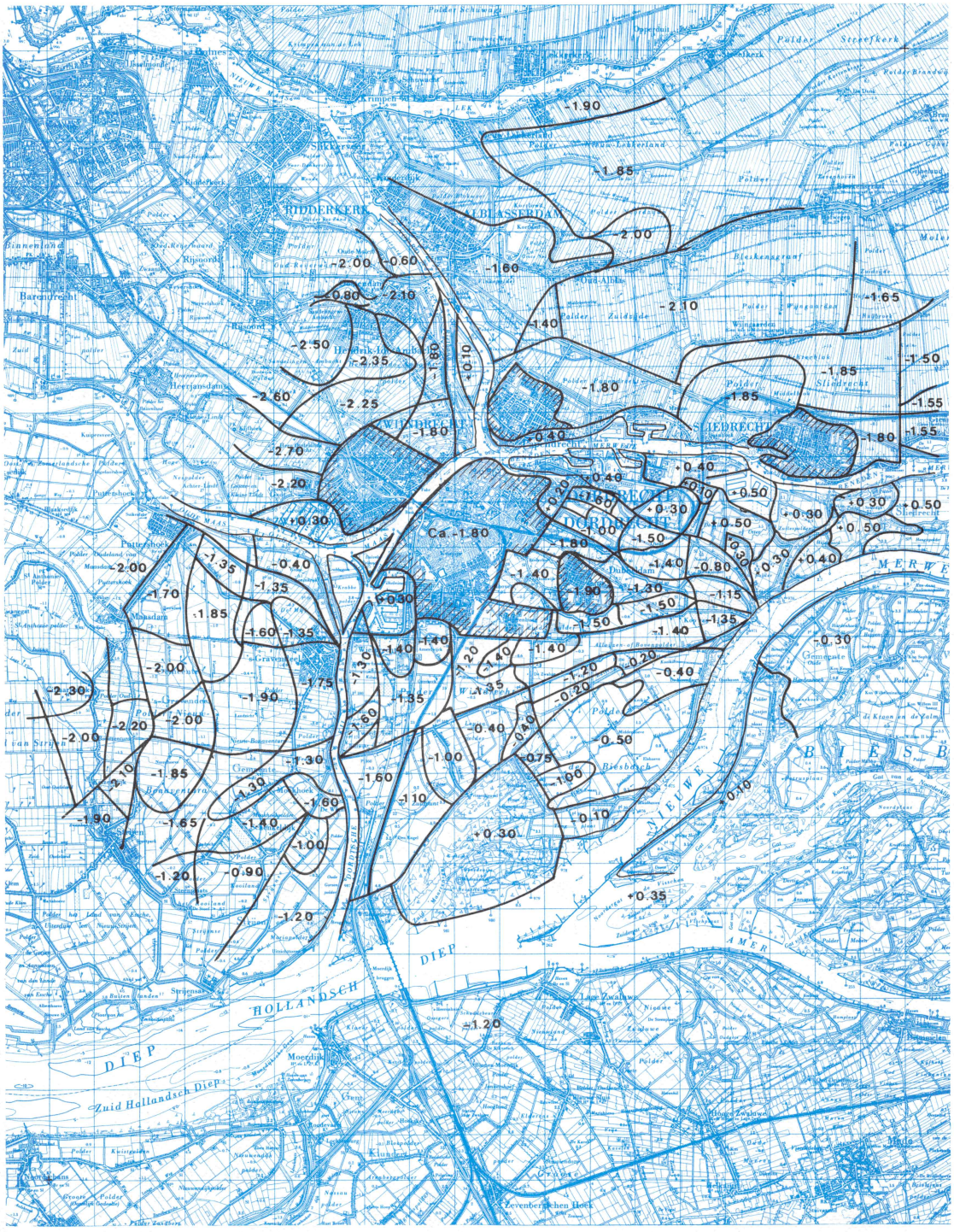
a. De Lek bij Bergambacht.

De rivier de Lek grenst in het noorden aan het modelgebied; zij stroomt door een gebied met een in grote lijnen met het modelgebied vergelijkbare profielopbouw. Ter hoogte van Bergambacht werd voor de intree-weerstand van de Lek een waarde gevonden van ca. 100 dagen.

b. De Dordtse Kil bij 's-Gravendeel.

In het kader van het onderzoek naar de getijvoortplanting in het ondiepe watervoerende pakket onder de waterwinplaats 's-Gravendeel is ten westen van de Dordtse Kil voor deze rivier een intree-weerstand berekend van 100 m. De intree-weerstand uitgedrukt in dagen kan nu als volgt berekend worden. Ter plaatse van de rivieroever geldt de volgende, in lit. 9 afgeleide, betrekking:

$$\frac{L_r}{L_p} \cdot \frac{\varphi_o - \varphi_b}{\varphi_b} = \text{tgh}\, \frac{B}{2L_r} ,$$



Verklaring

STEDELIJK GEBIED

0 1 2km

Figuur 7
Diepte van het freatisch vlak(in m t.o.v.N.A.P.).

met:

$L_r = \sqrt{kDc_r}$ = spreidingslengte t.p.v. de rivier, in m;

c_r = intree-weerstand van de rivier, in dagen;

$L_p = \sqrt{kDc}$ = spreidingslengte van de Holocene lagen in de aan de rivier grenzende polders, in m;

φ_b = stijghoogte van het grondwater in het watervoerende pakket t.o.v. het rivierpeil, t.p.v. de rivieroever, in m;

φ_o = verschil tussen rivierpeil en freatische grondwaterstand, in m;

B = breedte van de rivier, in m;

Er wordt gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

L_p = 270 m (berekend uit verhanglijn, lit. 2);

kD = 400 m^2/dag (zie lit. 8 en 10);

φ_b = 0,60 m (zie lit. 2);

φ_o = 2,00 m (zie lit. 2);

B = 150 m.

De volgende waarde wordt met behulp van de hiervóór gegeven formule verkregen: L_r = 83 m. Dit levert met kD = 400 m^2/dag een waarde voor c_r van 17 dagen op.

c. De Oude Maas bij de geprojekteerde Drechttunnel.

Ongeveer 200 m ten zuiden van de bestaande verkeersbrug over de Oude Maas bij Dordrecht is door Rijkswaterstaat een tunnel geprojekteerd. Door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening is het advies verzorgd (zoals neergelegd in het in lit. 1 vermelde rapport) inzake de geohydrologische situatie zoals die zich zal voordoen tijdens en na de bouw van de tunnel. In het kader van het daartoe verrichte onderzoek zijn grondwaterstandswaarnemingen verricht, benevens waarnemingen van het rivierpeil. Hiervan is gebruik gemaakt bij het verkrijgen van een indruk van de grootte van de intree-weerstand c_r van de Oude Maas ter plaatse. Uit de verhanglijn van 21-9-1970 voor de putten 037, 039 en 040 kon een waarde voor L_p worden afgeleid van ca. 1000 m en voor φ_b van ca. 0,60 m. De verdere gegevens, ingevoerd in de onder b gegeven intree-weerstandsformule, zijn:

kD = 500 m^2/dag (zie figuur 4);

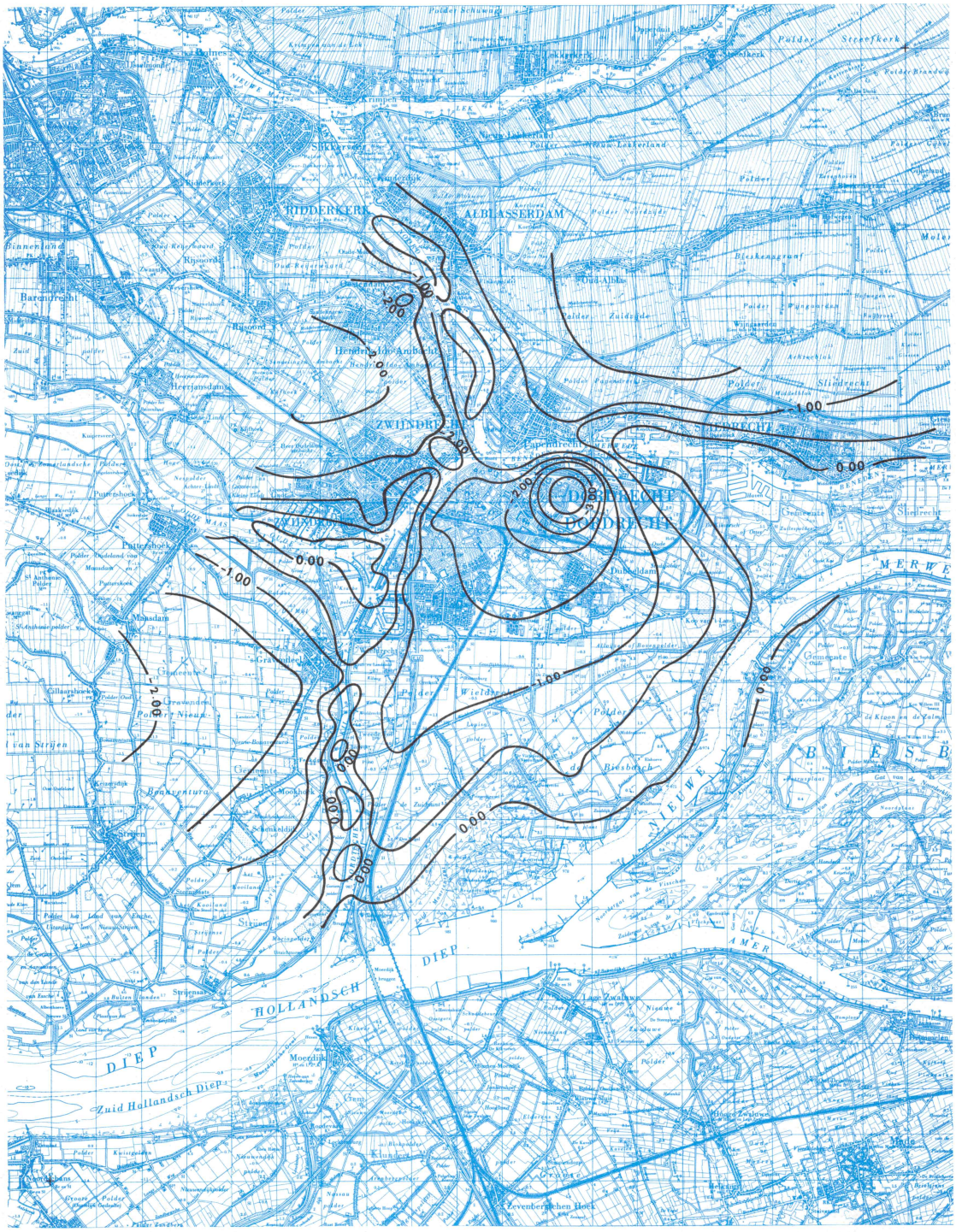
φ_o = 2,15 m;

B = 250 m.

Hiermee wordt voor c_r gevonden: ca. 90 dagen.

Dit is in overeenstemming met de orde van grootte (100 à 200 dagen) die in lit. 1 wordt afgeleid uit beschouwingen over de chemische samenstelling van het grondwater.

Vervolgens diende nu voor iedere rivier in het modelgebied een schatting van de intree-weerstand te worden gemaakt. Bepalend voor de grootte van de bodemweerstand is de mate waarin de rivier



Verklaring

-1.00 — ISOHYPSE VAN NAP -1.00 m

0 1 2km

Figuur 8
Berekende grondwaterpotentialen(met onttrekking).

is ingesneden in het Holocene klei/veenpakket, ofwel de dikte van de zich onder de rivierbodem bevindende Holocene laag. Indien de rivier in een zandbed stroomt (een oude met zand opgevulde loop van de rivier) is deze bodemweerstand uiteraard zeer gering.

Een indikatie voor de onderlinge verhouding van de intree-weerstanden van de verschillende rivieren is het verhang langs deze rivieren; hoe steiler dit is des te geringer zal de intree-weerstand zijn. Hiervan is gebruik gemaakt bij de schatting van de intree-weerstanden van de Beneden Merwede en de Noord, aan de hand van de isohypsenkaarten van het Alblasserwaard onderzoek (lit. 7).

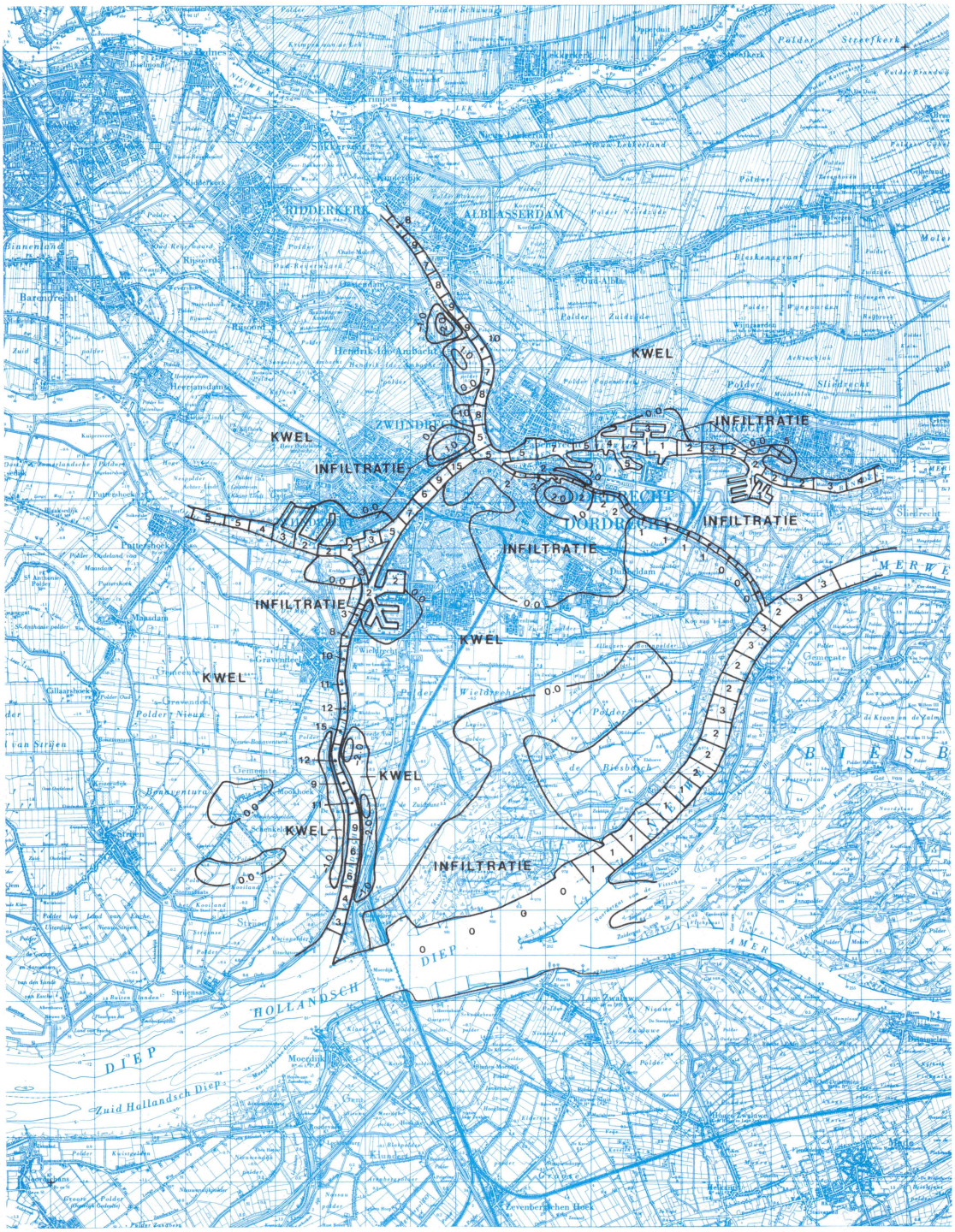
In het hiernavolgende zal worden uiteengezet hoe, rekening houdend met de mate van insnijding in het Holocene pakket, de aanwezigheid van met zand opgevulde oude stroomgeulen, de weerstanden van de Holocene lagen in de aan de rivieren grenzende polders en de hiervóór vermelde intree-weerstanden een indruk is verkregen van de intree-weerstanden van de rivieren in het modelgebied. De hierbij gebruikte rivierdieptecijfers zijn afkomstig van Rijkswaterstaat, Direktie Benedenrivieren. De aangehouden weerstanden zijn vermeld in figuur 6.

- De Nieuwe Merwede.
  Beneden de 420-coördinaat doorsnijdt de Nieuwe Merwede het hele Holocene pakket. Aangehouden is een weerstand van 10 dagen in verband met een eventueel aanwezige sliblaag op de bodem. Boven de 420-coördinaat is het niet duidelijk of het hele Holocene pakket doorsneden wordt. Hier is een weerstand van 50 dagen aangehouden.

- De Beneden Merwede.
  Voor de Beneden Merwede, die in een zandbed stroomt, is aangehouden een weerstand van 100 dagen, vanaf Papendrecht tot aan het kruispunt met de Noord en de Oude Maas oplopend tot 250 dagen.

- De Noord.
  De Noord doorsnijdt de Holocene deklagen eveneens gedeeltelijk. Waarschijnlijk stroomt de rivier zelfs in een zandbed. Hier is een intree-weerstand van 75 dagen aangehouden. Ten westen van Papendrecht is een iets hogere weerstand (100 dagen) toegekend.

- De Dordtse Kil.
  Ter hoogte van het nieuwe wingebied van de gemeente 's-Gravendeel is voor de Dordtse Kil in het voorafgaande een intree-weerstand berekend van 20 dagen. De diepte van de rivier is ca. 9 m en de dikte van de Holocene lagen in de aangrenzende polders bedraagt eveneens ca. 9 m, zodat de Kil daar ter plaatse waarschijnlijk tot in het Pleistocene pakket reikt, hetgeen in



Figuur 9
Polderkwel en infiltratie, rivierinfiltratie (mm/dag) (met onttrekkingen).

overeenstemming is met de lage berekende intree-weerstand. In zuidelijke richting gaande wordt het afdekkende Holocene pakket steeds dunner. Voor de waarde van de intree-weerstand is daarom ten zuiden van de 420-coördinaat aangehouden: 10 dagen. In noordelijke richting wordt het Holocene pakket steeds dikker, de insnijding van de Kil dus relatief geringer en dientengevolge de intree-weerstand waarschijnlijk groter, omdat de Kil niet in een zandbed stroomt (zie lit. 6). Aangehouden is een weerstandsverloop van 50 dagen (Malle Gat) naar 100 dagen (Oude Maas).

- De Oude Maas.
  De diepte van de Oude Maas varieert vrij sterk. De rivier is het diepst ten zuiden van Groote Lindt (10 à 14 m) en het ondiepst nabij het tracé van de toekomstige Drechttunnel (7 à 8 m). Gewerkt is hier met een intree-weerstand variërend van 50 tot 100 dagen. De rivier stroomt niet in een zandbed.

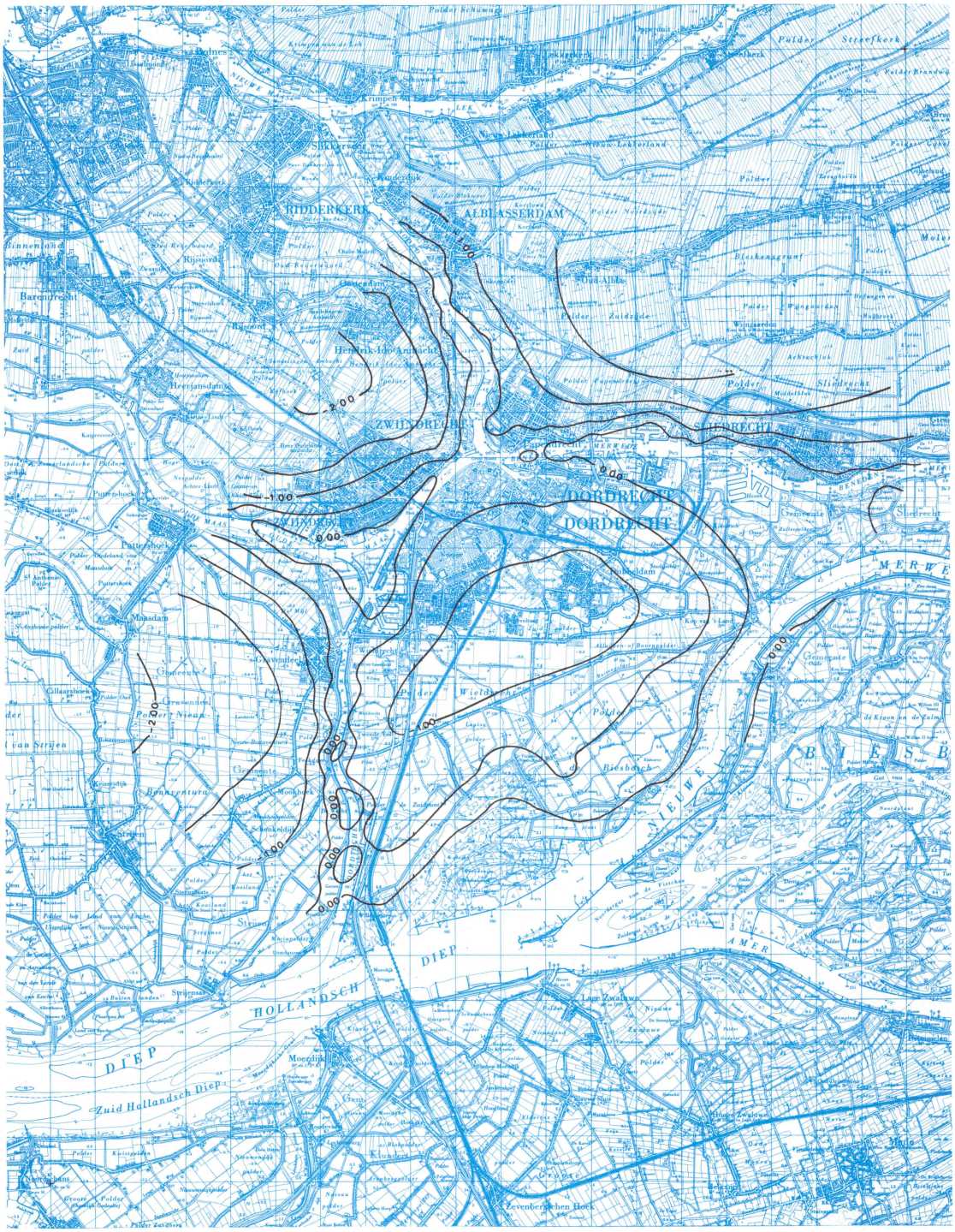
- Het Wantij.
  De diepte van het Wantij is vrij gering (3 à 4 m), terwijl de dikte van de aangrenzende Holocene lagen ca. 12 m bedraagt en de rivier niet in een zandbed stroomt. De intree-weerstand van deze rivier zal dan ook vrij groot zijn. De aangrenzende Holocene lagen hebben naar alle waarschijnlijkheid een weerstand die ligt in de buurt van de 1500 dagen, zodat voor wat betreft de weerstand van het Wantij gedacht kan worden aan een waarde die ligt in de buurt van 1000 dagen.

