

LABORATORIUM VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

---

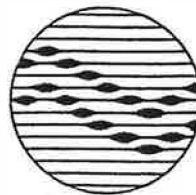
HYDROGEOLOGISCHE STUDIE VOOR DE GEPLANDE UITBREIDING  
VAN DE WATERWINNING VAN DE PIDPA TE BRECHT  
STUDIE-UITBREIDING

T60 89/08



RIJKSUNIVERSITEIT  
GENT

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE VOOR  
DE GEPLANDE UITBREIDING VAN  
DE WATERWINNING VAN DE  
PIDPA TE BRECHT



geologisch instituut S8  
krijgslaan 281  
B-9000 gent

telefoon 091-22.57.15

Provinciale en Intercommunale  
Drinkwatermaatschappij der  
Provincie Antwerpen

Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK  
Studie en verslag : Dr. L. LEBBE  
Lic. M. MAHAUDEN  
Lic. M. VAN CAMP

Onderzoek : TGO 89008(3)

Datum : 31 januari 1991

## INHOUD

Lijst van figuren	III
Lijst van platen	IV
1. Inleiding	1
2. Ligging en begrenzing van het modelgebied	2
3. Aangewend mathematisch model	3
4. Schematisering van het grondwaterreservoir	7
4.1 Lagenopbouw	7
4.2 Laagdikten	8
4.3 Modelnetwerk	8
5. Ingevoerde gegevens	10
5.1 Hydraulische parameters:	10
5.1.1 - Horizontale doorlatendheden	10
5.1.2 - Vertikale doorlatendheden	10
5.2 Grensvoorwaarden	11
5.3 Infiltratie	12
5.4 Pompingen	12
5.5 Waterlopen	12
5.6 Referentievlak	13
6. Ijking van het model	14
7. Resultaten	16
7.1 Inleiding	16
7.2 Met bestaande winning van 3226 m <sup>3</sup> /dag	17
7.2.1 Toestand met winning van 5000 m <sup>3</sup> /dag	17
7.2.2 Toestand met winning van 7500 m <sup>3</sup> /dag	17
7.2.3 Toestand met winning van 10000 m <sup>3</sup> /dag	18
7.3 Met bestaande winning van 10000 m <sup>3</sup> /dag	19
7.3.1 Toestand met winning van 5000 m <sup>3</sup> /dag	19
7.3.2 Toestand met winning van 7500 m <sup>3</sup> /dag	19
7.3.3 Toestand met winning van 10000 m <sup>3</sup> /dag	19
7.4 Invloed van de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen op de bekomen resultaten	20
7.5 Rol van de alluviale afzettingen in de valleien	21
7.6 Verlageningen in de pompputten	22

8. Besluit	23
Geraadpleegde werken	25

## LIJST VAN FIGUREN

- Fig. 1. Ligging van het modelgebied
- Fig. 2. Eindig-verschil netwerk
- Fig. 3. Situering van een eindig-verschil cel (I,J,K) met in het middelpunt het nodale punt (I,J,K) waar de stijghoogte van de cel (I,J,K) aangegeven wordt
- Fig. 4. Hydrogelogische schematisering van het grondwaterreservoir
- Fig. 5. Aangewend modelnetwerk
- Fig. 6. Ingevoerde horizontale doorlatendheden in de bovenste watervoerende laag
- Fig. 7. Ingevoerde totale hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen
- Fig. 8. Ligging van de pompputten
- Fig. 9. Ingevoerde waterlopen
- Fig. 10. Schematisering van de waterlopen in het model en ingevoerde kontaktfactoren
- Fig. 11. Diepte van het referentievlak onder het maaiveld
- Fig. 12. Diepte van de watertafel in piezometer 2a
- Fig. 13. Diepte van de watertafel in piezometer 5a
- Fig. 14. Diepte van de watertafel in piezometer 6a
- Fig. 15. Diepte van de watertafel in piezometer 7a
- Fig. 16. Diepte van de watertafel in piezometer 8a
- Fig. 17. Diepte van de watertafel in piezometer 10a
- Fig. 18. Ligging van de voorgestelde piezometers

## LIJST VAN DE PLATEN

PLAAT 1: BW=3226 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1  
PLAAT 2: BW=3226 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 3: BW=3226 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1  
PLAAT 4: BW=3226 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 5: BW=3226 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1  
PLAAT 6: BW=3226 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 7: BW=10000 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1  
PLAAT 8: BW=10000 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 9: BW=10000 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1  
PLAAT 10: BW=10000 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 11: BW=10000 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1  
PLAAT 12: BW=10000 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 13: BW=3226 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 14: BW=3226 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL  
PLAAT 15: BW=3226 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

BW=BESTAANDE WINNING NW=NIEUWE WINNING

## 1. INLEIDING

Op 6 augustus 1990 werd een overeenkomst gesloten tussen enerzijds de Provinciale en Intercommunale Drinkwatermaatschappij der Provincie Antwerpen (PIDPA), en anderzijds het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (LTGH) van de Rijksuniversiteit Gent, over het opstellen van een mathematisch model om de invloed van een geplande nieuwe winning in de wijk De Donk te Brecht te evalueren.

De werkzaamheden liepen over een periode van 2.5 maand en zouden aanvangen half november 1990. Indien mogelijk zou vroeger worden begonnen met de studie.

Het mathematisch model dat werd opgesteld omvat het gebied van een reeds bestaand model en werd uitgebreid in noordelijke richting. De invloed van de geplande grondwaterwinning zal aan de hand van het kwasi-driedimensionaal stromingsmodel worden berekend.

Volgens het kontrakt worden maximaal vijf simulaties uitgevoerd voor verschillende configuraties van winningsputten en/of debieten. Bijkomende simulaties kunnen uitgevoerd worden tegen meerprijs.

## 2. LIGGING EN BEGRENZING VAN HET STUDIEGEBIED

Het modelgebied bestaat uit een rechthoekig gebied van 6 op 6.5 km gelegen in de Antwerpse Noorderkempen in de gemeenten Brecht, Hoogstraten, Loenhout en Wuustwezel (fig. 1). Het gebied valt op de kaartbladen 8/1 (Wuustwezel), 8/2 (Hoogstraten) en 8/5 (Brecht) van het NGI. Het modelgebied is geroteerd ten opzichte van het geografisch coördinatenstelsel volgens NNE-richting.

De grenzen van het model zijn gekozen volgens hydrogeologische grenzen in het freatisch reservoir (watertafel).





### 3. AANGEWEND MATEMATISCH MODEL

Een mathematisch model bestaat enerzijds uit een rekenprogramma en anderzijds uit een hoeveelheid gegevens, die in het rekenprogramma worden ingevoerd.

Steunend op de wet van Darcy en het continuïteitsprincipe, kan men de differentiaalvergelijking opstellen die de grondwaterstroming in het reservoir beschrijft. Deze differentiaalvergelijking kan slechts voor een klein aantal zeer eenvoudige gevallen exakt analytisch worden opgelost. Het is eerder aangewezen de differentiaalvergelijking benaderend op te lossen met een numerieke methode. Hiertoe kan men gebruik maken van een mathematisch model steunend op de eindigverschilmethode ("finite difference").

Door het mathematisch model wordt de stijghoogte slechts voor een eindig aantal punten uit het reservoir berekend. De differentiaalvergelijking die de grondwaterstroming in het reservoir beschrijft, wordt omgezet in een eindigverschilvergelijking, die iteratief wordt opgelost. Iteratief wil zeggen dat bij het begin van het rekenproces aan elk punt een initiële waarde voor de stijghoogte toegekend wordt en dat daarna de eindig-verschilvergelijking herhaaldelijk wordt opgelost volgens een bepaald algoritme. Na elke cyclus van berekeningen is bij konvergentie de bekomen stijghoogte iets dichterbij de oplossing van de differentiaalvergelijking gekomen. De berekeningen worden onderbroken van zodra het verschil tussen twee opeenvolgende berekende stijghoogten niet groter is dan een vooraf bepaalde afwijking.

Bij de eindig-verschilmethode wordt het grondwaterreservoir in een eindig aantal kubusjes of cellen ingedeeld (fig. 2). Deze komen voor in kolommen, rijen en lagen.

