



LABORATORIUM VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

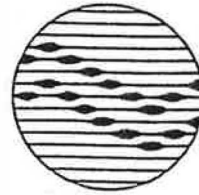
HYDROGEOLOGISCHE STUDIE VOOR DE GEPLANDE UITBREIDING
VAN DE WATERWINNING VAN DE PIDPA TE BRECHT

T6089/08 (1)



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(1)

Datum : 23 november 1989

INHOUD

Lijst van figuren	III
Lijst van platen	IV
1. Inleiding	1
2. Boorgatmetingen	3
3. Interpretatie van de pompproef	5
3.1 Situering en hydrogeologische gesteldheid	5
3.2 Uitvoering van de pompproef	5
3.3 Interpretatie van pompproef door middel van invers model	6
4. Ligging en begrenzing van het modelgebied	10
5. Aangewend mathematisch model	11
6. Schematisering van het grondwaterreservoir	15
6.1 Lagenopbouw	15
6.2 Laagdikten	16
6.3 Modelnetwerk	17
7. Ingevoerde gegevens	18
7.1 Hydraulische parameters:	18
7.1.1 Horizontale doorlatendheden	18
7.1.2 Vertikale doorlatendheden	19
7.2 Grensvoorwaarden	19
7.3 Infiltratie	20
7.4 Pompingen	21
7.5 Waterlopen	22
7.6 Referentievlak	24
7.7 Bergingscoefficienten	24
8. Ijking van het model	
8.1 Bepaling van de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen	25
8.2 Bepaling van de bergingscoefficient nabij de watertafel	26
9. Resultaten	28
9.1 Inleiding	28
9.2 Toestand zonder winning	29
9.2.1 Permanente toestand	29

II

9.2.2 Seizoenale fluctuaties	30
9.3 Toestand zonder uitbreiding van de winning (6 putten)	30
9.3.1 Toestand met winning van 5000 m ³ /dag	30
9.3.2 Toestand met winning van 7500 m ³ /dag	30
9.3.3 Toestand met winning van 10000 m ³ /dag	30
9.4 Toestand met uitbreiding van de winning (8 putten, 15000 m ³ /dag)	31
9.4.1 permanente toestand	31
9.4.2 seizoenale fluctuaties	32
9.5 Toestand met alternatieve winningsconfiguratie (15000 m ³ /dag)	33
10. Besluit	34
Geraadpleegde werken	36

LIJST VAN FIGUREN

- Fig 1: Ligging van de peilputten waarin een boorgatmeting is uitgevoerd
- Fig 2: Boorgatmeting van put 2b
- Fig 3: Boorgatmeting van put 5b
- Fig 4: Boorgatmeting van put 7b
- Fig 5: Boorgatmeting van put 8b
- Fig 6: Boorgatmeting van put 10b
- Fig 7: Boorgatmeting van put B12
- Fig 8: Boorgatmeting van put B21
- Fig 9: Hydrogeologische schematisering bij de pompproef
- Fig 10: Ligging van de pompput en peilputten
- Fig 11: Berekende en waargenomen verlagingen
- Fig 12: Ligging van het modelgebied
- Fig 13: Eindig-verschil netwerk
- Fig 14: 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 15: hydrogeologische schematisering van het grondwaterreservoir in het model
- Fig 16: Ingevoerde horizontale doorlatendheden
- Fig 17: Ingevoerde hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen
- Fig 18: Ligging van de pompputten
- Fig 19: Ingevoerde waterlopen
- Fig 20: Schematisering van de waterlopen in het model
- Fig 21: Diepte van het referentievlak

LIJST VAN DE PLATEN

- PLAAT 1: TOESTAND ZONDER WINNING
- PLAAT 2: TOESTAND ZONDER WINNING
- PLAAT 3: TOESTAND ZONDER WINNING
- PLAAT 4: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ 5000 M3/DAG
- PLAAT 5: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ 7500 M3/D
- PLAAT 6: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ 10000 M3/D
- PLAAT 7: TOESTAND MET WINNING VAN 15000 M3/D (GEEN STUWEN)
- PLAAT 8: TOESTAND MET WINNING VAN 15000 M3/D (GEEN STUWEN)
- PLAAT 9: TOESTAND MET WINNING VAN 15000 M3/D (GEEN STUWEN)
- PLAAT 10: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ 15000 M3/D
- PLAAT 11: BIJKOMENDE VERLAGING T.G.V. TOENAME VAN 10000 NAAR 15000 M3/D
- PLAAT 12: VERHOGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. AANBRENGEN VAN 3 STUWEN
- PLAAT 13: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. DE 3 N-PUTTEN BIJ 15000 M3/D
- PLAAT 14: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. DE 5 S-PUTTEN BIJ 15000 M3/D
- PLAAT 15: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL IN JANUARI (GEEN STUWEN)
- PLAAT 16: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL IN APRIL (GEEN STUWEN)
- PLAAT 17: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL IN JULI (GEEN STUWEN)
- PLAAT 18: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL IN OKTOBER (GEEN STUWEN)
- PLAAT 19: VERHOGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. 3 STUWEN IN JANUARI
- PLAAT 20: VERHOGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. 3 STUWEN IN APRIL
- PLAAT 21: VERHOGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. 3 STUWEN IN JULI
- PLAAT 22: VERHOGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. 3 STUWEN IN OKTOBER
- PLAAT 23: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ ALTERNATIEVE WINNINGSKONFIGURATIE

1. INLEIDING

Op 30 mei 1989 werd een overeenkomst gesloten voor het uitvoeren van een hydrogeologische studie van de geplande uitbreiding van de grondwaterwinning te Brecht, tussen enerzijds de Provinciale en Intercommunale Drinkwatermaatschappij der Provincie Antwerpen (PIDPA), en het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (LTGH) van de Rijksuniversiteit Gent.

Hoofddoel van het onderzoek was de invloed van de geplande uitbreiding van de PIDPA-grondwaterwinning te Brecht op de grondwaterstijghoogten te bepalen.

De studie omvatte volgende fasen :

- Het verzamelen van de beschikbare gegevens betreffende litologie, grond- en oppervlaktewaterpeilen.
- Het interpreteren van de resultaten van de terreinwaarnemingen gedaan tijdens een vroeger uitgevoerde pompproef (oktober-november 1974).
- Het ijken van een matematisch model aan de hand van de beschikbare stijghoogtewaarnemingen.
- Het nagaan van de invloed van een geplande uitbreiding van de bestaande grondwaterwinning. Hierbij moesten volgende simulaties worden uitgevoerd :
 1. een winning van 15000 m³/dag onttrokken aan 8 putten (6 bestaande en 2 nieuwe), permanente toestand, geen stuwten.
 2. idem, met plaatsing van 3 regelbare stuwten op de Weerij die een zomerdebiet van maximum 60 cm onder het maaiveld en een winterdebiet van maximum 30 cm onder het maaiveld garanderen.
 3. idem als 1, niet-permanente toestand
 4. idem als 2, niet-permanente toestand.

Op 13 juli 1989 was PIDPA bereid supplementaire boorgatmetin-

gen te laten uitvoeren in een aantal reeds bestaande peilputten. Er zou enkel de natuurlijke gammastraling worden opgemeten.

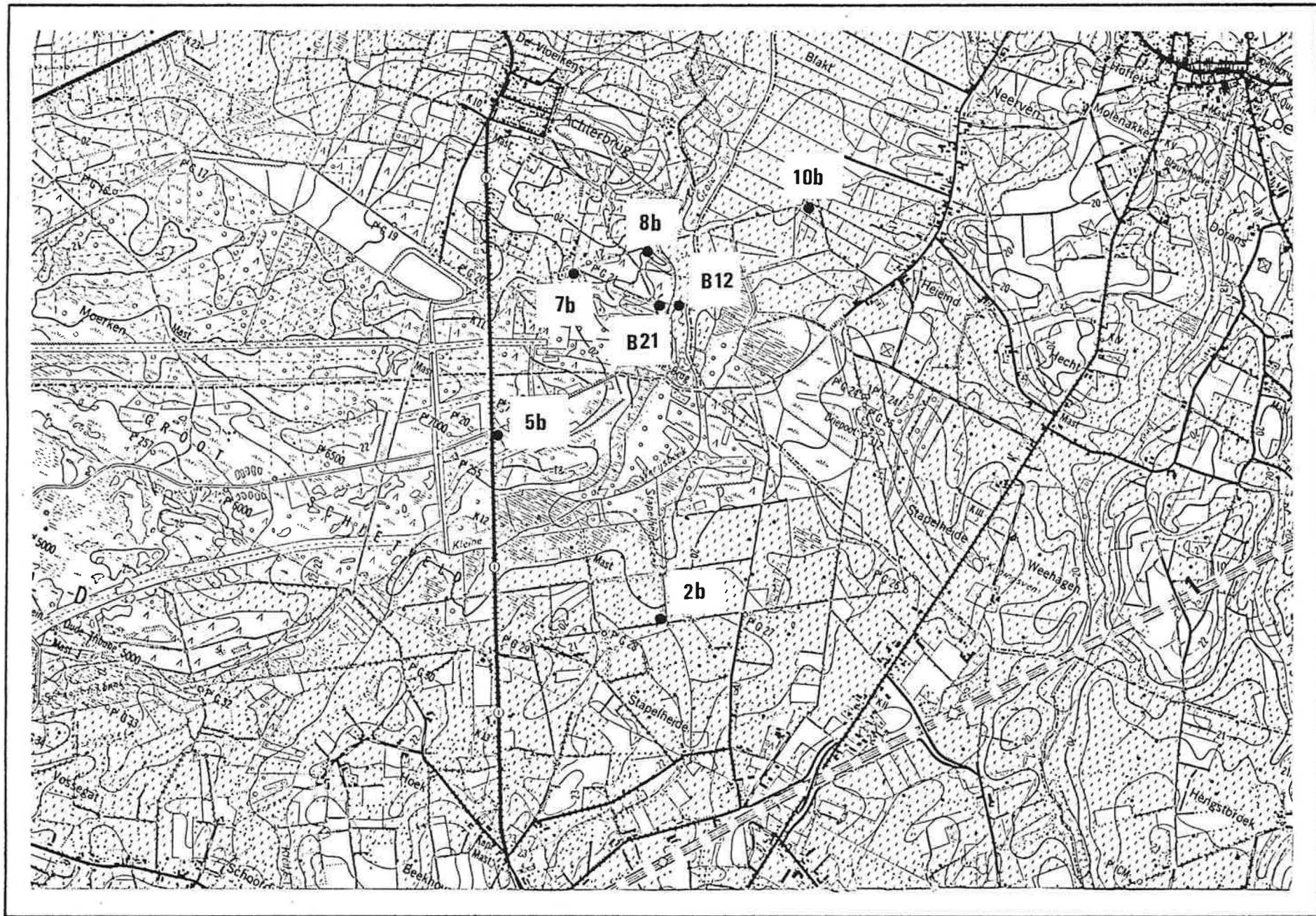


Fig. 1 - Ligging van de peilputten waarin een boorgatmeting is uitgevoerd

PIDPA

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
LABORATORIUM VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE
EN HYDROGEOLOGIE
Prof. Dr. W. De Breuck