4.3.4
De ondiepe (freatische) grondwaterstanden

Aangezien de onderhavige beschouwingen gebaseerd zijn op een gemiddelde situatie dienen ook voor wat betreft de ondiepe grondwaterstanden gemiddelde waarden te worden ingevoerd. Deze zijn verkregen door de zomer- en wintergrondwaterstanden van de COLN-kaart (lit. 14) te middelen. Via de maaiveldhoogten zijn deze waarden omgerekend naar standen t.o.v. N.A.P. In figuur 7 is het resultaat weergegeven. Voor de gebieden, waarvan geen COLN-grondwaterstanden en ook geen polderpeilen bekend zijn (de Merwelanden, de zuidpunt van het Eiland van Dordrecht en de Biesbosch) is een schatting gemaakt van de gemiddelde grondwaterstand. Voor die gebieden, die via kreken in open verbinding staan met de rivieren (gedeelten van de Merwelanden en de zuidpunt van het Eiland van Dordrecht) is dit gedaan door het rivierpeil als maatstaf te nemen. Voor de resterende gebieden dienden de maaiveldhoogten als richtlijn, benevens de gemiddelde grondwaterstanden voorzover die bekend zijn (COLN-onderzoek) van aangrenzende gebieden.

4.3.5.
De rivierpeilen

Voor de rivierpeilen zijn de gemiddelde halftijstanden aangehouden over de pe-



Verklaring

—— -1.00 —— ISOHYPSE VAN N.A.P. -1.00 m

0 1 2km

Figuur 10
Berekende grondwaterpotentialen(zonder onttrekking).

riode 1951-1960 (10-jarige overzichten van Rijkswaterstaat). De plaats van de gebruikte meetpunten en de bijbehorende peilen zijn aangegeven in figuur 6. Voor tussengelegen rivierknooppunten waarvoor een waterstand in het model diende te worden ingevoerd is rechtlijnig geïnterpoleerd tussen de bekende waarden.

4.3.6. De onttrekkingen

In het modelgebied wordt door een aantal bedrijven grondwater gewonnen. Dit betreft:

a. Industriële onttrekkingen.

De situering en de grootte van de belangrijkste industriële onttrekkingen zijn hierna vermeld. De gegevens zijn afkomstig van de Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland. De diepte van de winningen is niet altijd bekend, maar volgens Provinciale Waterstaat is 90% van de winningsmiddelen in Zuid-Holland in het Bovenste Grof geplaatst (= het beschouwde watervoerende pakket).

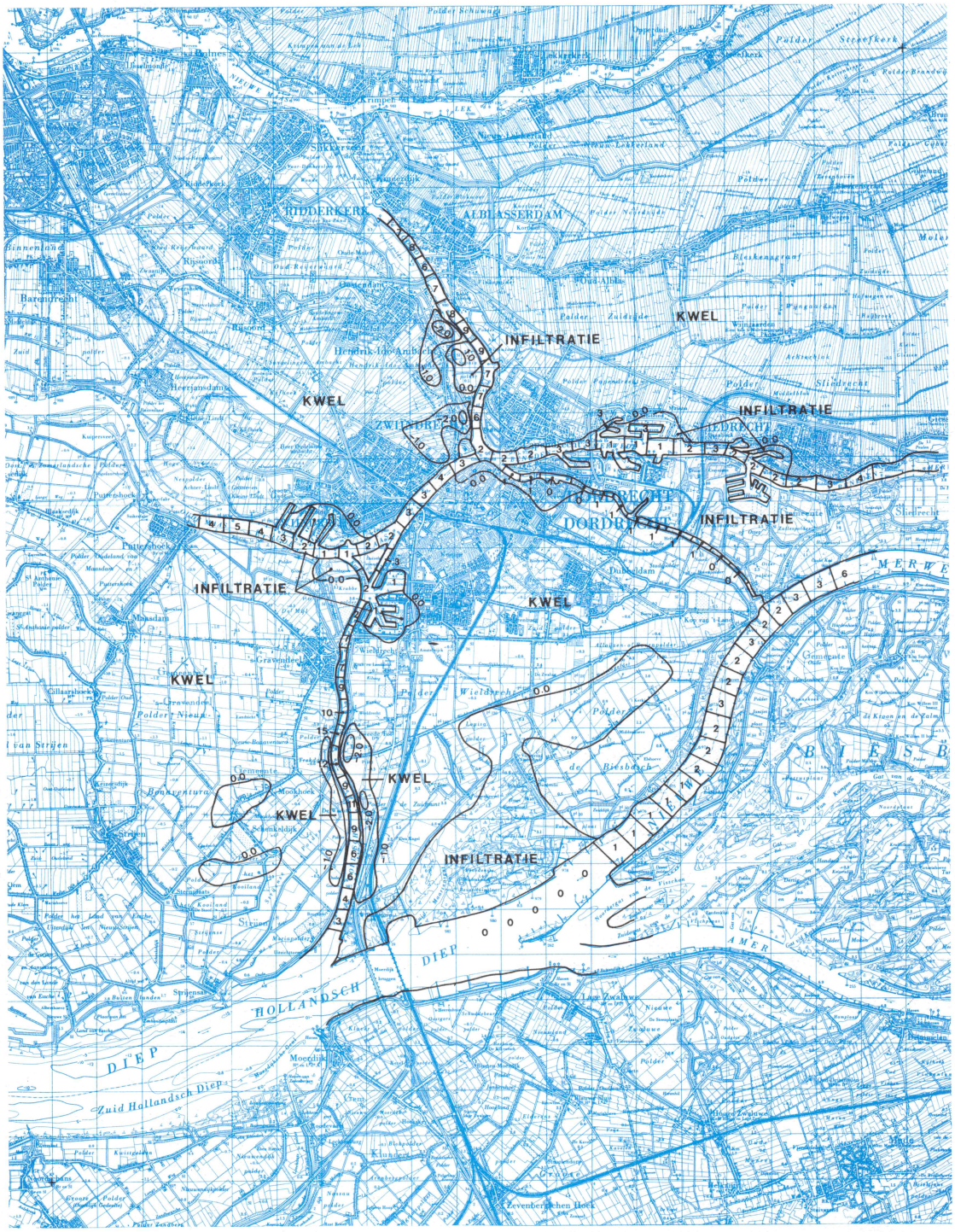
modelknooppunt	gemiddelde debiet (m^3/dag)
415	660
417	500
442	800
467	1400
524	1100

b. Waterleidingbedrijven.

- Wantijpark (gemeente Dordrecht). De geplande toekomstige winning bedraagt 4.10^6 m^3 per jaar. Deze onttrekking is verdeeld over de modelknooppunten 311, 312, 338 en 339; de onttrekking per knooppunt bedraagt derhalve 2750 m^3 per dag (thans wordt ongeveer 3.10^6 m^3/jaar gewonnen).
- Zwijndrecht. Volgens lit. 3 bedroeg de onttrekking gedurende 1972 hier 3.10^6 m^3; deze vond hoofdzakelijk plaats uit het bovenste watervoerende pakket. Gerekend is met een gemiddelde onttrekking van 3200 m^3 per dag ter plaatse van de knooppunten 360 en 361.
- Hendrik-Ido-Ambacht. De onttrekking (uit het beschouwde watervoerende pakket) bedroeg hier in 1972 $0,6.10^6$ m^3 (lit. 3). Gerekend is met 1800 m^3 per dag. De onttrekking is in het model gesitueerd in knooppunt 220.
- 's-Gravendeel. De totale onttrekking bedraagt hier volgens opgaaf van de Stichting Bronwaterleiding Hoeksche Waard $3,5.10^6$ m^3 per jaar, waarvan $0,5.10^6$ m^3 uit het bovenste watervoerende pakket gewonnen wordt, ongeveer ter plaatse van knooppunt 658.

4.3.7. De stijghoogten van het grondwater op de rand van het model

Op de rand van het model dienen de stijghoogten van het grondwater in het watervoerende pakket te worden ingevoerd. Voor praktisch de gehele zuidoostelijke rand van het model kan daar-



Verklaring

—— -1.0 —— KWELLIJN VAN 1mm/dag

—— 1.0 —— INFILTRATIELIJN VAN 1mm/dag

0 1 2km

Figuur 11
Polderkwel en infiltratie, rivierinfiltratie (mm/dag) (zonder onttrekkingen).

voor het peil van de Nieuwe Merwede worden aangehouden, zoals uiteengezet is in punt 4.2.1. Verder is gebruik gemaakt van isohypsenkaarten uit het Alblasserwaard-onderzoek (lit. 7) en uit "Grondwaterbeheer in Zuid-Holland" (lit. 3). De isohypsen, gebaseerd op stijghoogtewaarnemingen van 29 augustus 1966 uit het Alblasserwaard-onderzoek benaderen de gemiddelde situatie. De isohypsen uit "Grondwaterbeheer in Zuid-Holland" representeren de gemiddelde voorjaarstoestand. Als richtlijn diende de overweging, dat de stijghoogte van het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket gerekend vanaf een (infiltrerende) rivier, polder-inwaarts gaande, steeds meer het polderpeil zal gaan benaderen.

4.4. Bespreking van de resultaten

Er zijn twee gevallen doorgerekend, namelijk de gemiddelde situatie met en zonder onttrekkingen. De berekeningsresultaten zijn in de figuren 8 t/m 11 voor beide gevallen weergegeven, in de vorm van een isohypsenkaart, een kwel/infiltratiekaart en een kaart met waarden voor de rivierinfiltratie.

De hooggelegen vrij afwaterende gebieden in het zuidelijk deel van het Eiland van Dordrecht komen er duidelijk als infiltratiegebieden uit, hetgeen ook wel te verwachten was. Dit is eveneens het geval met de Merwelanden.

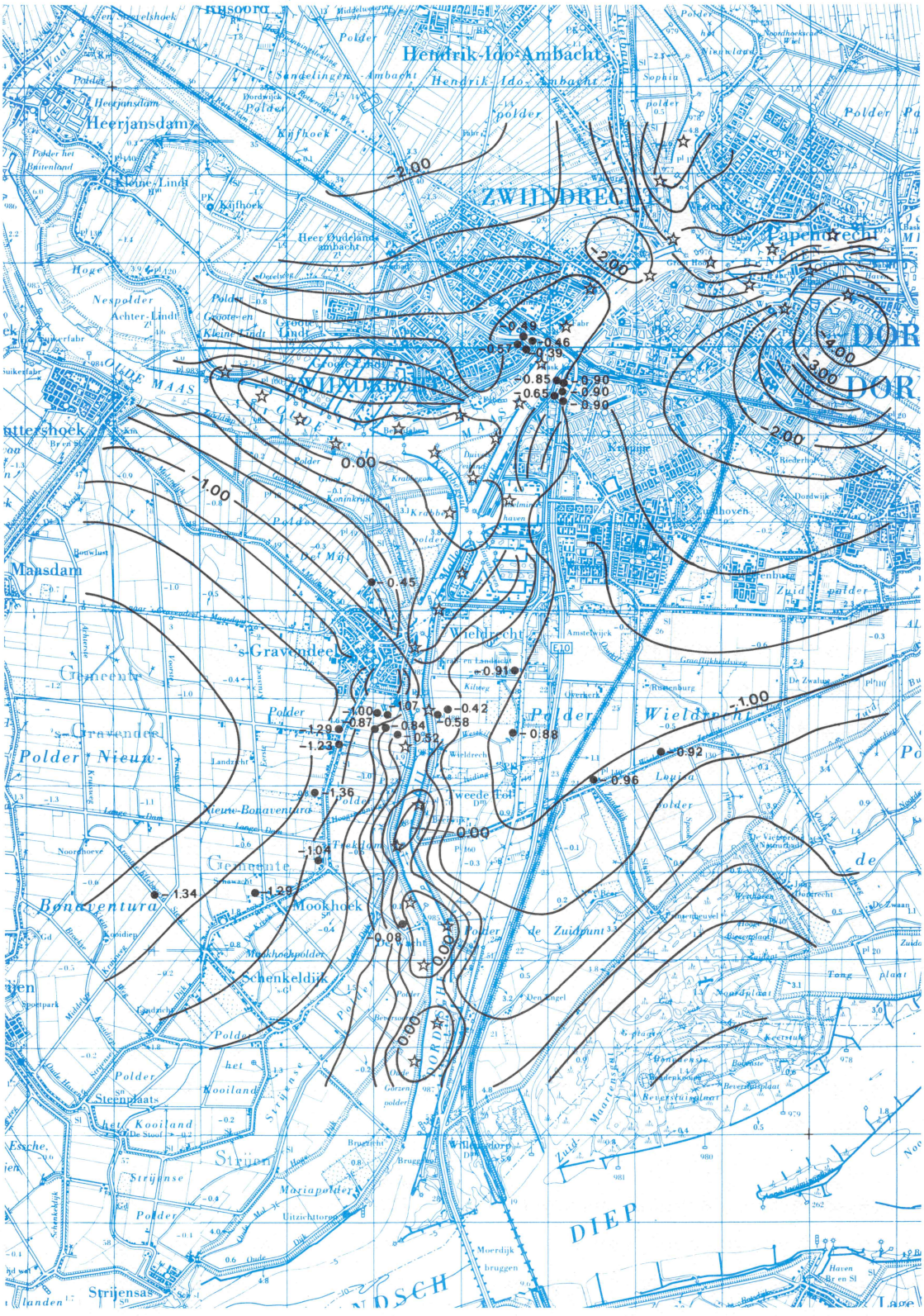
In de natuurlijke situatie (zonder onttrekkingen) vertoont de Dordtse Kil de grootste infiltratie en wel in het traject van ca. 2 km lengte ten zuiden van 's-Gravendeel. De oorzaak hiervan is de kombinatie van een geringe intree-weerstand met een groot verschil tussen rivierpeil en polderpeil ter plaatse.

Bezien we het verschil tussen de situatie met en zonder onttrekkingen dan kan, indien wij ons beperken tot het effekt van de onttrekking in het Wantijpark (gemeente Dordrecht), het volgende worden opgemerkt:

Er treden aanzienlijke stijghoogteverlagingen op, met als gevolg een vergroting van de infiltratie, zowel qua gebied als qua intensiteit. Een groot stuk van het noordelijk deel van het Eiland van Dordrecht verandert van kwel- in infiltratiegebied. In de Merwelanden, van nature al een infiltratiegebied, wordt de infiltratie nog sterker. De infiltratie vanuit de Beneden Merwede en, in iets mindere mate, uit het Wantij, wordt óók vergroot.

4.5. Verifikatie

Teneinde na te gaan of het gebruikte model een betrouwbare simulatie geeft van het werkelijke geohydrologische systeem dienen de in punt 4.4. beschreven resultaten te worden geverifieerd aan bekende kwel- of infiltratiewaarden en gemeten stijghoogten.



Figuur 12
Verifikatie van de berekende stijghoogten.

Hiertoe staan slechts een summier aantal gegevens ter beschikking, hetgeen trouwens de reden was voor het aanwenden van het bij dit onderzoek gebruikte model. De gegevens waarvan niettemin gebruik kon worden gemaakt komen hierna ter sprake.

a. Kwel/infiltratie.

Uit lit. 2 kan voor de infiltratie van de Dordtse Kil nabij de geprojekteerde Kiltunnel een waarde worden afgeleid van minimaal 1,0 en maximaal 4,0 m^3 per dag per m' rivier, hetgeen een gemiddelde oplevert van 2,5. Uit de berekeningen met het model, die gelden voor een gemiddelde situatie, volgt voor knooppunten 714 (nabij de Kiltunnel) een rivierinfiltratie van ca. 1130 m^3/dag. Omgerekend is dit ca. 2 m^3 per dag per m' rivier. De overeenkomst is dus goed te noemen.

Uit lit. 15 valt af te leiden, dat de Nieuwe Stadspolder van oorsprong een kwelgebied is. Uit de berekeningen met het model volgt dit eveneens (zie figuur 11).

b. Stijghoogten.

- Situatie zonder onttrekkingen. In lit. 15 wordt vermeld dat vóór de ingebruikstelling van de pompputten in de Nieuwe Stadspolder de stijghoogte van het grondwater in de pompputten ca. N.A.P. -0,25 m bedroeg, bij een polderpeil van N.A.P. -0,60 m. Uit de modelberekeningen volgt voor de stijghoogte van het grondwater in dit oude wingebied in de situatie zonder onttrekkingen, met een ingevoerd polderpeil van eveneens N.A.P. -0,60 m, een waarde die verloopt van N.A.P. -0,25 m tot -0,50 m (zie figuur 10). Ook hier valt dus een goede overeenstemming te constateren.

- Situatie met onttrekkingen. De voor deze verifikatie gebruikte gemeten stijghoogten zijn weergegeven in figuur 12. Er kon gebruik worden gemaakt van reeksen stijghoogtewaarnemingen in peilputten die in het kader van geohydrologisch onderzoek ten behoeve van de Kiltunnel en de Drechttunnel geplaatst werden. Buiten deze peilputtenkoncentratie stonden alleen nog enkele sporadische, her en der verspreide putten ter beschikking. De meeste peilputten bevinden zich dus vlakbij een rivier, hetgeen betekent, dat de hierin waargenomen grondwaterstijghoogten behoren tot een door de betreffende rivier geïnduceerd potentiaalveld. Daarom moet bij de verifikatie een situatie worden gekozen, waarbij de optredende halftijstanden van de rivieren dezelfde zijn als die, welke in het model zijn ingevoerd. Aangezien van de meeste peilputten een serie waarnemingen beschikbaar was, leverde het weinig problemen op om een dergelijke situatie te kiezen. De resultaten over-

ziende (zie figuur 12) mag, waar verifikatie mogelijk was, in het algemeen van een zeer goede overeenstemming gesproken worden tussen de gemeten en de berekende stijghoogten.

5. De samenstelling van het grondwater

5.1 Algemene opmerkingen

Aan de samenstelling van het grondwater zal aandacht worden besteed omdat deze in de eerste plaats op zichzelf belangrijk is in verband met problemen bij winning en zuivering van het grondwater, maar bovendien omdat een juist inzicht omtrent de wijze waarop deze samenstelling tot stand is gekomen, verhelderend werkt ten aanzien van de herkomst van het grondwater en de gang die het door de ondergrond heeft gevolgd. Het totaal van de chemische en fysische eigenschappen van grondwater op een bepaalde plaats geeft een verslag van de lotgevallen van dat water vanaf de tijd dat het grondwater werd tot het tijdstip van bemonstering.

De samenstelling van het grondwater wordt in het algemeen bepaald door de samenstelling die het water had voordat het grondwater werd en door de veranderingen die plaatsvonden tijdens de infiltratie en het verblijf in de ondergrond. Uit de voorgaande hoofdstukken valt af te leiden dat een belangrijke bron van herkomst van het grondwater van het Eiland van Dordrecht wordt gevormd door de omringende grote rivieren, die hoofdzakelijk Rijnwater bevatten. Daarom zal in een volgend hoofdstuk nader worden ingegaan op de samenstelling van het Rijnwater in de loop der tijd.

Een algemeen overzicht van de belangrijkste veranderingen in samenstelling die plaats kunnen vinden tijdens het verblijf van water in de ondergrond van Nederland wordt gegeven in (lit. 17). Opgemerkt kan worden dat het grondwater van het Eiland van Dordrecht doordat veel veen aanwezig is in de ondiepe ondergrond, na infiltratie vooral zal worden beïnvloed door de hoofdzakelijk anaerobe biologische processen die samenhangen met de afbraak van organisch materiaal. Het effekt van de diverse veranderingen zal in de volgende hoofdstukken worden beschreven.

De beschikbare analyses van de samenstelling van het grondwater van het Eiland van Dordrecht betreffen hoofdzakelijk de zogenaamde hoofdelementen, d.m.z. de chemische verbindingen die in de grootste hoeveelheden in het water voorkomen. In een apart hoofdstuk zal echter worden ingegaan op de bepalingen van de gehalten van de stabiele isotoop ^{18}O en de radioaktieve isotoop ^{3}H, die speciaal voor het onderhavige onderzoek zijn uitgevoerd.

5.2 De samenstelling van het Rijnwater in de loop der tijd

Door Molt (lit. 18) is een beschouwing gewijd aan de chemische samenstelling van het Rijnwater in de loop der tijd, waarbij de eerste analyses die hem ter beschikking stonden uitgevoerd waren in

1875 door het Rotterdams Waterleidingbedrijf.