Om de orientatie van het grondwaterreservoir ondubbelzinnig

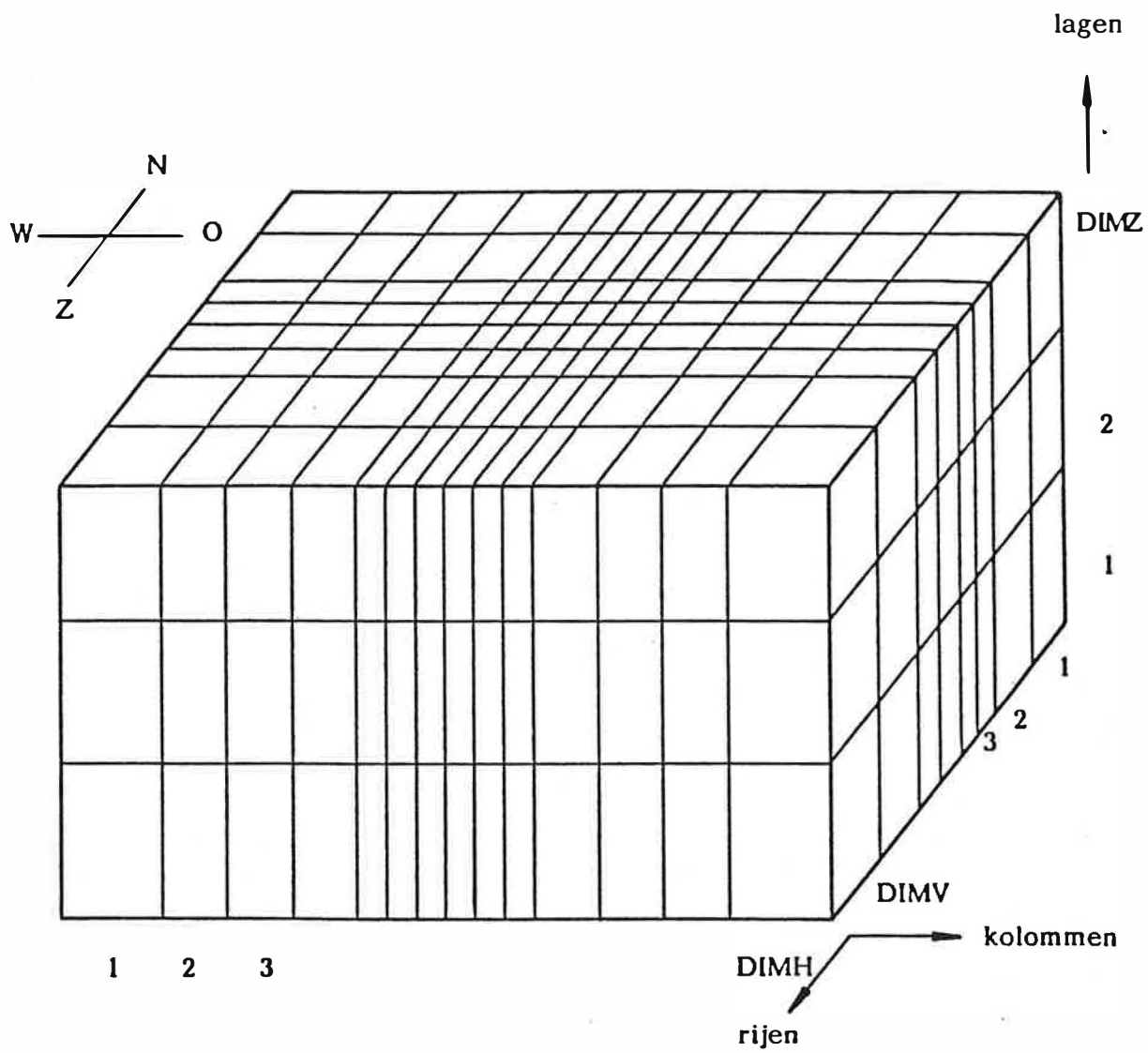


Fig. 2 - Eindig-verschil netwerk

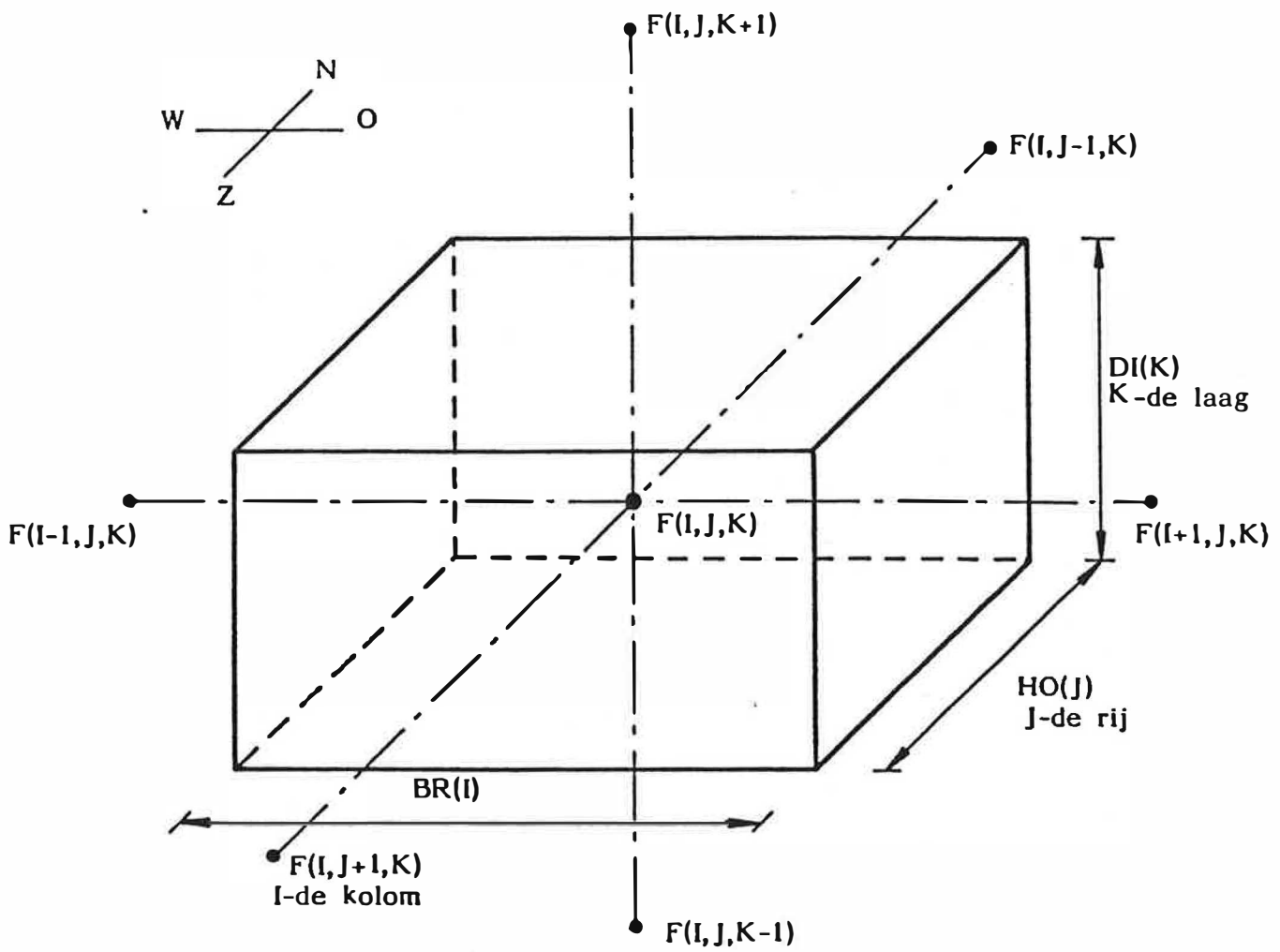
vast te stellen, gebruikt men de richtingen "noord", "zuid", "west" en "oost". De nummering gebeurt voor de kolommen van west naar oost, voor de rijen van noord naar zuid, en voor de lagen van onder naar boven. De middelpunten van de cellen heten nodale punten. Het nodale punt van de cel gevormd door de kolom I, de rij J en de laag K geven we de coördinaat (I,J,K) (fig. 3).

Men veronderstelt dat in het mathematisch model de hydraulische parameters in iedere cel konstant zijn. Zo bijvoorbeeld wordt de hydraulische stijghoogte in een cel als konstant veronderstelt.

In een cel wordt slecht één stijghoogte beschouwd, namelijk de stijghoogte in het nodale punt. Deze stijghoogte geeft het gemiddeld peil van het grondwater in de cel aan.

In voorliggende studie is gebruik gemaakt van het kwasi-driedimensionaal model RMOQ3D (LEBBE et al., 1985). Het aantal lagen in het model komt overeen met het aantal doorlatende lagen in het reservoir. De slecht-doorlatende lagen komen in de ruimtelijke voorstelling van het model niet expliciet voor. In dit model beschouwt men de stroming in een doorlatende laag uitsluitend horizontaal en in een slecht doorlatende laag uitsluitend vertikaal. Door deze vereenvoudiging kan het aantal lagen in het model worden beperkt. De eindig-verschilvergelijkingen worden iteratief met de afwisselende richtingstechniek opgelost. Deze bestaat erin dat de vergelijkingen achtereenvolgens eens per laag, eens per kolom en eens per rij worden opgelost. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het THOMAS algoritme. De breedte van de kolommen en de rijen, alsook de dikte van de lagen hoeven niet konstant te zijn.

Voor de doorlatende lagen moet de horizontale doorlatendheid worden ingevoerd, voor de slecht doorlatende lagen de hydrau-



$1 \leq I \leq DIMH$   
 $1 \leq J \leq DIMV$   
 $1 \leq K \leq DIMZ$

Fig. 3 - Situering van een eindig-verschil cel  $(I, J, K)$  met in het middelpunt het nodale punt  $(I, J, K)$  waar de stijghoogte van de cel  $(I, J, K)$  aangegeven wordt

lische weerstand.

Bij de berekeningen is de dikte van de bovenste niet-afgesloten watervoerende laag (freatisch reservoir) afhankelijk van de stijghoogte in de laag, namelijk de watertafel vermindert met het peil van de top van de bovenste slecht doorlatende laag. Als de watertafel zich onder de top van de bovenste slecht doorlatende laag bevindt, dan is er geen horizontale stroming van water naar aangrenzende cellen in de niet-afgesloten laag mogelijk, en is er enkel verticale stroming van en naar de onderliggende lagen.

Grenzen kunnen in het model ondoorlatend zijn of een vaste stijghoogte hebben. In het modelgebied zelf kunnen cellen met vaste stijghoogte worden gedefinieerd.

In de niet-afgesloten watervoerende laag kunnen ook beken en rivieren voorkomen. Waterlopen kunnen in het mathematisch model drainerend of irrigierend werken, afhankelijk van waar de watertafel zich bevindt ten opzichte van het waterpeil in de beek. Ingeval de rivier irrigierend werkt wordt door het model rekening gehouden met het debiet dat elke cel stroomopwaarts ontvangt.

Het model kan permanente stromingen berekenen ("steady state") of tijdsafhankelijke simulaties uitvoeren. In het laatste geval moeten de elastische bergingscoëfficiënten van de doorlatende lagen en de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel ingegeven worden. Bij tijdsafhankelijke berekeningen kunnen tijdstappen van verschillende duur opgegeven worden.

Als resultaat van elke berekening geeft het model de stijghoogte in elke cel van het reservoir. Uit deze stijghoogten en de hydraulische parameters kunnen de horizontale stromingsdebieten in de doorlatende lagen en de verticale stromingsdebieten die tussen deze lagen uitgewisseld worden,

bepaald worden. Ingeval er vaste stijghoogtecellen in het gebied voorkomen geeft het model aan hoeveel water deze cellen draineren of in het reservoir brengen. Tevens kan voor elke cel waardoor een waterloop stroomt verkregen worden hoeveel deze draineert of irrigeert. Als controle op de berekeningen wordt de totale balans per laag afgedrukt : hieruit kan afgeleid worden hoeveel water over de grenzen van het model stromen. Desgewenst kan ook een balans per cel worden opgesteld.

#### 4. SCHEMATISERING VAN HET GRONDWATERRESERVOIR

##### 4.1. Laagopbouw

De basis van het grondwaterreservoir wordt in het studiegebied gevormd door de Klei van Boom (Formatie van Rupel, Lid van Boom). Deze kan in deze studie als ondoorlatend substraat beschouwd worden.

In het modelgebied wordt het grondwaterreservoir geschematiseerd tot 3 watervoerende lagen, gescheiden door 2 slecht doorlatende lagen.

De onderste watervoerende laag bestaat uit de Formaties van Berchem, Diest, Kattendijk, het doorlatend gedeelte van de Formatie van Lillo, de Formatie van Merksplas en het onderste zandig facies van de Formatie van de Kempen.

De onderste slechtdoorlatende laag bestaat uit het onderste slechtdoorlatende deel van de Formatie van de Kempen.

De tweede watervoerende laag bestaat uit de zandige lagen van de Formatie van de Kempen.

De bovenste slecht doorlatende laag bestaat uit het bovenste slechtdoorlatende deel van de Formatie van de Kempen.

De bovenste watervoerende laag, het freatisch reservoir, bestaat uit dek- en stuifzanden, samen met het bovenste zandig facies van de Formatie van de Kempen.

Het alluvium in de vallei van de Weerijs wordt niet als een aparte laag beschouwd.

Op fig. 4 is de hydrogeologische schematisering van het grondwaterreservoir aangegeven.



KRONOSTRATIGRAFIE		LITOSTRATGRAFIE		LITOLOGIE	HYDROGEOLOGIE
KWARTAIR	HOLOCEEN	ALLUVIUM		VEEN,LEEMHOUDEND TOT KLEIHOUDEND FIJN ZAND	WATEROERENDE LAAG 3
		STUIFZANDEN		FIJN ZAND	
	PLEISTOCEEN	DEKZANDEN		FIJN ZAND TOT LEEMHOUDEND FIJN ZAND	
		FORMATIE VAN DE KEMPEN		AFWISSELING VAN FIJN TOT PLAATSELIJK GROF ZAND EN KLEI	SLECHTDOORLATENDE LAAG 2 WATEROERENDE LAAG 2
		FORMATIE VAN MERKSPAS		FIJN TOT GROF ZAND	SLECHTDOORLATENDE LAAG 1
TERTIAIR	PLIOCEEN	FORMATIE VAN LILLO	LID VAN MERKSEM	GLAUCONIETHOUDEND,SCHELPHOUDEND FIJN ZAND	WATEROERENDE LAAG 1
			LID VAN KRUISSCHANS	GLAUCONIETHOUDEND,SCHELPHOUDEND FIJN ZAND MET KLEILAGEN	
			LID VAN OORDEREN	GLAUCONIETHOUDEND,SCHELPHOUDEND,KLEIHOUDEND FIJN ZAND MET KOMPakte SCHELPHENLAGEN	
			LID VAN DE LUCHTBAL	GLAUCONIETHOUDEND,SCHELPHENRIJK FIJN ZAND	
		FORMATIE VAN KATTENDIJK		GLAUCONIETHOUDEND,SCHELPHENRIJK FIJN TOT MIDDELMATIG ZAND	
	MIOCEEN	FORMATIE VAN DIEST		GLAUCONIETHOUDEND GROF ZAND	
		FORMATIE VAN BERCHEM	LID VAN ANTWERPEN	GLAUCONIETRIJK,SCHELPHOUDEND,WEINIG KLEIHOUDEND FIJN ZAND	
			LID VAN EDEGEM	GLAUCONIETRIJK,SCHELPHOUDEND,KLEIHOUDEND FIJN ZAND	
	OLIGOCEEN	FORMATIE VAN RUPEL LID VAN BOOM		STIJVE KLEI	ONDOORLATEND SUBTRAAAT

Fig. 4 - Hydrogeologische schematisering van het grondwaterreservoir

#### 4.2. Laagdikten

De dikten van de doorlatende lagen moeten in het model worden ingevoerd.

De dikte van het gehele pakket dat de onderste watervoerende laag uitmaakt werd bepaald door inter- en extrapolatie van nabijgelegen boringen. Hiervoor werden gebruikt :

- de pompput P1 gelegen in het modelgebied
- pompput P5 van PIDPA gelegen nabij de Nederlandse grens in Wuustwezel (boring 136 op kaartblad 8/1 van de Geologische Dienst).
- boring 94 van kaartblad 7/8 van de Geologische Dienst uitgevoerd in het "Saalhof" in Brasschaat
- boring 189 van kaartblad 7/8 van de Geologische Dienst, uitgevoerd in "Den Anker" in Brasschaat.

De dikte van laag 1 bedraagt tussen de 100 en 110 m.

De dikte van de tweede doorlatende laag werd in het gehele gebied op 30 m genomen, de som van de dikten van de zandige lagen in de Formatie van de Kempen in pompput P1.

De dikte van de bovenste watervoerende laag is afhankelijk van de stand van de watertafel boven de bovenste slecht doorlatende laag en wordt door het model zelf berekend.

#### 4.3. Modelnetwerk

Het modelnetwerk is geroteerd ten opzichte van het geografisch coördinatenstelsel. In deze studie zijn de benamingen noord, zuid, west en oost ook van toepassing op de zijden van het netwerk, hoewel zij niet volledig met de geografische richtingen overeenkomen.