BOORGATMETING P2b

PROJECT NR: TGO89008
BORING NR: P2b
DATUM: 30/08/89
GEMEENTE: Brecht

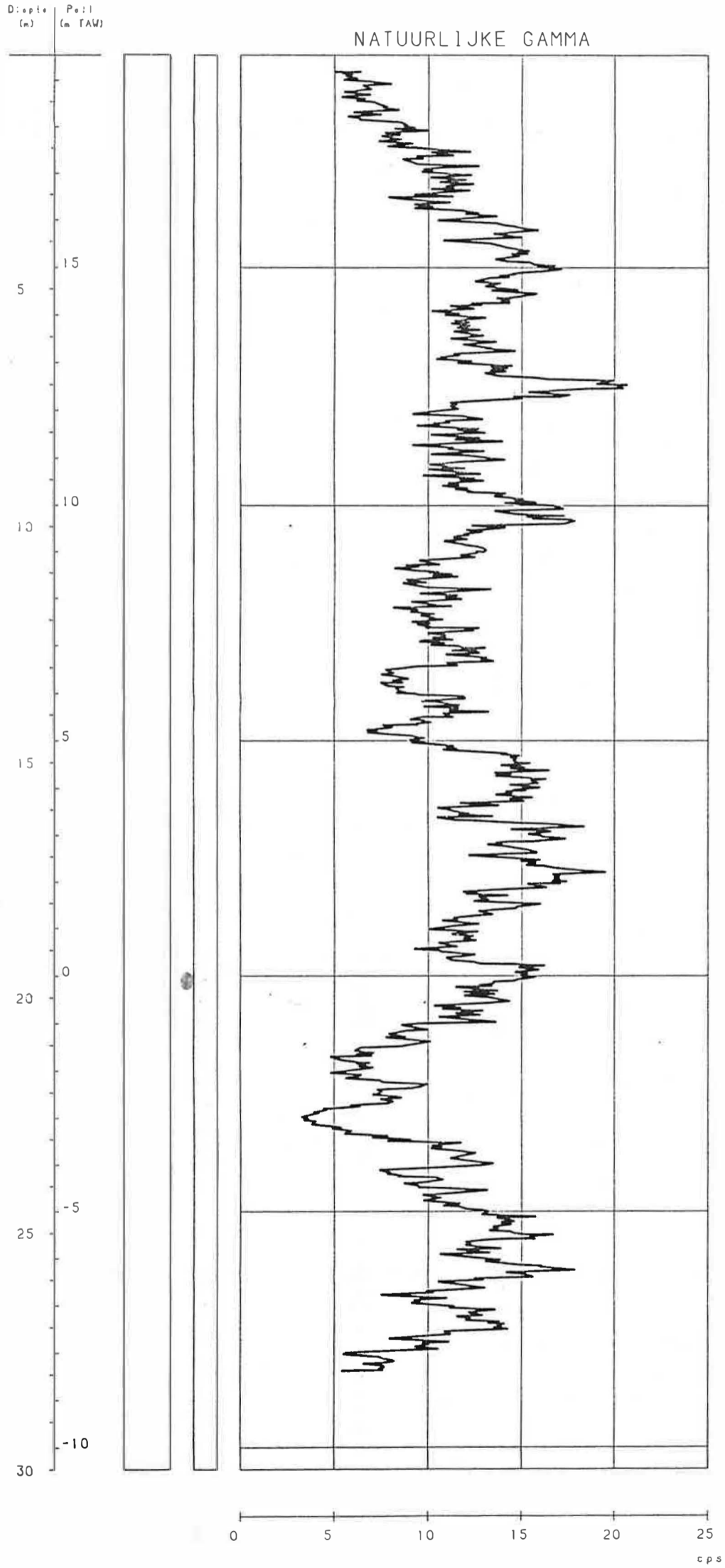


Fig. 2 - Boorgatmeting van put 2b

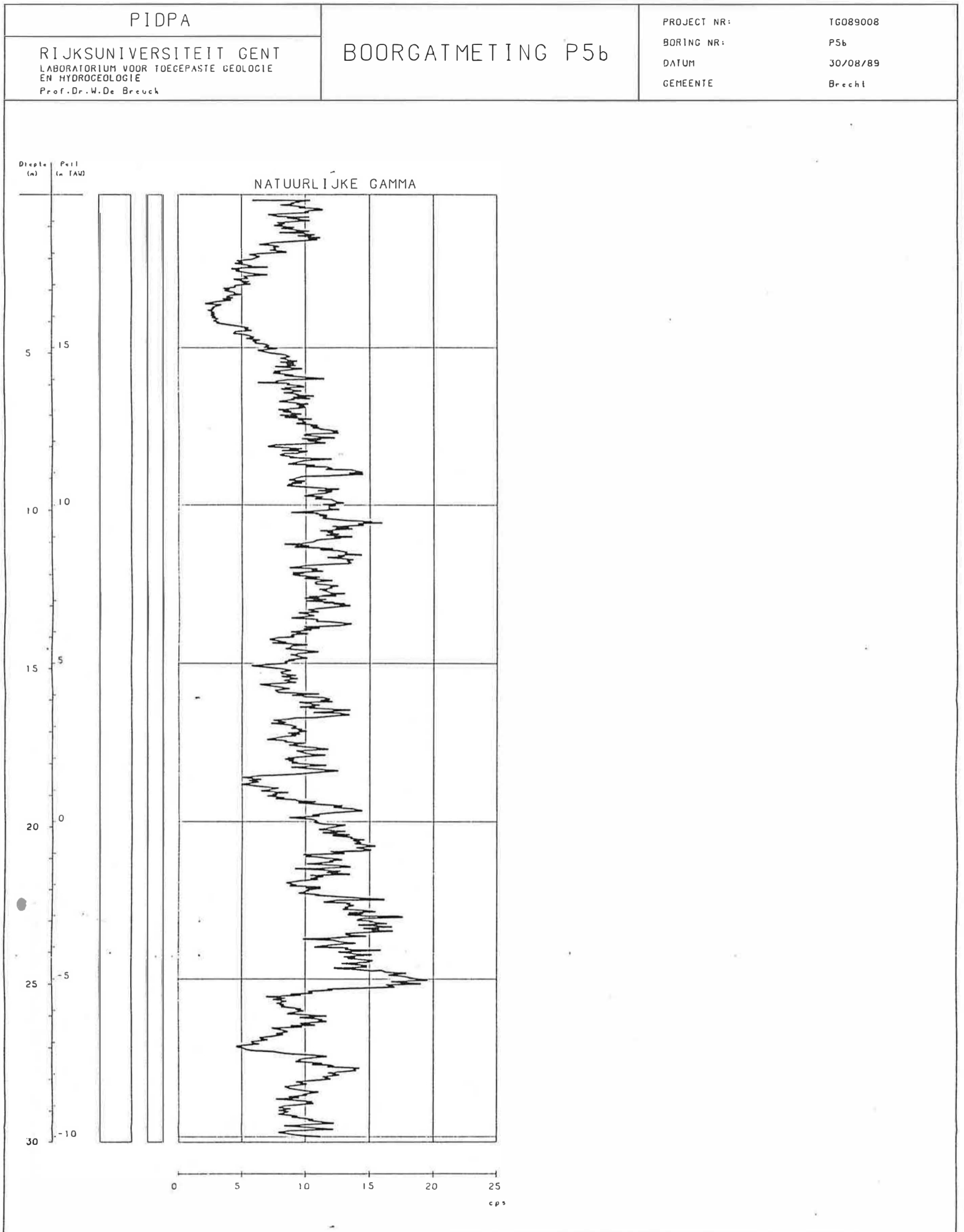


Fig. 3 - Boorgatmeting van put 5b

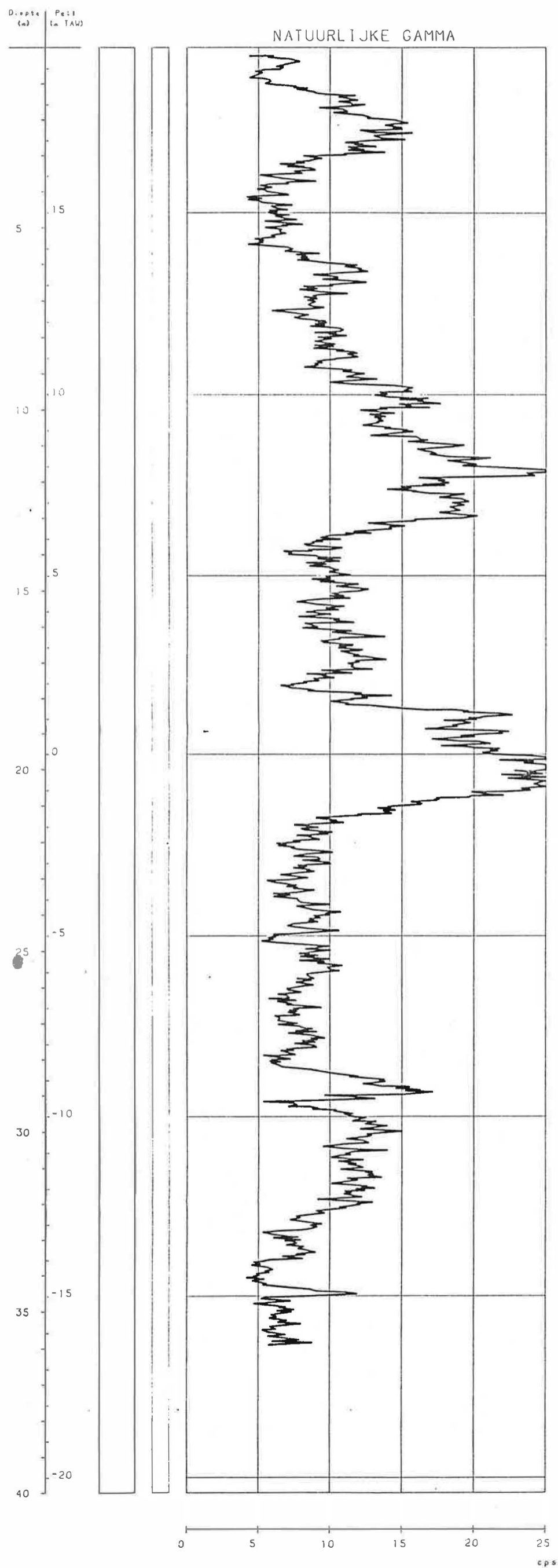


Fig. 4 - Boorgatmeting van put 7b

PIDPA

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
LABORATORIUM VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE
EN HYDROGEOLOGIE
Prof. Dr. W. De Breuck