Zijn konklusies zijn, voorzover relevant, in het volgende kort weergegeven.

a. Vanaf 1875 is een regelmatig stijgende tendens waar te nemen in het chloridegehalte van het Rijnwater.
b. Vanaf 1930 is ook het sulfaatgehalte gestegen.
c. Het waterstofcarbonaatgehalte is in de loop der tijd vrijwel konstant 160 mg/l gebleven; in de laatste tientallen jaren is een licht dalende tendens merkbaar.
d. Vanaf 1930 is een regelmatige toeneming van het calciumgehalte en daarmee samenhangend van de hardheid waar te nemen.
e. Het magnesiumgehalte is steeds ongeveer gelijk aan 10 mg/l gebleven.
f. In samenhang met het chloridegehalte is ook het natriumgehalte relatief sterk gestegen.
g. Het kaliumgehalte is gestegen van ca. 5 mg/l in 1875 tot 5 à 10 mg/l thans.
h. De organische vervuiling van de Rijn is vooral sedert 1945 toegenomen. Dit komt o.a. tot uiting in een stijging van het kaliumpermanganaatgetal, van het ammoniumgehalte (dat in 1875 zeer laag (ca. 0,2 mg/l) was en van het nitraatgehalte (van ca. 1 à 2 mg/l in 1875 tot ca. 10 mg/l thans). Het zuurstofverzadigingspercentage is gedaald tot ca. 50%.

Tevens werd door Molt (lit. 18) de zijns inziens natuurlijke samenstelling

Tabel 1.
De gemiddelde samenstelling van het Rijnwater in de loop der jaren.

jaar	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	$Na^{+}+K^{+}$ (mg/l)	NH_4^{+} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	$SO_4^{=}$ (mg/l)	NO_3^{-} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	vrij CO_2 (mg/l)	hardheid (meq/l)	$KMnO_4$ verbr. (mg/l)
1870	50	10	8	0	12	35	1.5	160		3.3	
1930	63	10	26	0.3	59	42	3.1	161		3.9	21
1950	69	10	57	0.6	114	62	2.5	140		4.3	21
1960	78	11	72	1.8	147	78	6.2	151		4.8	29
1961	77	11	63	1.4	128	79	7.6	152		4.8	27
1962	84	12	74	2.2	158	88	7.6	156		5.2	29
1963	85	11	90	2.8	175	88	6.4	151		5.1	31
1964	93	12	110	3.6	206	100	5.5	152		5.6	34
1965	76	10	65	1.7	129	76	8.6	145	7	4.6	24
1966	76	11	64	1.3	125	74	8.1	150	6	4.8	23
1976	78	12	76	1.2	143	76	11	156	5	4.9	25
1968	84	15	67	1.5	136	78	8.3	166	6	5.5	32
1969	80	14	91	2.2	161	85	14	162	11	5.2	31

van het Rijnwater aangegeven, dat wil zeggen die samenstelling die het Rijnwater zou hebben zonder de invloed van de toegenomen bevolking en de industrialisatie in het stroomgebied (zie tabel 1). Ter vergelijking is eveneens de gemiddelde samenstelling van het Rijnwater in de jaren zestig in tabel 1 opgenomen (lit. 19). De intensiteit waarmee de Rijn bemonsterd wordt is sterk toegenomen (lit. 16) zodat thans zeer veel kwaliteitsgegevens beschikbaar zijn.

5.3 Variatie in de samenstelling van het grondwater naar plaats

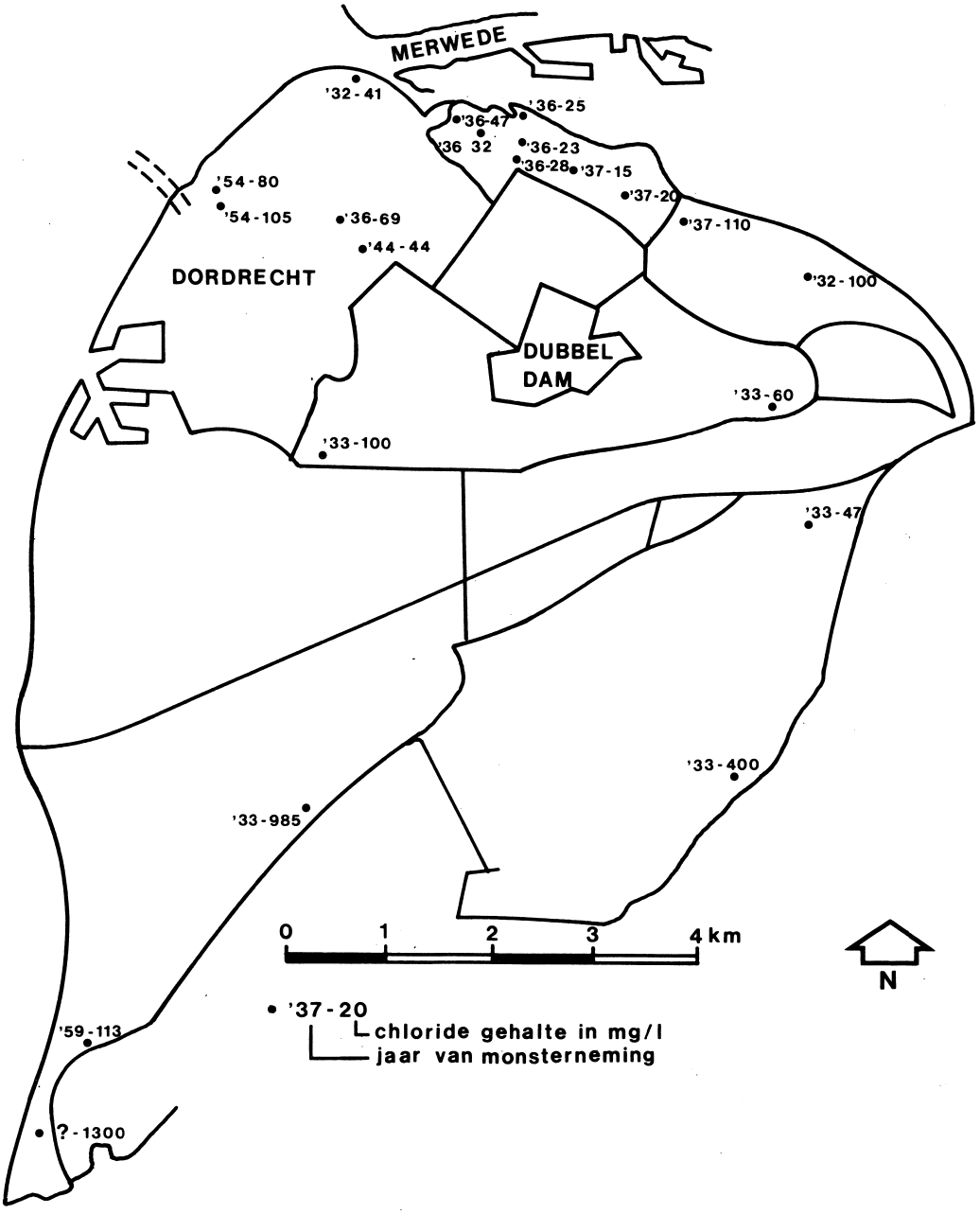
Tot voor een aantal jaren waren slechts weinig analyses beschikbaar van grondwater van het Eiland van Dordrecht en deze waren dan nog vooral uit het ondiepe watervoerende pakket afkomstig. De situatie is veranderd doordat een uitvoerig hydrologisch onderzoek heeft plaatsgevonden ten behoeve van de bouw van de toekomstige Drechttunnel en ook doordat op de waterwinplaats van de gemeente Dordrecht in het Wantijpark de kwaliteit van het opgepompte grondwater nader is onderzocht in verband met optredende putverstopping. Het is thans mogelijk om aan de hand van de oude analyses een globaal beeld te verkrijgen van de samenstelling van het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket van het Eiland van Dordrecht in z'n geheel, terwijl voor de genoemde lokaties een gedetailleerde beschrijving kan worden gegeven. Dit alles geeft, zoals hierna zal worden uiteengezet, inzicht in de processen die een rol spelen en, in samenhang met stromingspatroon van het grondwater tevens in de samenstelling van het grondwater die er uit resulteert.

5.3.1. Een globaal beeld van de grondwaterkwaliteit in het ondiepe watervoerende pakket

Allereerst moet worden opgemerkt dat een groot gedeelte van de analyses van het grondwater van het Eiland van Dordrecht, met uitzondering van de hiervoorgenoemde detailgebieden, vóór 1940 is opgemaakt. Hierdoor is de kans aanwezig dat ze, hetzij door slordigheden bij de monsterneming, hetzij door onvolmaaktheden van de analysemethode, minder betrouwbaar zijn. Voor het globale beeld zal daarom slechts worden uitgegaan van twee belangrijke en veelzeggende parameters, namelijk het chloridegehalte en de som van het kooldioxide- en, uitgedrukt als kooldioxide, het waterstofcarbonaatgehalte; de overige eigenschappen van het grondwater zullen niet uitvoering worden behandeld.

Ten aanzien van het chloride-ion kan worden aangenomen dat dit onder de voor dit onderzoek geldende omstandigheden, nauwelijks beïnvloed wordt door biologische of chemische processen die zich in de ondergrond afspelen. Dit betekent dat zich geen veranderingen zullen voordoen in het chloridegehalte van het grondwater nadat het in de ondergrond is ingezegen. Het is natuurlijk wel mogelijk dat veranderingen optreden door menging met water van een ander gehalte.

De chloridegehalten die meestal omstreeks de jaren dertig gemeten zijn in monsters water afkomstig uit het (ondiepe) watervoerende pakket onder het Eiland van Dordrecht (zie fig. 13) zijn voor het noordelijk gedeelte in overeenstemming met de gehalten in het Rijnwater uit dezelfde tijd en een aantal jaren daarvoor. In de ondergrond van het zuidelijk gedeelte zijn hogere waarden aangetroffen; dit is misschien het gevolg van het doordringen van iets brakker oppervlaktewater via Hollandsch Diep en Nieuwe Merwede naar het noordoosten. In een boring in het centrum werd in 1933 een chloridegehalte van 100 mg/l gemeten; wellicht is ter plaatse van deze boring, die relatief ver van de rivieren ligt en waar de horizontale grondwaterstroming dus waarschijn-



Figuur 13
Het chloride gehalte van het ondiepe grondwater op het Eiland van Dordrecht.

lijk gering zal zijn, nog de invloed van vroegere verzilting aanwezig.

Uit de waargenomen chloridegehalten in monsters water van het Eiland van Dordrecht zouden met enige voorzichtigheid de volgende konklusies kunnen worden getrokken.

1. Het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket bestaat langs de rand waarschijnlijk nagenoeg geheel uit rivierwater dat in de afgelopen 100 jaar tot infiltratie is gekomen; wat betreft het midden van het Eiland zijn nauwelijks analyses beschikbaarbaar.
2. De invloed van eventuele vroegere verziltingen van het grondwater is niet of nauwelijks merkbaar.

Aangenomen wordt dat het gehalte aan HCO_3^- in het grondwater is ontstaan volgens de reaktievergelijking van het kalk- kooldioxide evenwicht:

$$Ca\ CO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{++} + 2HCO_3^-.$$

Met behulp van deze vergelijking kan de hoeveelheid CO_2 in mg/l waaruit het HCO_3^- is ontstaan, berekend worden door het HCO_3^--gehalte met 44/122 te vermenigvuldigen. Indien hierbij het in het grondwater aanwezige CO_2-gehalte wordt opgeteld, dan resulteert het totaal in het grondwater gevormde CO_2-gehalte.
De CO_2-produktie is een gevolg van biologische aktiviteit die zowel aeroob als anaeroob van aard kan zijn. Tijdens de infiltratie van het grondwater zal veel CO_2 worden opgenomen. Dit is een gevolg van het intense biologische leven dat zich afspeelt in de ondiepe bodemlagen. Er kunnen twee gevallen worden onderscheiden, namelijk infiltratie door de rivierbodems en infiltratie vanuit naast de rivier gelegen gebieden.

De infiltratie van water uit de rivieren naar de ondergrond zou men kunnen vergelijken met een langzame zandfiltratie. Dicht onder de bodem van de rivier zullen de in het infiltrerende water aanwezige zwevende stoffen worden afgevangen. In deze zône zullen ook biologische omzettingen plaatsvinden, onder opname van O_2 uit, wellicht reduktie van NO_3^- in en afgifte van CO_2 aan het grondwater.

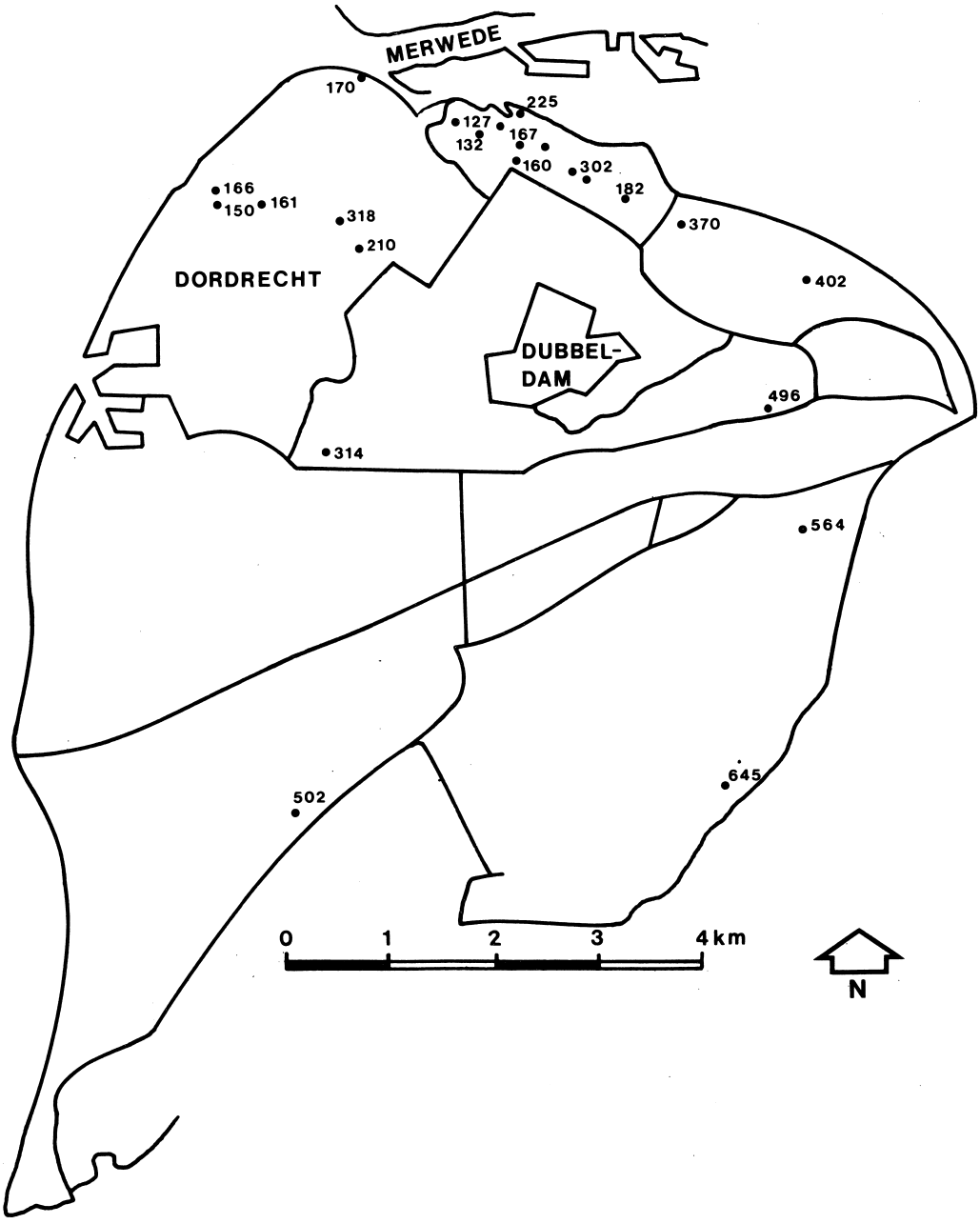
De infiltratie buiten het rivierbed zal vermoedelijk grondwater opleveren met een hoger totaal gevormd CO_2-gehalte. Dit zal vooral gelden voor een gebied als de Merwelanden waar een uitbundige vegetatie aanwezig is doordat steeds opnieuw voedselrijk rivierwater wordt (werd) aangevoerd.

Behalve dat CO_2 wordt opgenomen tijdens de infiltratie door de ondiepe bodemlagen moet echter worden verondersteld dat ook daarna tijdens het verblijf in de diepere ondergrond nog aldaar gevormd CO_2 door het grondwater wordt opgenomen. De ondergrond van het Eiland van Dordrecht bevat veel veenlagen en

kleilagen waarin veel organisch materiaal aanwezig is. Zeer waarschijnlijk zullen in deze lagen processen van biologische aard werkzaam zijn die het organisch materiaal afbreken. In het algemeen mag hiervan o.a. een zekere CO_2-produktie verwacht worden, die in het grondwater terecht zal komen.

Bezien we tenslotte de kaart (fig. 14) waarop alle waarnemingen op het Eiland van Dordrecht ten aanzien van het totaal gevormde CO_2 (zoals eerder gedefinieerd), met uitzondering van recente analyses afkomstig van de winplaats Wantijpark, zijn afgebeeld, dan zijn de volgende konklusies te trekken:

1. Langs de zijden van het Eiland waar



Figuur 14
Oudere gegevens betreffende het totaal gevormde CO_2 gehalte (in mg/l) in het ondiepe grondwater van het Eiland van Dordrecht.

Figuur 15
Lokatie van waarnemingsfilters nabij de Drechttunnel.

vermoedelijk vooral infiltratie vanuit het rivierbed plaatsvindt (te weten langs de Beneden Merwede, de Oude Maas en de Dordtse Kil) worden aanmerkelijk lagere totale CO_2-gehalten aangetroffen dan op de rest van het Eiland. Vergeleken met het rivierwater zelf kan echter nog ongeveer van een verdubbeling van het oorspronkelijke gehalte (in het rivierwater ca. 65 mg/l) worden gesproken.

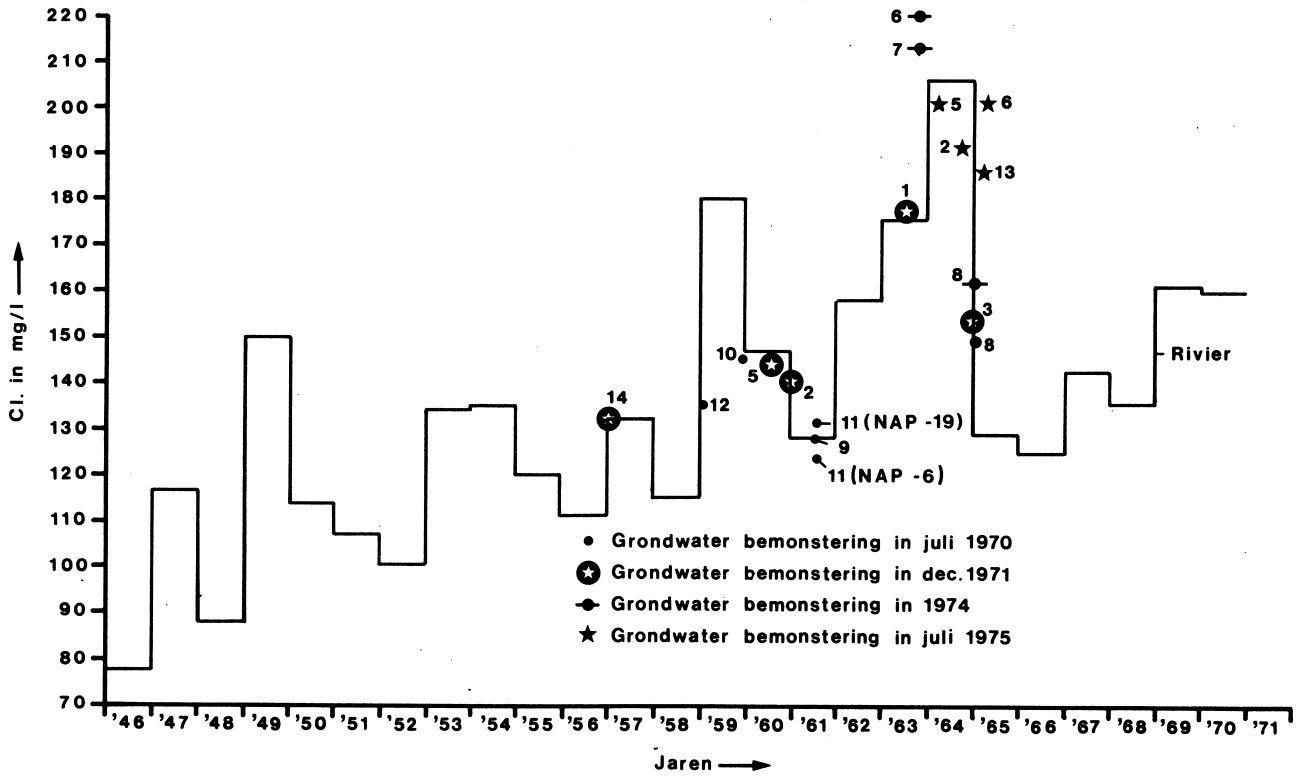
2. Uit konklusie 1 volgt dat CO_2-opname in het ondiepe watervoerende pakket waarschijnlijk niet van overwegende betekenis is.
3. Gezien de bijzonder hoge waarden die worden aangetroffen aan de zuidoostzijde van het Eiland van Dordrecht (de voormalige Hollandse Biesbosch), waarvan bekend is dat het Holocene pakket er minder dik is, zou men geneigd zijn hoge waarden van het totaal CO_2-gehalte vooral toe te schrijven aan de aard (polder- en moerasgebied of open rivier) van het infiltratiegebied.

5.3.2. Het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel

Ten behoeve van het geohydrologisch onderzoek voor de geprojekteerde verkeerstunnel te Dordrecht (zie fig. 15) is een aantal waarnemingsfilters geïnstalleerd waaruit in 1970 monsters grondwater zijn getrokken en geanalyseerd. Tevens zijn in 1971 een aantal industriële pompputten in de omgeving bemonsterd. Deze laatste serie is in 1974 en 1975 herhaald. Hier zullen de resultaten van de monsterneming in 1970 en 1971 besproken worden, terwijl de herhaling in par. 5.4. (variatie naar tijd) aan de orde zal komen.