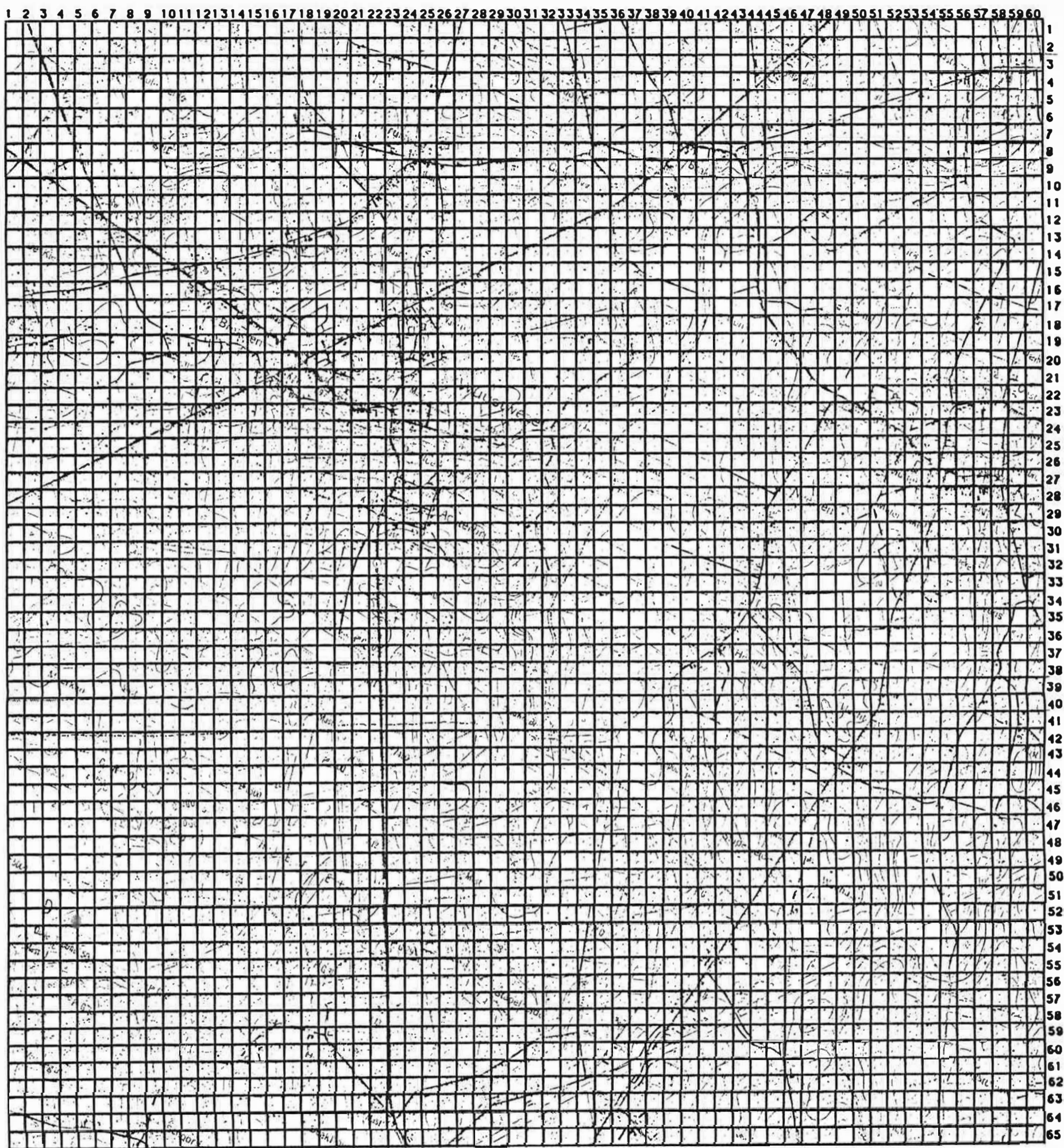


Fig. 5 - Aangewend modelnetwerk

Het netwerk bestaat uit 60 cellen in west-oost richting en 65 cellen in noord-zuid richting. Elke cel is 100 m lang en 100 m breed.

Het gebruikte modelnetwerk is aangegeven op fig. 5.

## 5. INGEVOERDE GEGEVENS

### 5.1. Hydraulische parameters

#### 5.1.1. Horizontale doorlatendheden

De ingevoerde horizontale doorlatendheden zijn gesteund op de resultaten van de pompproef die in het studiegebied is uitgevoerd.

De onderste watervoerende laag heeft een doorlatendheid van 13.21 m/dag. Deze werd gevonden door de som van de  $kD$ -waarden van 3 onderste lagen uit de pompproef (1388 m<sup>2</sup>/dag) te delen door de totale dikte van het pakket (105 m).

De tweede watervoerende laag heeft een horizontale doorlatendheid van 5.36 m/dag.

In de bovenste watervoerende laag werden verschillende deelgebieden onderscheiden. In de vallei, waar een grofzandige opvulling voorkomt, werd 20 m/dag ingevoerd. De gebieden buiten de vallei hebben een doorlatendheid van 1 m/dag. Hier komt het kleisubstraat vaak ondiep voor. De cellen die overeenkomen met open plassen hebben een doorlatendheid van 100 m/dag. Op fig. 6 zijn de zones met de verschillende doorlatendheden aangeduid.

#### 5.1.2. Vertikale doorlatendheden

De totale verticale weerstand van de Formatie van de Kempen wordt verdeeld over de twee slecht doorlatende lagen. De bovenste slecht doorlatende laag krijgt 79 % van de totale weerstand toegekend, de onderste slecht doorlatende laag 21 %. Deze verdeling werd gevonden bij een pompproef uitgevoerd te Merksplas (DE BREUCK, e.a., 1990).

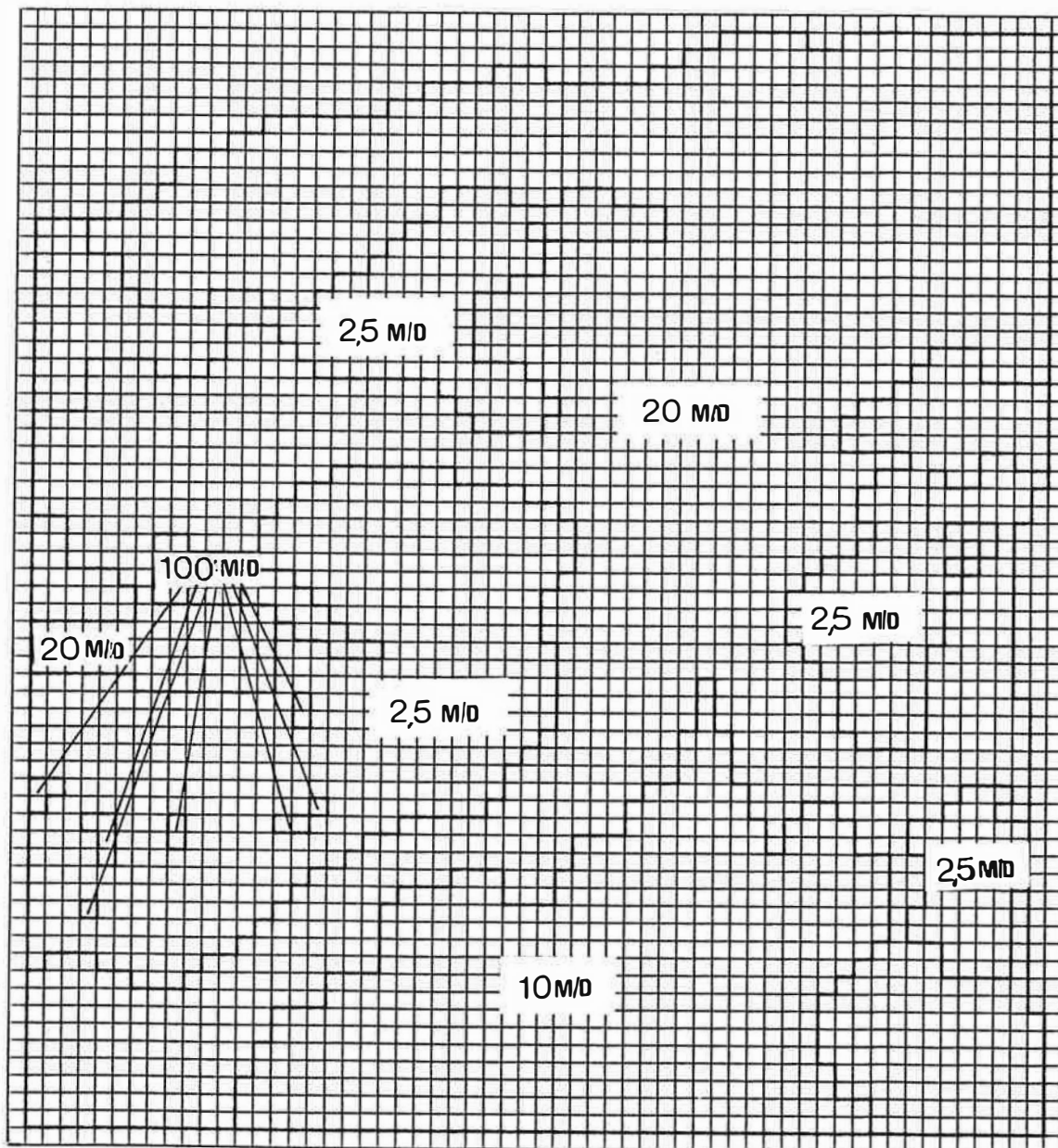


Fig. 6 - Ingevoerde horizontale doorlatendheden in de bovenste watervoerende laag

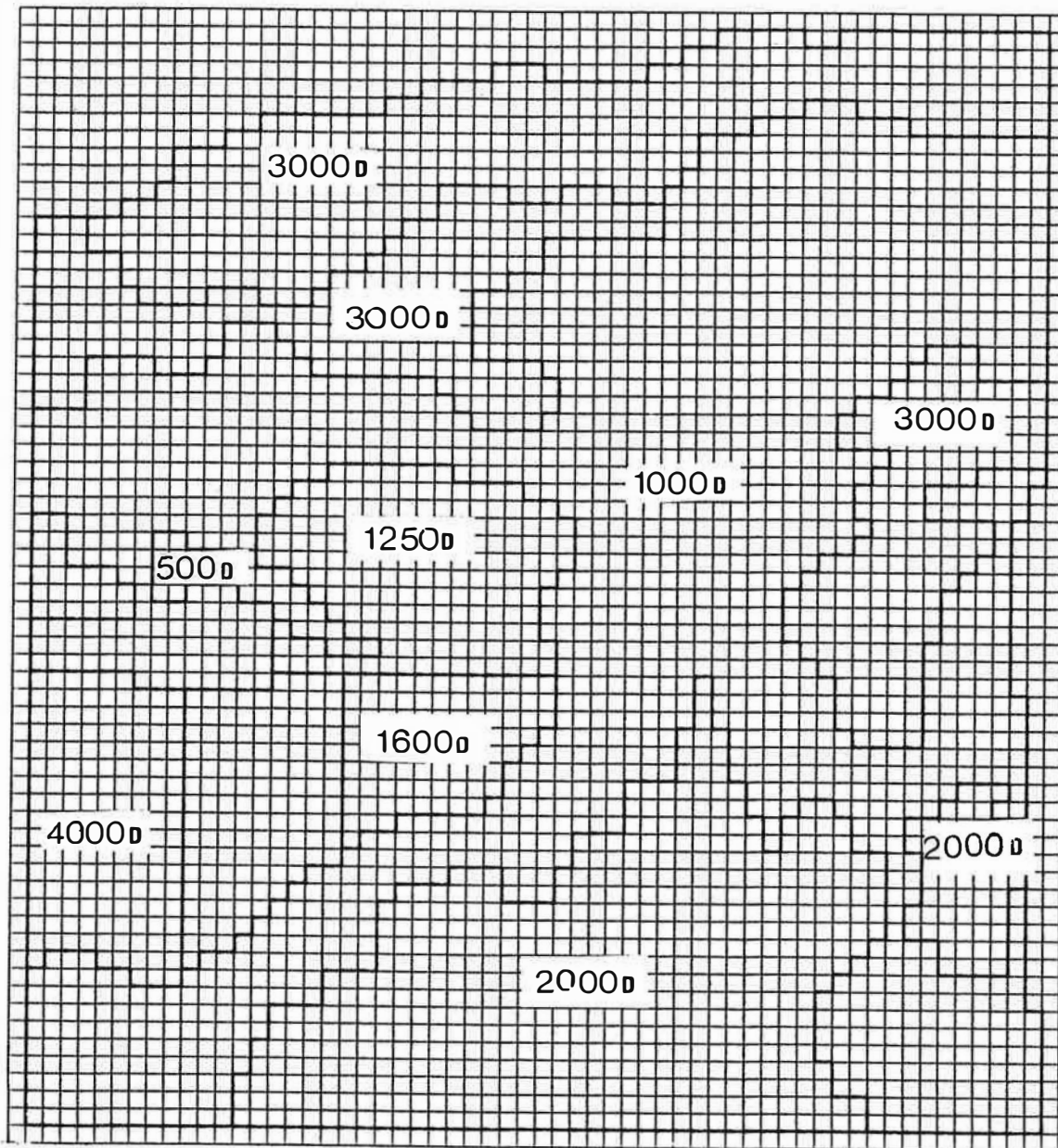


Fig. 7 - Ingevoerde totale hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen

In het modelgebied werden verschillende zones onderscheiden waarvan de totale hydraulische weerstand verschillend. Deze zones zijn aangeduid op fig. 7. De weerstand van de zones werd bepaald tijdens de kalibratie van het model (zie 6.).