BOORGATMETING P8b

PROJECT NR: TG089008
BORING NR: P8b
DATUM: 29/08/89
GEMEENTE: Brecht

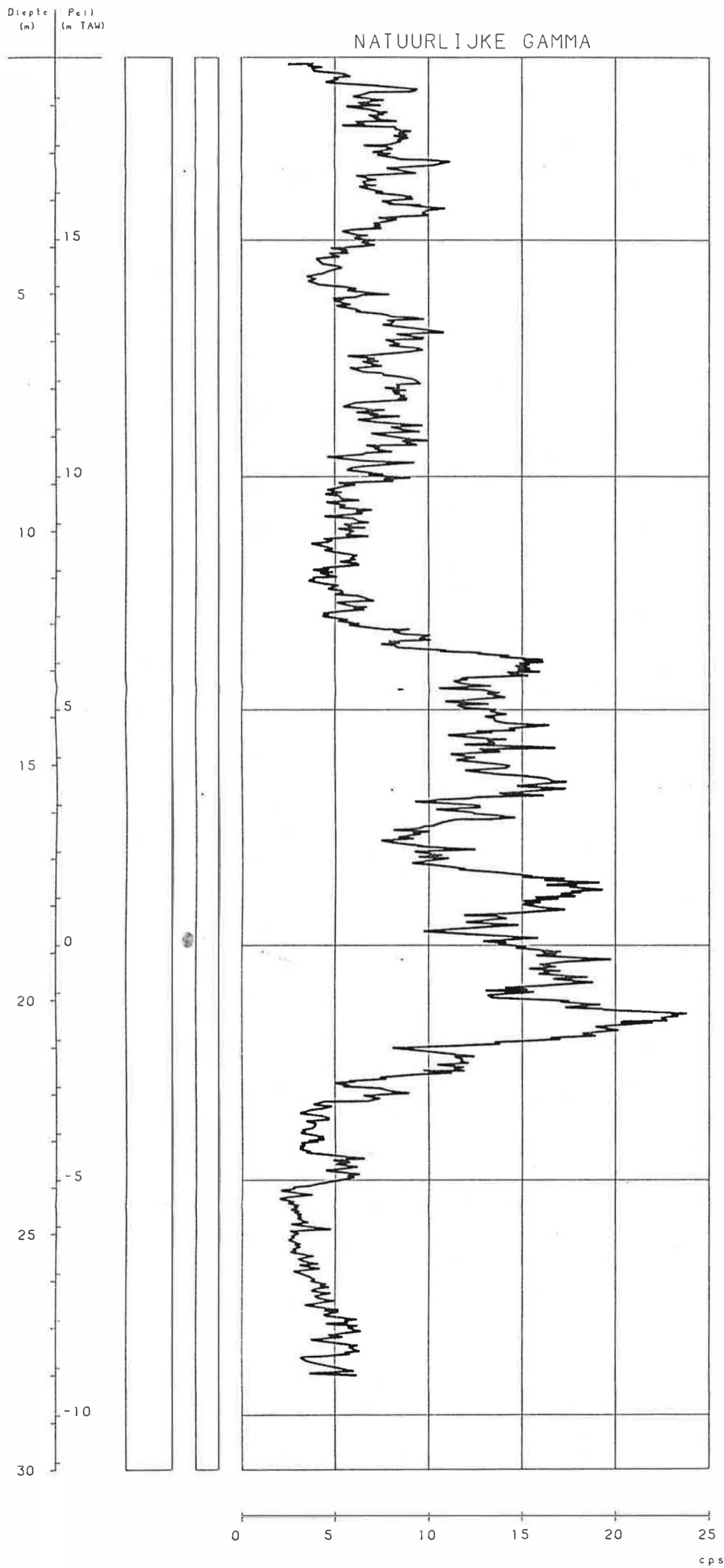


Fig. 5 - Boorgatmeting van put 8b

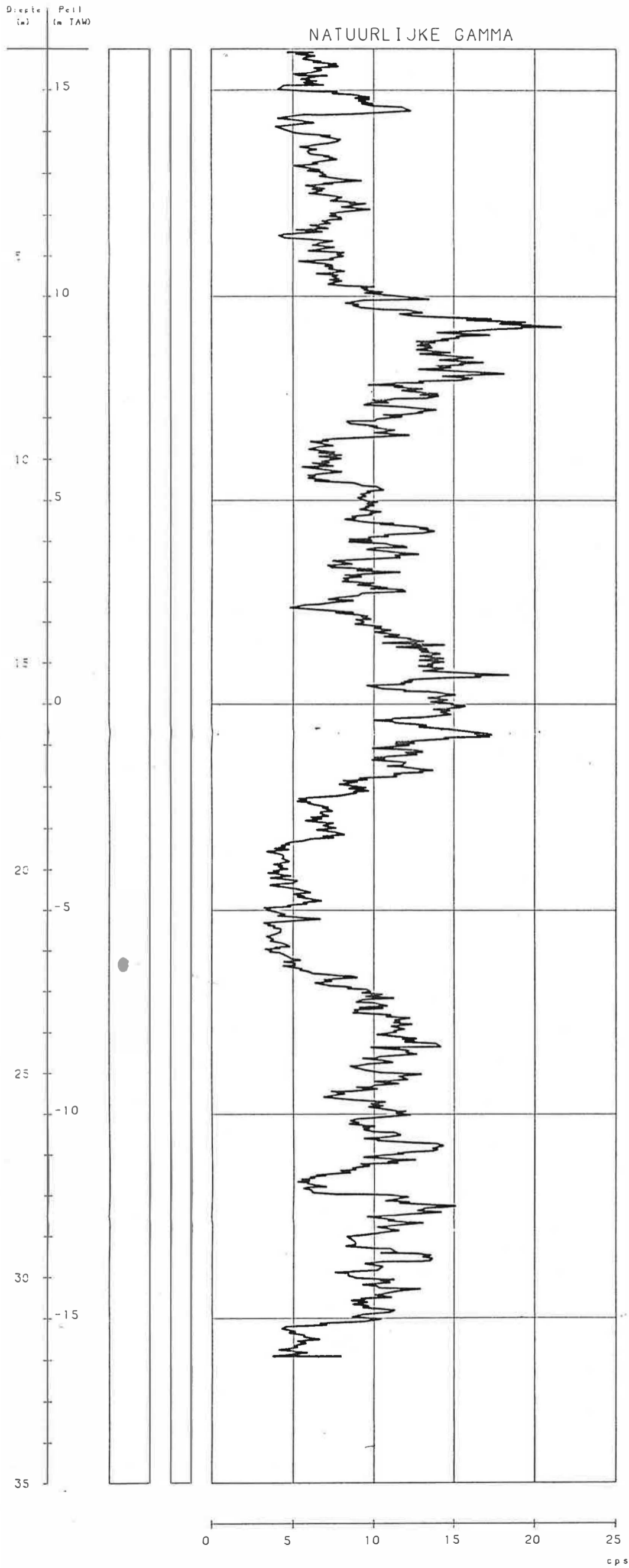


Fig. 6 - Boorgatmeting van put 10b

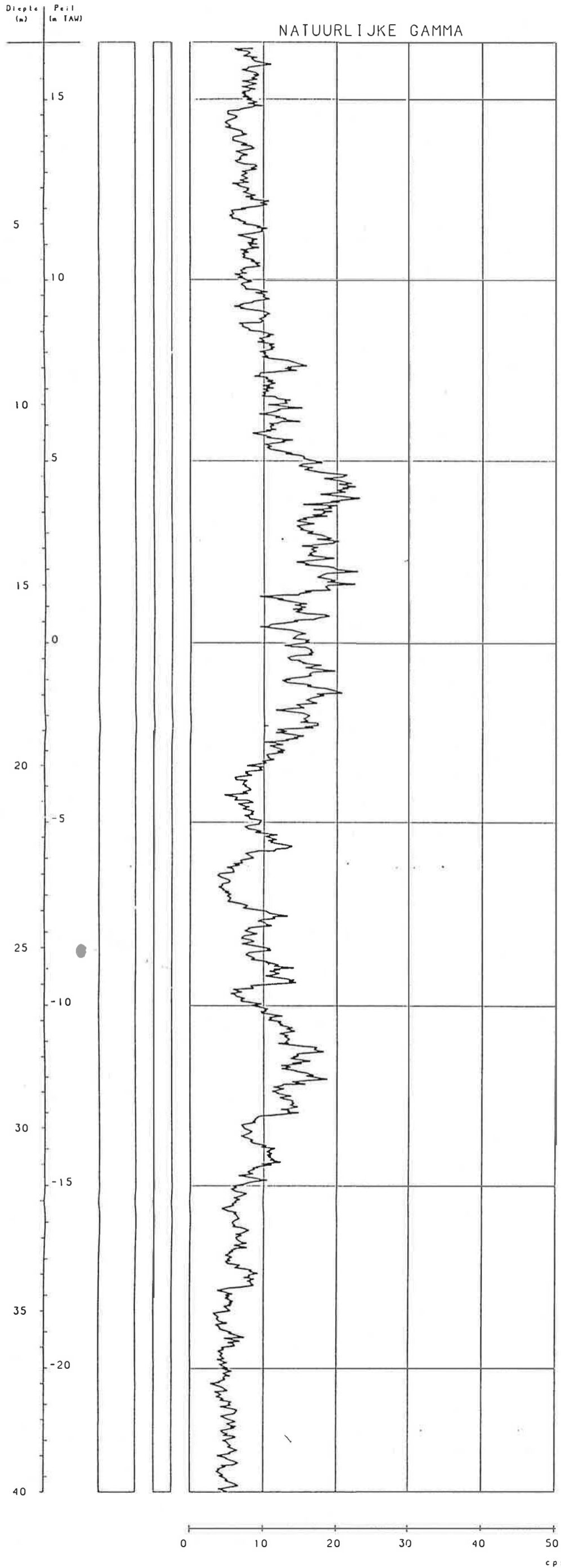


Fig. 7 - Boorgatmeting van put B12

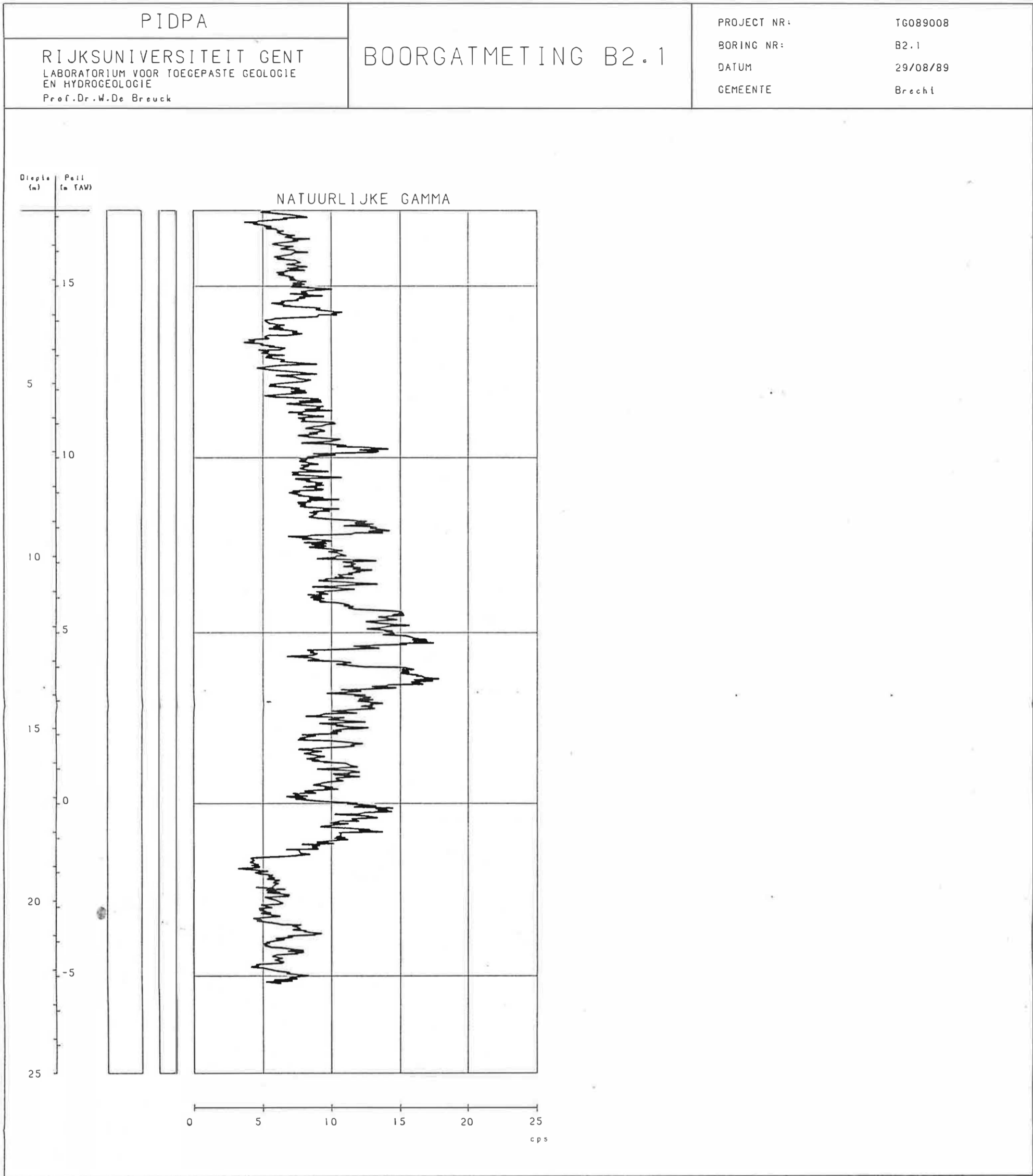


Fig. 8 - Boorgatmeting van put B21

2. BOORGATMETINGEN

Door het LTGH werden in zeven peilputten in het studiegebied geofysische boorgatmetingen uitgevoerd. Telkens werd de natuurlijke gammastraling geregistreerd. De metingen werden uitgevoerd in peilputten 2b, 5b, 7b, 8b, 10b, B12 en B21. De ligging van deze peilputten is aangegeven op fig. 1. De resultaten van de boorgatmetingen zijn voorgesteld op fig. 2 tot en met 8.

De metingen hadden tot doel de aanwezigheid van kleilagen in de Formatie van de Kempen vast te stellen.

In boring 2b (fig. 2) worden de afzettingen vanaf ca. 2 m meer kleihoudend. Rond 7 m en tussen 9.5 en 10 m zijn twee dunne kleilagen aanwezig. Tussen 13 en 15 m zijn de lagen meer zandhoudend. Tussen 15 en 20.5 m komt wat meer klei voor. Tussen 21 en 23 m is een zeer zandhoudende laag aanwezig.

In boring 5b (fig. 3) zijn de bovenste 2 m wat kleihoudend. Daaronder komt een meer zandhoudende laag voor. Vanaf ca. 5 tot 24 m komen geen duidelijke kleilagen voor. Rond 25 m bevindt zich wel een kleilaagje. Daaronder komt meer zand voor (misschien Formatie van Merksplas).

In boring 7b (fig. 4) komen duidelijk twee sterk kleihoudende zones voor : een eerste tussen 11 en 13 m en een tweede tussen 18 en 21 m. Hieronder worden meer zandhoudende afzettingen aangetroffen. Rond 29 m komt een dun kleilaagje voor.

Boring 8b (fig. 5) wordt gekenmerkt door sterk zandhoudende afzettingen tot 12 m diepte. Daaronder zijn ze meer kleihoudend. Tussen 20 en 21 m komt een kleilaagje voor. Vanaf 22 m komt zand voor (mogelijk Formatie van Merksplas).

Boring 10b (fig. 6) bevat 3 meer kleihoudende zones : tussen 7 en 8 m diepte, tussen 15 en 17 m en vanaf 23 m tot 31 m.

De logging in peilput B12 (fig. 7) is 67 m diep. De bovenste 11 m zijn overwegend zandhoudend. Tussen 12 en 19 m komen meer kleihoudende lagen voor. Hieronder zijn enkele meer zandhoudende interkalaties. Tussen 33 en 34 m is het facies meer kleihoudend. De Formatie van Merksplas wordt bereikt op ca. 34,5 m diepte (lage gammastraling). Vanaf 47.8 m neemt de gammastraling toe. Dit komt overeen met de top van de Formatie van Lillo. Vanaf 65 m neemt de gammastraling nog meer toe.

De boorgatmeting van peilbuis B21 (fig. 8) toont enkele kleihoudende lenzen tussen 11 en 18 m. Vanaf 19 m zijn de afzettingen zandiger.

De gammametingen tonen dat er duidelijke verschillen in litologische opbouw in de Formatie van de Kempen waargenomen worden. Het illustreert de litologische heterogeniteit van deze afzettingen. Het is echter niet mogelijk de gemeten straling rechtstreeks te korreleren met hydraulische weerstanden. De metingen geven wel een goed inzicht in de verspreiding van de kleilagen in de Formatie van de Kempen. De meest uitgesproken kleilagen komen voor in boring 7b.

3. INTERPRETATIE VAN DE POMPPROEF

3.1. Situering en hydrogeologische gesteldheid

De litostratigrafische doorsnede wordt weergegeven in fig. 9. Ze steunt op de boorbeschrijving van de gespoelde boring P1 in de pompput. Het beschouwde grondwaterreservoir is onderaan begrensd door de Boomse klei. De Boomse klei begint er rond het peil - 118,50. Tussen de peilen - 118,50 en - 47,50 komen hoofdzakelijk zandige afzetting voor die als een onderste doorlatende laag kunnen beschouwd worden. Deze onderste doorlatende laag omvat de Formaties van Antwerpen, Diest en Kattendijk. Tussen de peilen - 47,50 en - 29,50 komen zandige afzettingen voor die echter meer kleihoudend zijn en aldus kunnen beschouwd worden als een onderste slecht doorlatende laag. Deze laag vertoont een grote heterogeniteit (VAN CAMP, 1981). Tussen de peilen - 29,50 en - 13,50 komt de Formatie van Merksplas voor. Ze bestaat hoofdzakelijk uit grof middelmatige zanden. Deze afzettingen vormen de middenste doorlatende laag. Deze doorlatende laag is bovenaan bedekt door de bovenste slecht doorlatende laag die gevormd wordt door de Formatie van de Kempen. Ze komt voor tussen de peilen - 13,50 en + 7,5 en bestaat uit klei, leem en zand en bevat soms ligniet. Ter hoogte van de pompput onderscheidt men in de Formatie van de Kempen een onderste en een bovenste kleipakket waartussen een meestal grof tot middelmatige zandafzetting voorkomt. Het onderste kleipakket heeft een dikte van 6 m. De zanden hebben een dikte van 5 m. Het bovenste kleipakket heeft een dikte van 10 m. Tussen de Formatie van de Kempen en het maaiveld op + 16,5 komen de Dekzanden voor die de bovenste doorlatende laag vormen. Ter hoogte van de pompput bevond de watertafel zich op het peil + 16.

3.2. Uitvoering van de pompproef

De ligging van de pompput en de peilbuizen is weergegeven op

Dek- en stuifzanden		LAAG 7	Dikte=8.5m
Formatie van de Kempen	klei	LAAG 6	Dikte=10.0m
	zand	LAAG 5	Dikte=5.0m
	klei	LAAG 4	Dikte=6.0m
Formatie van Merksplas	g. rof zand	LAAG 3	Dikte=16.0m
Formatie van Lillo	kleinig zand	LAAG 2	Dikte=18.0m
Formatie van Kattendijk	zand	LAAG 1	Dikte=71.0m
Formatie van Diest			
Formatie van Berchem			
Formatie van Rupel Lid van Boom	ondoorlatend substraat		

Fig 9 Hydrogeologische schematisering bij de pompproef

figuur 10. De pompput werd voorzien van een filterelement tussen 63,5 en 120,5 m diepte of tussen de peilen - 47 en -104 in de onderste doorlatende laag. Vier peilbuizen werden aangebracht in de onderste doorlatende laag op 50, 100, 200 en 600 m van de pompput. De filters van deze peilputten bevinden zich op een diepte variërend tussen de 60 en 73 m. Vier peilbuizen werden gevolgd in de middenste doorlatende laag op 50, 100, 200 en 350 m van de pompput. Er werden nog peilmetingen verricht in een aantal peilbuizen die geplaatst werden in zandige lagen van de bovenste slecht doorlatende laag of bovenste doorlatende laag. In geen enkele van deze peilbuizen werd gedurende de eerste drie dagen van de pomp-proef een betekenisvolle verlaging waargenomen.

Na twee pogingen, respectievelijk op 3 oktober 1974 waarbij 10 u 30 gepompt werd en op 8 oktober 1974 waarbij 1 u 30 gepompt werd, werd de definitieve pomp-proef gestart op 9 oktober 1974 om 10 uur 5 minuten. Na 51 dagen pompen werd de pomp stilgelegd op 29 november 1974. Gedurende de eerste drie dagen bedroeg het opgepompte debiet $1640 \text{ m}^3/\text{d}$. Tijdens de pomp-proef werden de stijghoogten gemeten door middel van elektrische peilmeters.