Allereerst zal de samenhang tussen het grondwater uit de filters boven N.A.P. -25 m en het rivierwater van de Oude Maas worden nagegaan. In hoofdstuk 4 is aannemelijk gemaakt dat het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket hier ter plaatse praktisch geheel uit geïnfiltreerd rivierwater van de Oude Maas zal bestaan en dat het vrijwel loodrecht van de rivier afstroomt. Deze konklusie wordt ondersteund door de volgende overwegingen, die gegrond zijn op de samenstelling van het grondwater (zie tabel 2) in het ondiepe watervoerende pakket.

a. Het is mogelijk de chloridegehalten in het grondwater te relateren aan de jaargemiddelden van het chloridegehalte van het rivierwater, waarbij de afstand van het monsterpunt tot de oever van de rivier in rekening wordt gebracht. Indien wordt aangenomen dat het water er gemiddeld ca. 5,5 jaar over doet om vanuit het rivierbed in het ondiepe pakket juist beneden de oever te geraken en daarna landwaarts stroomt, zodanig dat de loodrecht op de rivieroever gerichte snelheidscomponent 35 m/jaar bedraagt, dan bestaat een duidelijke relatie tussen de chloridegehalten van het grond- en rivierwater (zie fig. 16). Hoewel deze aannamen een zeer ruwe benadering zijn van de werkelijke gang van



Figuur 16
Chloride gehalte van het rivierwater en het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel.
(Grondwaterpunten uitgezet naar ouderdom volgens het verband: verblijftijd=(5,5+1/35 × de afstand tot rivieroever in m) jaar.

Tabel 2.
Samenstelling van het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel in 1970-1971.

locatie in fig.17	filter diepte in m-m.v.	datum van monster neming	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	$Na^{+}+K^{+}$ (mg/l)	NH_4^{+} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	$SO_4^{=}$ (mg/l)	NO_3^{-} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	$CO_3^{=}$ (mg/l)	vrij CO_2 (mg/l)	pH	hardheid (meq/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	$KMnO_4$ verbr. (mg/l)
9	18	25-9-70	77	14.4	89	1.5	128	82.2	0	214	0	7	7.7	5.0	1.5	1.1	10.8	13
10	19	25-9-70	81	19.8	85	1.1	145	77.7	0	220	0	33	7.0	5.7	1.2	0.68	12.2	48
11	6	25-9-70	55	17.4	83	12.5	123	65.5	0	210	0	18	7.3	4.2	2.0	0.48	16.4	16
11	19	25-9-70	71	14.4	81	13.3	131	24.7	0	271	0	0	9.1	4.8	0.78	1.0	19.4	45
12	20	25-9-70	80	15.6	85	9.2	135	25.1	0	302	0	22	7.4	5.3	1.8	0.85	17.8	13
1	11-14	2-12-71	93	16.8	98	3.3	177	60.8	0	250	0	11	7.6	6.0	2.8	1.1	10.0	12
3	18-25	2-12-71	99	16.2	90	8.6	153	31.9	0	342	0	29	7.3	6.3	5.2	0.64	14.4	16
2	15-25	2-12-71	84	13.8	83	3.4	141	49.6	0	247	0	12	7.5	5.4	1.7	1.3	10.0	8
5	20-25	2-12-71	87	15.6	92	3.4	143	51.9	0	284	0	18	7.4	5.7	2.6	1.2	10.0	12
14	20-25	2-12-71	106	19.2	74	5.6	132	5.4	0	400	0	25	7.4	6.9	4.0	0.49	14.4	14

het water, kan toch worden gesteld, dat het mogelijk is de chloridegehalten van het rivierwater zodanig met die van het grondwater in verband te brengen dat elke andere wijze van voeding van het ondiepe watervoerende pakket kan worden uitgesloten.

b. Een andere aanwijzing dat het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket afkomstig is uit de rivier wordt gevormd door de waargenomen magnesiumgehalten. Deze zijn steeds enigszins hoger dan de waarde van 10 mg/l, zoals in de rivier wordt aangetroffen, zonder dat echter een waarde van 20 mg/l wordt overschreden. Deze toeneming van het gehalte aan magnesium-ionen in het grondwater ten opzichte van het rivierwater zou kunnen worden verklaard uit het in oplossing gaan van magnesiumverbindingen uit de ondergrond. Het feit dat het magnesiumgehalte in het grondwater relatief konstant is en weinig afwijkt van dat in het rivierwater maakt het echter aannemelijk dat het grondwater van oorsprong rivierwater is.

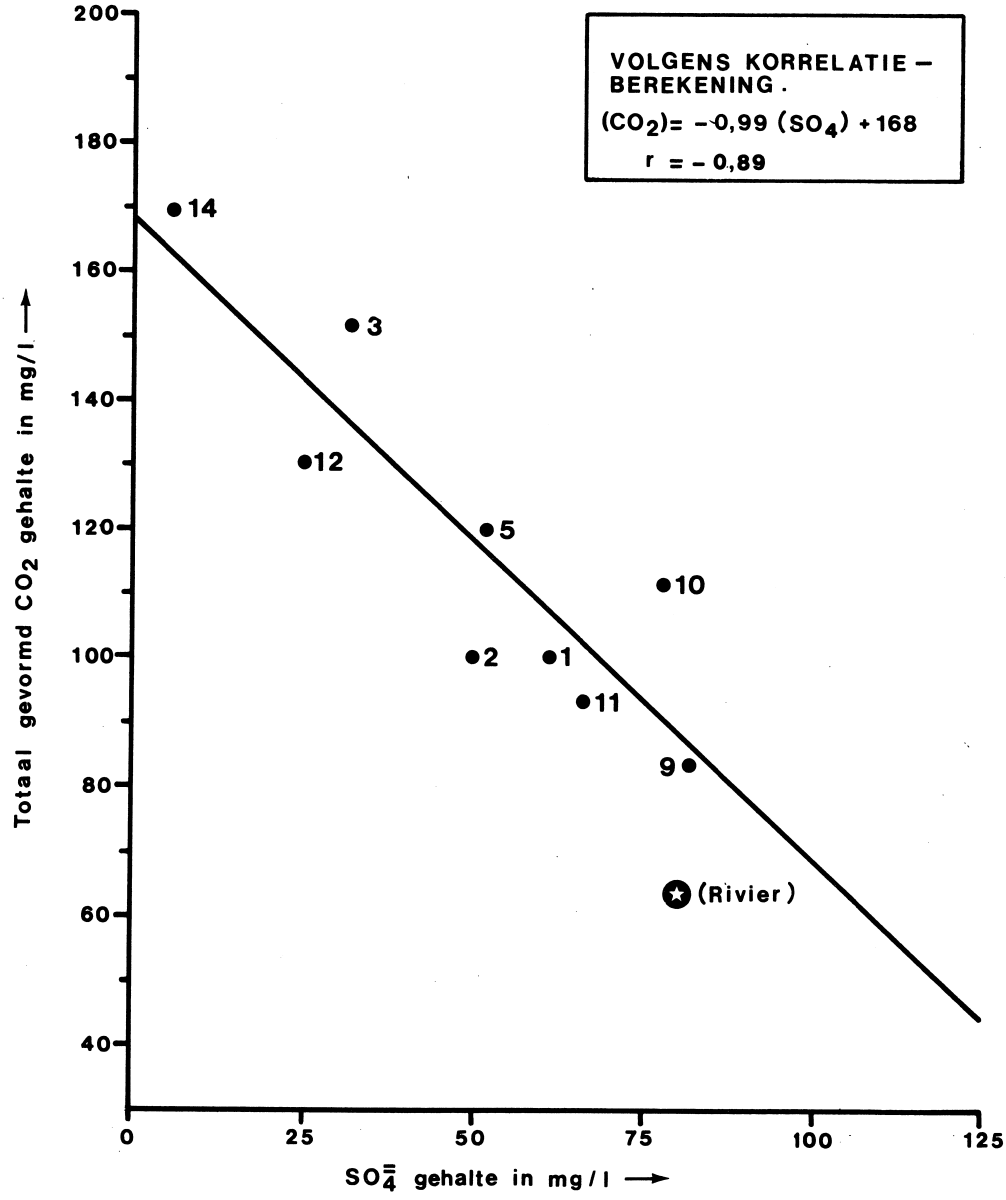
c. Ook de waargenomen sulfaatgehalten geven aanleiding om te veronderstellen dat het grondwater uit de rivier afkomstig is. Het is bekend dat in de ondergrond zelden een toeneming van het sulfaatgehalte in de richting van de grondwaterstroming kan worden gekonstateerd, maar daarentegen wel vaak een reduktie. Uit tabel 2 kan worden afgeleid dat in enkele gevallen het sulfaatgehalte ongeveer 80 mg/l bedraagt, zoals in de jaren zestig ook in de rivier werd waargenomen, terwijl de overige waarden lager zijn.

d. Tenslotte kan worden vermeld dat uit de nog te behandelen bepalingen van de gehalten van de stabiele isotoop ^{18}O in het grondwater eveneens kan worden afgeleid dat het ondiepe grondwater in de omgeving van de tunnel vrijwel volledig uit oorspronkelijk rivierwater bestaat (zie hoofdstuk 5.5.1.).

Nu eenmaal vaststaat dat al het ondiepe grondwater nabij de toekomstige tunnel van oorsprong rivierwater is en ook ruwweg bekend is, voor ieder monster, in welk jaar het desbetreffende water vanuit de rivier infiltreerde, kan worden nagegaan welke veranderingen tijdens en na de infiltratie in de samenstelling van het grondwater zijn opgetreden ten opzichte van het rivierwater. In grote lijnen vallen deze veranderingen uiteen in twee groepen, namelijk die welke samenhangen met biologische aktiviteit en de overwegend chemische processen.

A. Biologische aktiviteit.

Het effekt van biologische processen



Figuur 17
Het verband tussen het $SO_4^=$ gehalte en het totaal gevormd CO_2 gehalte nabij de Drechttunnel.
(monsters uit 1970-1971, lokatie zie fig.15).

op de samenstelling van grondwater kan als volgt worden omschreven. Tijdens de infiltratie van het zuurstofhoudende rivierwater vindt afbraak van organisch materiaal (dat zowel in het water als in de ondergrond aanwezig is) plaats waardoor de beschikbare zuurstof waarschijnlijk praktisch geheel zal worden opgebruikt. Ook het in het rivierwater aanwezige nitraat wordt gereduceerd hetgeen blijkt uit het feit dat het in het grondwater niet meer wordt aangetroffen. Nadat de zuurstof en het nitraat zijn verbruikt zal het water dusdanig anaeroob zijn, dat condities ontstaan, waaronder sulfaatreduktie plaats kan vinden, eveneens onder afbraak van organisch materiaal. Hierbij dient bedacht te worden dat gesproken wordt over een gemiddelde toestand van het water. Op de ene plaats in de ondergrond kan een meer uitgesproken anaerobe toestand heersen dan op de andere; het opgepompte monster grondwater zal een mengsel van beide zijn. Behalve de bovengenoemde processen kunnen nog diverse andere gistingsreakties (o.a. de methaangisting) een rol spelen waarbij organische verbindingen worden afgebroken. Een kenmerk van de biologische reakties is dat er steeds CO_2 bij vrij zal komen onder de natuurlijke omstandigheden zoals die in de ondergrond van het Eiland van Dordrecht worden aangetroffen. Dit CO_2 wordt in het grondwater teruggevonden, hetzij als vrij CO_2, hetzij als HCO_3^-.

Uit de in tabel 2 weergegeven gehalten aan $SO_4^=$ in het grondwater kan worden afgeleid dat de sulfaatreduktie niet overal een evengrote invloed heeft gehad. Als men nogmaals bedenkt dat het oorspronkelijke rivierwater (uit de periode omstreeks 1960) een sulfaatgehalte van ca. 80 mg/l heeft gehad, dan kan worden gekonkludeerd dat plaatselijk nauwelijks sulfaatreduktie heeft plaatsgevonden, terwijl elders het sulfaatgehalte tot de helft of minder is teruggebracht. Deze waarneming geeft aanleiding om te zoeken naar een verband tussen (de reduktie van) het sulfaatgehalte en het totaal gevormde CO_2-gehalte (zoals eerder is gedefinieerd) van de monsters ondiep grondwater die in tabel 2 zijn weergegeven. Hierbij is het monster 11 (N.A.P. -19) uitgezonderd, daar dit een afwijkende samenstelling heeft die doet vermoeden dat niet de werkelijke kwaliteit van het grondwater wordt gerepresenteerd. Dat er inderdaad een verband zou kunnen bestaan, kan worden aangetoond door middel van figuur 17, waaruit blijkt dat het totaal CO_2-gehalte bij benadering lineair toeneemt met de afneming van het $SO_4^=$-gehalte. Uit deze grafiek kunnen verder nog een aantal interessante konklusies worden getrokken:

a. Het punt dat het rivierwater representeert ligt niet op de rechte lijn die het verband aangeeft tussen de afneming van het $SO_4^=$-gehalte en de toeneming van het totaal-CO_2-gehalte

in het grondwater. Indien wordt aangenomen dat de verschuiving van de lijn het gevolg is van een CO_2-produktie die resulteert uit het verbruik van zuurstof en de denitrificatie dan volgt hieruit dat deze processen in alle gevallen een ongeveer gelijke toeneming van het totale CO_2-gehalte van gemiddeld 20 mg/l tot gevolg hebben.

b. Uit het feit dat er bij benadering een rechtlijnig verband bestaat kan worden afgeleid dat het proces van de sulfaatreduktie in de omgeving van de tunnel steeds ongeveer onder dezelfde condities verloopt. Dit houdt in dat zowel het organisch materiaal dat als substraat dient, als de organismen die het afbreken onder reduktie van sulfaat, in alle gevallen ongeveer dezelfde zullen zijn geweest.

c. Dat er verschillende stadia in de sulfaatreduktie te herkennen zijn betekent dat dit proces niet alleen afhankelijk is van de kwaliteit van het rivierwater maar ook van de hoedanigheid van de rivierbodem en vooral de diepere ondergrond; d.w.z. de sulfaatreduktie vindt plaats na infiltratie van het rivierwater (zuurstofverbruik en denitrificatie zouden wèl hoofdzakelijk tijdens infiltratie kunnen gebeuren).

d. Met enige voorzichtigheid zou kunnen worden gekonkludeerd dat overige gistingsprocessen geen overwegende invloed hebben gehad op de kwaliteit van het bemonsterde grondwater. Indien dit namelijk wel het geval zou zijn geweest, dan was waarschijnlijk een minder goede korrelatie gevonden.

Met betrekking tot de overige komponenten van de grondwaterkwaliteit kan nog het volgende worden opgemerkt. Theoretisch kan worden afgeleid (lit. 20) dat indien het grondwater in een toestand verkeert waarin juist wel of juist geen sulfaatreduktie optreedt, de omstandigheden ook gunstig zijn voor het in oplossing gaan van ijzer en mangaan. Deze elementen worden dan ook in relatief grote hoeveelheden aangetroffen in de monsters grondwater (zie tabel 2).

In het algemeen wordt verondersteld dat het NH_4^+-gehalte in grondwater niet zozeer het resultaat is van denitrificatie (het nitraat wordt waarschijnlijk omgezet in stikstofgas) als wel van de afbraak van stikstof bevattend organisch materiaal. Deze veronderstelling wordt gesteund door de waargenomen NH_4^+-gehalten in het ondiepe water. In die gevallen dat nauwelijks sulfaatreduktie is opgetreden zijn de NH_4^+-gehalten ongeveer evenhoog als in het rivierwater, terwijl toch in het grondwater geen nitraat meer wordt aangetroffen. Bij toenemende sulfaatreduktie, hetgeen waarschijnlijk ook een toeneming van de afbraak van organisch mate-

riaal betekent, worden hogere gehalten aan NH_4^+ in het grondwater gevonden, zodanig dat het totaal N-gehalte hoger is dan in het rivierwater.

B. De overwegend chemische processen die het ondiepe grondwater beïnvloeden.

De CO_2-produktie ten gevolge van biologische processen heeft uiteraard invloed op het kalk- kooldioxide evenwicht (mits $CaCO_3$ in vaste vorm aanwezig is):

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{++} + 2\ HCO_3^-$$

Gedeeltelijk zal dus het nieuw gevormde CO_2 worden aangetroffen in de vorm van HCO_3^--ionen en gedeeltelijk in de vorm van opgelost vrij CO_2. De verhouding tussen beide bepaalt grotendeels de zuurgraad (pH). Deze heeft voor rivierwater en voor grondwater ongeveer dezelfde waarde (zie tabel 1 en 2).

Tot de veranderingen die het ondiepe grondwater nabij de toekomstige tunnel heeft ondergaan behoort blijkbaar een kationenuitwisseling, waarbij in dit geval Na^+-ionen aan het grondwater zijn toegevoegd onder afgifte van waarschijnlijk Ca^{++}-ionen uit het grondwater. Indien namelijk wordt aangenomen dat zonder de kationenuitwisseling in het grondwater dezelfde verhouding tussen de gehalten aan Na^+-ionen en aan Cl^--ionen zou worden aangetroffen als in het rivierwater dan kan dit proces zelfs nog iets nader worden gekwantificeerd. In de jaren rond 1960 bedroeg de genoemde verhouding ongeveer 0,50, indien beide gehalten in mg/l worden uitgedrukt. Met dit gegeven is het mogelijk om tabel 3 op te stellen.

Tabel 3.
De invloed van Ca^{++}-Na^{++}ionenwisseling in het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel. (gehalte in mg/l).

Boring + (filter-diepte)	Cl^-	Na^+ (gemeten)	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+ berekend	Na^+ gewisseld	Ca^{++} gewisseld
9 (18)	128	89	77	14,4	64	+25	-22
10 (19,5)	145	85	81	19,8	73	+12	-10,5
12 (20,5)	135	85	80	15,6	68	+17	-15
11 (6)	123	83	55	17,4	62	+21	-18
11 (19)	131	81	71	14,4	66	+15	-13
1 (11-14)	177	98	93	16,8	89	+ 9	- 8
3 (18-25)	153	90	99	16,2	77	+13	-11
2 (15-25)	141	83	84	13,8	71	+12	-10,5
5 (20-25)	143	92	87	15,6	72	+20	-17,5
14 (20-25)	132	74	106	19,2	66	+ 8	- 7

(Na^+ berekend = 1/2 Cl^- gemeten
Na^+ gewisseld = Na^+ gemeten-Na^+ berekend
Ca^{++} gewisseld = -0.87 Na^+ gewisseld)

Tabel 4.
Samenstelling van het diepere grondwater nabij de Drechttunnel in 1970-1971.

lokatie in fig.17	filter diepte in m-m.v.	datum van monster neming	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	$Na^+ + K^+$ (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Cl^- (mg/l)	$SO_4^=$ (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	vrij CO_2 (mg/l)	pH	hardheid meq/l	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	$KMnO_4$ verbr (mg/l)
9	38	25-9-70	94	21.6	27	1.4	57	26.4	0	339	25	7.4	6.5	2.5	0.07	28.8	22
10	40	25-9-70	109	24	13	2.3	32	33.4	0	393	27	7.5	7.5	3.4	0.41	26.4	19
12	40	25-9-70	108	24.6	26	2.1	79	14.2	0	372	29	7.3	7.5	3.1	0.72	29.2	20
4	100-200	2-12-71	90	15.6	27	1.4	18	5.2	0	393	27	7.4	5.8	1.9	0.03	21.0	18

De kolom "Ca^{++} gewisseld" is bepaald door aan te nemen dat de overmaat aan Na^{+}-ionen in het grondwater geheel afkomstig is uit een $Ca^{++} \longrightarrow Na^{+}$ verwisseling. Wellicht speelt echter ook het Mg^{++}-gehalte in het water nog een rol. Daar dit gehalte in grondwater hoger is dan in het rivierwater mag wel worden aangenomen dat de waarden in de kolom "Ca^{++} gewisseld" minimum-waarden zijn; ze zouden nog hoger kunnen uitvallen.

Het optreden van kationenwisseling in de bovengenoemde zin is niet onwaarschijnlijk, aangezien de Holocene afzettingen in de omgeving van de toekomstige tunnel waarschijnlijk gedeeltelijk van mariene aard zijn.

5.3.3. Het diepere grondwater nabij de Drechttunnel

Ten behoeve van het geohydrologisch onderzoek zijn in de omgeving van de toekomstige tunnel ook een aantal monsters grondwater uit filters beneden het ondiepe watervoerende pakket genomen. De waargenomen samenstelling van het grondwater is weergegeven in tabel 4 (zie ook fig. 15).

Ook voor het grondwater op een diepte van ca. 40 m onder maaiveld mag aangenomen worden dat het van oorsprong rivierwater is en wel op grond van de volgende overwegingen:

a. In het voorgaande is aannemelijk gemaakt dat het ondiepe watervoerende pakket in de omgeving van de toekomstige tunnel nagenoeg uitsluitend wordt gevoed vanuit de rivier. Uit het ter plaatse uitgevoerde onderzoek is tevens gebleken dat de stijghoogte van het grondwater in dit pakket ca. 1 m hoger is dan die in de lagen op ca. 40 m diepte. Hieruit volgt dat, als tenminste de tussengelegen kleilagen niet volledig ondoorlatend zijn (wat niet te verwachten is), het grondwater op 40 m diepte gevoed zal worden door rivierwater dat vanuit het ondiepe pakket naar beneden zijgt. Daar mogelijke andere voedingsbronnen op zeer grote afstand liggen, is het zelfs waarschijnlijk dat het grondwater op deze diepte volledig uit oorspronkelijk rivierwater bestaat.