## 5.2. Grensvoorwaarden

In de onderste watervoerende laag werden langs de randen vaste stijghoogten ingevoerd. Deze werden geschat aan de hand van waarnemingen binnen het modelgebied en de stijghoogtekaart van september 1977, opgenomen in het eindverslag van de Stuurgroep Grondwaterbeleid in de Provincie Antwerpen (STUUR-GROEP GRONDWATERBELEID IN DE PROVINCIE ANTWERPEN, 1978). De stijghoogten werden aangepast tijdens de kalibratie van het model.

De stijghoogten op de hoekpunten van het model werden geschat. De tussenliggende waarden langs de randen werden bepaald door interpolatie tussen de hoekwaarden. De geschatte waarden werden door kalibratie verder aangepast tot de berekende stijghoogten in de onderste watervoerende laag de waarnemingen benaderden. De ingevoerde waarden zijn : + 17.00 (NW-hoek), + 12.00 (NE-hoek), + 22.00 (SW-hoek) en + 20.00 (SE-hoek).

In de middenste watervoerende laag werden de randen ondoorlatend genomen. Er wordt aangenomen dat aan de randen van het modelgebied de stroming doorheen de Formatie van de Kempen uitsluitend vertikaal gebeurt.

In het freatisch reservoir (laag 3) zijn de grenzen ondoorlatend. Hier vallen de randen samen met grondwaterscheidingskammen of stroomlijnen.

De noordrand ligt op een waterscheidingskam die van aan de Molenbergen via de wijk Kruisweg ten noorden van de Weerij



uitkomt.

De westgrens valt samen met stroomlijnen naar de valleien van de Kleine Beek, het Moerken en de Schaapsdijkbeek.

De oostgrens valt samen met de waterscheiding tussen het stroombekken van de Weerijs en de Weehagense beek.

De zuidgrens valt samen met de stroomlijnen naar de valleien van Weerijs, Stapelheidbeek en Weehagense beek.

### 5.3. Infiltratie

Boven het ganse modelgebied werd de nuttige neerslag op 270 mm/jaar geschat.

### 5.4. Pumpingen

Bij de simulatie van de toestanden met winning werd een winningskonfiguratie van 4 pompputten gebruikt. De geplande ligging hiervan werd door de opdrachtgever medegedeeld. Ze zijn aangegeven op fig. 8. Bij de berekeningen wordt het totale debiet gelijkmatig over alle pompputten verdeeld.

Er wordt gewonnen uit de onderste watervoerende laag (laag 1).

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor winningsdebieten van 5000, 7500 en 10000 m<sup>3</sup>/dag.

### 5.5. Waterlopen

In het model worden waterlopen gekarakteriseerd door :

- het tracé van de waterloop, namelijk de volgorde en de ligging van de cellen waar de waterloop doorstroomt. Tevens

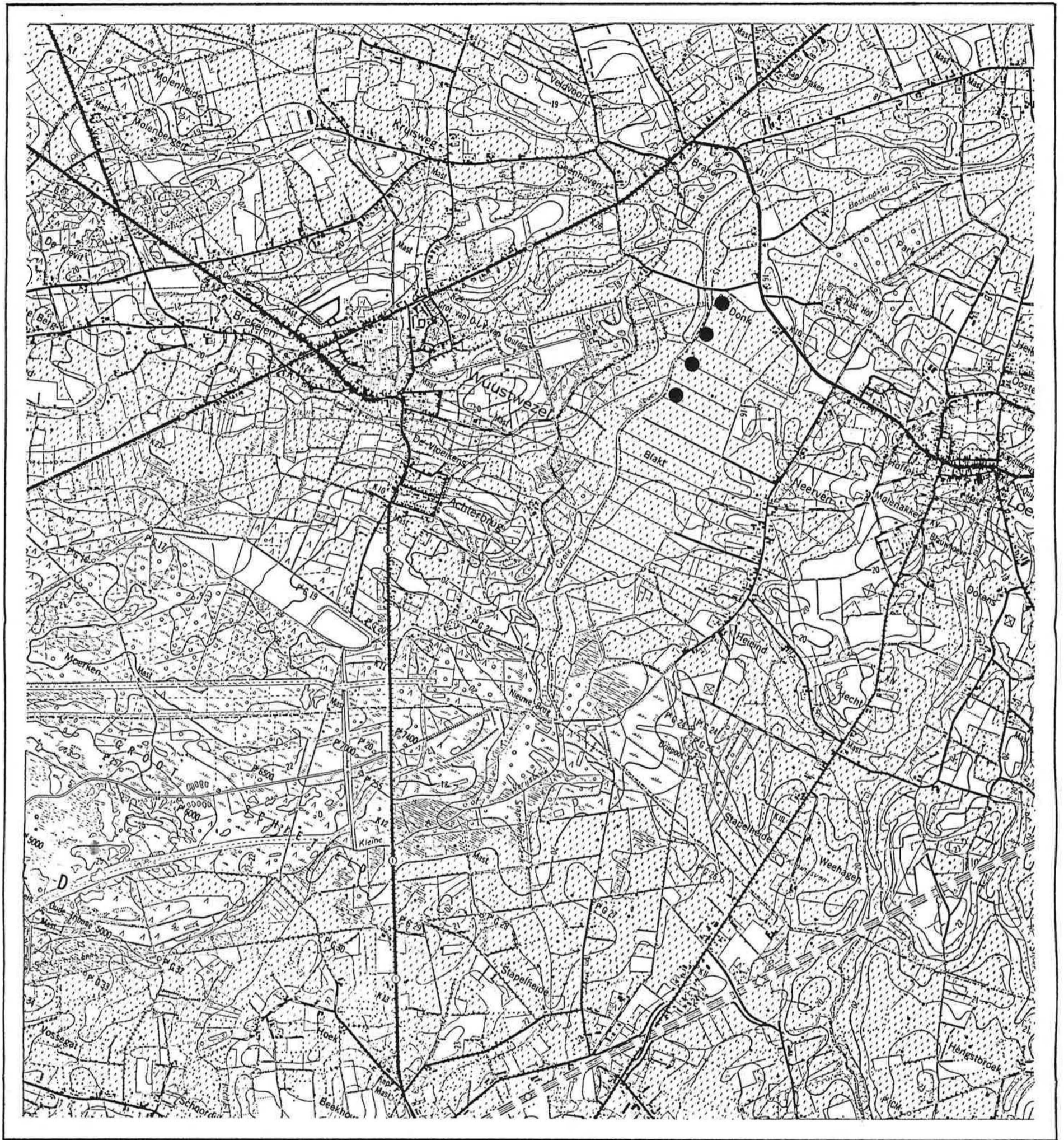


Fig. 8 - Ligging van de pompputten

moet worden aangegeven of de beek in een andere uitmondt of het gebied verlaat. De tracés zijn afgeleid uit de topografische kaart.

- het gemiddeld waterpeil in elke cel van de waterloop. Deze zijn geschat aan de hand van de topografie en de diepte aangegeven in de archieven van de provinciale dienst.
- de kontaktfactor. Deze is een maat voor het hydraulisch contact tussen de waterloop en het grondwaterreservoir. Voor de grootste waterlopen bedraagt de kontaktfactor 400 m<sup>2</sup>/dag per cel, voor de kleinere waterlopen 100 m<sup>2</sup>/dag per cel.

In het model zijn in totaal 32 waterlopen ingebracht. Deze zijn aangeduid op fig. 9.

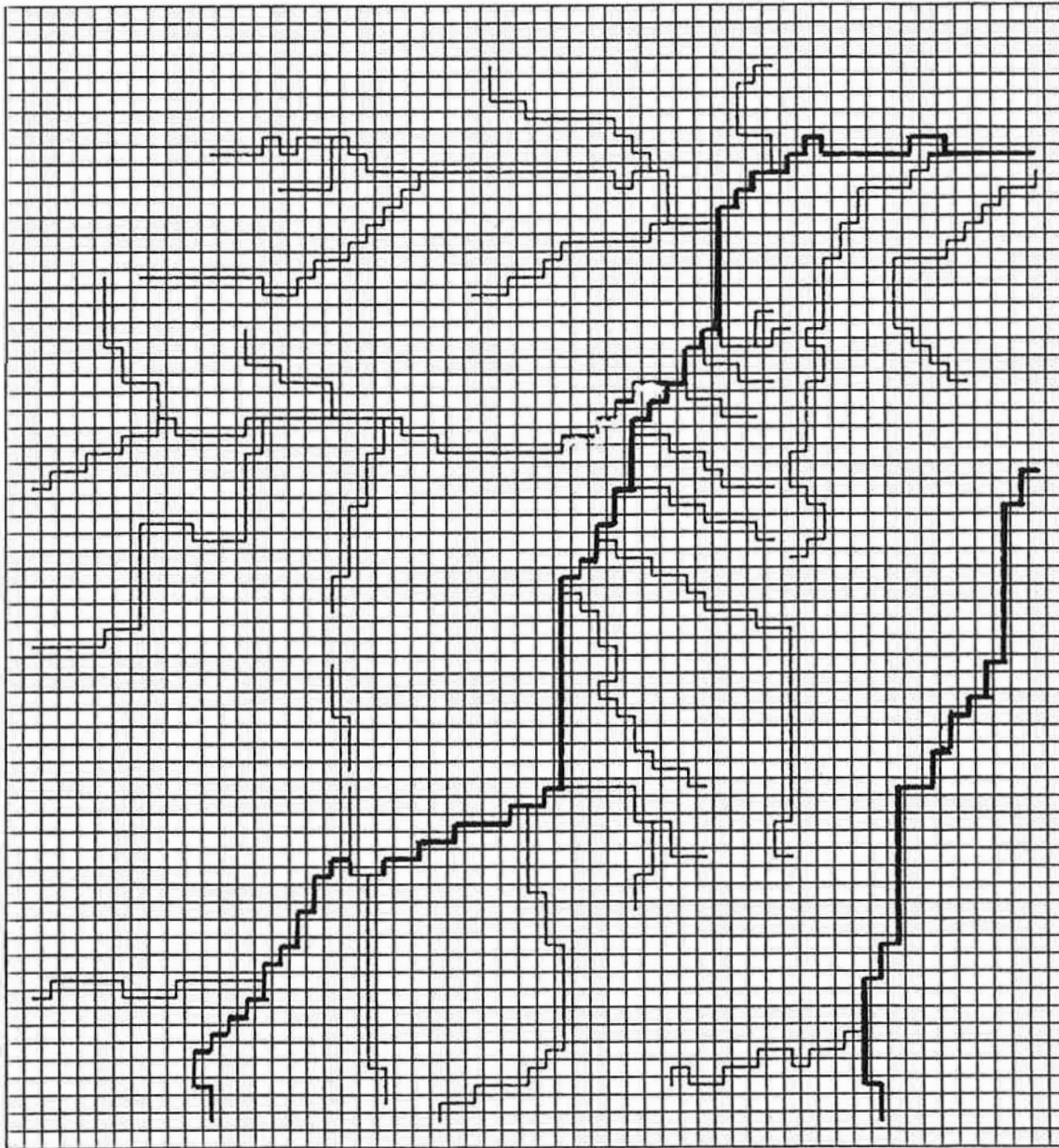
Op fig. 10 is aangegeven welke tracés in het model zijn opgenomen en de ingevoerde kontaktfactoren van de waterlopen.

#### 5.6. Referentievlak

Het referentievlak in het model is de top van de eerste, meest ondiep voorkomende slecht doorlatende laag. In het studiegebied is het de top van de eerste kleilaag in de Formatie van de Kempen. Door het heterogeen litologisch karakter van de Formatie van de Kempen is deze top moeilijk te karteren.

In deze studie werd het referentievlak in de vallei van de Weerij 4 m onder het maaiveld genomen, buiten de vallei 2 m. De diepte van het referentievlak onder het maaiveld is aangegeven op fig. 11.