3.3. Interpretatie van pomp-proef door middel van invers model

Het grondwaterreservoir wordt in het numeriek model in zeven lagen geschematiseerd. Laag 1 in het numeriek model komt overeen met de onderste doorlatende laag. Laag 2 valt samen met de onderste slecht doorlatende laag. Laag 3 stemt overeen met de middenste doorlatende laag. De bovenste slecht doorlatende laag werd in het numeriek model opgedeeld in drie lagen. Zo komt laag 4 met het onderste kleiige pakket, laag 5 met het middenste zandige pakket en laag 6 met het bovenste kleiige pakket van deze bovenste slecht doorlatende laag overeen. Laag 7 stemt tenslotte overeen met de bovenste doorlatende laag.

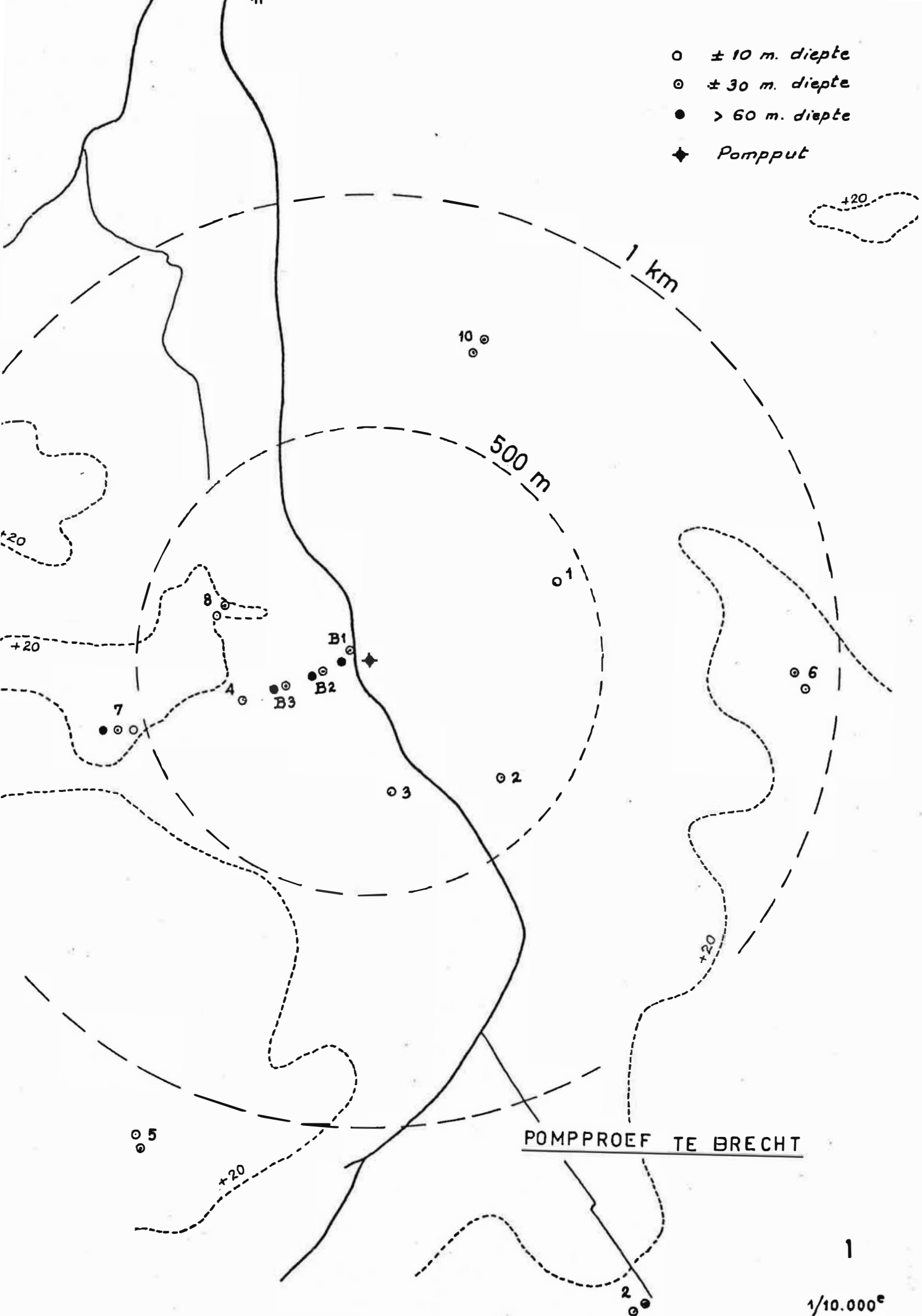


Fig. 10 - Ligging van de pompput en peilputten

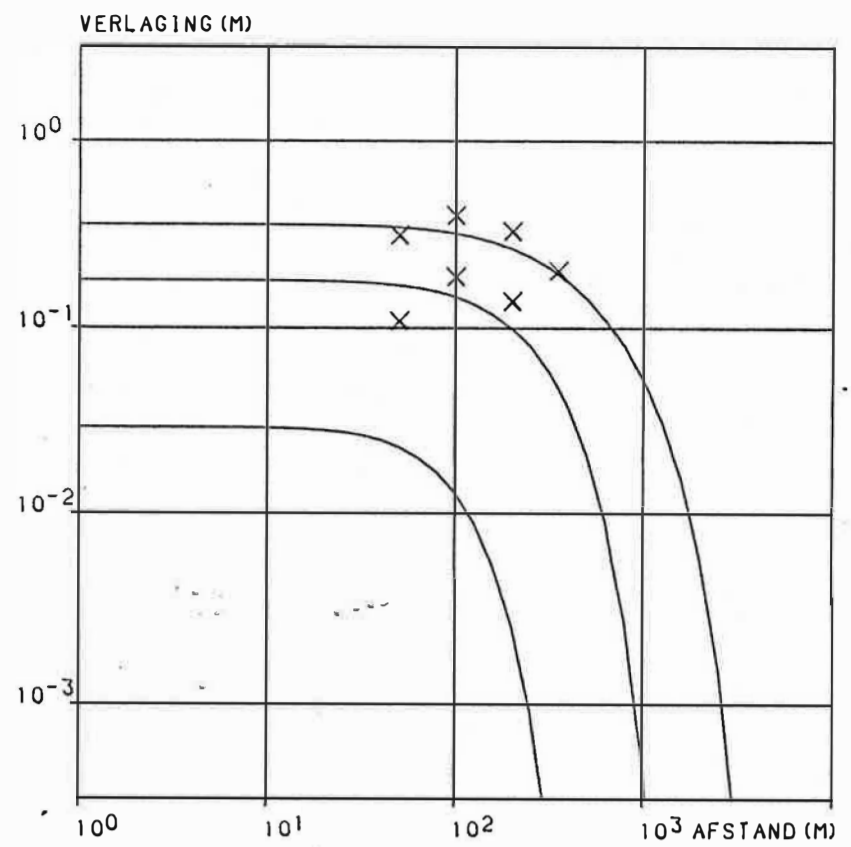
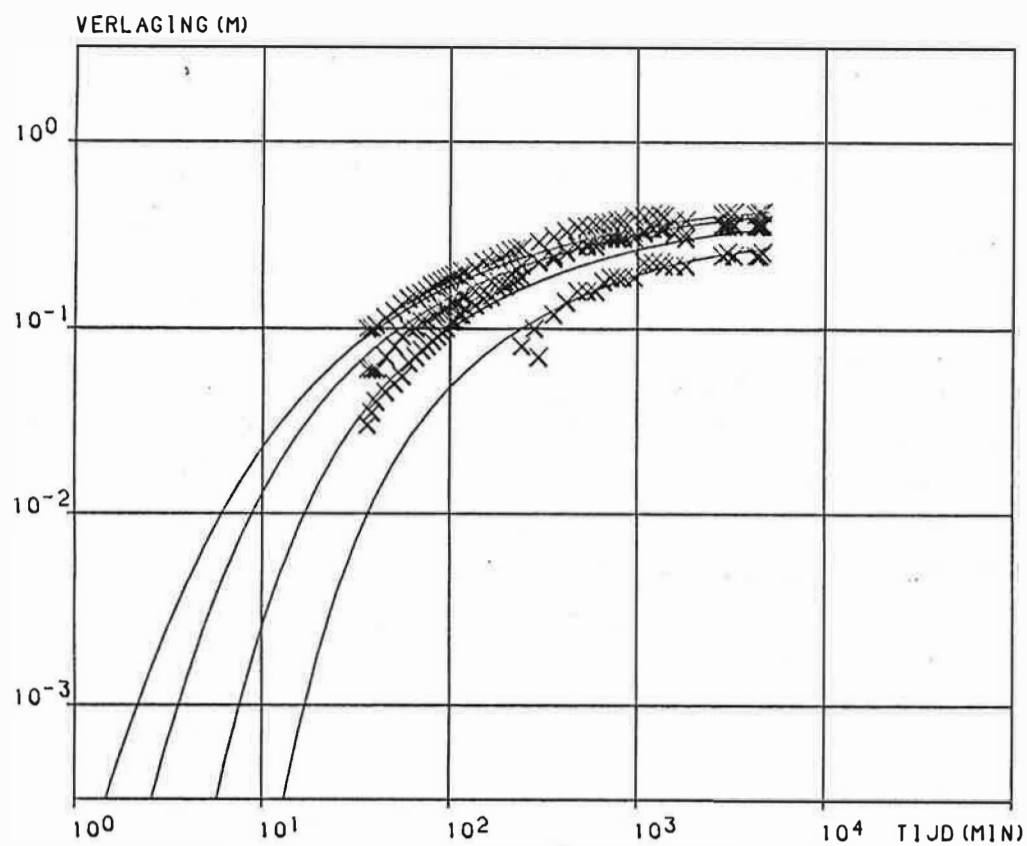
De aanvangwaarden van de horizontale doorlatendheid en de specifieke elastische berging die in het invers model moeten ingevoerd worden werden afgeleid uit de interpretatie van de verschillende tijd-verlagingskurven met de klassieke interpretatiemethoden zoals beschreven in VAN CAMP (1981). De aanvangswaarden van de overige hydraulische parameters worden ruw geschat aan de hand van de boorbeschrijving.

Door het uitvoeren van enkele gevoeligheidsanalyses en lineariseringen werd afgeleid welke hydraulische parameters of groepen van hydraulische parameters kunnen afgeleid worden uit de ingevoerde verlagingen met het invers model. Uit de gevoeligheidsanalyses kon men afleiden dat zes verschillende hydraulische parameters de waargenomen verlagingen in een voldoende mate beïnvloeden. Het zijn de horizontale doorlatendheid en de specifieke elastische berging van de onderste en middenste doorlatende laag, de hydraulische weerstand van de onderste slecht doorlatende laag en in een geringe mate de hydraulische weerstand van de bovenste slecht doorlatende laag. Indien men echter al deze hydraulische parameters als te bepalen hydraulische parameters invoert dan bleek het niet mogelijk een unieke oplossing te bekomen uit de ingevoerde waargenomen verlagingen. Enkel door het invoeren van verlagingen waargenomen in alle lagen waarin gepompt wordt in de doorlatende lagen of pakketten kan een unieke oplossing bekomen worden waarbij de meeste hydraulische parameters als te bepalen beschouwd worden. Aangezien we hier maar beschikken over de verlagingen als gepompt wordt in de onderste doorlatende laag kan men enkel een eenduidige oplossing bekomen als we niet verder meer de specifieke elastische berging van de middenste doorlatende laag en de hydraulische weerstand van de bovenste slecht doorlatende laag als te bepalen beschouwen. Dit zijn de twee hydraulische parameters van de zes bovengenoemde die de waargenomen verlaging het minst beïnvloeden. Enkel vier hydraulische parameters of groepen van hydraulische parameters worden als te bepalen beschouwd.