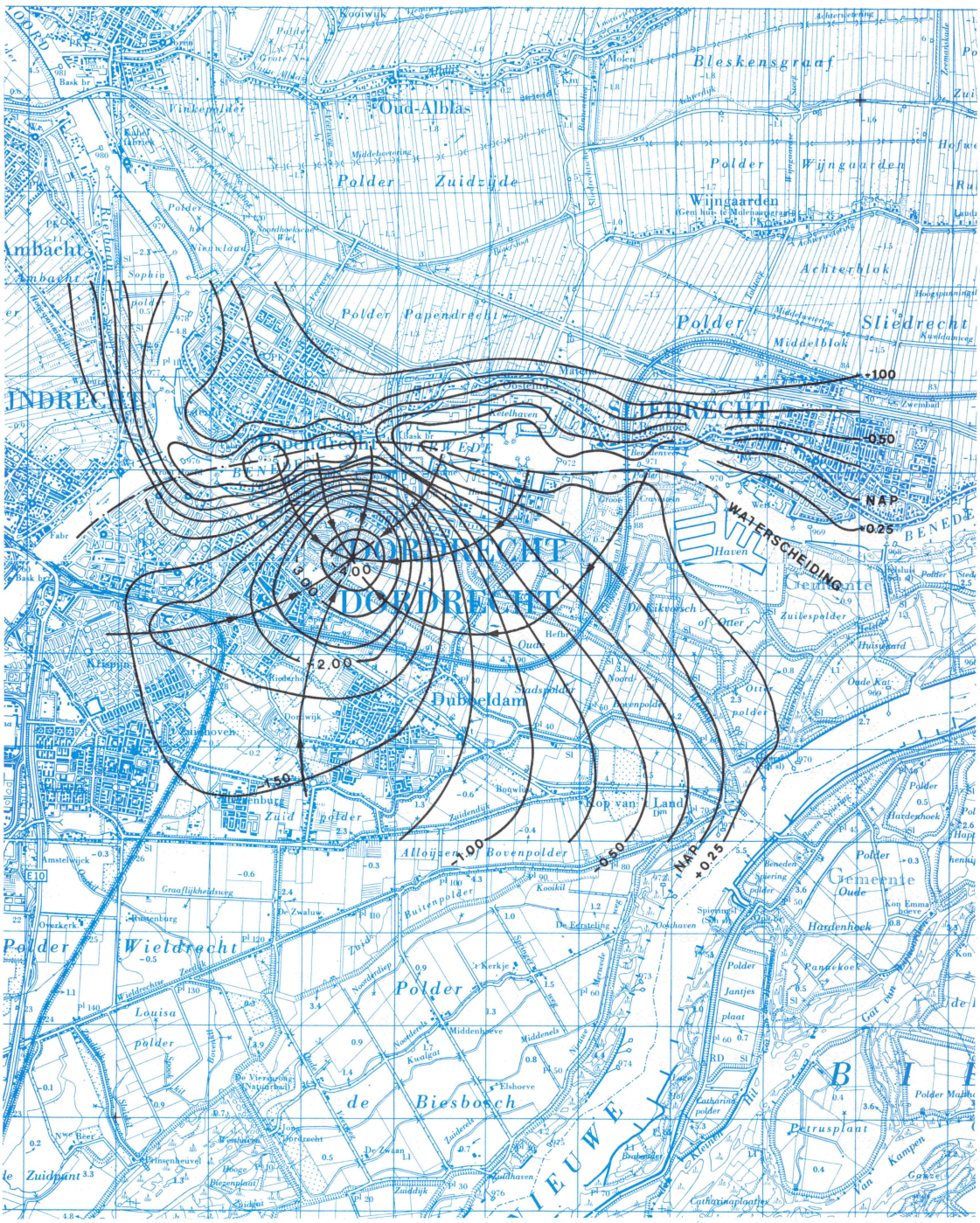
b. Uit tabel 4 blijkt dat het Cl-gehalte (en ook het Na^{+}-gehalte) van het diepere grondwater zeer sterk wisselt over korte afstand, terwijl met name het Mg^{++}-gehalte relatief konstant is. Een dergelijke situatie kan zeer goed het gevolg zijn van voeding door rivierwater met een in de afgelopen 100 jaar sterk variërende kwaliteit, maar is minder waarschijnlijk indien het desbetreffende grondwater op andere wijze wordt gevoed.

Er van uitgaande dat het grondwater op een diepte van 40 m onder maaiveld inderdaad uitsluitend uit vanuit de rivier geïnfiltreerd water bestaat, kunnen ten aanzien van de veranderingen die tijdens en na infiltratie hebben

plaatsgevonden de volgende gevolgtrekkingen worden gemaakt. Uit de waargenomen chloridegehalten kan gekonkludeerd worden dat het water omstreeks 1930 vanuit de rivier is geïnfiltreerd of zelfs nog eerder. Het sulfaatgehalte van het rivierwater bedroeg in die tijd volgens Molt (lit. 18) ca. 40 mg/l hetgeen weinig hoger is dan het natuurlijke gehalte van 35 mg/l. Een aanzienlijk, maar wel variërend, deel van dit gehalte wordt nog teruggevonden in het grondwater op 40 m diepte. Toch is het totaal gevormde CO_2-gehalte in dit grondwater beduidend hoger (gemiddeld ca. 160 mg/l) dan in het ondiepe watervoerende pakket. Het praktische gevolg hiervan is dat ook de hardheid hoger is. Hoewel de vergelijkingen die de sulfaatreduktie en ook de denitrificatie en het zuurstofverbruik beschrijven niet dezelfde kenmerken hoeven te bezitten als in het voorgaande is beschreven, lijkt het toch onwaarschijnlijk dat deze processen alleen verantwoordelijk zijn voor de hoge CO_2^--produktie. Vermoedelijk hebben andere gistingsprocessen (en met name de methaangisting) hierbij een rol gespeeld. Hoewel het op het eerste oog voor de hand ligt om de overige gistingsprocessen te situeren in de slechtdoorlatende lagen tussen het ondiepe watervoerende pakket en de lagen op 40 m diepte, is hieromtrent niets met zekerheid te zeggen aangezien gegevens uit het ondiepe watervoerende pakket omstreeks de jaren 1930-1940 ontbreken. De uitgangssituatie voor de samenstelling van het grondwater op grotere diepte is niet meer na te gaan. Zo is met name niet bekend welke invloed het geregeld verder uitdiepen van de vaargeul in de Oude Maas (huidige diepte ter plaatse van de tunnel ca. 8 m) heeft gehad. Waarschijnlijk zijn hierbij veenlagen verwijderd.

Er kan bovendien nog worden waargenomen dat het grondwater op de diepte van 40 m nauwelijks de invloed van kationenwisseling heeft ondervonden indien het wordt vergeleken met rivierwater. Relatief zijn in het grondwater zelfs iets minder Na^+-ionen aanwezig. Daar in het grondwater van het ondiepe watervoerende pakket een geprononceerde wisseling werd gekonstateerd, in die zin dat het water relatief werd verrijkt met Na^+-ionen, zou kunnen worden gekonkludeerd dat in de lagen beneden het ondiepe watervoerende pakket waarschijnlijk een kationenwisseling in tegengestelde zin (waarbij dus Na^+-ionen uit het grondwater werden uitgewisseld tegen Ca^{++}-ionen) heeft plaatsgevonden. Ook hierover is echter weinig met zekerheid te zeggen.

Tenslotte is in tabel 4 nog de samenstelling weergegeven van een monster water dat van een diepte van ongeveer N.A.P. -100 à 120 m afkomstig is. Het enige dat op grond van de samenstelling met vrij grote zekerheid op te merken valt over dit grondwater, is dat het waarschijnlijk niet in de laatste 80 jaar vanuit de Rijn naar de ondergrond is geïnfiltreerd. Het zou eventueel wel afkomstig kunnen zijn uit het Rijn-



Verklaring

2.00 — ISOHYPSE VAN N.A.P. – 2.00 m

STROOMLIJN

0 1km

Figuur 18
Het patroon van de ondiepe grondwaterstroming rondom de waterwinplaats Wantijpark.

water van de oorspronkelijke niet-verontreinigde samenstelling. Een andere bron van herkomst van het water op deze diepte is echter beslist niet uitgesloten (zie verder par. 5.5.1.).

5.3.4. Het ondiepe grondwater op de waterwinplaats Wantijpark

In tegenstelling tot het ondiepe grondwater in de omgeving van de toekomstige Drechttunnel kunnen voor het opgepompte grondwater op de waterwinplaats in het Wantijpark een aantal verschillende bronnen van herkomst aangewezen worden. Om dit te verduidelijken is uit de eerder weergegeven resultaten van het modelonderzoek een datail gelicht dat de situatie nabij de waterwinplaats in het Wantijpark weergeeft (fig. 18). Met name kunnen worden onderscheiden:

a. De rivier de Beneden Merwede, die het grondwater voedt dat door middel van de putten in het noorden en het westen van de winplaats wordt opgepompt. Het aantal van deze putten bedraagt ongeveer de helft van het totaal.

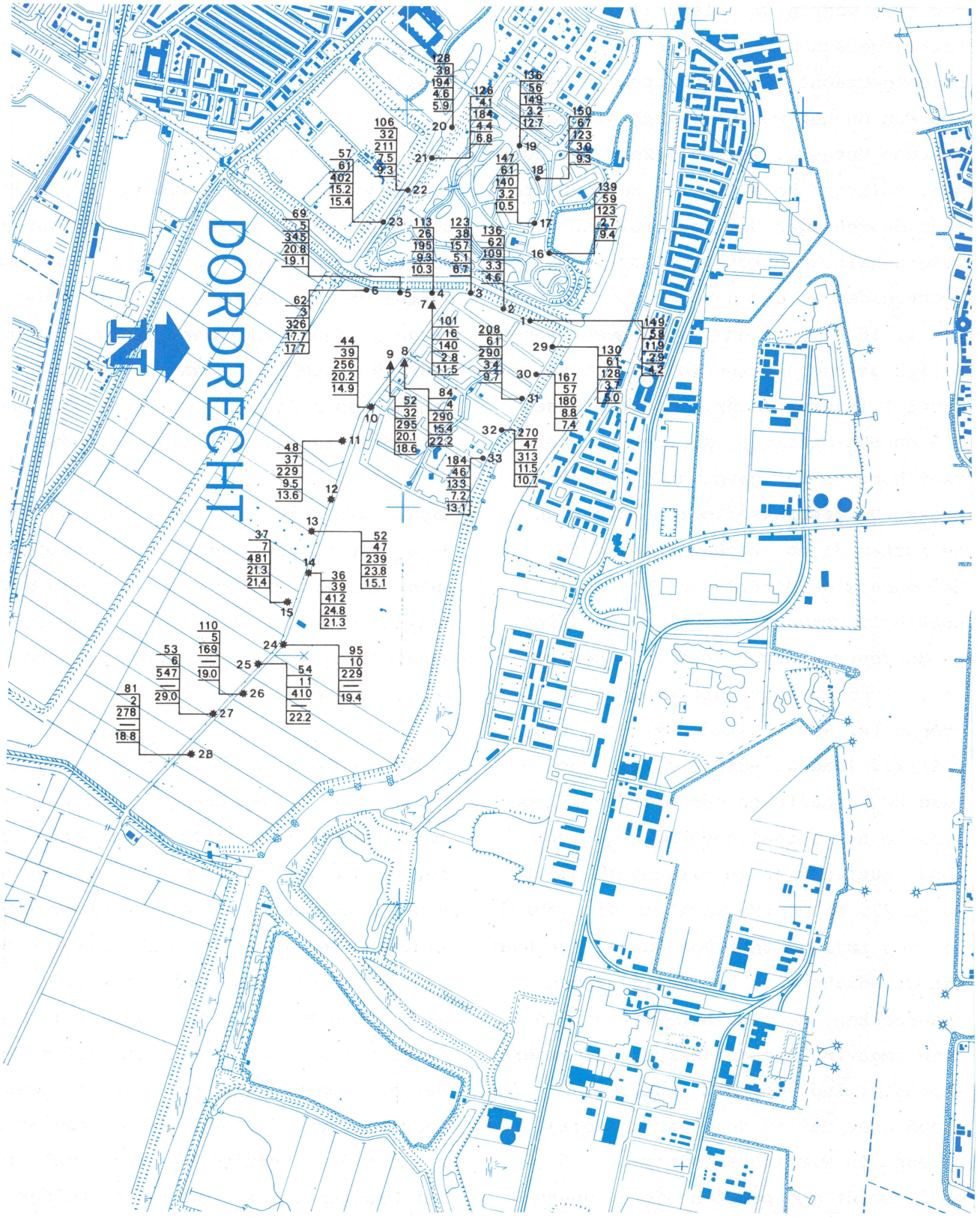
b. De rivier het Wantij en een gedeelte van de Merwelanden, waaruit het grondwater afkomstig is dat door de putten in het oosten aan het ondiepe watervoerende pakket wordt onttrokken.

c. De Merwelanden en voor een deel het Wantij, die het grondwater voeden dat langs de in reserve gehouden putten in de Nieuwe Stadspolder stroomt, waarna het door in het zuidoosten liggende putten wordt aangetrokken.

d. Tenslotte wordt door de meest zuidelijke in werking zijn putten water opgepompt dat op het eigenlijke Eiland van Dordrecht naar de ondergrond is geïnfiltreerd.

Uit de resultaten van het modelonderzoek kan niet direkt worden afgeleid hoe lang de verblijftijd is van het grondwater vanaf de tijd dat het infiltreerde tot het tijdstip van oppompen. Wel kan deze worden geschat door langs een stroomlijn het verhang te meten en dan, met behulp van de Wet van Darcy en een schatting van het poriëngehalte, de werkelijke stroomsnelheid van het grondwater te bepalen. Uit een dergelijke schatting blijkt dat het grootste gedeelte van het water dat uit de Beneden Merwede infiltreert, (maar ook het vanuit het Wantij infiltrerende water) verblijftijden in de ondergrond heeft die enkele maanden tot enkele jaren zijn. Het door de zuidelijke putten opgepompte water zal gemiddeld langere tijd in de ondergrond hebben vertoefd dan het water dat door de noordelijke putten wordt aangetrokken.

De scheidslijnen die ten aanzien van de herkomst zijn getrokken op grond van de resultaten van het model zijn ook te herkennen in de samenstelling van het opgepompte water, zoals te zien is aan



Figuur 19
Overzicht van het puttenveld op de waterwinplaats Wantijpark en van enige kwaliteits-parameters in 1972.

fig. 19, waarin de belangrijkste kwaliteitsgegevens uit november 1972 zijn bijeengebracht. De pompputten in het noorden en het westen (water uit de Beneden Merwede) worden gekenmerkt door o.a. relatief hoge Cl^-- en $SO_4^=$-gehalten maar daarentegen door een relatief laag gehalte aan totaal gevormd CO_2. Voorbeelden worden gevormd door de putten 1, 16, 17, 18 en 19. De meest oostelijk gelegen putten (water uit het Wantij) leveren water dat zowel hoge Cl^- en $SO_4^=$-gehalten, als ook een relatief hoog totaal gevormd CO_2-gehalte heeft. Uitgesproken voorbeelden zijn de putten 31 en 32. Het water dat in de moerassige Merwelanden tot infiltratie is gekomen, wordt aangetroffen in de reserveputten in de zuidoostelijke uitloop van het puttenveld. Dit grondwater wordt gekenmerkt door een relatief laag Cl^--gehalte, een zeer laag $SO_4^=$-gehalte en een bijzonder hoog gehalte aan totaal gevormd CO_2. Typerende putten zijn in dit geval 14, 15, 25 en 27. Misschien wordt in dit gebied ook nog invloed ondervonden van lek naar het grondwater uit het nabijgelegen spaarbekken, getuige het feit dat in deze omgeving ook grondwater van andere samenstelling voorkomt (put 26). Het grondwater dat in de meest zuidelijk gelegen in werking zijnde putten 5, 6 en 23 wordt opgepompt heeft eveneens een relatief laag Cl^--gehalte, een zeer laag $SO_4^=$-gehalte en een relatief zeer hoog totaal gevormd CO_2-gehalte. Mede op grond van de resultaten van het hydrologisch model wordt verondersteld dat dit water van oorsprong het in de nabije omgeving geïnfiltreerde polderwater is.

Het spreekt vanzelf dat in het geval van de waterwinplaats Wantijpark, waar over een klein oppervlak verschillende soorten grondwater voorkomen, ook mengvormen van deze soorten zullen worden aangetroffen. Als zodanig zouden in figuur 19 misschien de samenstellingen van het door de putten 3, 22 en 30 opgepompt water kunnen worden aangewezen.

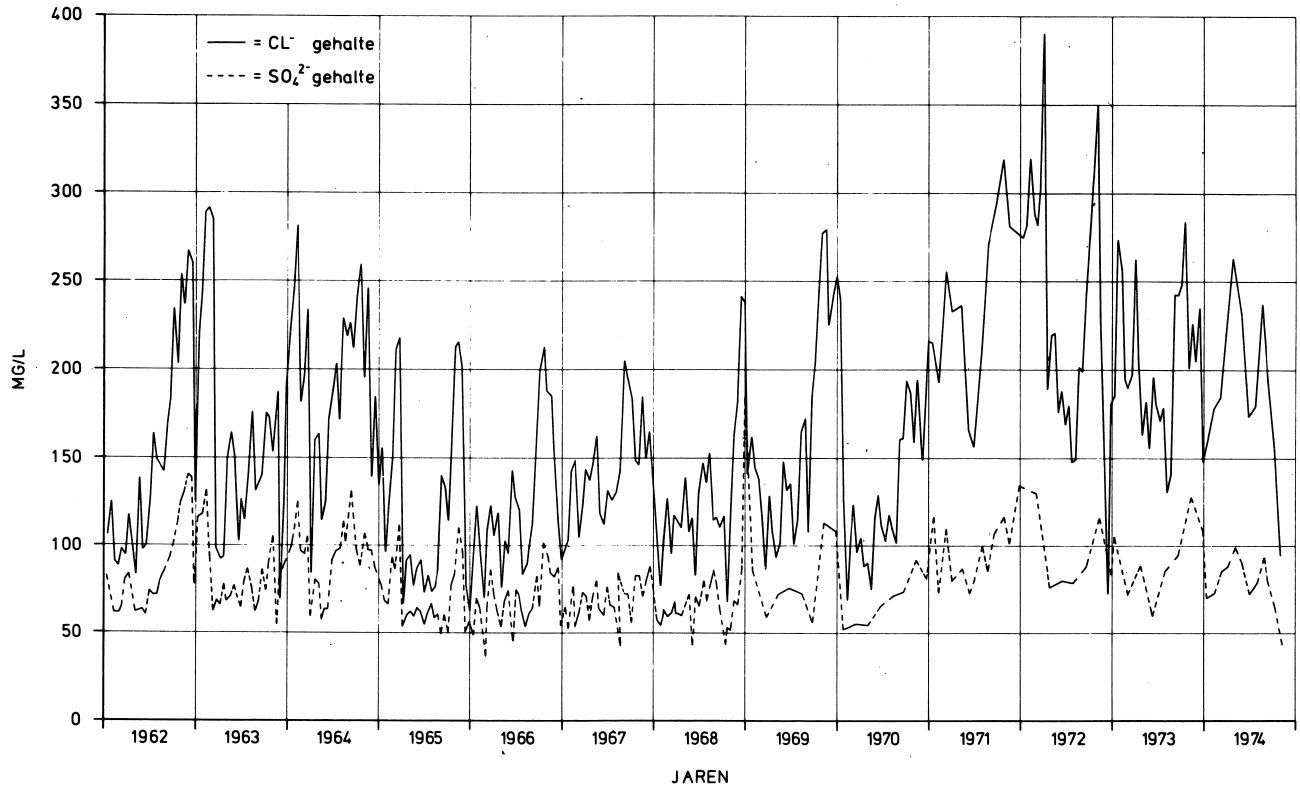
Nadat duidelijk is geworden hoe het op de waterwinplaats Wantijpark opgepompte water in verschillende soorten kan worden ingedeeld, is het mogelijk de samenstelling ervan per soort nog nader te specificeren.

In de eerste plaats blijkt dat het vanuit de Beneden Merwede geïnfiltreerde water sterke verwantschap vertoont met het grondwater zoals dat in de omgeving van de toekomstige tunnel wordt aangetroffen. Het is echter niet zonder meer toegestaan om er dezelfde bewerkingen aan uit te voeren. In de omgeving van de tunnel was sprake van een bij benadering eenparige stroming die vrijwel loodrecht van de oever van de rivier af gericht was, terwijl het puttenveld in het Wantijpark een radiaal stromingsveld in het grondwater van het ondiepe watervoerende pakket heeft veroorzaakt. Daarom heeft het geen zin de gemeten chloridegehalten in de desbetreffende putten te korreleren met in het rivier-

water gemeten gehalten onder inachtneming van de afstand tot de rivier. Toch kunnen een aantal mogelijke perioden worden aangewezen waarin het in 1972 opgepompte water in de noordelijke putten tot infiltratie is gekomen. Indien de waargenomen chloridegehalten (zie fig. 19) in 1972 worden vergeleken met het in de rivier gemeten gehalte (zie fig. 20), dan komen, teruggaande in de tijd, in aanmerking: voorjaar 1970, de jaren 1967, 1968 en voorjaar 1969 en de jaren 1960, 1961 en 1962. Buiten de genoemde drie perioden is ofwel het chloridegehalte in de rivier veel lager, ofwel veel hoger dan de in de noordelijke putten gemeten gehalten. Op grond van de resultaten van het hydrologisch model (hoofdstuk 4) lijkt de tweede periode, d.w.z. de jaren 1967, 1968 en aanvang 1969 het meest waarschijnlijk. In hoofdstuk 5.5., waar ouderdomsbepalingen met behulp van het ^3H-gehalte ter sprake zullen komen, zal hierop nog nader worden ingegaan.

Het effekt van de overige processen op de samenstelling van het grondwater is niet in extenso onderzocht. In het algemeen kan gekonstateerd worden dat ook hier in meerdere of mindere mate sulfaatreduktie onder toeneming van het CO_2-gehalte heeft plaatsgevonden. Kationenuitwisseling heeft echter in veel mindere mate invloed gehad.

Ten aanzien van het door de putten 31 en 32 opgepompte water, waarvan wordt



Figuur 20
Het verloop van het Cl^- gehalte en het $SO_4^=$ gehalte in het Rijnwater volgens frekwente bemonstering.

aangenomen dat het in de naaste omgeving vanuit het Wantij is geïnfiltreerd, kan op grond van de waargenomen relatief zeer hoge chloridegehalten met vrij grote zekerheid worden gekonkludeerd dat het maximaal één à twee jaar in de ondergrond heeft vertoefd. In geen enkele voorafgaande periode zijn in de rivier zo hoge chloridegehalten waargenomen als in het jaar 1971.