- kontaktfaktor 100 m<sup>2</sup>/d
- kontaktfaktor 400 m<sup>2</sup>/d

Fig. 10 - Schematisering van de waterlopen in het model en ingevoerde kontaktfactoren

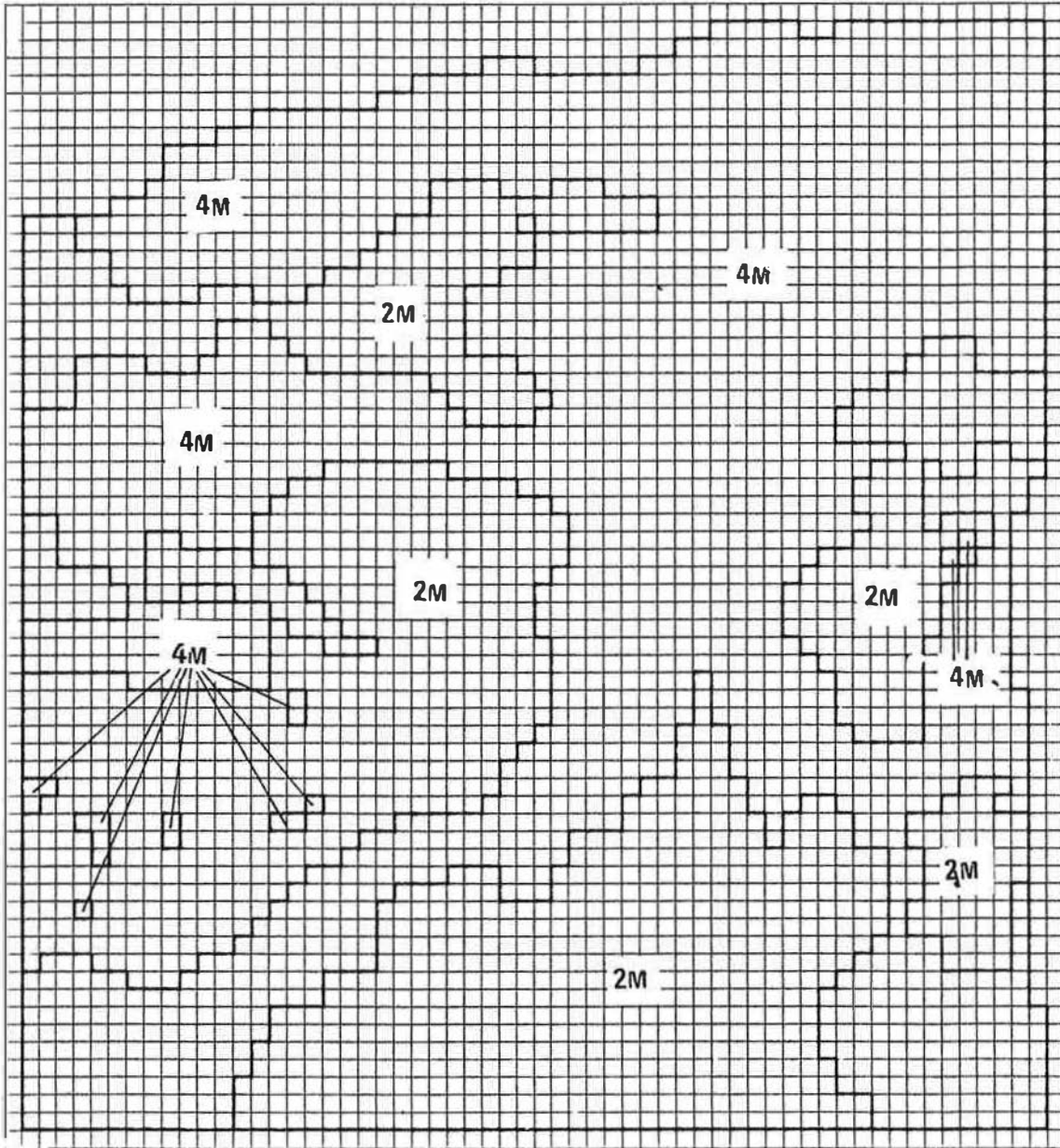


Fig. 11 - Diepte van het referentievlak onder het maaiveld

## 6. IJKING VAN HET MODEL

Bij de ijking van een mathematisch model worden ingevoerde gegevens, bijvoorbeeld de hydraulische parameters op iteratieve wijze bepaald door tijdens opeenvolgende berekeningen van het model berekende en waargenomen stijghoogten te vergelijken en de parameters aan te passen. Na een aantal opeenvolgende berekeningen wordt een goede overeenstemming tussen beide bereikt.

Het hier beschouwde model is gekalibreerd naar de gemiddelde stijghoogten die in het gebied worden waargenomen voordat de winning in werking was (voor september 1980).

In het model zijn de berekende stijghoogten in de onderste watervoerende laag vooral afhankelijk van de ingevoerde vaste stijghoogten aan de randen van het model, aangezien de  $kD$ -waarde van het onderste pakket vrij groot is. Daardoor zijn de hoeveelheden water die vertikaal doorheen de Formatie van de Kempen stromen klein in vergelijking met de hoeveelheden die in het onderste pakket bewegen. De  $kD$ -waarde van het onderste pakket is vrij goed gekend uit de pompproef. In een eerste fase werden de randstijghoogten in de onderste laag aangepast tot maximale overeenstemming met de gemeten stijghoogten in de Formatie van Merksplas bereikt was.

In de Noorderkempen treedt in de grote valleien een opwaartse stroming op vanuit het onderste watervoerend pakket naar de bovenste laag. Buiten de valleien vindt er een neerwaartse stroming plaats van de watertafel naar het onderste pakket. Aangezien het freatisch reservoir in deze zone zeer dun is (de dek- en stuifzanden zijn vaak minder dan 2 m dik), zal de horizontale stroming hier gering zijn. De stand van de watertafel zal hier vooral bepaald worden door de weerstand van de Formatie van de Kempen.

Tijdens de tweede fase van de kalibratie werd het modelgebied in een aantal deelgebieden ingedeeld. Binnen elk deelgebied is de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen gelijk. Tijdens opeenvolgende berekeningen werd de weerstand van de gebieden aangepast tot de watertafel binnen elk deelgebied overeenkomt met de waargenomen stijghoogten of een schatting van de watertafel. De schatting gebeurde aan de hand van de topografie.

Binnen de valleien, waar er opwaartse stroming voorkomt, is de stand van de watertafel onafhankelijk van de weerstand van de Formatie van de Kempen, maar wordt onder andere bepaald door de doorlatendheid van de valleiopvulling en het waterlopenstelsel. Aan deze zone werd een hydraulische weerstand van 1000 dagen toegekend. Er werden echter ook simulaties uitgevoerd waarbij een weerstand van 200 dagen werd toegekend (zie 7.4).

Bij de kalibratie van het model werden de berekende stijghoogten vergeleken met gemiddelde stijghoogten voor de ingebruikname van de nu bestaande winning. Uit de waarnemingen blijkt dat het moeilijk is uit een eenmalige meting van de watertafel de gemiddelde stand af te leiden. Op fig. 12 tot en met 17 zijn de gemeten diepten van de watertafel ten opzichte van het maaiveld voor verschillende piezometers binnen het studiegebied voorgesteld. De ligging van deze piëzometer is voorgesteld op fig. 18. Door de diepten in functie van het kalenderjaar voor te stellen, kunnen schommelingen van jaar tot jaar gevisualiseerd worden. Hierop is duidelijk te zien dat zelfs tijdens eenzelfde maand de diepte tijdens opeenvolgende jaren sterk kan variëren. Alle voorgestelde piezometers liggen ten zuiden van de geplande winning.