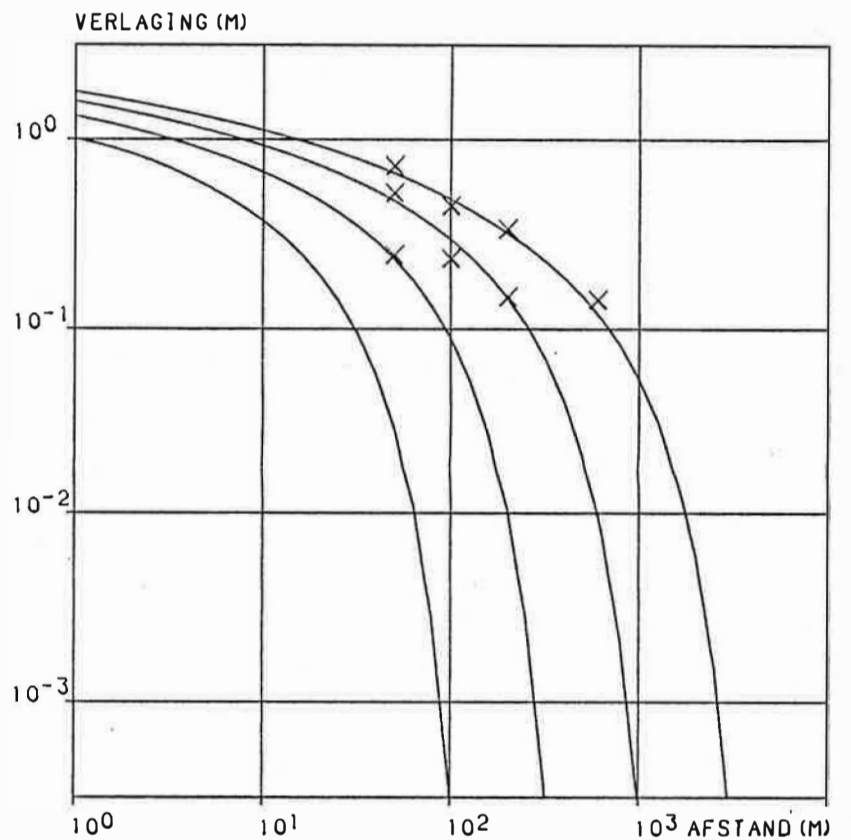
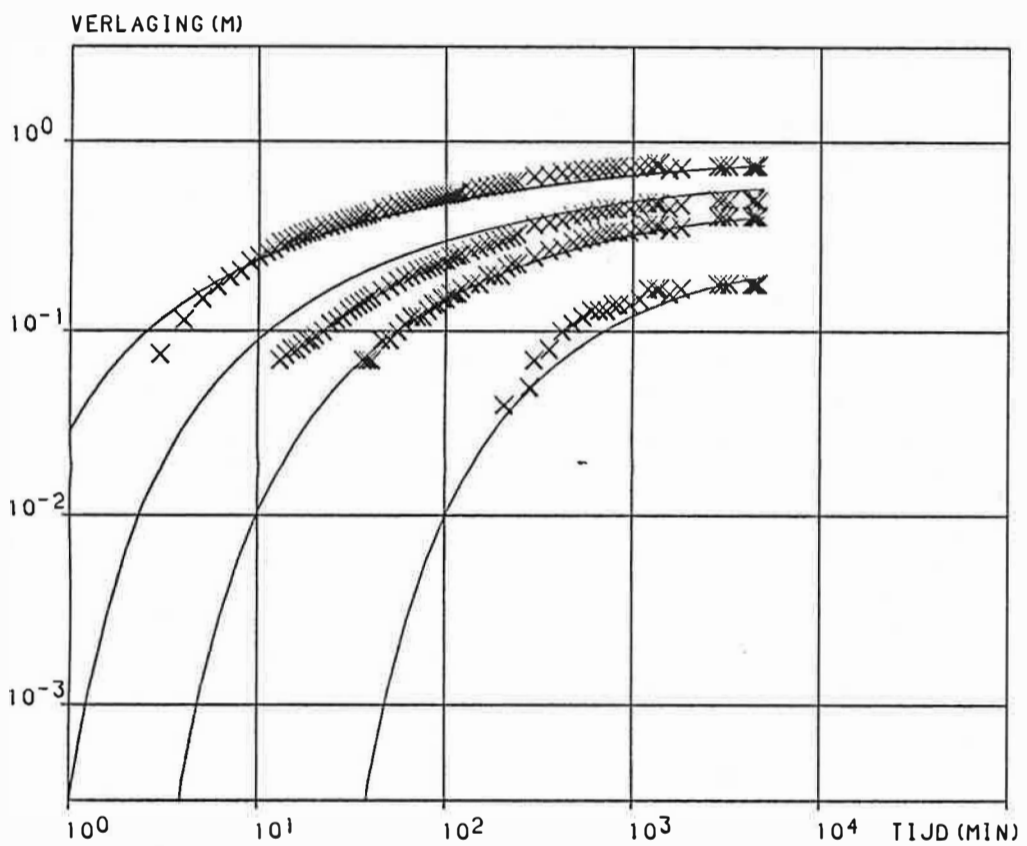
Het zijn de horizontale doorlatendheid van de onderste doorlatende laag ($k^h(1)$), de specifieke elastische berging van de onderste doorlatende laag ($S'_{\Delta}(1)$) en de onderste slecht doorlatende laag ($S'_{\Delta}(2)$) die gelijk aan elkaar verondersteld worden, de hydraulische weerstanden $C(1)$ en $C(2)$ waarbij verondersteld werd dat de laatste vier maal groter is dan de eerste wegens het kleiiger karakter van de top van de onderste slecht doorlatende laag en tenslotte de horizontale doorlatendheid van de middenste doorlatende laag ($k^h(3)$).

De ingevoerde waarden van de overige hydraulische parameters werden ingeschat en als gekend verondersteld in het invers model. De geschatte en ingevoerde waarden van deze hydraulische parameters kan men afleiden uit fig. 11.

De horizontale doorlatendheid van de onderste doorlatende laag $k^h(1)$, kan het nauwkeurigst afgeleid worden uit de waargenomen verlagingen, namelijk 12,96 m/d. De voorwaardelijk en marginale standaardafwijking van $k^h(1)$ bedraagt respektievelijk 0,0113 en 0,0259. Bijgevolg is de voorwaardelijk en de marginale nauwkeurigheidfactor van het 98% betrouwbaarheidsinterval gelijk aan 1,0628 en 1,1499 (LEBBE, 1989). Het doorlaatvermogen van de onderste doorlatende laag is dus gelijk aan 920 m²/d. De specifieke elastische berging van de onderste doorlatende laag en van de onderste slecht doorlatende laag $S'_{\Delta}(1)$ en $S'_{\Delta}(2)$ werden afgeleid uit de waargenomen verlagingen als zijnde gelijk aan $1,30 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$. De voorwaardelijke en de marginale standaardafwijking van $S'_{\Delta}(1)$ en $S'_{\Delta}(2)$ bedraagt respektievelijk 0,0147 en 0,0210. De voorwaardelijke en de marginale nauwkeurigheidfactor van het 98% betrouwbaarheidsinterval is bijgevolg gelijk aan 1,0825 en 1,1199. De elastische bergingscoëfficiënt van de onderste doorlatende laag is bijgevolg gelijk aan $9,23 \cdot 10^{-4}$. De hydraulische weerstanden $C(1)$ en $C(2)$ werden afgeleid uit de waargenomen verlagingen als zijnde gelijk aan 10,31 d en 41,24 d. De voorwaardelijke en de marginale standaardafwij-



LAAG 3



LAAG 1

D (7) = 8.5 M	K (7) = 10.00 M/D	S0 = 0.050
D (6) = 10.0 M	K (6) = 1.00 M/D	C (6) = 400.0 D
D (5) = 5.0 M	K (5) = 15.00 M/D	C (5) = 400.0 D
D (4) = 6.0 M	K (4) = 1.00 M/D	C (4) = 400.0 D
		C (3) = 400.0 D
D (3) = 16.0 M	K (3) = 27.82 M/D	
		C (2) = 41.2 D
D (2) = 18.0 M	K (2) = 1.25 M/D	
		C (1) = 10.3 D
D (1) = 71.0 M	K (1) = 12.96 M/D	

SA (7) = 0.000050 M-1
SA (6) = 0.000050 M-1
SA (5) = 0.000050 M-1
SA (4) = 0.000050 M-1
SA (3) = 0.000016 M-1
SA (2) = 0.000013 M-1
SA (1) = 0.000013 M-1

POMPPOEF TE BRECHT - POMPING IN LAAG 1 - Q = 1640 M3/D -----

Fig. 11-- Berekende en waargenomen verlagingen

king is gelijk aan 0,0254 en 0,0594. De voorwaardelijke en de marginale nauwkeurigheidsfactor van het 98% betrouwbaarheidsinterval is bijgevolg gelijk aan 1,1468 en 1,3776. De totale hydraulische weerstand van de onderste slecht doorlatende laag is gelijk aan 52 d. De gewogen harmonisch gemiddelde verticale doorlatendheid van deze onderste slecht doorlatende laag is dan gelijk aan 0,35 m/d. Tenslotte werd de horizontale doorlatendheid van de middenste doorlatende laag k^h (3) afgeleid uit de waargenomen verlagingen als zijnde gelijk aan 27,82 m/d. De voorwaardelijk en de marginale standaardafwijking is gelijk aan 0,0295 en 0,0826. De voorwaardelijke en de marginale nauwkeurigheidsfactor van het 98% betrouwbaarheidsinterval is bijgevolg gelijk aan 1,1724 en 1,5616. Het doorlaatvermogen van de middenste doorlatende laag is bijgevolg gelijk aan 445 m²/d.

Deze berekende en waargenomen verlagingen staan weergegeven in figuur 11. Zoals uit de tabel en de figuur kan afgeleid worden vinden we een relatief goede overeenkomst tussen de berekende en de waargenomen verlagingen in de onderste doorlatende laag. Deze overeenkomst is minder goed voor de verlagingen waargenomen in de middenste doorlatende laag.

4. LIGGING EN BEGRENZING VAN HET MODELGEBIED

Het modelgebied bestaat uit een rechthoekig gebied van 6 op 4.1 km gelegen in de gemeenten Brecht, Wuustwezel en Loenhout in de Antwerpse Noorderkempen. De lange as van de rechthoek heeft een WSW-NNE orientatie. Het gebied valt op de kaartbladen 8/1 (Wuustwezel), 8/5 (Brecht) en 8/2 (Hoogstraten) op schaal 1/10000 van het NGI. De grenzen van het studiegebied zijn gekozen volgens hydrogeologische grenzen in het freatische reservoir en zijn zodanig gelokaliseerd dat het waterwinningsgebied centraal gelegen is (fig. 12).

De noordwesthoek van het modelgebied ligt ca. 1 km ten oosten van het gehucht Westdoorn in Wuustwezel. De noordoosthoek situeert zich in het noordoosten van de dorpskom van Loenhout. De zuidwesthoek bevindt zich ongeveer 800 m ten noordwesten van het gehucht Overbroek (Brecht). De zuidoosthoek ligt ten oosten van de Weehaegense beek.

Een groot deel van het modelgebied is militair domein en behoort tot de Veldartillerieschool van Brasschaat. In het studiegebied vormen de verbindingen van Brecht met Wuustwezel en Loenhout de belangrijkste wegen. De snelweg E9 doorkruist het zuidoosten van het gebied.

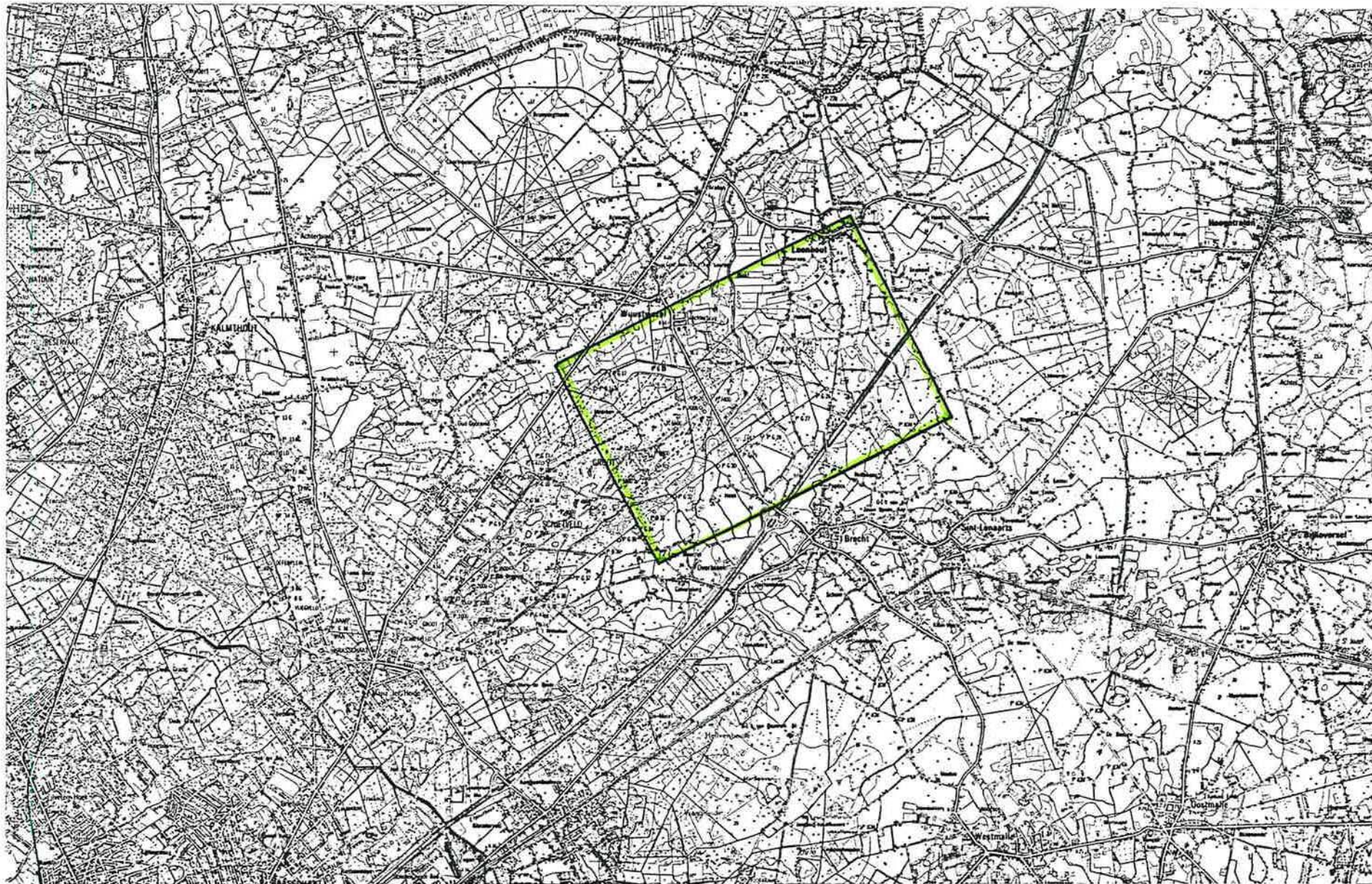


Fig. 12 - Ligging van het modelgebied

5. 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 exact 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 eindigverschilvergelijking 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 eindigverschilmethode wordt het grondwaterreservoir in een eindig aantal kubusjes of cellen ingedeeld (fig. 13). Deze komen voor in kolommen, rijen en lagen.