Aan het feit dat in het water uit deze putten zowel relatief hoge $SO_4^{=}$-gehalten als hoge totaal gevormd CO_2-gehalten voorkomen, zonder dat er tussen beide een aanwijsbaar verband bestaat, moet de gevolgtrekking worden verbonden dat er daar in de ondergrond biologische processen werkzaam zijn, buiten de sulfaatreduktie, die een aanzienlijk CO_2-produktie tot gevolg hebben. Dit houdt wellicht verband met het feit dat de Beneden Merwede wel, maar het Wantij niet tot een diepte reikt waarboven op het Eiland van Dordrecht ondiepe veenlagen voorkomen (zie fig. 2). Omtrent de werkelijke opbouw van de ondergrond onder beide rivierbodems bestaan geen nauwkeurige gegevens.

De bijzondere samenstelling van het grondwater dat wordt aangetroffen in de zuidelijke putten van de waterwinplaats moet waarschijnlijk ook, tenminste gedeeltelijk, op rekening van de aanwezigheid van de ondiepe veenlagen worden geschreven, waardoorheen het water heeft moeten infiltreren. In de Merwelanden zijn deze ondiepe veenlagen bedekt door een moerasvegetatie die vroeger nog uitgestrekter was dan thans. Ook de daar afgezette rivierklei bevat waarschijnlijk relatief veel organisch materiaal. De natuurlijke afbraak hiervan door diverse mikro-organismen resulteert blijkbaar in een zeer aanzienlijke CO_2-produktie waardoor het grondwater grote hoeveelheden HCO_3^{-} en CO_2 gaat bevatten. Er is hierbij nauwelijks onderscheid te maken tussen water dat in de Merwelanden en dat op het Eiland van Dordrecht zelf tot infiltratie is gekomen.

In dergelijk grondwater zijn in het algemeen zulke grote veranderingen opgetreden dat de samenstelling die het grondwater vóór de infiltratie had, nauwelijks meer te herkennen is. De afbraak van het in de ondergrond aanwezige organische materiaal houdt in dat alle stoffen in het grondwater die daarvoor in aanmerking komen gereduceerd zullen worden.
Zo zal (zullen):

a. geen zuurstof meer in het grondwater aanwezig zijn;

b. het NO_3^{-} verdwijnen;

c. het $SO_4^{=}$ sterk worden gereduceerd en dus ook vrijwel verdwijnen;

d. in principe ook het CO_2 kunnen worden gereduceerd. De afbraak van het organisch materiaal levert daarentegen zoveel CO_2 op dat het gehalte

Tabel 5.
Karakteristieke analyses van de verschillende soorten grondwater van de waterwinplaats Wantijpark.

nummer van de put	filter diepte in m -m.v.	datum van monster neming	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	$Na^{+}+Ka^{+}$ (mg/l)	NH_4^{+} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	$SO_4^{=}$ (mg/l)	NO_3^{-} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	$CO_3^{=}$ (mg/l)	vrij CO_2 (mg/l)	pH	hardheid (meq/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SiO_2 (mg/l)
6 laboratorium	15-25	9-4-74	118	14.4	32	24.2	64	1.4	0	476	0	120	6.84	7.1	15.0	0.70	32.9
6 in situ	15-25	9-4-74								549		180	6.74				
13 laboratorium	15-25	9-4-74	152	17.8	30	26.0	41	2.1	0	641	0	140	6.76	9.1	19.4	0.80	33.7
13 in situ	15-25	9-4-74								695		191	6.78				
18 laboratorium	15-25	9-4-74	96	13.4	84	8.2	169	64.7	0	226	0	17	7.34	5.9	3.0	1.4	15.5
18 in situ	15-25	9-4-74								222		10	7.56				
20 laboratorium	15-25	9-4-74	96	13.4	71	7.8	132	38.1	0	287	0	32	7.17	5.9	4.0	0.80	18.9
20 in situ	15-25	9-4-74								308		35	7.17				
27 laboratorium	15-25	9-4-74	167	21.1	36	31.2	54	1.0	0	689	0	170	6.81	10.1	14.4	0.75	35.3
27 in situ	15-25	9-4-74								625		247	6.59				
30 laboratorium	15-25	9-4-74	94	15.8	74	11.9	141	52.1	0	287	0	34	7.09	6.0	6.0	0.90	20.3
30 in situ	15-25	9-4-74								299		21	7.27				

Tabel 6.
Samenstelling van het grondwater nabij de Drechttunnel in 1974-1975.

lokatie in fig.17	filter diepte in m-m.v.	datum van monster neming	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	$Na^{+}+K^{+}$ (mg/l)	NH_4^{+} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	$SO_4^{=}$ (mg/l)	NO_3^{-} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	vrij CO_2 (mg/l)	pH	hardheid meq/l	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	$KMnO_4$ verbr. (mg/l)
2	15-25	16-7-75	110	17	98	10	190	9.5	0	375	19	7.5	6.9	3.2	0.7	4.4	25
3	18-25	16-7-75	124	15	116	9.8	198	4.1	0	448	30	7.4	7.5	3.6	0.9	3.1	23
5	20-25	16-7-75	125	14	111	12.5	200	9.3	0	436	40	7.3	7.5	14	1.3	2.6	28
6	20-25	9-4-74	129	28	156	3.7	220	9.3	0	570	38	7.4	8.8	4.6	1.9	12	15
6	20-25	16-7-75	129	19	118	13.5	200	13	0	485	30	7.4	8	4.8	1.4	2.7	25
7	20-25	9-4-74	93	13	173	3.2	212	11	0	525	42	7.3	5.8	0.2	1.4	13	15
8	21-22	23-8-74	97	22	96	3.8	162	17	0	375	21	7.4	6.7	11	1.3	12.5	10
8	21-22	21-10-74	117	16	86	2.9	150	13	0	396	17	7.6	7.2	3	0.8	13	12
8	21-22	3-2-75	126	50	123	2.6	251	8	0	543	28	7.5	10.5	1.4	0.4	12.5	20
13	15-25	16-7-75	94	40	110	11.4	186	23	0	470	30	7.4	8	4.1	1.2	3.6	24
4	100-200	16-7-75	100	9.6	17.5	1.2	13	2.1	0	378	23	7.4	5.8	1.7	0.05	5	27

in het grondwater veel meer toe- dan afneemt.

Verder heeft dit grondwater de volgende eigenschappen:

e. bij de afbraak van het organische komen stikstofverbindingen vrij die een aanzienlijke toeneming van het NH_4^+-gehalte in het grondwater veroorzaken;

f. blijkbaar kondities geschapen worden waarbij gemakkelijk ijzer in oplossing gaat. Het grondwater bevat aanzienlijke hoeveelheden ijzer en mangaan.

g. door de grote CO_2-produktie is het grondwater in een kalkarme omgeving agressief ten opzichte van kalkverbindingen. In een kalkrijke omgeving, zoals het eerste watervoerende pakket op het Eiland van Dordrecht, zullen (zeer) hoge hardheden van het grondwater worden aangetroffen.

h. in sommige gevallen zal een produktie van relatief slecht oplosbare gassen, zoals CH_4 en N_2, plaatsvinden, Deze gassen zullen ontwijken indien het grondwater wordt opgepompt (waarmee de druk verdwijnt). Bij het ontwijken wordt door de opstijgende gasbelletjes een groot kontaktoppervlak tussen vloeistof en gas gekreëerd, waardoor het mogelijk wordt dat ook het goed oplosbare CO_2 wordt meegevoerd. Dit heeft een zodanige invloed op het kalkkooldioxide evenwicht dat $CaCO_3$ kan neerslaan.

De laatstgenoemde eigenschap van het grondwater dat via de zuidelijke putten van de waterwinplaats Wantijpark wordt onttrokken is o.a. van belang bij de vraag in hoeverre een analyseresultaat inderdaad de samenstelling van het te onderzoeken grondwater representeert. Hiertoe is een proefneming uitgevoerd waarbij van een aantal representatieve putten op de winplaats een monster water is genomen dat ter plaatse is onderzocht op de gehalten aan HCO_3^- en vrij CO_2 en dat daarna de normale laboratoriumprocedure heeft ondergaan. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5.

Bij de beoordeling moet echter bedacht worden dat kleine verschillen verklaard kunnen worden uit de onnauwkeurigheden die een gevolg zijn van een bepaling te velde en misschien ook uit enigszins verschillende analysemethoden (de in situ bepalingen zijn uitgevoerd door een ander laboratorium dan de laboratoriumbepalingen; hierdoor kan verschil ontstaan). Desondanks kunnen grote verschillen worden gekonstateerd in de gehalten die gemeten zijn in de zuidelijke putten 6, 13 en 27 en moet worden gekonkludeerd dat het ontwijken van gas in dit geval een belangrijke invloed heeft uitgeoefend op het analyseresultaat. Hierbij moet worden opgemerkt dat de gasontwikkeling in de monsters uit de putten 13 en 27 zó sterk was, dat die tijdens de monsterneming duide-

lijk waarneembaar was, zodat zelfs deze "in situ"-waarnemingen nog niet volledig representatief zullen zijn. De samenstelling van het ontwijkende gas is niet bepaald; vermoedelijk zal het evenwel ook methaangas bevatten en daardoor in verband gebracht kunnen worden met de zogenaamde gaswellen die veelvuldig in gebruik zijn (waren) in het westen van Nederland (lit. 21).

5.4. Variatie in de samenstelling van het grondwater naar tijd

Zowel in de omgeving van de toekomstige tunnel als op de waterwinplaats Wantijpark is de samenstelling van monsters water uit bepaalde putten meerdere malen onderzocht. Hierbij bleek dat ook in de tijd grote wisselingen in de samenstelling kunnen optreden. Dit is natuurlijk niet erg verwonderlijk, aangezien de kwaliteit van het Rijnwater (de voeding) ook sterk varieert in de tijd. Toch kunnen een aantal verschillen niet op eenvoudige wijze uit een veranderde samenstelling van het Rijnwater worden verklaard, zoals in het volgende zal blijken.

5.4.1. Het grondwater nabij de Drechttunnel

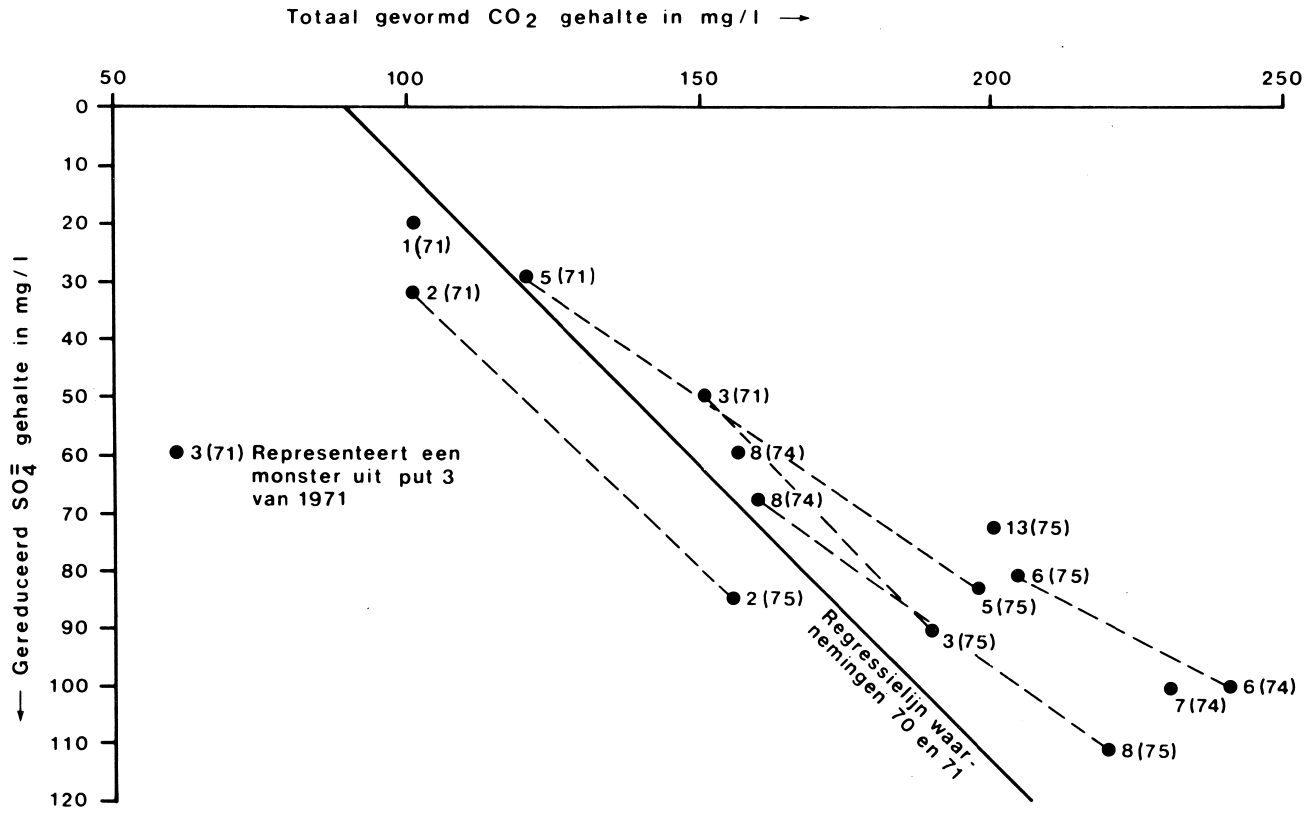
Nadat in 1970 en 1971 een groot aantal putten in de omgeving van de tunnel was bemonsterd is in 1974 en 1975 opnieuw een bemonstering uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn vermeld in tabel 6. De plaats van de diverse monsternemingen is aangegeven in fig. 15. Hoewel een aantal putten voor de eerste maal werd bemonsterd, zijn ze toch in tabel 6 opgenomen, omdat ze meestal dichtbij andere, wél eerder waargenomen putten liggen.

Zonder dat hier verder diep op in zal worden gegaan kan worden gesteld dat ook de samenstelling van het in 1974-1975 geanalyseerde water weer duidt op een voeding van het ondiepe watervoerende pakket, die nagenoeg uitsluitend uit de Oude Maas afkomstig is. De waarden van het chloridegehalte zijn bijvoorbeeld uitgezet in fig. 16 en blijken in overeenstemming te zijn met de eerder geuite theorie omtrent de verblijftijden van het grondwater. In hoofdstuk 5.5. komen zowel de verblijftijden als de herkomst van het grondwater nog eens aan de orde.

Verrassenderwijs blijkt het effekt van biologische processen op de samenstelling anders te zijn bij de in 1974-1975 genomen monsters. Bij de in 1970 en 1971 genomen monsters was er in een aantal gevallen slechts sprake van een lichte sulfaatreduktie en daarbij behorend een laag totaal gevormd CO_2-gehalte. De recente analyseresultaten van monsters water uit dezelfde filters geven zonder uitzondering een laag $SO_4^{=}$-gehalte te zien, dus een grote mate van sulfaatreduktie en daarmee tevens een relatief hoog totaal gevormd CO_2-gehalte. Om een en ander te verduidelijken is fig. 21 gekonstrueerd, waarin het totaal gevormde CO_2-gehalte is uitgezet tegen de geschatte reduktie in het $SO_4^{=}$-gehalte. In wezen is hier dezelfde me-

thode toegepast als in fig. 17, met dit verschil dat bij de laatstgenoemde figuur is uitgegaan van een konstant $SO_4^{=}$-gehalte van ongeveer 80 mg/l in het rivierwater, terwijl dat thans wordt bepaald aan de hand van de samenstelling van het rivierwater. De reduktie in het sulfaatgehalte is berekend als het verschil tussen het voor de rivier geldende en het in het grondwater waargenomen gehalte.

Tot deze wijziging is besloten omdat uit de waargenomen gestegen chloridegehalten kon worden afgeleid dat een deel van het desbetreffende grondwater omstreeks 1964 uit de rivier was geïnfiltreerd. In die tijd werden soms aanzienlijk hogere $SO_4^{=}$-gehalten dan 80 mg/l in het rivierwater waargenomen (zie tabel 1). In fig. 21 is tevens de regressielijn ingetekend die het verband weergeeft tussen het $SO_4^{=}$- en het totaal gevormd CO_2-gehalte, zoals berekend was voor de waarnemingen uit 1970-1971. Het blijkt dat de veranderingen in de tijd bij benadering kunnen worden opgevat als een verplaatsing langs de eerder berekende regressielijn. Hieruit kan worden afgeleid dat het proces van de afbraak van organisch materiaal onder reduktie van sulfaat nog steeds onder ongeveer dezelfde kondities verloopt. Dat er verschil bestaat in de intensiteit van het proces zou als volgt kunnen worden verklaard: Indien aangenomen wordt dat geen ingrijpende veranderingen in de opbouw



Figuur 21
Het verband tussen de reduktie in het $SO_4^{=}$ gehalte en het totaal gevormde CO_2 gehalte in de loop der tijd nabij de Drechttunnel.

van de ondergrond hebben plaatsgevonden (bijvoorbeeld een depositie van een aanzienlijke hoeveelheid organisch materiaal in het rivierbed) dan moet het verschil veroorzaakt zijn door een andere kwaliteit van het Rijnwater. Nu is bekend dat deze omstreeks 1963-1964 slecht was, niet alleen wat betreft het Cl^-- en het $SO_4^=$-gehalte, maar ook wat betreft de organische belasting. Er werden hoge $KMnO_4$-getallen (een maat voor de hoeveelheid oxideerbaar materiaal) gemeten en lage zuurstofverzadigingspercentages. Vermoedelijk zullen op basis van de Rijnwatersamenstelling uit 1963-1964 eerder de anaerobe kondities, waaronder sulfaatreduktie moet plaatsvinden, worden bereikt. Met andere woorden de aanvangssituatie bij het in de rivierbodem infiltreren is gunstiger voor het optreden van sulfaatreduktie, waardoor uiteindelijk een sterkere mate van reduktie wordt bereikt. De konklusie zou kunnen zijn dat:

De wijze waarop de sulfaatreduktie en de afbraak van organisch materiaal plaatsvindt is weliswaar afhankelijk van de ondergrond waardoor het desbetreffende water infiltreert; echter de intensiteit van het proces wordt gedeeltelijk ook bepaald door de hoedanigheid van het water in de rivier.

Zoals eerder is beschreven hebben de bovengenoemde processen invloed op een aantal andere eigenschappen van het grondwater. Het is dan ook verklaarbaar dat bij vergelijking van de tabellen 2 en 6 blijkt dat met name het NH_4^+- en het ijzergehalte en uiteraard ook de hardheid in ongunstige zin zijn gewijzigd tussen de eerste monsterneming in 1971 en de tweede in 1975.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt dat de samenstelling van het zeer diepe grondwater nauwelijks wijzigingen heeft ondergaan, zoals ook te verwachten was.

5.5. De resultaten van de bepalingen van stabiele en radioaktieve isotopen

Verschillende isotopen van éénzelfde scheikundig element bevatten in hun atoomkernen hetzelfde aantal protonen (en hebben dus hetzelfde atoomgetal) doch een verschillend aantal neutronen (waardoor zij niet hetzelfde atoomgewicht hebben). Bijvoorbeeld zuurstof komt in de natuur meestal voor als ^{16}O (8 protonen en 8 neutronen) maar ook in veel kleinere hoeveelheden als ^{18}O (8 protonen en 10 neutronen). Isotopen kunnen worden onderscheiden in stabiele (waarvan de hoeveelheid niet verandert in de loop der tijd) en radioaktieve, die onder uitzending van straling uiteenvallen en daarmee dus als zodanig verdwijnen. Bij het onderhavig onderzoek zijn de gehalten in het grondwater van een tweetal natuurlijk isotopen bepaald, d.w.z. dat zij niet eerst aan het water zijn toegevoegd, doch daarin van nature voorkomen. Het gehalte van de stabiele isotoop ^{18}O geeft een aanwijzing omtrent de herkomst van grondwater, terwijl uit de meting van het gehalte van de radioaktieve isotoop ^3H een aanduiding

volgt omtrent de ouderdom. De wijze waarop het mogelijk is deze metingen te verrichten zal hier niet nader worden behandeld.

De resultaten worden ten aanzien van de stabiele isotoop ^{18}O uitgedrukt in δ_{SMOW}, dat is de relatieve afwijking ten opzichte van "Standard Mean Ocean Water":

$$\delta_{SMOW} = \frac{^{18}O/^{16}O \text{ (monster)} - {}^{18}O/^{16}O \text{(SMOW)}}{^{18}O/^{16}O \text{ (SMOW)}}$$

De gehalten aan de natuurlijke en stabiele isotoop ^{18}O in het grondwater worden bepaald door de gehalten in het water dat als voeding voor het desbetreffende watervoerende pakket heeft gediend. In vele gevallen is dat de neerslag, in andere is dat het rivierwater dat echter ook door de neerslag wordt gevoed, zij het elders.