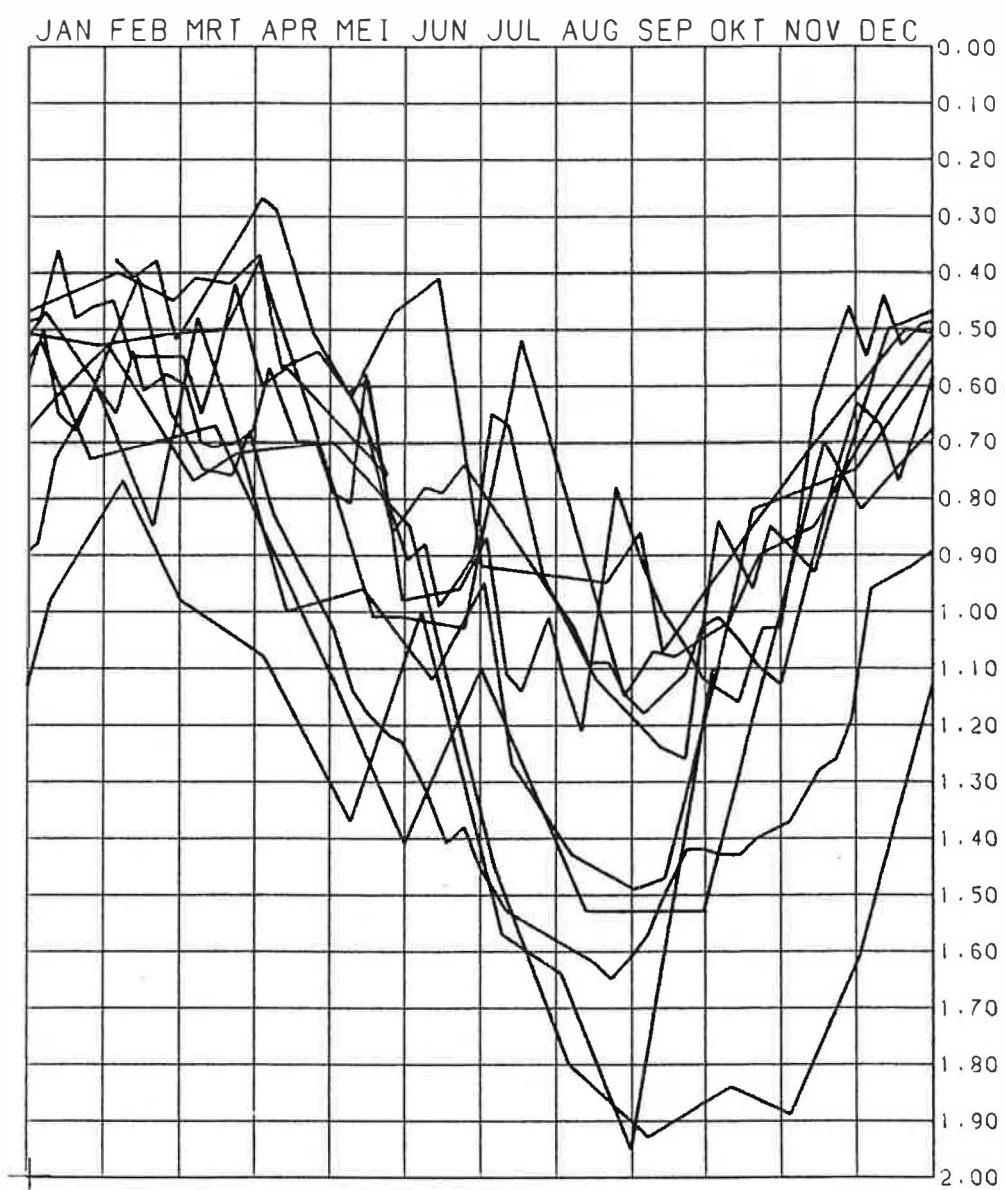


Fig. 12 - Diepte van de watertafel in piëzometer 2a

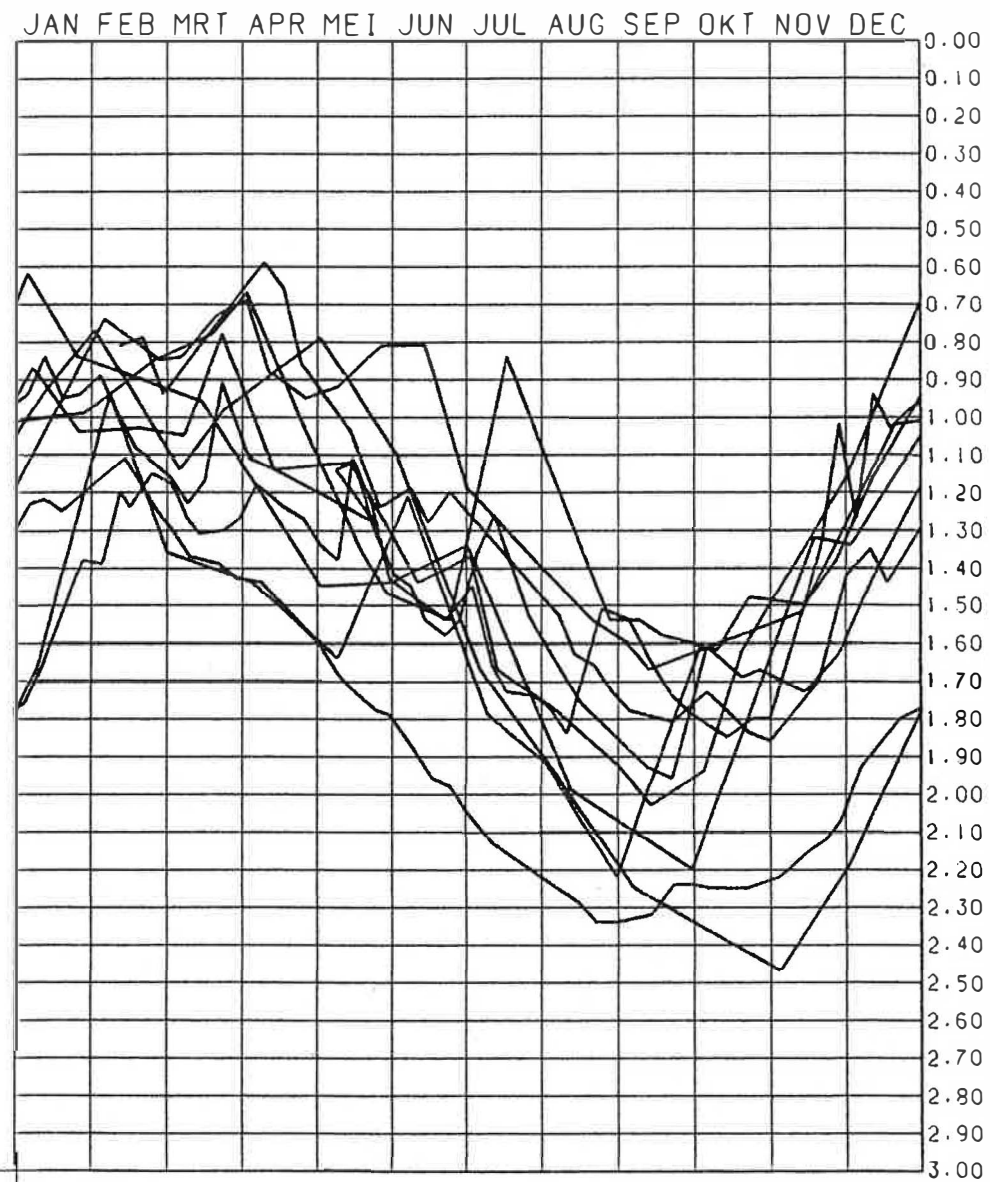


Fig. 13 - Diepte van de watertafel in piëzometer 5a

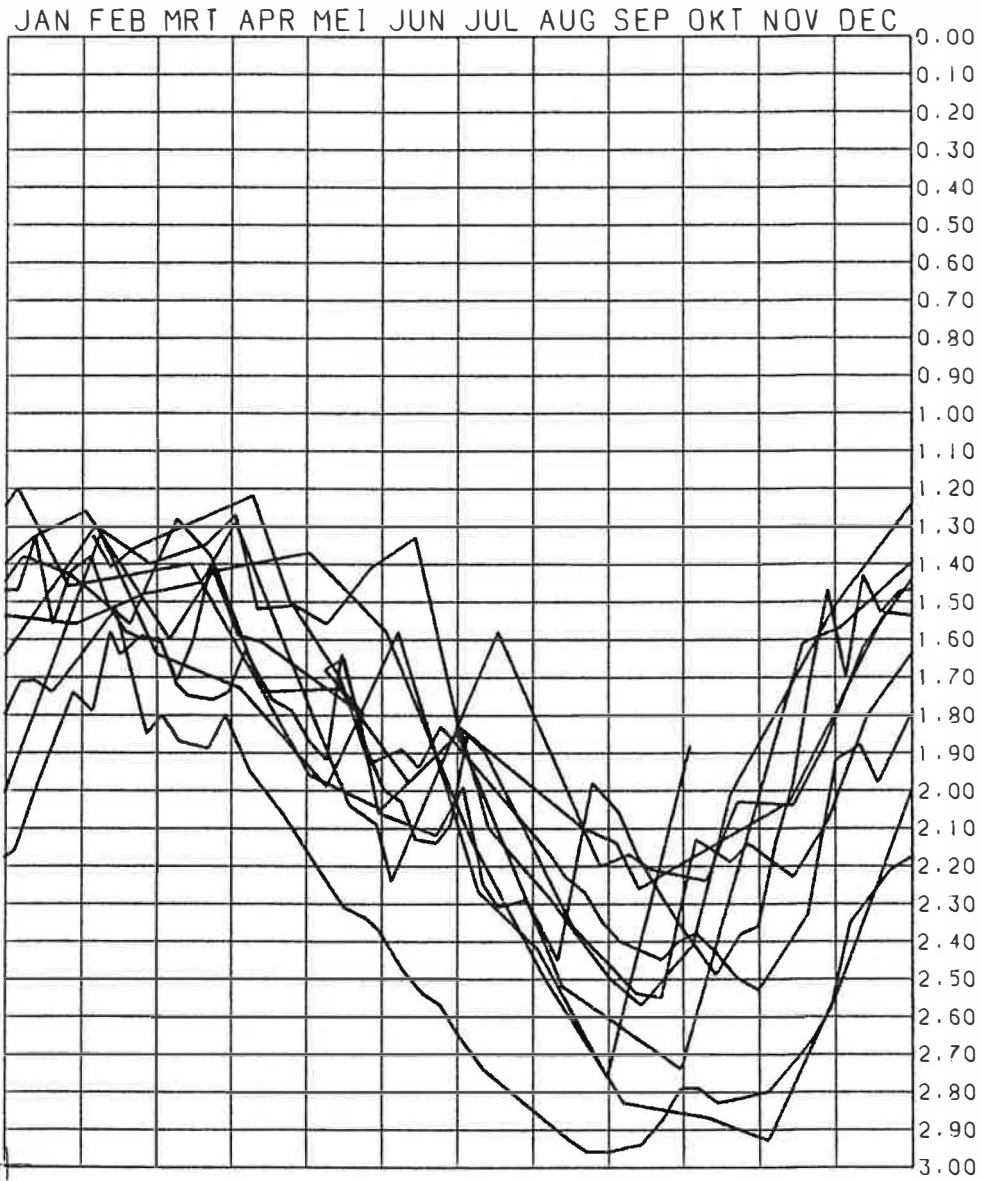


Fig. 14 - Diepte van de watertafel in piëzometer 6a

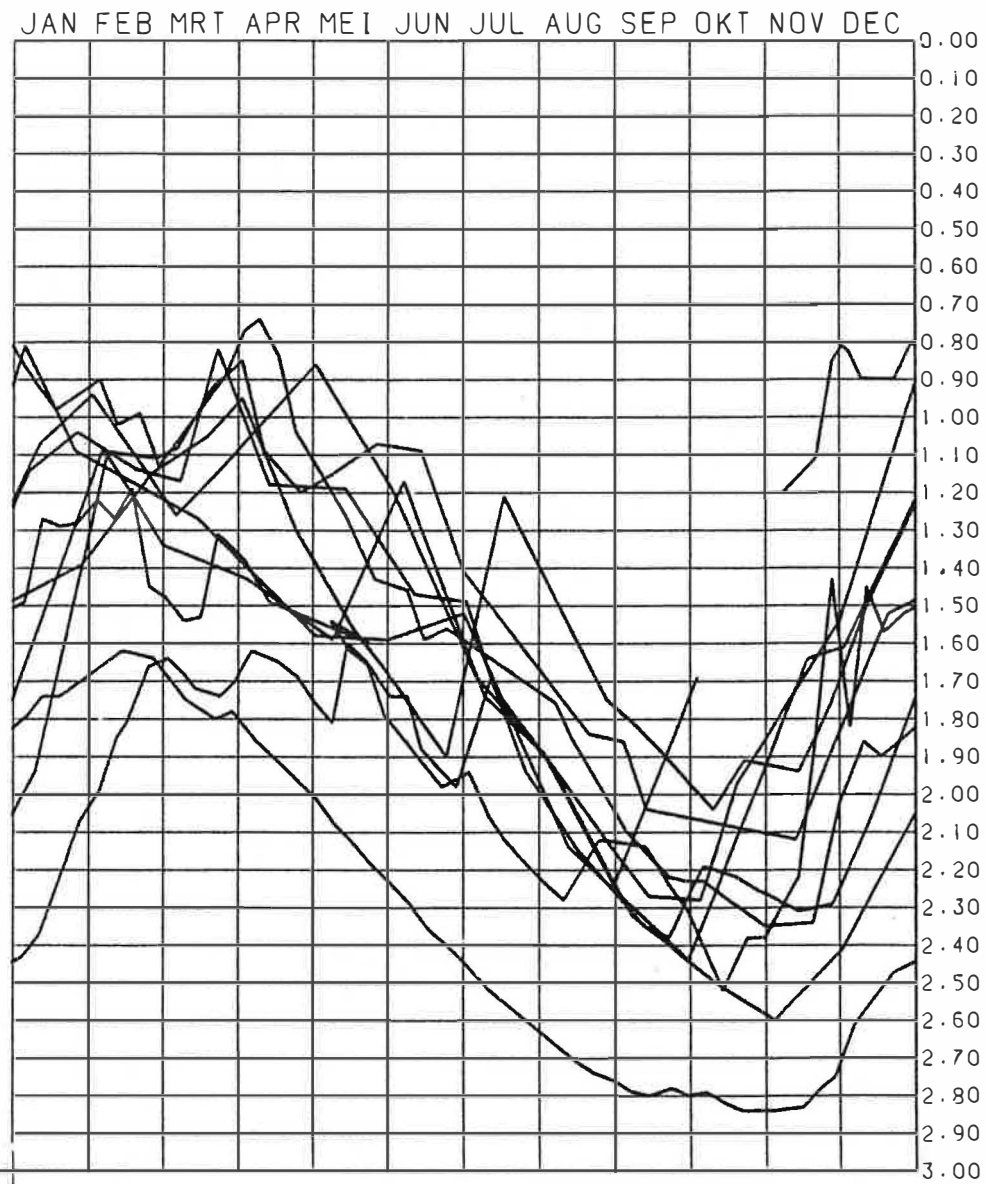


Fig. 15 - Diepte van de watertafel in piëzometer 7a

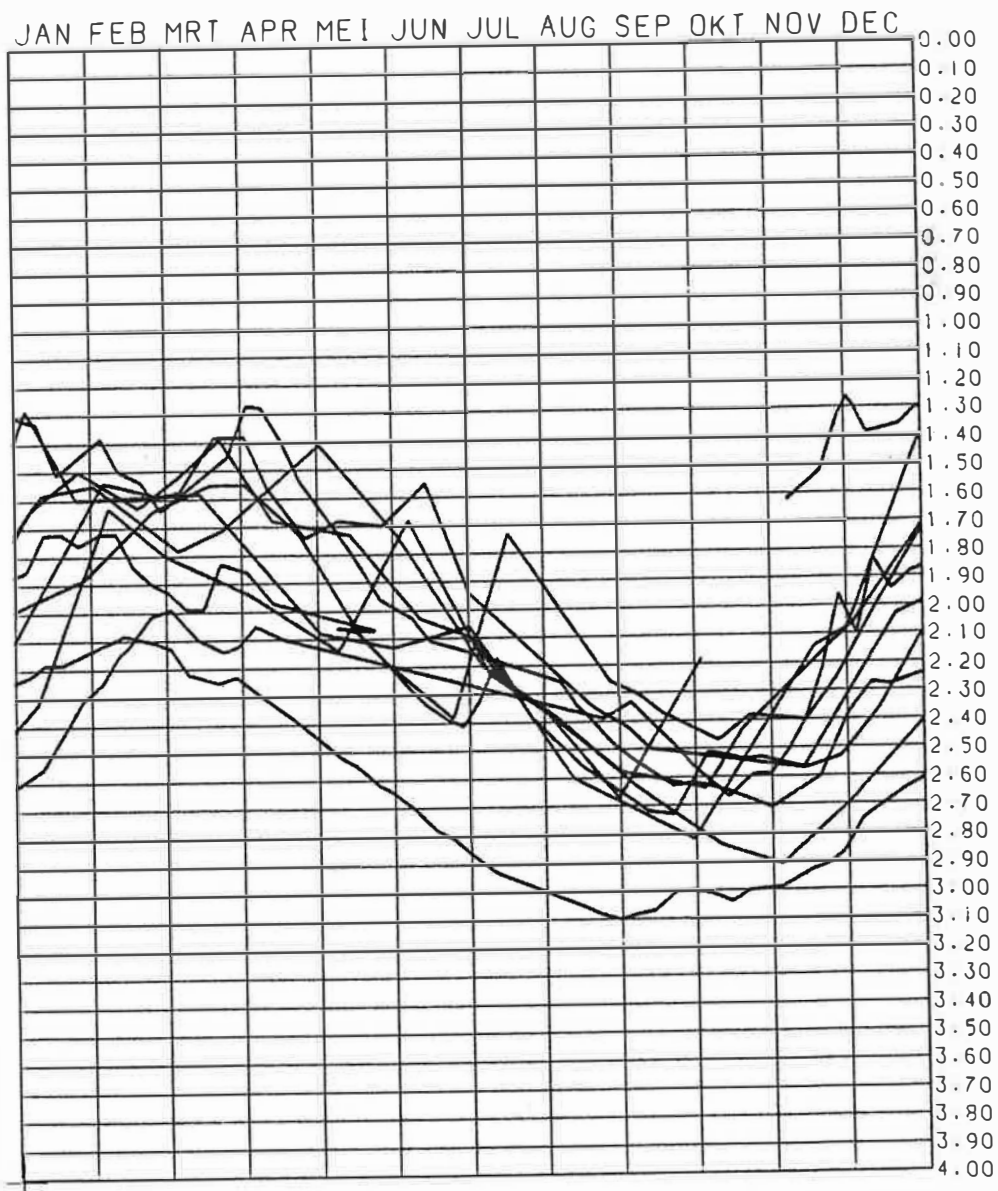


Fig. 16 - Diepte van de watertafel in piëzometer 8a

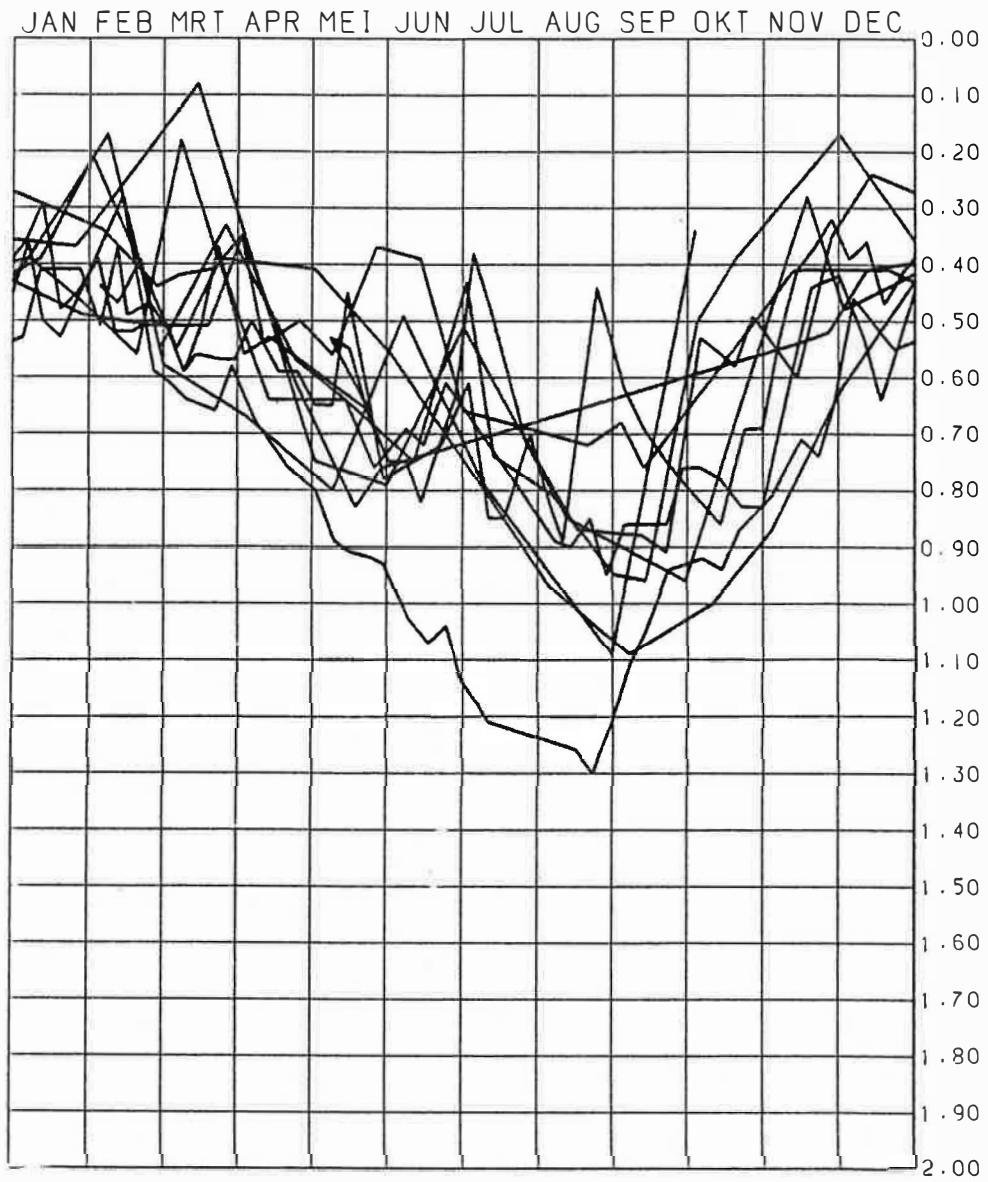


Fig. 17 - Diepte van de watertafel in piëzometer 10a

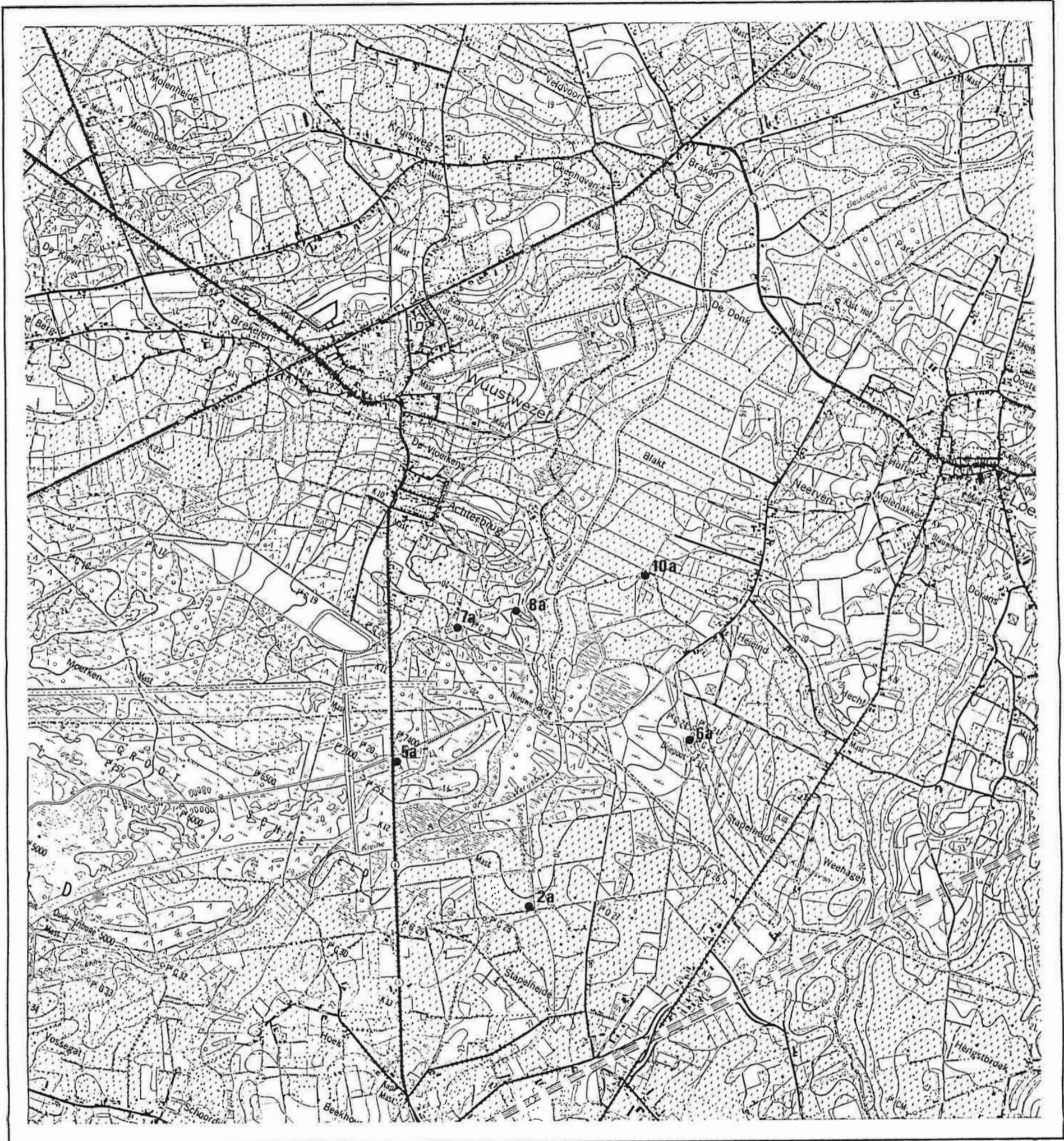


Fig. 18 - Ligging van de voorgestelde piëzometers

## 7. RESULTATEN

### 7.1. Inleiding

De geplande winning ligt in de vallei van de Weerijds waar reeds een bestaande waterwinning aanwezig is. Een deel van het hier gewonnen water zal afkomstig zijn van een verminderde afvoer naar het bekenstelsel. Ook van de nieuwe winning zal een deel van het water afkomstig zijn van een verminderde afvoer naar de waterlopen. Aangezien de hoeveelheid oppervlaktewater beperkt is, zullen de veroorzaakte verlagingen van de geplande winning afhankelijk zijn van het winningsdebiet van de reeds bestaande winning.

Daarom zijn in deze studie twee reeksen simulaties uitgevoerd. De eerste reeks berekent de te verwachten verlagingen van een winning van respectievelijk 5000, 7500 en 10000 m<sup>3</sup>/dag wanneer de bestaande winning een werkingsdebiet van 100000 m<sup>3</sup>/maand heeft (3226 m<sup>3</sup>/dag). Dit is ongeveer het gemiddelde winningsdebiet sinds het opstarten van de winning. De tweede reeks simulaties berekent de te verwachten verlagingen wanneer de betaande winning met het toegelaten maximale winningsdebiet werkt (10000 m<sup>3</sup>/dag).

Van elk van deze simulaties zijn de verlagingen in de aangepompte laag (laag 1) en van de watertafel uitgezet. De verlagingen van de watertafel op een bepaalde plaats zullen kleiner zijn dan de verlaging in de aangepompte laag.

Tenslotte zijn nog 4 simulaties uitgevoerd om de invloed van de hydraulische weerstand op de berekende verlagingen van de watertafel te onderzoeken. Bij deze simulaties heeft de Formatie van de Kempen in de vallei een weerstand van 200 dagen. Hier zijn enkel de verlagingen van de watertafel uitgezet.

Alle voorgestelde verlagingen worden gegeven met een interval



van 0.10 m.

## 7.2. Met bestaande winning van 3226 m<sup>3</sup>/dag

### 7.2.1. Toestand met winning van 5000 m<sup>3</sup>/dag

De berekende verlagingen in de aangepompte laag zijn voorgesteld op PLAAT 1. De berekende verlagingen van de watertafel zijn voorgesteld op PLAAT 2.

In de aangepompte laag treden verlagingen op tot 1.20 m. In de onmiddellijke omgeving van de pompputten kan de verlaging groter zijn.