Om de orientatie van het grondwaterreservoir ondubbelzinnig

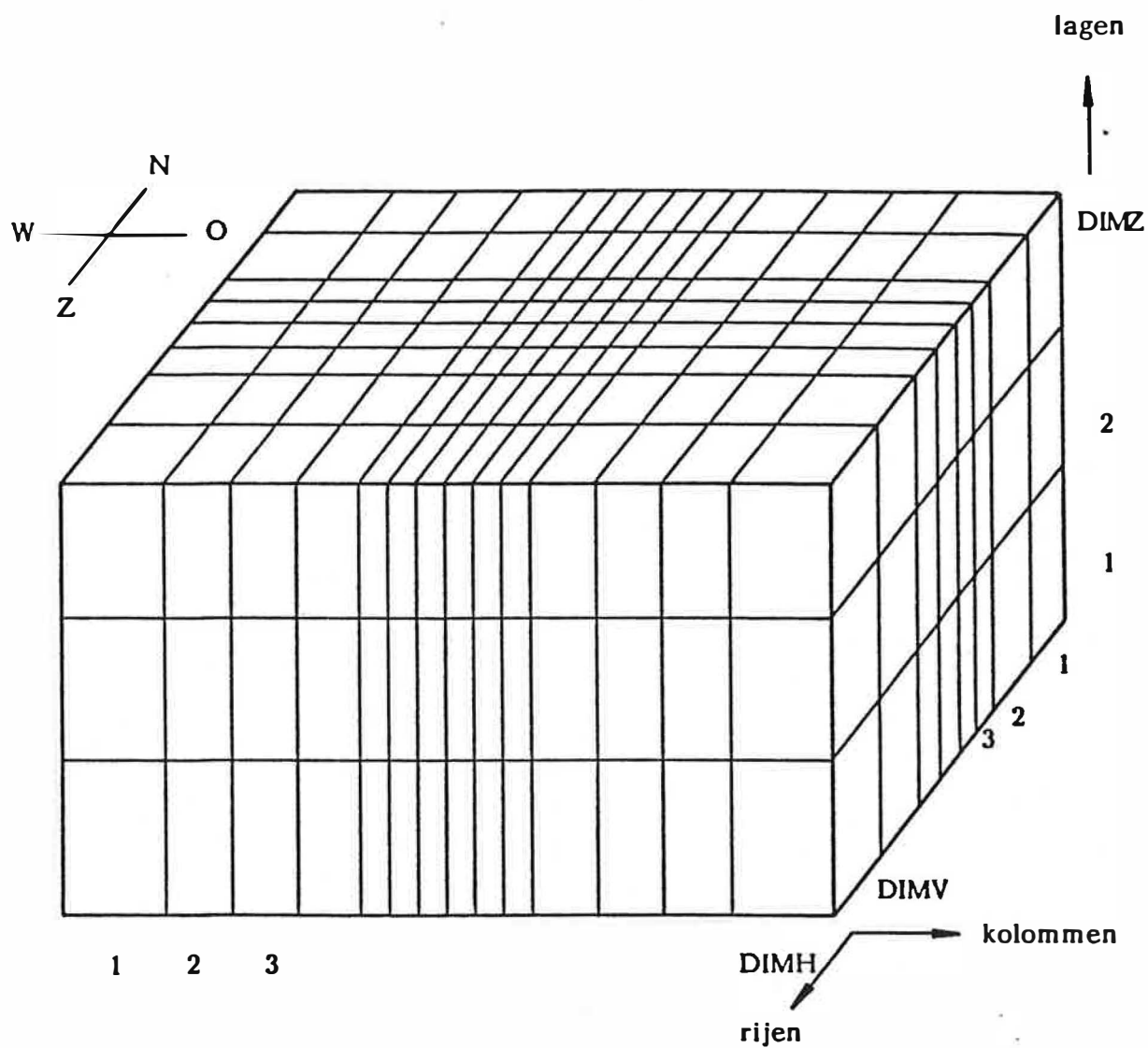


Fig. 13 - Eindig-vershil netwerk

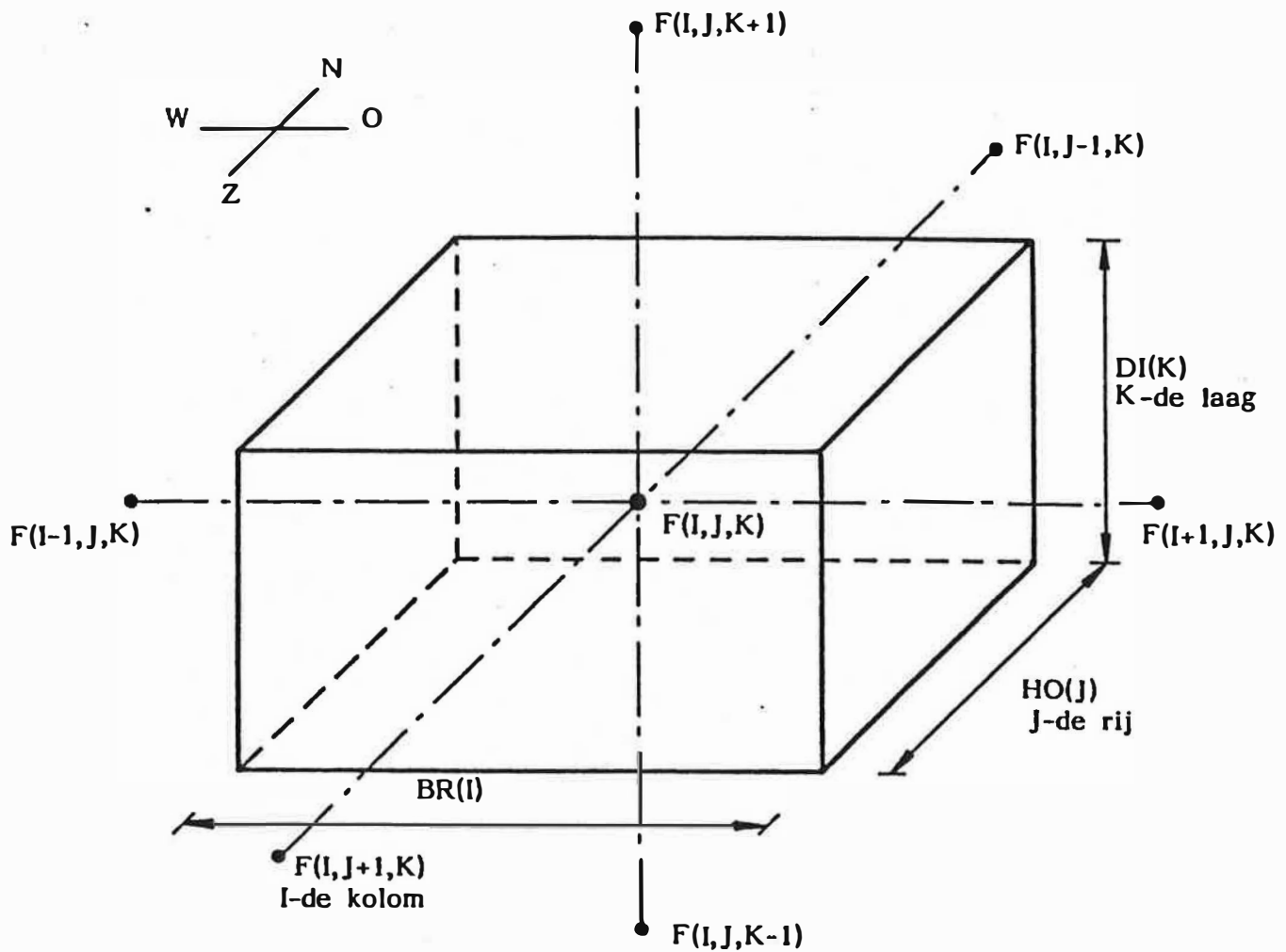
vast te stellen, gebruikt men de richtingen "noord", "zuid", "west" en "oost". De nummering gebeurt voor de kolommen van west naar oost, voor de rijen van noord naar zuid en voor de lagen van onder naar boven. De middelpunten van de cellen heten nodale punten. Het nodale punt van de cel gevormd door de kolom I, de rij J en de laag K geven we de coördinaat (I,J,K) (fig. 14).

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 slechts een 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 gebruikt 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 slechtdoorlatende 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 slechtdoorlatende laag uitsluitend vertikaal. Door deze vereenvoudiging kan het aantal lagen in het model worden beperkt. De eindigverschilvergelijkingen 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 slechtdoorlatende lagen de hydrau-



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

Fig. 14 - 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 werd

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 slechtdoorlatende laag. Als de watertafel zich onder de top van de bovenste slechtdoorlatende 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 irrigceert. Als controle op de berekeningen wordt de totale balans per laag afgedrukt : hieruit kan afgeleid worden hoeveel water over de grenzen van het model stroomt. Desgewenst kan ook een balans per cel worden opgesteld.

6. SCHEMATISERING VAN HET GRONDWATERRESERVOIR

6.1. Lagenopbouw

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 de Antwerpse Noorderkempen kunnen in het grondwaterreservoir boven de Klei van Boom verschillende watervoerende lagen onderscheiden worden (LEBBE e.a., 1985).

Een onderste watervoerende laag wordt gevormd door de Formaties van Berchem, Diest, Kattendijk en de Leden van de Luchtbal en van Oorderen uit het onderste deel van de Formatie van Lillo.

Een eerste slecht doorlatende laag wordt gevormd door het Lid van Kruisschans in de Formatie van Lillo.

Een tweede watervoerende laag bestaat uit het bovenste deel van de Formatie van Lillo (Lid van Merksem), de Formatie van Merksplas en het onderste zandige facies van de Formatie van de Kempen.

Een bovenste slecht doorlatende laag wordt gevormd door het kleihoudend gedeelte van de Formatie van de Kempen.

De dek- en stuifzanden vormen, samen met het bovenste zandig facies van de Formatie van de Kempen, de bovenste watervoerende laag, namelijk het freatisch reservoir. Het alluvium in de vallei van de Weerijis wordt eveneens tot deze laag gerekend.

In het mathematisch model worden de eerste twee watervoerende

lagen als een enkel watervoerend pakket beschouwd, aangezien de slechtdoorlatende laag ertussen slechts een kleine hydraulische weerstand heeft.

De Formatie van de Kempen werd in het model niet als een enkele slecht doorlatende laag ingebouwd. Door het sterk heterogeen karakter van deze afzettingen komen plaatselijk zandige tot grofzandige lagen tussen de kleihoudende lagen voor. Daardoor kan de Formatie van de Kempen eveneens als een watervoerende laag beschouwd worden. Daarom werd de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen gelijk verdeeld over 2 slecht doorlatende lagen die van elkaar gescheiden zijn door een watervoerende laag van grofzandige intercalaties.

De dek- en stuifzanden vormen in het model de bovenste watervoerende laag.

In totaal zijn in het mathematisch model 3 watervoerende lagen opgenomen, gescheiden door 2 slecht doorlatende lagen.

Een overzicht van de hydrogeologische opbouw en schematisering wordt gegeven in fig. 15.

6.2. Laagdikten

Aangezien in het modelgebied slechts enkele diepe boringen uitgevoerd zijn, was het niet mogelijk de werkelijke dikten van de verschillende lagen te karteren. De aangeboorde dikten in de pompput P1 werden als representatief voor het hele gebied genomen. De onderste watervoerende laag heeft een dikte van 84 m, de laag in de Formatie van de Kempen kreeg een dikte van 30 m. 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.

KRONOSTRATIGRAFIE		LITOSTRATGRAFIE		LITOLOGIE	HYDROGEOLOGIE	
KWARTAIR	HOLOCEEN	ALLUVIUM		VEEN,LEEMHOUDEND TOT KLEIHOUDEND FIJN ZAND	WATERVOERENDE LAAG 3	
		STUIFZANDEN		FIJN ZAND		
	PLEISTOCEEN	DEKZANDEN		FIJN ZAND TOT LEEMHOUDEND FIJN ZAND		SLECHTDOORLATENDE LAAG 2 WATERVOERENDE LAAG 2 SLECHTDOORLATENDE LAAG 1
		FORMATIE VAN DE KEMPEN		AFWISSELING VAN FIJN TOT PLAATSELIJK GROF ZAND EN KLEI		
		FORMATIE VAN MERKSPAS		FIJN TOT GROF ZAND		
TERTIAIR	PLIOCEEN	FORMATIE VAN LILLO	LID VAN MERKSEM	GLAUCONIETHOUDEND,SCHELPHOUDEND FIJN ZAND	WATERVOERENDE 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. 15- Hydrogeologische schematisering van het grondwaterreservoir

6.3. Modelnetwerk

Het modelnetwerk is opgebouwd uit 60 cellen in west-oost richting en 41 cellen in noord-zuid richting. Elke cel is 100 m lang en breed.

7. INGEVOERDE GEGEVENS

7.1. Hydraulische parameters

7.1.1. Horizontale doorlatendheden

De ingevoerde horizontale doorlatendheden zijn gesteund op de resultaten van de pompproef.

Voor de onderste watervoerende laag werd de som van de kD -waarden van lagen 1 en 3 uit de pompproef gedeeld door de totale dikte van 84 m, wat een ingevoerde doorlatendheid van 11.25 m/d oplevert. De Formatie van Lillo werd hier niet tot het watervoerend pakket gerekend.

De horizontale doorlatendheid van de watervoerende laag in de Formatie van de Kempen werd bepaald door de kD -waarden van de verschillende lagen die bij de pompproef in deze formatie onderscheiden werden op te tellen en te delen door een gemiddelde dikte van 30 m. Er werd het rekenkundig gemiddelde gemaakt van de resultaten van de pompproef in Brecht en een vroeger uitgevoerde pompproef in Beerse.

In het freatische reservoir werden 3 deelgebieden onderscheiden. Buiten de vallei waar het kleisubstraat ondiep voorkomt werd 1 m/d ingevoerd. In de vallei van de Weerijis waar grofzandige sedimenten voorkomen werd 20 m/d ingevoerd. het gebied ten zuidoosten van de Weerijis heeft een doorlatendheid van 10 m/d. Open waterplassen kregen een doorlatendheid van 100 m/d. Door deze grote doorlatendheid berekent het model een gelijke stijghoogte in alle cellen overeenkomend met het waterpeil van het open wateroppervlak.

De ingevoerde doorlatendheden in de bovenste laag zijn voorgesteld in fig. 16.