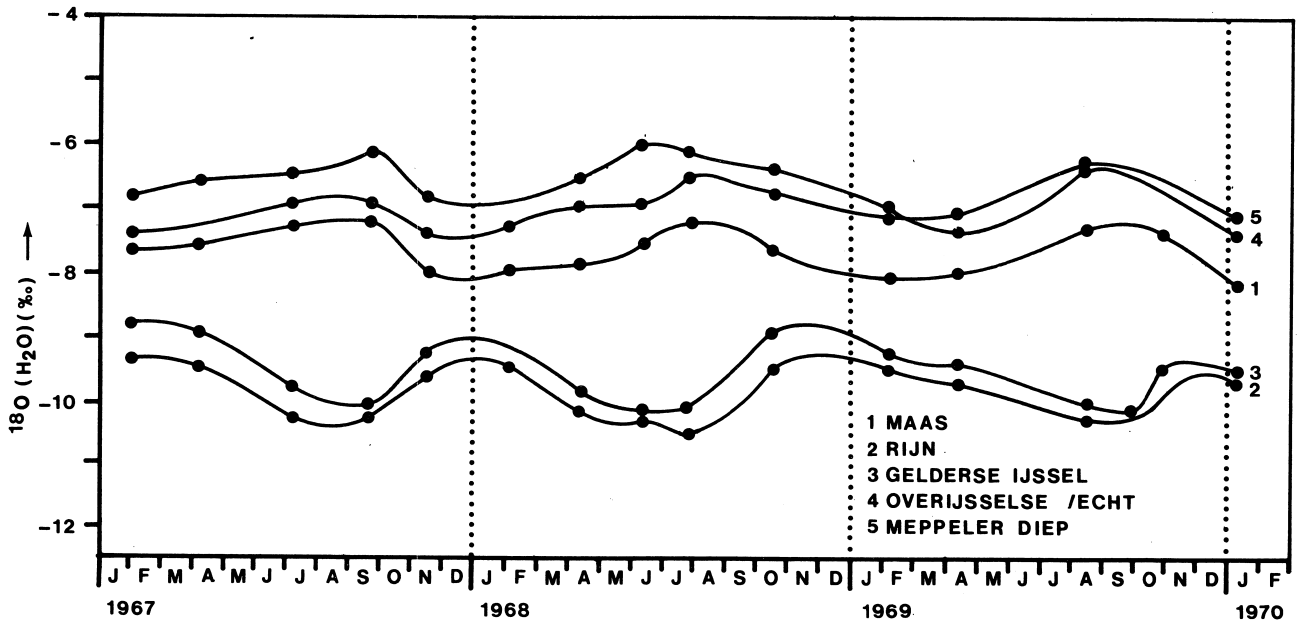
De gehalten aan ^{18}O in de neerslag zijn afhankelijk van klimatologische faktoren, waarvan de luchttemperatuur de belangrijkste is. Daarnaast is, indien een groter gebied wordt beschouwd, de afstand tot de oceaan van belang. In Nederland is het gehalte aan ^{18}O gemiddeld over een aantal jaren gelijk aan ca. -7,9°/oo (gemeten t.o.v. SMOW), volgens Mook (lit. 22), zie fig. 22. De maandgemiddelden van het ^{18}O-gehalte vertonen een grote fluktuatie, afhankelijk van de luchttemperatuur. Dergelijke grote variaties worden, voorzover bekend, niet in het grondwater teruggevonden, waarschijnlijk ten gevolge van de verblijftijdspreiding in de ondergrond. Zo werd in 28 monsters afkomstig van de Veluwe (lit. 23) een gemiddeld gehalte van -7,7°/oo gevonden met een hoogste waarde van -7,5 en een laagste van -8,2°/oo. Ook elders in het land uitgevoerde bepaling van het ^{18}O-gehalte in grondwater, dat door lokale neerslag werd gevoed, wijzen erop dat dit gehalte meestal varieert tussen -7,5 en -8,0°/oo. Afwijkingen kunnen evenwel voorkomen, namelijk als het desbetreffende water langdurig aan verdamping, anders dan de normale evapotranspiratie, onderhevig is geweest. In dat geval stijgen de gehalten en worden soms zelfs positieve waarden bepaald (lit. 22).

In het Rijnwater worden in het algemeen lagere ^{18}O-gehalten aangetroffen dan in de Nederlandse neerslag. Dit komt doordat het voedingsgebied van deze rivier voornamelijk in Zwitserland en Zuid-Duitsland ligt, waar, door de grotere afstand tot de zee, lagere gehalten aan ^{18}O in de neerslag worden aangetroffen. Daarentegen vindt men in het Maaswater gehalten die te vergelijken zijn met de gehalten in de neerslag in Nederland, zoals die ook blijken uit de in de kleinere rivieren gemeten gehalten. In fig. 22 zijn een aantal door Mook uitgevoerde metingen weergegeven. Typerend voor het karakter van een smeltwaterrivier, zoals de Rijn, is de faseverschuiving waardoor in de zomer de laagste waarden worden

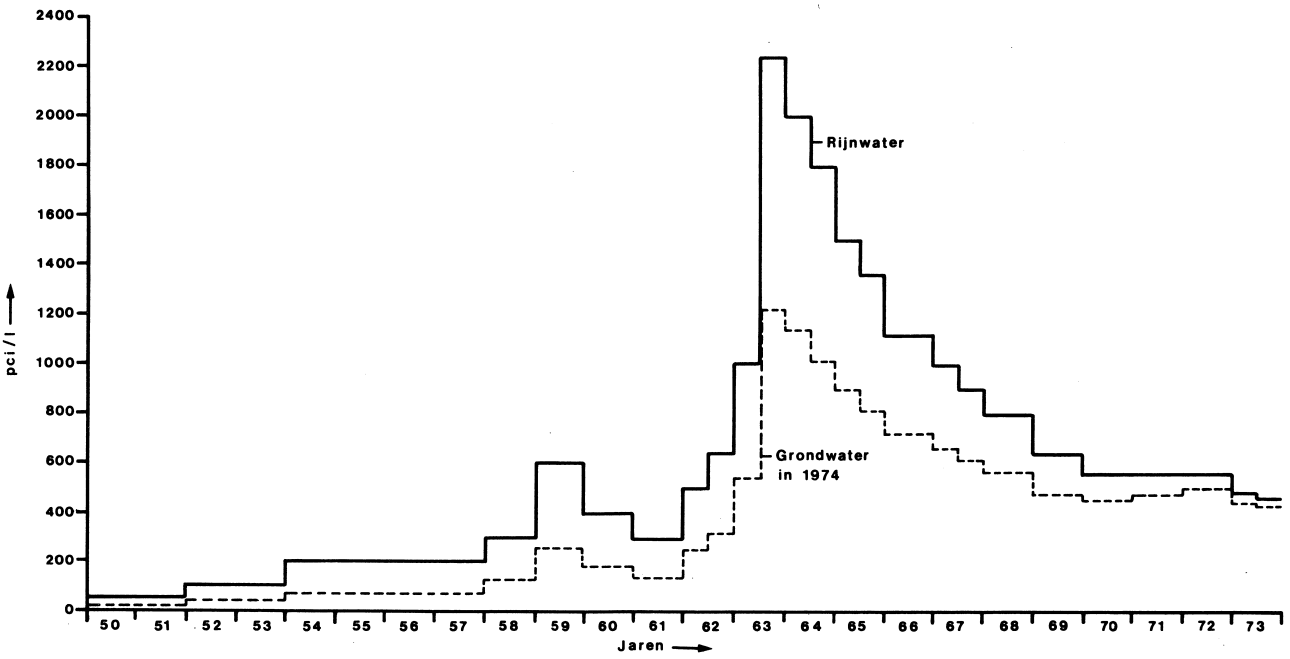
gemeten. Bij een regenrivier is dit net andersom, zoals volgt uit de afhankelijkheid van het ^{18}O-gehalte van de luchttemperatuur.

Bij radioaktieve isotopen als tritium (^{3}H) treden eveneens seizoensschommelingen in het neerslagwater op, door ongeveer dezelfde oorzaak als bij ^{18}O (afhankelijkheid van verdampingsprocessen en daarmee van de luchttemperatuur). Het beeld wordt hierbij echter vertroebeld doordat ten gevolge van H-bomproeven een belangrijk deel van de ^{3}H-koncentratie in neerslag bestaat uit zgn. fallout uit een nog steeds aanwezig ^{3}H reservoir in de stratosfeer. Hier zal verder niet op worden ingegaan.

Behalve door het oorspronkelijke gehalte aan ^{3}H van de voedingsbron wordt het gehalte in grondwater ook bepaald door de verblijftijd in de ondergrond, in verband met het radioaktieve verval waaraan het tritium onderhevig is (de halfwaardetijd bedraagt 12,3 jaar). In figuur 23 geeft de doorgetrokken lijn het ^{3}H-gehalte van het Rijnwater in het verleden weer. De gestippelde lijn geeft weer tot welke waarde de koncentratie aan ^{3}H in een monster water uit die tijd in 1974 zou zijn gedaald. Dergelijke gedetailleerde gegevens zijn niet voorhanden van het ^{3}H-gehalte van de in het verleden gevallen neerslag in Nederland. Men mag echter aannemen (zie ook lit. 24) dat de orde van grootte dezelfde zal zijn als voor het Rijnwater, met dien verstande dat de neerslag direkter reageert op bijvoorbeeld pieken ten gevolge van nukleaire explosies. Hierdoor zal voor neerslag de piek in 1963 hoger zijn, terwijl thans in de neerslag lagere gehalten dan in het Rijnwater wor-



Figuur 22
Het verloop van het ^{18}O gehalte in enige Nederlandse rivieren volgens Mook.



Figuur 23
Een schatting van het tritium (^3H)gehalte in het Rijnwater(volgens Weiss en Roether) en het daaruit in 1974 resulterende gehalte in grondwater afkomstig van de Rijn.

den gevonden. Tenslotte kan nog worden vermeld dat het ^3H-gehalte van een monster water wordt bepaald door de aktiviteit van het aanwezige tritium te meten, dat daarna wordt uitgedrukt in picocurie per liter (pCi/l), zoals hier is gebeurd, ofwel in Tritium Units (T.U.) per liter.

De resultaten van de op het Eiland van Dordrecht uitgevoerde bepalingen ten aanzien van ^{18}O en ^3H zijn verzameld in tabel 7. Zij geven aanleiding tot het volgende kommentaar.

5.5.1. De stabiele isotoop ^{18}O

De uitgevoerde bepalingen van het ^{18}O-gehalte van monsters water uit het ondiepe pakket nabij de toekomstige tunnel bevestigen de eerder getrokken konklusie dat dit grondwater nagenoeg uitsluitend afkomstig is uit de Oude Maas (waardoor Rijnwater stroomt). Met uitzondering van het monster uit put 7 (zie fig. 15) met een gehalte van -8,94°/oo, liggen alle waarden tussen

Tabel 7.
Isotoopbepaling aan het grondwater van het Eiland van Dordrecht(18_O door Nat. Lab. R.V. Groningen; 3_H door R.I.V. Bilthoven).

Putlokatie D=Drechttunnel W=Wantypark	filter-diepte in m-m.v.	datum van monster-neming	18 O (‰SMOW)	3H pCi/l
D-2	15-25	16-7-75	-9.83	
D-3	18-25	16-7-75	-9.72	
D-4	100-120	16-7-75	-7.05	
D-5	20-25	16-7-75	-9.91	
D-6	20-25	9-4-75	-9.42	470
D-6	20-25	16-7-75	-9.78	
D-7	20-25	9-4-75	-8.94	460
D-13	15-25	16-7-75	-9.99	
W-6	15-25	9-4-75	-7.44	25
W-13	15-25	9-4-75	-8.56	49
W-18	15-25	9-4-75	-9.79	490
W-20	15-25	9-4-75	-9.55	520
W-27	15-25	9-4-75	-8.47	66
W-30	15-25	9-7-75	-9.02	570

-9,4 en -10,0°/oo. Aan de waarneming van put 7 kan een fout ten grondslag liggen aangezien de omstandigheden bij bemonstering niet ideaal waren. Met enige voorzichtigheid zou zelfs gekonkludeerd kunnen worden dat inderdaad verblijftijdspreiding optreedt gezien het feit dat de variatie in het gehalte in het grondwater veel geringer is dan in het Rijnwater. Zekerheid hierover is niet te verkrijgen omdat gegevens uit de jaren rond 1962 ontbreken.

Het monster water dat van grote diepte is gehaald (put 4) geeft een merkwaardig resultaat te zien, namelijk een ^{18}O-gehalte van -7,05°/oo. Hieruit kan zonder meer gekonkludeerd worden dat dit water niet van oorsprong uit de Rijn afkomstig is. Weliswaar zou op grond van eventueel tijdens infiltratie opgetreden verdamping een dergelijk hoog gehalte kunnen worden verklaard; het is echter uitgesloten dat deze verdamping dan niet merkbaar zou zijn in de "normale" samenstelling van het grondwater (zie de tabellen 2, 4 en 6). Er blijven nu twee mogelijkheden open, namelijk het desbetreffende grondwater is oorspronkelijk regenwater, ofwel het is Maaswater geweest. Ook als dat zo zou zijn, is het gevonden gehalte echter aan de hoge kant. Hoewel één waarneming te weinig is om hier met enige zekerheid iets over te kunnen zeggen, zou dit er op kunnen duiden dat de infiltratie van dit water in een iets warmere periode dan de huidige heeft plaatsgevonden, bijvoorbeeld in het Eem Inter-Glaciaal. Het zou interessant zijn om het grondwater op een diepte van 100 à 120 m met behulp van isotopen-analyse nader te onderzoeken.

De bepalingen van het ^{18}O-gehalte van het grondwater afkomstig van de waterwinplaats Wantijpark (zie fig. 10) ondersteunen de eerder geuite veronderstellingen inzake de herkomst van het water. In de putten 18 en 20 wordt volgens deze bepalingen nagenoeg uitsluitend grondwater aangetroffen dat van oorsprong rivierwater is. Ook het monster uit put 30 heeft een relatief laag gehalte; hier zou echter een bepaald gedeelte van het grondwater uit de lokale neerslag afkomstig kunnen zijn. De waarden die zijn bepaald in de monsters uit de putten 13 en 27 duiden op een menging van ongeveer gelijke delen rivierwater en lokale neerslag, hetgeen goed verklaarbaar is daar het voeidngsgebied van dit grondwater voornamelijk in de Merwelanden moet worden gezocht. Uit put 6 tenslotte, wordt water opgepompt dat waarschijnlijk hoofdzakelijk bestaat uit lokaal geïnfiltreerd polderwater, dat immers grotendeels uit regenwater bestaat.

5.5.2. De radioaktieve isotoop ^{3}H

De uitgevoerde tritiumbepalingen aan grondwater van het Eiland van Dordrecht bevestigen het in de voorgaande hoofdstukken geschetste beeld wat betreft herkomst en ouderdom van het grondwater. De metingen aan monsters van het ondiepe grondwater nabij de toekomstige

tunnel leveren voor 1974 waarden op van 460 tot 510 pCi/l. Hieruit kan in de eerste plaats gekonkludeerd worden (zie fig. 23) dat dit water niet vóór 1963 vanuit het rivierbed naar de ondergrond is geïnfiltreerd. Op grond van het chloridegehalte zou infiltratie in het winterhalfjaar 1962-1963 kunnen worden gedateerd; wat betreft het tritiumgehalte is dit ook mogelijk. Een andere mogelijkheid is dat het onderzochte water na 1967 uit de rivier in de ondergrond is gekomen. Deze mogelijkheid is wat betreft de chloridegehalten iets minder waarschijnlijk maar kan niet uitgesloten worden.

Voor de putten 18, 20 en 30 op de waterwinplaats Wantijpark geldt eveneens de konklusie dat het in 1974 bemonsterde water ofwel in de winter van 1962-1963 is geïnfiltreerd vanuit het rivierbed ofwel na 1968. De chloridegehalten die in dezelfde monsters zijn gemeten maken de tweede mogelijkheid het meest waarschijnlijk.

Daarentegen wordt in de putten 6, 13 en 27 grondwater aangetroffen dat van oorsprong beslist geen onverdund na 1962 geïnfiltreerd rivierwater kan zijn. De gemeten tritiumgehalten laten twee alternatieven open. Het eerste is dat het desbetreffende water omstreeks de jaren 1950 in de ondergrond is terechtgekomen. De tweede mogelijkheid is dat dit grondwater gedeeltelijk ouder is dan 1950 en gedeeltelijk veel jonger. In dit geval kan echter gesteld worden dat de bijgemengde hoeveelheid water, jonger dan 1962, zeker niet meer is dan 10% van het totaal.

Overigens kan nog opgemerkt worden dat in het voorgaande impliciet een zeer eenvoudig beeld van de verplaatsing van het grondwater is gebruikt, namelijk via scherpe fronten. In werkelijkheid moet er waarschijnlijk rekening mee worden gehouden dat het verschijnsel van de hydrodynamische (macro)dispersie een rol zal spelen. Ook zal, zeker bij putten die op zeer korte afstand van de rivier liggen, gerekend moeten worden met een kromlijnig stroomlijnenpatroon, waarbij de diepte en de lengte van het waarnemingsfilter van belang zijn. Een dergelijke benadering heeft echter alleen zin indien zeer nauwkeurige gegevens voorhanden zijn en dat is hier niet het geval.

5.6. De relatie tussen het stromingsmodel en de samenstelling van het grondwater

Op grond van de samenstelling van het water konden een aantal konklusies worden getrokken met betrekking tot de herkomst van het grondwater, de verblijftijd in de ondergrond en het stromingspatroon in het algemeen. Uiteraard moeten deze konklusies in overeenstemming zijn met de resultaten van het stromingsmodel, aangezien één en hetzelfde systeem wordt beschreven.

In het voorgaande is reeds uitvoerig ingegaan op de herkomst van het grondwater. Nabij de Drechttunnel is er goede overeenkomst tussen het stro-

mingsmodel en de interpretatie van de samenstelling van het grondwater (chemische parameters en isotoopbepalingen), beide leiden tot de konklusie dat vrijwel al het ondiepe grondwater vanuit de Oude Maas is geïnfiltreerd. De situatie op de waterwinplaats in het Wantijpark is meer gekompliceerd. De verschillen in samenstelling van het grondwater, dat in de diverse putten wordt aangetroffen, maken aannemelijk dat het water van verschillende herkomst is. De onderscheiden voedingsgebieden (Beneden Merwede, Wantij, Merwelanden en polderwater) zijn in goede overeenstemming met de resultaten van het stromingsmodel, zoals die weergegeven zijn in het isohypsenbeeld (fig. 8) en de kwel- en infiltratiekaart (fig. 9) voor de situatie met onttrekkingen.

Doordat het stromingspatroon eenvoudig is nabij de Drechttunnel was het mogelijk om met behulp van de samenstelling van grondwater af te leiden dat de werkelijke snelheid van stroming in het ondiepe watervoerende pakket ca. 35 m per jaar bedraagt. De werkelijke snelheid van de grondwaterstroming kan worden geschat uit het met het model gekonstrueerde isohypsenbeeld. Uit dit beeld volgt dat nabij de tunnel een iets flauwer verhang dan 1 : 500 wordt aangetroffen in het ondiepe watervoerende pakket aan de oostzijde van de Oude Maas. Hierbij moet bedacht worden dat het model eigenlijk minder geschikt is om zo in detail het verhang te schatten. Door de gekozen knooppuntsafstand van 500 m is het nodig een aantal onttrekkingen in één knooppunt te koncentreren en ook de rivier moet als een aantal knooppunten worden geschematiseerd. Hierdoor zal via het model een iets te steil verhang worden bepaald. Wellicht is het werkelijke verhang ongeveer 1 : 1000. In dat geval kan de werkelijke snelheid van grondwaterstroming in het ondiepe watervoerende pakket berekend worden met:

$$v_r = \frac{1}{p} .k.i.,$$ waarin

p = het effektieve poriëngehalte, stel p = 40% (lit. 26);
k = de doorlatendheidskoëfficiënt, stel k = 50 m/dag (zie par. 4.3.1.);
i = het verhang, dus i = 1 : 1000.

Er volgt v_r = 0,125 m/dag = 45 m/jaar. Er blijkt sprake te zijn van een redelijke overeenstemming tussen de uit het model berekende en de uit de samenstelling afgeleide werkelijke snelheid van het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket.

Verder kan over de weerstand van de rivierbodem nabij de Drechttunnel de volgende beschouwing worden opgezet. In par. 5.3.2. (fig. 16) is afgeleid dat het rivierwater er gemiddeld ca. 5,5 jaar over doet om na infiltratie de projektie van de oostelijke oeverlijn in het ondiepe watervoerende pakket te bereiken. Als aangenomen wordt dat het desbetreffende water gelijkmatig verdeeld over de oostelijke rivierhelft

(met een breedte van ca. 150 m) is ingezegen dan kan bij benadering berekend worden dat het er gemiddeld 75/35 = 2,1 jaar over doet om door het ondiepe pakket de oeverlijn te bereiken. Dit houdt in dat het water ca. 3,4 jaar nodig heeft om door het afdekkende Holocene pakket te dringen. Uit dit gegeven kan een weerstand van dat pakket berekend worden via de formule:

$$v_r = \frac{(h_1 - h_2)}{p.c}$$, waarin

v_r = de werkelijke snelheid die in dit geval ca. 2 m/jaar bedraagt (als aangenomen wordt dat de dikte van het Holocene pakket onder de rivier ca. 7 m is).

$h_1 - h_2$ = het stijghoogteverschil tussen rivier en ondiepe pakket, dat ca. 50 cm is.

p = effektieve poriëngehalte, stel weer dat p = 40%.

c = de weerstand van het Holocene pakket onder de rivierbodem.

Na berekening volgt dat c = 0,62 jaar = 230 dagen. Deze waarde is hoger dan de waarde c = 100 dagen die in het model is ingevoerd. Het verschil zal gedeeltelijk terug te voeren zijn op de gebruikte schematisering, maar ook kan een belangrijke oorzaak zijn dat het rivierwater in werkelijkheid niet gelijkmatig verdeeld infiltreert. Zeer waarschijnlijk zal er in het midden van de rivier (de vaargeul) veel meer water naar de ondergrond inzijgen dan aan de kanten. In de voorgaande beschouwing betekent dit dat de gemiddelde verblijftijd in het ondiepe watervoerende pakket groter moet worden genomen en dus de tijd die het water nodig heeft om door het Holocene pakket te dringen korter en daarmee de weerstand ervan kleiner. De resultaten van het stromingsmodel en de interpretatie van de samenstelling van het grondwater zijn ook wat dit betreft zeker niet met elkaar in tegenspraak.