De grootste verlaging van de watertafel komt ten westen van de Weerijs voor. Ten noordoosten van Wuustwezel komen verlagingen voor tot 20 cm. Ten zuiden van de Kleine beek in de wijk Achterbrug is de verlaging ca. 10 cm.

Ten oosten van de Weerijs komen verlagingen van ca. 20 cm voor rond De Donck.

In de beekdalen zijn de verlagingen beperkt tot minder dan 10 cm.

### 7.2.2. Toestand met winning van 7500 m<sup>3</sup>/dag

De berekende verlagingen in de aangepompte laag zijn voorgesteld op PLAAT 3. De berekende verlagingen van de watertafel zijn voorgesteld op PLAAT 4.

In de aangepompte laag treden verlagingen op tot 2 m. In de onmiddellijke omgeving van de pompputten kan de verlaging groter zijn.

De grootste verlaging van de watertafel komt ten westen van

de Weerijs voor. Ten noordoosten van Wuustwezel komen verlagingen voor tot 30 cm. Ten zuiden van de Kleine Beek in de wijk Achterbrug is de verlaging ca. 20 cm.

Ten oosten van de Weerijs komen verlagingen tot 30 cm voor rond De Donk. Ten westen van de dorpskom van Loenhout, ten noordoosten van de wijk Neerven, bedragen de verlagingen tot 30 cm.

Verder naar het zuiden komen verlagingen voor tot 10 cm.

### 7.2.3. Toestand met winning van 10000 m<sup>3</sup>/dag

De berekende verlagingen in de aangepompte laag zijn voorgesteld op PLAAT 5. De berekende verlagingen van de watertafel zijn voorgesteld op PLAAT 6.

In de aangepompte laag treden verlagingen op van meer dan 2.5 m. In de onmiddellijke omgeving van de pomputten kan de verlaging nog groter zijn.

Bij winning van 10000 m<sup>3</sup>/dag komen ten westen van de Weerijs verlagingen voor tot 50 cm. Deze verlaging kan een merkelijke daling veroorzaken van het waterpeil in de aldaar gelegen vijver.

Rond de wijk Achterbrug komen dalingen voor tot 30 cm.

Rond De Donk bedragen de verlagingen tot 40 cm. Ook ten westen van Loenhout kunnen de verlagingen tot 40 cm bedragen. In de grote beekdalen blijven de verlagingen beperkt.

### 7.3. Met bestaande winning van 10000 m<sup>3</sup>/dag

#### 7.3.1. Toestand met winning van 5000 m<sup>3</sup>/dag

De berekende verlagingen in de aangepompte laag zijn voorgesteld op PLAAT 7. De berekende verlagingen van de watertafel zijn voorgesteld op PLAAT 8.

In de aangepompte laag treden verlagingen op tot 1.20 m. In de onmiddellijke omgeving van de pompputten kan de verlaging groter zijn.

De verlagingen zijn slechts weinig meer dan wanneer de bestaande winning slechts 3226 m<sup>3</sup>/dag pompt. Ten westen van de wijk Heieind komen thans wel verlagingen van ca. 10 cm voor.

#### 7.3.2. Toestand met winning van 7500 m<sup>3</sup>/dag

De berekende verlagingen in de aangepompte laag zijn voorgesteld op PLAAT 9. De berekende verlagingen van de watertafel zijn voorgesteld op PLAAT 10.