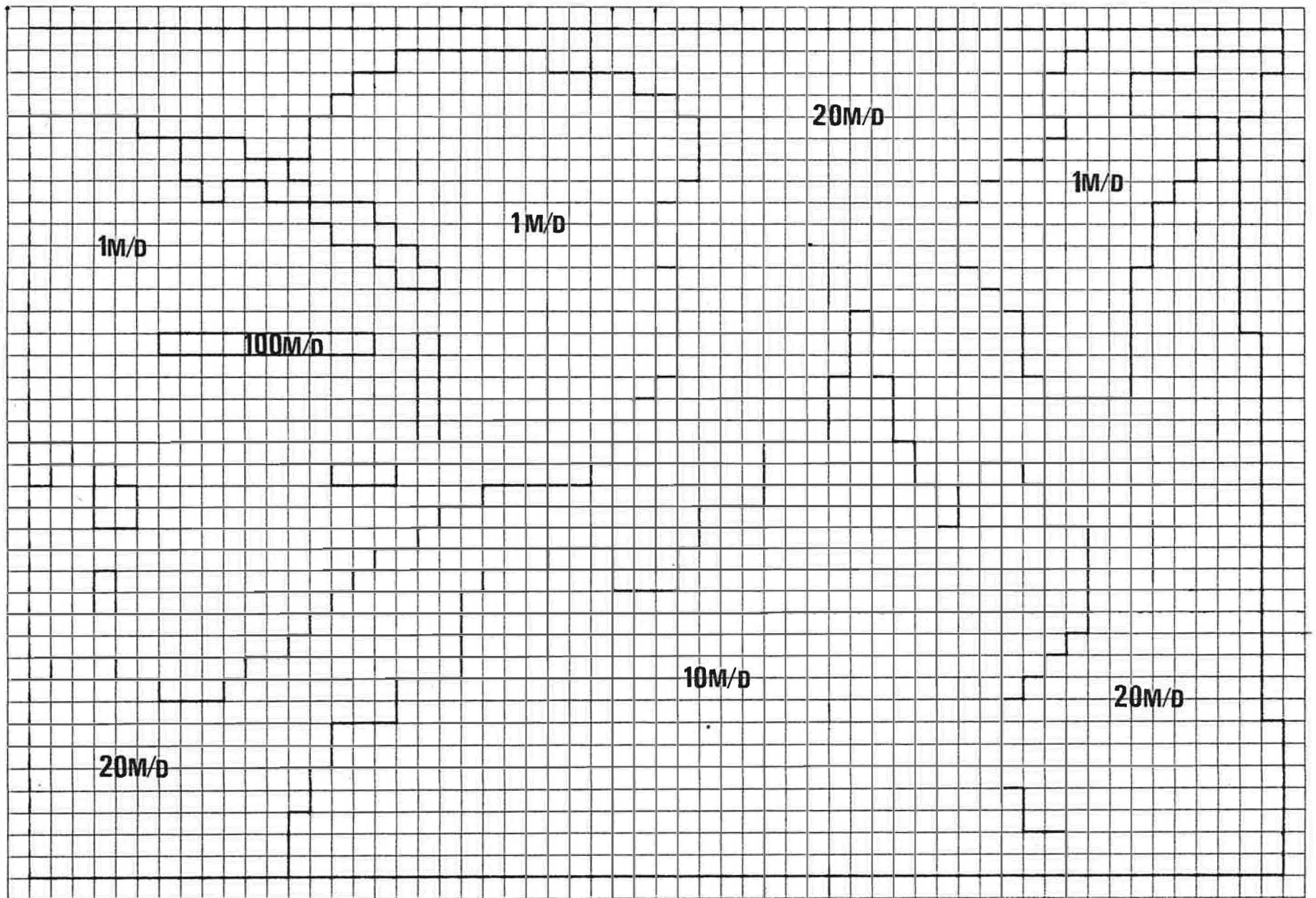


Fig: 16 - Ingevoerde horizontale doorlatendheden

7.1.2. Vertikale doorlatendheden

Bij de interpretatie van de pompproef was het bijzonder moeilijk om de verticale doorlatendheid van de Formatie van de Kempen te bepalen, aangezien bijna geen stijghoogtemetingen in de bovenste watervoerende laag (boven de Formatie van de Kempen) werden uitgevoerd. De ingevoerde hydraulische weerstanden zijn door kalibratie van het model bepaald (zie 8.1.). In het model wordt de Formatie van de Kempen geschematiseerd door 2 slecht doorlatende lagen waartussen een watervoerende laag voorkomt. De totale hydraulische weerstand van de Formatie werd gelijk verdeeld tussen deze 2 slecht doorlatende lagen.

In het studiegebied werden zones met verschillende weerstand ingevoerd. Deze zones zijn aangegeven op figuur 17. De kleinste weerstanden komen voor in de vallei van de Weerijs (1500 dagen), de grootste (12000 dagen) in het topografische hoog gelegen gebied in het Groot Schietveld.

7.2. Grensvoorwaarden

In de onderste watervoerende laag werden aan de randen vaste stijghoogten ingevoerd. Aangezien er geen stijghoogtemetingen aan de randen voorhanden zijn werden deze geschat aan de hand van de waarnemingen binnen het modelgebied en de stijghoogtekaart van de toestand in september 1977 opgenomen in het eindverslag van de stuurgroep grondwaterbeleid in de provincie Antwerpen (STUURGROEP GRONDWATERBELEID IN DE PROVINCIE ANTWERPEN, 1978). De stijghoogten op de vier hoeken van het model werden geschat. De tussenliggende waarden langs de randen werden afgeleid door lineaire interpolatie tussen de hoekwaarden. De geschatte waarden werden door kalibratie verder aangepast tot de berekende stijghoogten in de onderste watervoerende laag de waarnemingen het best benaderden. De berekende stijghoogten in de onderste watervoerende laag

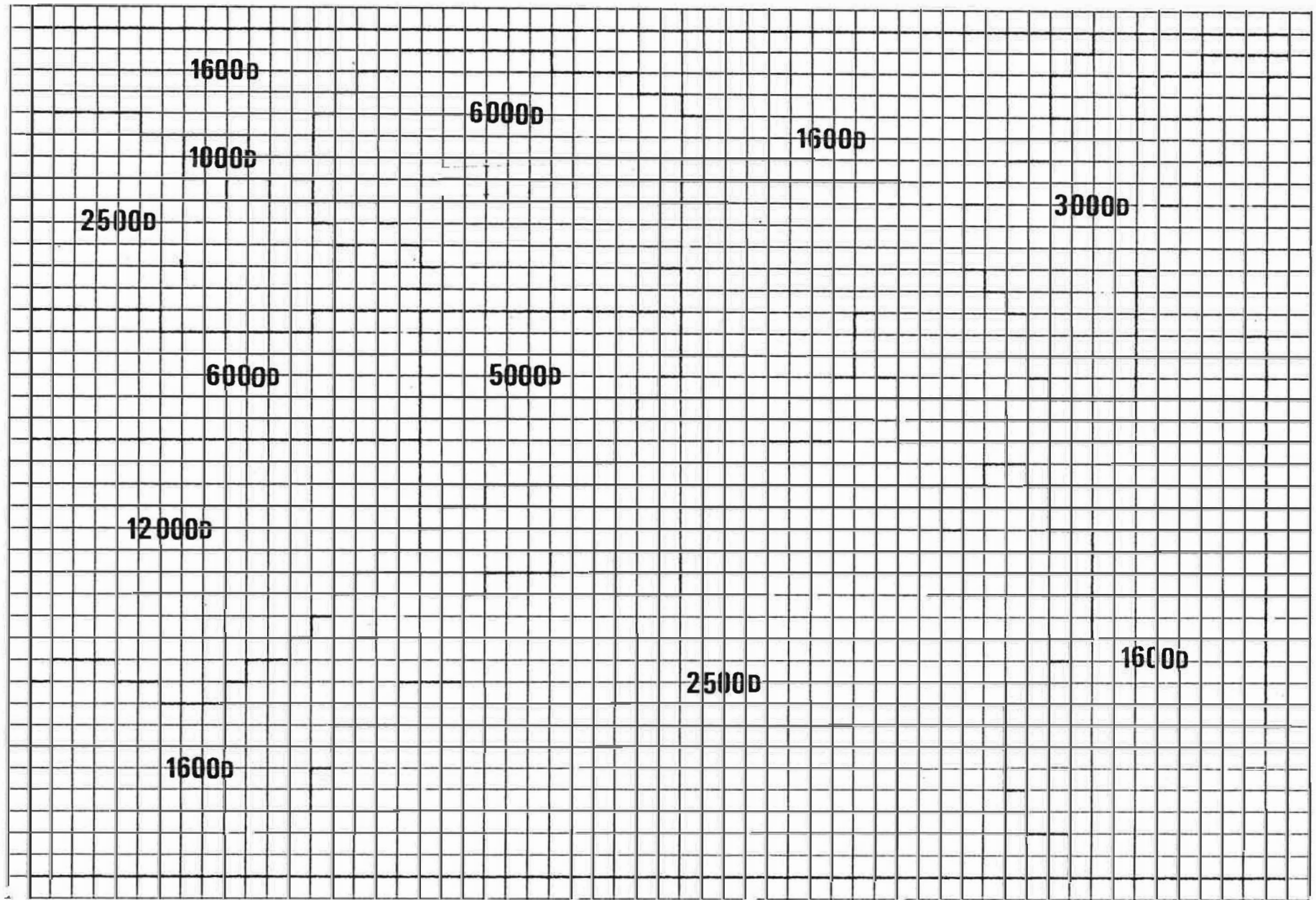


Fig. 17 - Ingevoerde hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen

worden vooral bepaald door de ingevoerde kD-waarde en de vaste stijghoogten aan de randen. De uiteindelijk ingevoerde stijghoogten zijn +18,75 (NW-hoek), + 12.00 (NE-hoek), + 22.00 (SW-hoek), + 19.00 (SE-hoek).

In de tijdsafhankelijke simulaties met seizoenale fluctuaties veranderen de stijghoogten aan de randen in de loop van het jaar. Vermits aan de randen geen stijghoogtegegevens voorhanden zijn werd de gemiddelde jaarlijkse fluctuatie afgeleid uit de schommelingen van de peilbuizen binnen het studiegebied. Verwerking van de peilmetingen toonde dat in de Formatie van Merksplas de gemiddelde jaarlijkse schommelingen (verschil tussen gemiddeld hoogste en laagste maand) in de vallei van de Weerijds ongeveer 0.50 m bedraagt en onder de interfluvia ongeveer 1.00 m. De peilbuis 5b (Formatie van Merksplas) vertoont een gemiddelde schommeling van 0.79 m. Dit werd als een representatieve gemiddelde waarde beschouwd. De gemiddelde schommeling van deze peilbuis werd aan alle randen in laag 1 aangehouden. Bijgevolg zullen de jaarlijkse schommelingen aan de randen in de vallei iets overschat, onder de interfluvia iets onderschat zijn.

De randen in de lagen 2 en 3 werden als ondoorlatend beschouwd. In laag 2 wordt verondersteld dat de stroming aan de randen uitsluitend vertikaal gebeurt. In laag 3 werden de grenzen van het modelgebied zoveel mogelijk volgens waterscheidingskammen, stroomlijnen en waterlopen gelegd.

7.3. Infiltratie

Op basis van meteorologische factoren kan de verdamping van open water (EO) met de methode van Penmann berekend worden. Voor de werkelijk optredende verdamping (V) is EO slechts van beperkte betekenis. De werkelijk optredende verdamping wordt in veel sterkere mate bepaald door de soort en de hoedanigheid van de begroeiing. BAKKER (1981) maakt onderscheid tus-

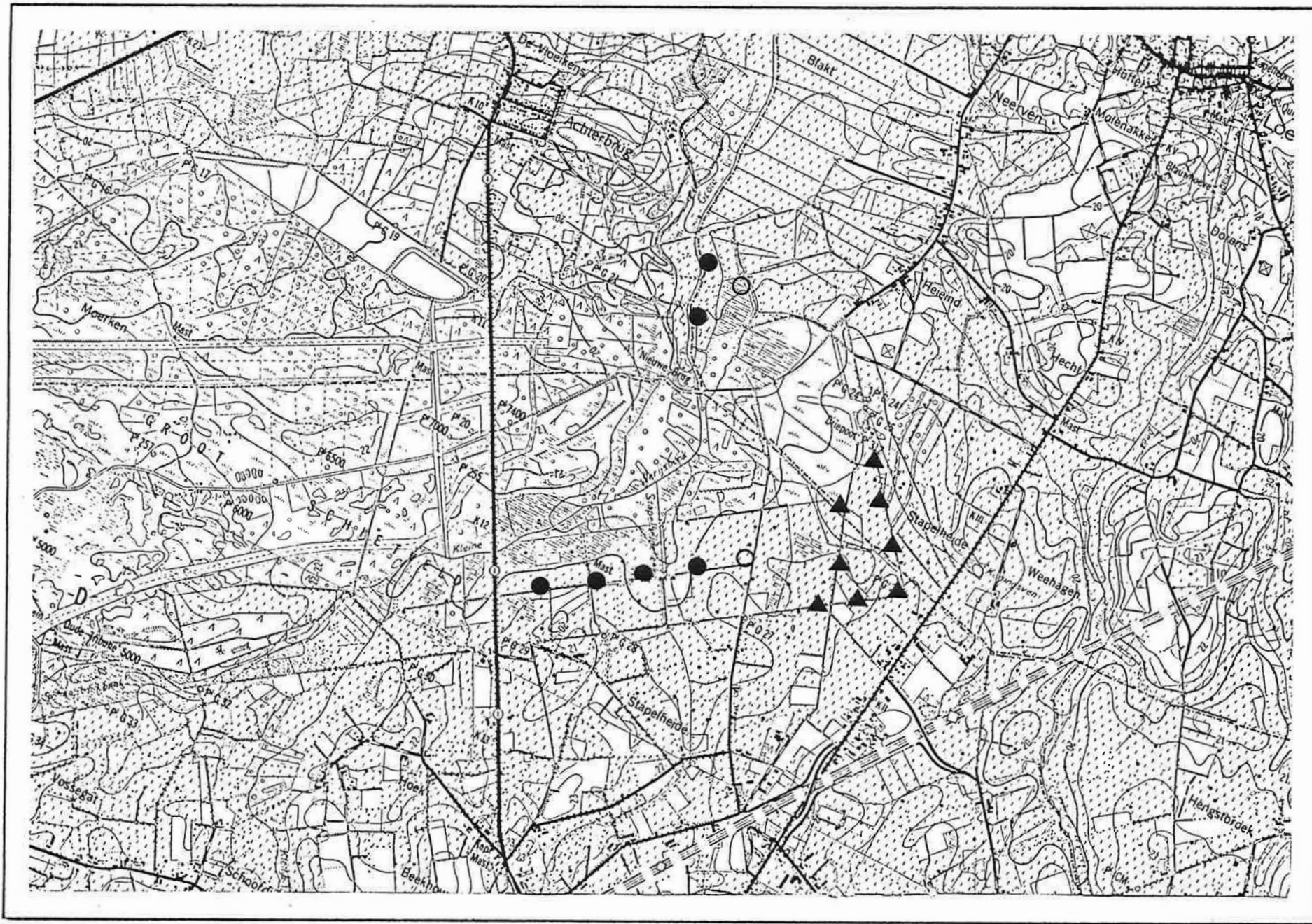
sen droge en natte begroeiingstypen. Droge begroeiingstypen zijn onafhankelijk van het grondwater, natte begroeiingstypen worden beïnvloed door grondwater. Voor de droge begroeiingstypen is de verdamping evenredig met de neerslag P ($V=g*P$). De verdamping van de natte begroeiingstypen is evenredig met EO ($V=f*EO$). BAKKER bepaalde voor 7 begroeiingstypen de waarden van de factoren g en f en representatieve waarden voor de nuttige neerslag. In het modelgebied werden met behulp van deze factoren g en f voor verschillende begroeiingstypen de waarden van de verdamping en de nuttige neerslag berekend.