6. Konklusie wat betreft het Eiland van Dordrecht en het West-Nederlandse poldergebied in het algemeen

Uit de resultaten die met het relatief eenvoudige model voor de grondwaterstroming zijn bereikt volgt dat het met betrekkelijk weinig gegevens mogelijk is om een gedetailleerd beeld te verkrijgen van richting en stroming van het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket van het Eiland van Dordrecht. Een dicht net van peilputten is hiervoor niet noodzakelijk. De voor het Eiland van Dordrecht gevolgde methode lijkt direkt overdraagbaar te zijn op andere West-Nederlandse poldergebieden, waar vaak een vergelijkbare opbouw van de ondergrond wordt gevonden (het Hollandse profiel). De volgende gegevens zijn benodigd:

1. Een goede beschrijving van de topografie en de waterstaatkundige toestand. De nadruk ligt hierbij op polderindeling, polderpeilen en waterlopen, het gemiddeld peil daarvan en in het algemeen op zaken die van belang zijn voor de hydrologie van het ondiepe water. De desbetreffende gegevens kunnen worden afgeleid van gangbare kaarten en algemene overzichten.

2. Een zodanig beeld van de geologische opbouw van de ondergrond dat het mogelijk is een verantwoorde geohydrologische schematisering te maken. Vervolgens dienen de geohydrologische konstanten gekwantificeerd te worden. Vrijwel voor geheel Nederland kan met betrekkelijk weinig moeite een voldoende inzicht in de geologie van de ondergrond verkregen worden om een geohydrologische schematisering op te zetten. De kwantificering ervan kan moeilijkheden opleveren, niet zozeer wat betreft de doorlaatvermogens die geschat kunnen worden aan de hand van dikte en zandinhoud van de pakketten, maar wel wat betreft de weerstand van de Holocene deklaag. Voor het Eiland van Dordrecht was een extra gegeven aanwezig in de vorm van een geo-elektrisch onderzoek. Misschien kunnen de op het Eiland gevonden waarden (figuur 5) dienen als richtlijn voor de orde van grootte van de weerstand van de ondiepe kleilagen in andere gebieden. Gekombineerd met lokale gegevens kan dan een beeld worden opgebouwd.

3. De intreeweerstanden die overwonnen moeten worden bij de infiltratie van water uit de grotere waterlopen naar de ondergrond. Indien voldoende gegevens aanwezig zijn kan gebruik worden gemaakt van de in deze mededeling aangegeven methode. In andere gevallen kunnen de langs het Eiland van Dordrecht gevonden waarden weer

als richtlijn dienen voor een schatting (figuur 6). De ervaring verkregen met het onderhavige onderzoek leert dat de intreeweerstand van grote doorgaande waterlopen (zoals het systeem Beneden Merwede - Oude Maas) relatief gering is, ook als niet het gehele Holocene pakket wordt doorsneden. Zeer waarschijnlijk is door deze rivieren een lichaam in de ondergrond opgebouwd dat uit kleiig zand of zandige klei bestaat en dat in ieder geval een geringere weerstand heeft dan het tussen de grote rivieren gelegen Holocene pakket. Vermoedelijk (zie lit. 27) zal deze situatie ook in andere delen van West-Nederland, die door huidige of vroegere rivierarmen van de Rijn worden doorkruist, voorkomen.

4. De stijghoogten van het freatische grondwater, of in ieder geval het meest ondiepe grondwater. In eerste benadering zullen deze stijghoogten geschat kunnen worden met behulp van polderpeilen en maaiveldshoogten. Ook kan gebruik worden gemaakt van de kaarten die opgesteld zijn voor het C.O.L.N.-onderzoek.

5. Een schatting van de stijghoogten van het grondwater in het te onderzoeken pakket langs de randen van het gekozen model. Als deze randen adekwaat gekozen zijn, is een ruwe benadering gebaseerd op ondiepe stijghoogten voldoende.

Voor het Eiland van Dordrecht zijn van de resultaten van het model als meest representatieve grootheden de (gemiddelde) isohypsen en de hoeveelheid kwel of infiltratie (in mm/dag) nader uitgewerkt, voor zowel een situatie zonder als met grondwateronttrekkingen. Het isohypsenbeeld zonder onttrekkingen bleek zeer sterk beïnvloed te zijn door de topografie (waarbij vooral het peil in de grotere waterlopen belangrijk is) van het gebied. Onttrekkingen kunnen het beeld aanzienlijk veranderen. Het isohypsenbeeld voor de situatie met grondwateronttrekkingen is geverifieerd met behulp van gemeten stijghoogten waarbij een goede overeenstemming is gekonstateerd (zie fig. 12).

Uit de waarnemingen inzake kwel of infiltratie door de Holocene lagen blijkt, dat, indien er geen grondwater kunstmatig wordt onttrokken, het hele Eiland van Dordrecht een kwelgebied is. Het desbetreffende grondwater infiltreert hoofdzakelijk vanuit de omringende rivieren naar de ondergrond. De hoeveelheid water die vanuit de rivieren naar de ondergrond verdwijnt ligt in de orde van grootte van 2 tot 15 mm/dag per m^2 rivierbodem. Ook de topografisch hoog gelegen Merwelanden fungeren als infiltratiegebied. Met name de grondwateronttrekking in het Wantijpark heeft deze situatie grondig veranderd. Grote delen van het Eiland van Dordrecht zijn van kwelgebied een infiltratiegebied geworden, zodat op deze winplaats thans gedeeltelijk op het Eiland van Dordrecht

ingezegen water wordt opgepompt. Voor de kwaliteit van het opgepompte water heeft dit grote (en ongewenste) konsekwenties gehad.

Doordat via het model een goed beeld van het patroon van de grondwaterstroming is verkregen, is het mogelijk de wijze waarop de samenstelling van het grondwater van het Eiland van Dordrecht tot stand komt iets meer in detail te beschrijven. Met name geldt dit voor het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket nabij de Drechttunnel. Dit water wordt vrijwel uitsluitend gevoed door infiltratie vanuit het bed van de Oude Maas en stroomt daarna in het ondiepe pakket in een loodrecht op de rivier staande richting landinwaarts. Weliswaar fluktueert de kwaliteit van het rivierwater aanzienlijk in de loop der tijd, maar voornamelijk door vergelijking van in de rivier en in het grondwater gemeten chloridegehalten bleek het mogelijk te zijn om voor ieder monster grondwater vast te stellen wanneer het desbetreffende water uit de rivier is geïnfiltreerd. Hiermee ligt het uitgangspunt voor de in het grondwater aangetroffen samenstelling vast. De veranderingen die ten opzichte van het korresponderende rivierwater worden aangetroffen kunnen alleen maar een gevolg zijn van processen die zich na infiltratie hebben afgespeeld. Een onderscheid kan worden gemaakt in hoofdprocessen en daarbij behorende zij-effekten. Tot de hoofdprocessen zijn gerekend:

a. Denitrificatie en zuurstofverbruik. Waarschijnlijk al in de bovenlaag van de rivierbodem wordt het in het rivierwater aanwezig nitraat omgezet en de opgeloste zuurstof verbruikt. Hierbij wordt ca. 20 mg/l CO_2 geproduceerd. In de samenstelling van het grondwater uit dit proces zich in een verdwijning van het nitraatgehalte, in een toeneming van de hardheid met ongeveer 1 meq/l (d.i. 2,8°D) en in een licht anaerobe toestand van het water.

b. Sulfaatreduktie. Vergeleken met het rivierwater is het sulfaatgehalte in de geanalyseerde monsters grondwater met een variabele hoeveelheid afgenomen. Hiermee gaat een eveneens variabele CO_2-produktie gepaard. Er blijkt een redelijk goede korrelatie te bestaan (korrelatiekoëfficiënt $r = -0,89$) tussen het sulfaatgehalte en het totaal aanwezige CO_2-gehalte (waarbij het waterstofcarbonaat naar CO_2 is omgerekend). Uit het gevonden verband (zie fig. 17 en 21) volgt dat er in mg/l uitgedrukt in dit geval ongeveer evenveel CO_2 wordt geproduceerd als er sulfaat verdwijnt uit het grondwater. Hieruit volgt weer dat de hardheid toe zal nemen bij toenemende reduktie van sulfaat. Uit het feit dat de sulfaatreduktie blijkbaar een per plaats verschillend effekt heeft kan worden afgeleid dat het proces zich waarschijnlijk niet op de rivierbodem zelf afspeelt maar in de diepere

ondergrond. Dat er een verband bestaat tussen het afnemen van het sulfaatgehalte en de produktie van CO_2, wijst erop dat in dit geval overige gistingsprocessen weinig invloed hebben op de samenstelling van het ondiepe grondwater nabij de Drechttunnel.

c. Kationenwisseling. Uit de vergelijking tussen het rivierwater en het daarvan afkomstige grondwater, blijkt duidelijk dat er Ca^{++}-ionen uit het water zijn verdwenen, waarvoor Na^{+}-ionen in de plaats zijn gekomen. Een ionenwisseling met dit effekt heeft waarschijnlijk plaatsgevonden in het Holocene pakket. Uiteraard neemt door de genoemde verandering in samenstelling ook de hardheid af en wel met in orde van grootte ongeveer 1 meq/l (d.i. 2,8°C).

Het voornaamste zij-effekt van de hoofdprocessen is dat de redoxpotentiaal van het grondwater daalt en dat daardoor de omstandigheden gunstig worden voor het in oplossing gaan van ijzer en mangaan, die dan ook in niet te verwaarlozen gehalten voorkomen in het grondwater.

De situatie nabij de Drechttunnel waar rivierwater door een bed van kleiig zand of zandige klei naar de ondergrond infiltreert zonder dat waarschijnlijk veel veen aanwezig is, zal vaker voorkomen in West-Nederland. Te verwachten is dat, met uitzondering van de kationenwisseling, de hiervoorgenoemde processen een vergelijkbare invloed zullen uitoefenen. In dergelijke gevallen mag waarschijnlijk gerekend worden op denitrificatie, nagenoeg volledig zuurstofverbruik en een gedeeltelijke sulfaatreduktie van de grondwatersamenstelling. Het water zal licht anaeroob zijn en ijzer en magaan kunnen bevatten.

Het grondwater afkomstig van de waterwinplaats in het Wantijpark is interessant doordat duidelijk verschillende gebieden van herkomst kunnen worden aangewezen, die in de samenstelling worden teruggevonden. In het noordelijk deel van het puttenveld wordt grondwater aangetrokken dat vanuit het bed van de Beneden Merwede is geïnfiltreerd. Dit water is vrijwel identiek aan het grondwater nabij de Drechttunnel,in zoverre dat inderdaad geen kationenwisseling van invloed is geweest. Van meer belang is echter het in de zuidelijke putten opgepompte grondwater. Van dit water is het zeer aannemelijk (gezien de geologische profielen) dat het door veenlagen is geïnfiltreerd. Dit geldt zowel voor het in de Merwelanden als op het Eiland van Dordrecht tot infiltratie gekomen water. Deze omstandigheid heeft een diepgaande invloed uitgeoefend op de kwaliteit van het grondwater, die zich uit in de volgende karakteristiek:

a. Het water is waarschijnlijk volledig anaeroob en nitraat is afwezig.

b. Het sulfaatgehalte is nagenoeg tot nul gereduceerd (minder dan 10 mg/l).
c. Door afbraak van organisch materiaal in het veen is zeer veel CO_2 geproduceerd, dit resulteert in zeer hoge hardheden (tot meer dan 30°D) in het grondwater.
d. Er worden zeer hoge ammoniumgehalten (tussen 10 en 20 mg/l) aangetroffen in het grondwater.
e. IJzer en mangaan gaan gemakkelijk in oplossing wat leidt tot zeer hoge gehalten (ijzer meer dan 20 mg/l).
f. Er heeft gasontwikkeling plaatsgevonden, waardoor het grondwater oververzadigd is aan opgelost gas (vermoedelijk methaan of/en stikstof gas).

De laatste eigenschap is van invloed op de representativiteit van analyseresultaten. Door de met het oog zelfs zichtbare ontwijking van gas zal de samenstelling van het grondwater bij bemonstering (aanzienlijk) veranderen (zie tabel 6).

De situatie dat grondwater door veenlagen naar de diepere ondergrond infiltreert is in veel gevallen een niet natuurlijke toestand, die echter in vele delen van het West-Nederlandse poldergebied voorkomt. Door menselijke aktiviteit, zoals grondwateronttrekking en vooral het kreëren van verschillende polderpeilen, is deze situatie ontstaan. Er mag worden verwacht dat in dergelijke gevallen een soortgelijke kwaliteit van het grondwater zal worden aangetroffen als in de zuidelijke putten van de waterwinplaats in het Wantijpark (zie lit. 21). Een aanwijzing in deze richting is het veelvuldig voorkomen van de zogenaamde gaswellen in het West-Nederlandse poldergebied.

Als hulpmiddel bij het onderzoek is gebruik gemaakt van de bepaling van de stabiele isotoop ^{18}O die een aanwijzing geeft omtrent de herkomst van het grondwater en van de radioaktieve isotoop ^{3}H die uitsluitsel geeft inzake de verblijftijd van het water in de ondergrond. De resultaten van dit onderzoek stemden volledig overeen met de konkludie die op grond van het model en van de chemische samenstelling van het grondwater konden worden getrokken.

Tenslotte is nagegaan in hoeverre de interpretatie van de geohydrologische situatie die met behulp van de samenstelling van het grondwater was opgesteld, in overeenstemming was met de resultaten die het model opleverde, wat betreft de stroming en de herkomst. Er bleken geen belangrijke afwijkingen te bestaan. In het algemeen kan worden gekonkludeerd dat het onderzoek naar de samenstelling van het grondwater in belangrijke mate kan bijdragen tot een beter begrip van de geohydrologische situatie.

Lijst van geraadpleegde literatuur

1. Rapport inzake de geohydrologische situatie ter plaatse van de geprojekteerde verkeerstunnel (Drechttunnel) te Dordrecht.
   R.I.D.-nota, september 1971.

2. Onderzoek naar de getijvoortplanting in het ondiepe watervoerende pakket onder de waterwinplaats 's-Gravendeel.
   Deelontwerp T.H. Delft, A. Tuinhof (2e rapport).

3. Grondwaterbeheer in Zuid-Holland.
   Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland.

4. Enige kenmerken van het grondwater van het Eiland van Dordrecht.
   R.I.D.-nota, 1974.

5. Onderzoek naar de invloed van de onttrekking door het pompstation Bergambacht op de grondwaterstijghoogten in de omgeving.
   R.I.D.-nota, 1975.

6. Geo-elektrisch onderzoek van het Eiland van Dordrecht en de Merwelanden.
   B. Overzee, rapport nr. 950 R.G.D.

7. Geohydrologisch onderzoek van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden t.b.v. de toekomstige drinkwatervoorziening.
   R.I.D.-nota, mei 1967.

8. Rapport inzake bemalingen bij de aanleg van de Kiltunnel (gewijzigde versie).
   R.I.D.-nota, juni 1974.

9. Basiswaarden van de weerstanden van de slechtdoorlatende lagen in West-Utrecht.
   R.I.D.-nota, 1975.

10. Resultaten van de pompproeven in het ondiepe pakket onder de nieuwe waterwinplaats te 's-Gravendeel.
    Deelontwerp T.H. Delft, A. Tuinhof (1e rapport).

11. Hydrologisch onderzoek in Midden-West-Nederland.
    Ing. K.E. Wit, I.C.W.-nota 792, maart 1974.

12. Nota inzake de te verwachten verlaging van de stijghoogte van het grondwater door wateronttrekking aan de bodem t.b.v. het Gemeente Waterleidingbedrijf Zwijndrecht.
    R.I.D.-nota, augustus 1955.

13. Rapport inzake een geo-elektrisch onderzoek naar verzande Holocene rivierlopen in de Crezéepolder, Hendrik-Ido-Ambacht.
    Drs. J. Csonka, DGV/TNO, Afdeling Geofysisch Onderzoek, augustus 1968.

14. De landbouwwaterhuishouding in de provincie Utrecht.
Ir. M. van der Voort, Ir. B. Vrijhof. Comm. Onderz. Landbouwwaterhuish. Ned.
TNO, 1958.

15. Nota inzake de te verwachten invloed op de stijghoogte van het grondwater door wateronttrekking aan de bodem in de prise d'au van de Gemeente Dordrecht in de Nieuwe Stadspolder.
R.I.D.-nota, augustus 1947.

16. Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren, Rijkswaterstaat, R.I.V., R.I.D., uitgave RIZA, Lelystad.

17. Characteristic Examples of the Natural Groundwater Composition in the Netherlands, C.R. Meinardi, Versl. en Meded. CHO-TNO no. 21, 1976.

18. Verontreiniging van het Rijnwater, E.L. Molt. Dertiende vakantiecursus Drinkwatervoorziening, 1961.

19. Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen des Rheins.
Internationale Rijncommissie, diverse jaren.

20. Study and interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, J.D. Hem, U.S.G.S. Water Supply Paper no. 1473, 1970.

21. Hydrologie en waterkwaliteit van Midden-West-Nederland.
I.C.W. Regionale Studies no. 9, 1976.

22. Stable Carbon and Oxygen Isotopes of Natural Waters in The Netherlands.
W. Mook, Thesis, 1968.

23. Geohydrologische inventarisatie Veluwe E. Romijn, R.I.D. rapport 1974-1.

24. Tritium in drinkwater, oppervlaktewater en neerslag in de periode 1970-1973.
F.C.M. Mattern en L. Strackee, R.I.V. 1973.

25. Der Tritiumabfluss des Rheins, W. Weiss en W. Roether, Deutsche Gew. Mitt., 1975.

26. In Nederlandse zandformaties zijn het doorstroomde en het totale poriënvolume aan elkaar gelijk.
T.N. Olsthoorn, H_2O (10) 1977 no. 5.

27. De invloed van de belangrijkste waterlopen in West-Utrecht op de grondwaterstroming. R.I.D.-nota, (in voorbereiding)

Reeds eerder verschenen mededelingen

1974

Verwerking van kwikhoudend afval no. 74 - 1
door drs. E. de Greef

Bepaling van zware metalen in water no. 74 - 2
door drs. B.I. Haring

Threshold odour concentrations in water of chemical substances no. 74 - 3
door ir. B.C.J. Zoeteman

De chemische samenstelling van he grondwater van de Veluwe no. 74 - 4
door ir. C.R. Meinardi

Enige gegevens over bestemmingen en bijbehorende kwaliteitseisen zoet oppervlakte water no. 74 - 5
door ir. B.C.J. Zoeteman

The origin of brackish groundwater in the lower parts of the Netherlands no. 74 - 6
door ir. C.R. Meinardi

Verlagingen van het freatisch vlak bij grondwateronttrekking in een gebied met vrije afwatering no. 74 - 7
door drs. J. Blom

De geohydrochemie van het jong-pleistoceen in Salland in relatie tot topografie en geohydrologie no. 74 - 8
door ir. W. v. Duijvenbooden

Het bepalen van het gehalte aan chlorofyl in phytoplankton en de waarde van het chlorofyl als maat voor het voorkomen van phytoplankton no. 74 - 9
door drs. H.J. Kool

Concentration techniques for ultra-trace analysis with high-resolution gas chromatography to be used in waterpollution analysis no. 74 - 10
door ir. B.C.J. Zoeteman en G.J. Piet

1975

Brackish groundwater bodies as a result of geological history and hydrological conditions no. 75 - 1
door ir. C.R. Meinardi

Water quality management aspects of the Veluwe artificial recharge plan no. 75 - 2
door ir. B.C.J. Zoeteman - ir. J. Hrubec dr. F.J.J. Brinkmann

Toelichting bij het rekenprogramma FLOP - 1 no. 75 - 3
door ir. C. v.d. Akker

Analytical analysis of moving fronts in two- and three-dimensional groundwater flow in anisotropic aquifers no. 75 - 4
door ir. G.A. Bruggeman

Frontverplaatsingen in twee-dimensionale grondwaterstromingen; een toelichting bij het rekenprogramma front - 1 no. 75 - 5
door ir. C. v.d. Akker

Polynuclear aromatic hydrocarbons in the water environment of the Netherlands; a presentation of measurements in 1973 and 1974 no. 75 - 6
door G.J. Piet - ir. B.C.J. Zoeteman - ir. R. Klomp

Toelichting bij het rekenprogramma FLOP - 2 no. 75 - 7
door ir. C. v.d. Akker

Onderzoek merkstoffen deel I no. 75 - 8
door ir. W. v. Duijvenbooden

1976

Characteristic example of the natural groundwater composition in the Netherlands no. 76 - 1
door ir. C.R. Meinardi

no. 76 - 2

De bepaling van lood en cadmium in oppervlaktewater door atomaire absorptie m.b.v. de grafietoventechniek no. 76 - 3
door P. Lagas

Het isoleren van "entero"-virussen uit diverse typen water met behulp van verschillende concentratie technieken no. 76 - 4
door drs. H.J. Kool - M. v. Gent - H.J. v. Kranen

Reeds eerder verschenen mededelingen

1977

Vorming van organische halogeenverbindingen tijdens de chloring van drinkwater — **no. 77 - 1**
door Drs. P.H.A.M. Melis

Proefonderzoek naar de dagelijkse inname aan enkele metalen via drinkwater door de bevolking van Hoensbroek en Brunssum — **no. 77 - 2**
door Drs. B.J.A. Haring, W. van Delft, J.D.F. Habbema

Lagere chloorkoolwaterstoffen in het watermilieu — **no. 77 - 3**
door ir. J. Hrubec

De betekenis van het symposium "identification and system parameter estimation" voor het ontwikkelen van waterkwaliteitsmodellen — **no. 77 - 4**
door ir. J.B.H.J. Linders

Methods for the sensory evaluation — **no. 77 - 5**
door Drs. F.E. de Grunt, ir. B.C.J. Zoetman, G.J. Piet, M.P.H. van der Heuvel

De berekening van de temperatuursverhoging in het grondwater ten gevolge van een koelwaterinjectie
door ir. M.C. Brandes en ir. G.J.M. Uffink

De hydraulische weerstand van de Formatie van Sterksel/Kedichem in West-Utrecht — **no. 77 - 7**
door ir. G.J. Heij en ing. C.G.M. Kester

1978

Samenvatting van de resultaten van de proeven met de infiltratie van voorgezuiverd Rijnwater in Veluwezand — **no. 78 - 1**
door ir. J. Hrubec