In de aangepompte laag treden verlagingen op tot 2 m. In de onmiddellijke omgeving van de pompputten kan de verlaging groter zijn.

Ten westen van de Weerijs zijn de verlagingen van de watertafel iets groter vergeleken met de toestand wanneer de bestaande winning 3226 m<sup>3</sup>/dag pompt. Ten oosten van Wuustwezel bedraagt de verlaging tot 40 cm in plaats van 30 cm. De overige verlagingen zijn ongeveer gelijk.

#### 7.3.3. Toestand met winning van 10000 m<sup>3</sup>/dag

De berekende verlagingen in de aangepompte laag zijn voorgesteld op PLAAT 11. De berekende verlagingen van de watertafel

zijn voorgesteld op PLAAT 12.

In de aangepompte laag treden verlagingen op van meer dan 2.5 m. In de onmiddellijke omgeving van de pompputten kan de verlaging nog groter zijn.

In deze situatie treden grotere verlagingen op in het zuiden. Ten westen van de wijk Heieind komen verlagingen van meer dan 20 cm voor. Verlagingen van 10 cm komen voor tot aan Stapelheide.

#### 7.4. Invloed van de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen op de resultaten

In het mathematisch model is voor de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen in de vallei van de Weerijds 1000 dagen ingevoerd. Deze waarde is een schatting en kan niet uit bestaande pompproeven afgeleid worden. Aangezien in de vallei een opwaartse stroming optreedt kan de weerstand niet bepaald worden met een invers model. Het feit dat de stijghoogteverschillen tussen de Formatie van Merksplas en de watertafel in het centrum van de vallei niet gering zijn wijst erop dat de hydraulische weerstand niet zeer klein is (zoniet zouden er slechts kleine stijghoogteverschillen waargenomen worden).

Om de invloed van deze hydraulische weerstand op de verlagingen van de watertafel in te schatten werden simulaties uitgevoerd waarbij in de vallei een weerstand van 200 dagen is ingevoerd. De bestaande winning werkt met een debiet van 3226 m<sup>3</sup>/dag (100000 m<sup>3</sup>/maand).

Op PLAAT 13 staan de verlagingen voor een winningsdebiet van 5000 m<sup>3</sup>/dag, op PLAAT 14 voor 7500 m<sup>3</sup>/dag en op PLAAT 15 voor 10000 m<sup>3</sup>/dag.

Uit de drie simulaties blijkt dat bij kleinere weerstand van de Formatie van de Kempen de verlagingen van de watertafel in de onmiddellijke omgeving van de winningsputten aanmerkelijk hoger zijn, maar dat de verlagingen op grotere afstand kleiner worden. Er wordt meer water uit de direkte omgeving opgevangen. De grootste verlagingen komen niet meer ten westen van de Weerijs voor, maar wel in het gebied rondom de winningsputten. De maximale verlagingen bedragen nu :

5000 m<sup>3</sup>/dag : ca. 40 cm  
7500 m<sup>3</sup>/dag : ca. 70 cm  
10000 m<sup>3</sup>/dag : ca. 100 cm.

De verlagingen in het zuiden blijven echter beperkt tot iets meer dan 10 cm.

Deze simulaties tonen het belang aan de weerstand van de Formatie van de Kempen in de valleien beter te kennen. Het bepalen van deze weerstand kan slechts door middel van een pompproef gebeuren waarbij de verlagingen op verschillende diepten in de Formatie van de Kempen en van de watertafel worden gevolgd.

#### 7.5. Rol van de alluviale afzettingen in de valleien

In de grootste valleien (Weerijs, Weehagense beek en Kleine Beek) komen alluviale afzettingen voor. Hiermee wordt in het model geen rekening gehouden aangezien geen preciese gegevens bekend zijn over het voorkomen, de doorlatendheid en de dikte van de afzettingen.

De stand van de watertafel die het model berekent is eigenlijk de stijghoogte van de doorlatende laag onder het alluvium. Het alluvium kan lokaal voor een hogere stand van de watertafel zorgen. Dit is afhankelijk van de hydraulische weerstand van het alluvium. Waar er alluvium voorkomt zal de watertafel zich in deze afzettingen bevinden en vindt er

enkel verticale stroming doorheen het alluvium plaats (er gebeurt wel een horizontale stroming onder het alluvium). Hierdoor zullen de berekende verlagingen ook geldig zijn binnen deze zone.

#### 7.6. Verlagingen in de pompputten

Met het stromingsmodel kunnen de verlagingen in de pompputten niet juist bepaald worden. Hiervoor werden met het model SIPURE (LEBBE, 1988) de verlagingen in de aangepompte laag in een pompput met straal 0.1 m berekend. Bij winning van 5000 m<sup>3</sup>/d uit 4 pompputten (= 1250 m<sup>3</sup>/d per put) ontstaat in een pompput een verlaging van 1.96 m, bij 7500 m<sup>3</sup>/d van 2,94 m en bij 10000 m<sup>3</sup>/d van 3.92 m. Bij deze berekening wordt aangenomen dat de putten geen putverlies hebben. Ze geven enkel de verlaging ten gevolge van de pompput zelf. De overige 3 putten van de winning (en verder gelegen winningsputten) zullen voor een (kleinere) supplementaire verlaging zorgen.

## 8. BESLUIT

Er werd een mathematisch model opgesteld waarmee de invloed van een geplande winning kan worden nagegaan. De berekende verlagingen van de watertafel worden mee bepaald door :

- het winningsdebiet van de bestaande winning
- de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen in de vallei van de Weerijs.

Laatsgenoemde faktor is niet uit bestaande gegevens af te leiden en kan slechts geschat worden.

Er werden 2 reeksen simulaties uitgevoerd voor winningsdebieten van 5000, 7500 en 10000 m<sup>3</sup>/dag van de geplande winning en een gemiddeld en maximaal winningsdebiet van de bestaande winning. De grootste verlagingen komen voor ten westen van de Weerijs. Het waterpeil in de daar gelegen vijver kan merkelijk dalen. De verlagingen naar het zuiden toe in het gebied rond de Nieuwe Brug zijn eerder beperkt. Rond de beken zelf zullen de verlagingen steeds kleiner zijn.

Bij een kleinere weerstand van de Formatie van de Kempen zullen in de omgeving van de geplande winning merkelijk grotere verlagingen optreden. De verlagingen in zuidelijke richting zullen daarentegen kleiner zijn.

Aan de hand van de bekomen resultaten kunnen volgende twee aanbevelingen geformuleerd worden :

1. Om de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen in de vallei met zekerheid te kennen, dient een ondiepe pompproef te worden uitgevoerd. Tot op heden is er in de Noorderkempen geen enkele pompproef in een vallei uitgevoerd waaruit de weerstand kon bepaald worden. Het volstaat hierbij een pompput onder de Formatie van de Kempen

in de Formatie van Merksplas (30 à 40 m diep) aan te brengen en de verlagingen te meten op verschillende niveaus in en boven de Formatie van de Kempen.

2. Het verdient aanbeveling om de stijghoogten rond de geplande waterwinning regelmatig te volgen. Om de preciese invloed van de winning te kunnen bepalen is het van belang de stijghoogtemetingen uit te voeren voor het opstarten van de winning. Deze zouden best minstens een volledig hydrologisch jaar voor de ingebruikname starten. Hiervoor kunnen ondiepe filters in het freatisch reservoir volstaan.



GERAADPLEEGDE WERKEN

BELGISCHE GEOLOGISCHE DIENST. Archieven van de Belgische Geologische Dienst. Brussel.

DE BREUCK, W., LEBBE, L., MAHAUDEN, M. & VAN CAMP, M. (1990). Hydrogeologische studie voor een geplande grondwaterwinning van de PIDPA te Rijkevorsel-Merksplas. Gent : Rijksuniversiteit - Leerstoel voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie. Rapport TGO 88042 in opdracht van PIDPA.

LEBBE, L., VAN CAMP, M., RAMAN, B. & DE BREUCK, W. (1985). Hydrogeologisch mathematisch model van het Nederlands-Belgisch grensgebied in de omgeving van de Kalmthoutse Heide. 83 p., 23 platen, 7 tab. Gent : Rijksuniversiteit - Leerstoel voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie. Rapport TGO 81/08b in opdracht van de Vlaamse Executieve.

STUURGROEP GRONDWATERBELEID IN DE PROVINCIE ANTWERPEN (1978). Eindverslagen Kommissies. 8 delen. Brussel (onder voorzitterschap van het Ministerie van Volksgezondheid en van het Gezin en het Staatssekretariaat voor Streekeconomie).



PLAAT 1: BW=3226 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 2: BW=3226 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 3: BW=3226 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 4: BW=3226 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 5: BW=3226 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 6: BW=3226 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 7: BW=10000 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1

LAAG 1-LAAG 1	ISOLIJNEN
SCHAAL 1/25000.	LIJNEN OM DE 0.10 METER





PLAAT 8: BW=10000 NW=5000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 9: BW=10000 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



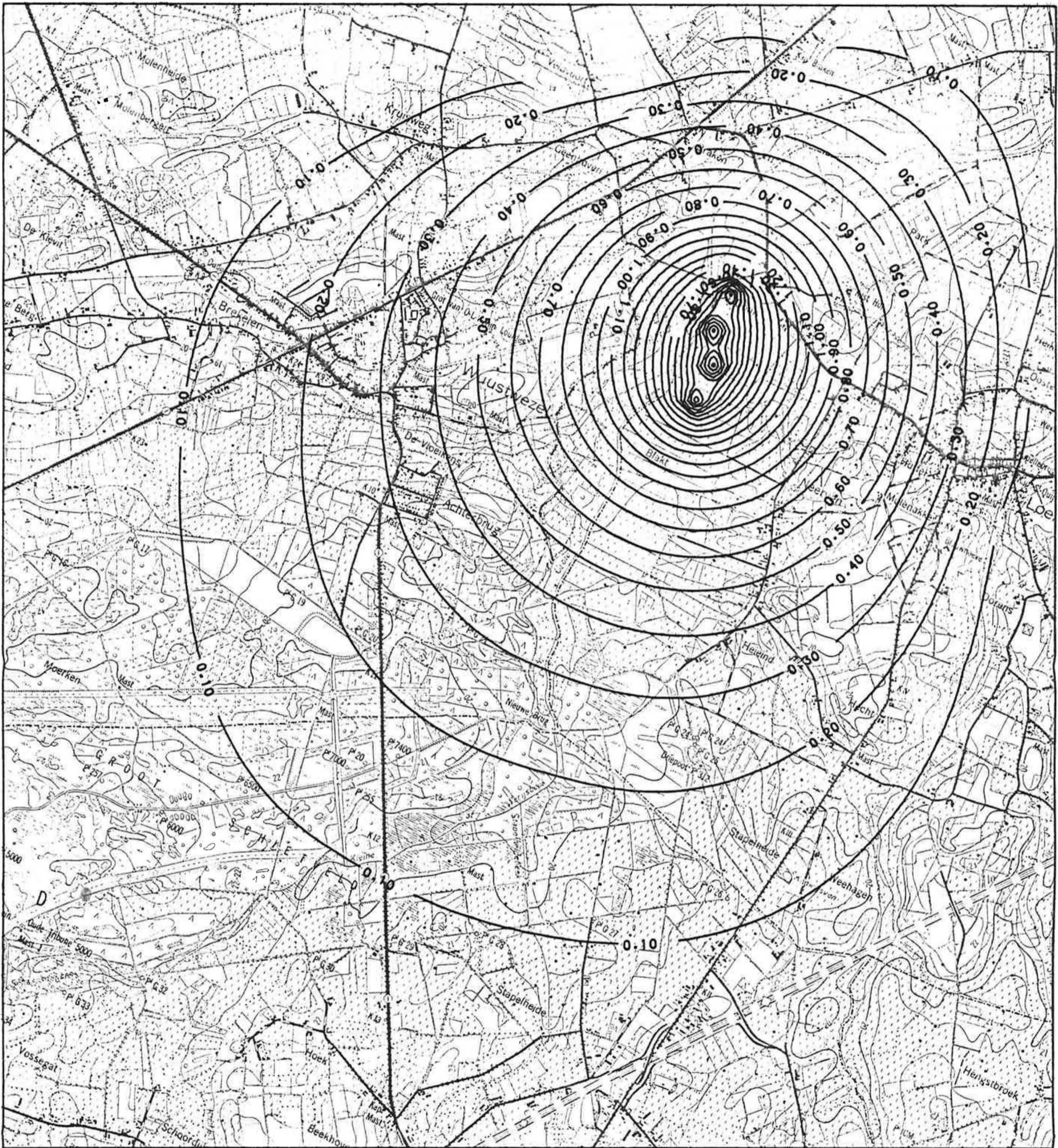
PLAAT 10: BW=10000 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 11: BW=10000 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING IN LAAG 1

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 12: BW=10000 NW=10000 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER





PLAAT 14: BW=3226 NW=7500 M3/DAG: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER



PLAAT 15:BW=3226 NW=10000 M3/DAG:VERLAGING VAN DE WATERTAFEL

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

SCHAAL 1/25000.

LIJNEN OM DE 0.10 METER