Bij de permanente stromingstoestanden werd een jaarlijkse neerslag van 783 mm (gemiddelde neerslag 1960-1980 in Kalmt-hout) (DE BREUCK, e.a. 1981) en een nuttige neerslag van 270 mm/jaar aangenomen. Bij de tijdsafhankelijke simulaties variëren deze verhoudingsgewijs de maandelijkse gemiddelden van de periode 1960-1980.

7.4. Pumpingen

De enige belangrijke bestaande winning die in het modelgebied voorkomt is de waterwinning van PIDPA. Deze bestaat momenteel uit 6 winningsputten. De kalibratie van het model gebeurde naar de gemiddelde toestand van 1983. De opgepompte debieten werden afgeleid uit een grafiek van de opgepompte hoeveelheden sinds 1980. In de berekeningen waarbij de uitbreiding van de winning wordt gesimuleerd wordt een winningsdebiet van 15000 m³/dag uit 8 putten aangenomen. De ligging van de twee nieuwe putten werd door de opdrachtgever medegedeeld. Ze zijn aangegeven op fig. 18.

Er is een simulatie uitgevoerd waarbij een geheel nieuwe puttenbatterij in de zuidoostelijke hoek van het militair gebied ten oosten van de weg Brecht-Wuustwezel is aangebracht. De ligging van de putten is eveneens op fig. 18 weergegeven.



● Bestaande winningsput ○ Geplande winningsput ▲ Winningsput voor alternatieve configuratie

Fig. 18 - Ligging van de pompputten

De totale debieten zijn steeds gelijkmatig over alle winningsputten verdeeld.

7.5. Waterlopen

Het modelgebied wordt van zuid naar noord doorsneden door de vallei van de Weerijs. Deze is de belangrijkste waterloop in het gebied. De Weerijs ontspringt ten zuiden van Brecht en behoort tot het stroombekken van de Maas.

In het oosten van het modelgebied loopt de Weehagense beek. Deze vloeit net voor de Nederlandse grens in de Weerijs.

In het modelgebied komen verschillende kleinere waterlopen voor die al dan niet binnen het studiegebied in de Weerijs of de Weehagense beek uitmonden. De belangrijkste werden in het model opgenomen (fig. 19). De noordwestgrens wordt gevormd door de Kleine Beek. Deze vloeit net ten noorden van het studiegebied in de Weerijs. In de vallei komen talrijke kleine grachten voor. Een van de belangrijkste is de Stapelheidebeek. Deze ontvangt water van de Vuile Staartbeek, welke in de dorpskom van Brecht ontspringt. Op de westelijke oever loopt in het zuidwesten de Schaapsdijkbeek in de Weerijs.

In het model worden waterlopen gekarakteriseerd door :

- het trace van de waterloop, namelijk de volgorde en ligging van de cellen waar de waterloop doorstroomt. Tevens wordt aangegeven of de beek in een andere uitmondt of het gebied verlaat. De traces zijn afgeleid van de topografische kaart. De ingevoerde traces zijn voorgesteld op fig. 20.
- het gemiddeld waterpeil in elke cel van de waterloop. Deze zijn afgeleid van de topografische kaarten en de diepte aangegeven in de archieven van de provinciale dienst (TECHNISCHE DIENST VAN DE PROVINCIE ANTWERPEN, 1950).
- de kontaktfactor. Deze is een maat voor het hydraulische

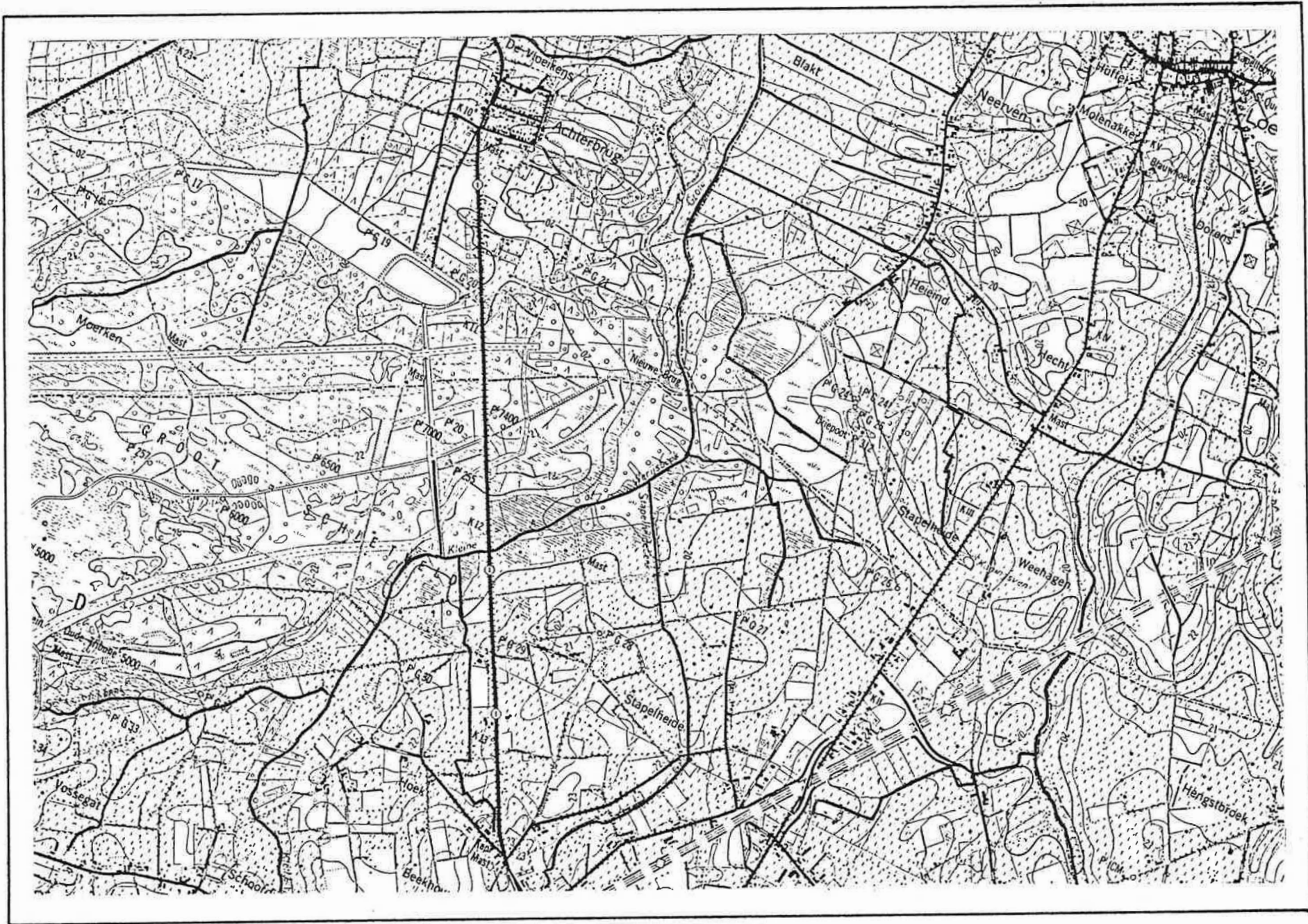


Fig. 19 - Ingevoerde waterlopen

kontakt tussen de waterloop en het grondwaterreservoir. De kontaktfaktor is voor alle waterlopen gelijk genomen (100 m²/dag per cel). De waarde is bepaald door kalibratie van het model.

In het militair domein komen talrijke vennen voor. De grootste vennen zijn in het model ingebracht door de doorlatendheid van de bovenste laag in deze cellen groot te maken (100 m/dag) (fig. 16). De infiltratie in deze cellen is tevens aangepast voor de evapotranspiratie van een open wateroppervlak.

In het noordwesten van het studiegebied komt een 24 ha grote oude zandwinningsput voor. De diepte van deze put varieert van 8 tot 13 m. Hier is een deel van de Formatie van de Kempen weggenomen. De hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen werd hier verlaagd tot 1000 d. In het freatisch reservoir werd een grote doorlatendheid ingevoerd (100 m/d) om eenzelfde waterpeil in de ganse plas te bekomen.

In deze studie werd de mogelijkheid onderzocht om met behulp van stuwen op de Weerijs de verlagingen in het gebied te beperken. In deze simulaties werden in het model 3 stuwen aangebracht (fig. 20) : een eerste juist stroomafwaarts de monding van de Stapelheidebeek, een tweede ongeveer 150 m ten noorden van de Nieuwe Brug en een derde aan de brug over de Weerijs aan Achterbrug. Een stuw wordt in het model ingebouwd door het waterpeil van de waterloop in de cellen stroomopwaarts van de stuw de opstuwhoogte toe te kennen. De opstuwhoogte ligt in de zomer 60 cm onder het maaiveldpeil, in de winter 30 cm eronder. In de berekening van de permanente stroming werd een gemiddelde van 45 cm onder het maaiveld genomen.

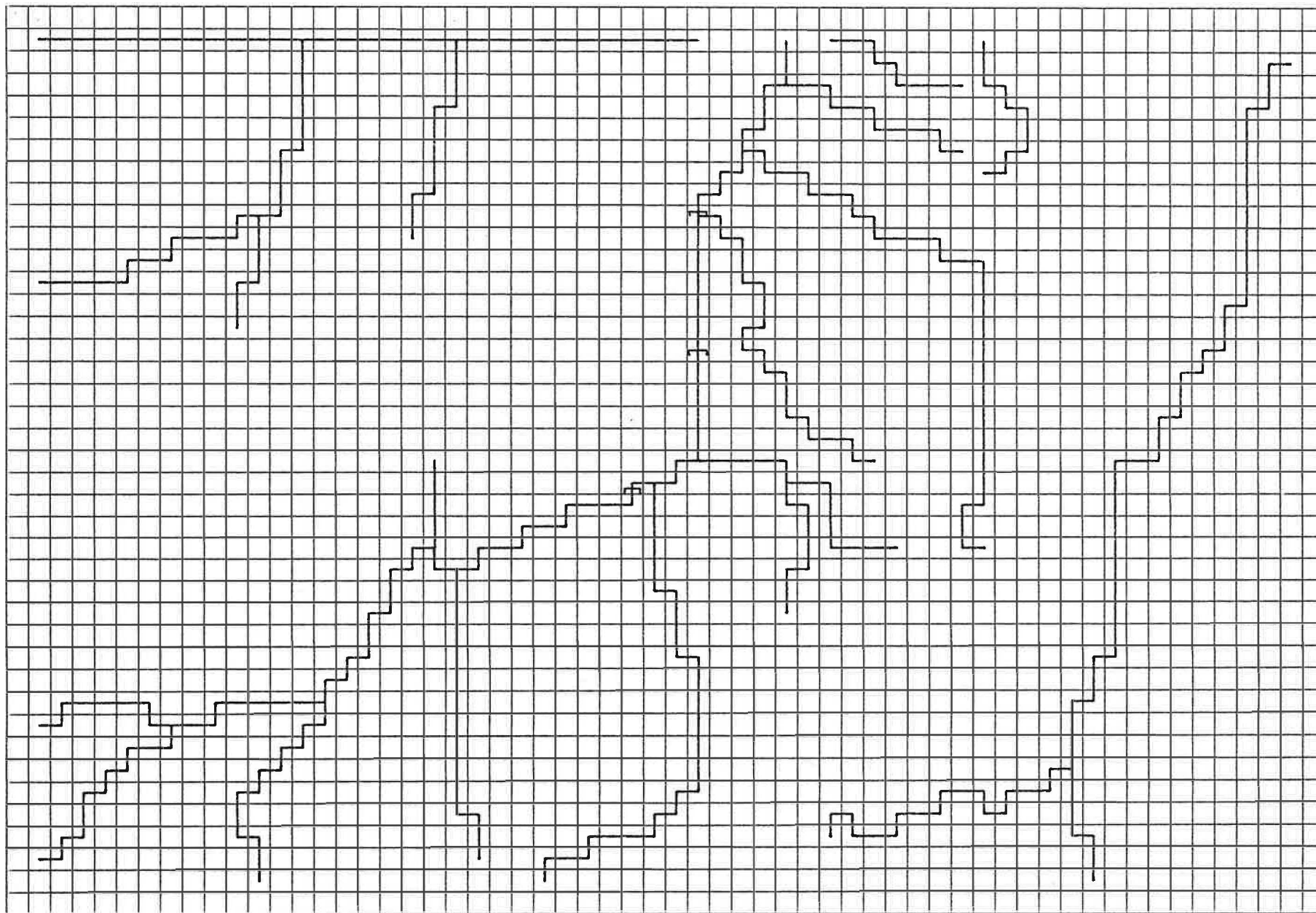


Fig. 20 - Schematisering van de waterlopen in het model

↵ stuw

7.6. Referentievlak

Het referentievlak in het model is de top van de eerste voorkomende slecht doorlatende laag. In het studiegebied is het de top van de eerste kleilaag in de Formatie van de Kempen. Gezien het heterogeen karakter van deze afzettingen is het referentievlak moeilijk karteerbaar. Daarom werd in de vallei van de Weerijs, waar het substraat dieper is ingesneden, het referentievlak 4 m onder het maaiveld, en buiten de vallei, waar het kleisubstraat ondiep voorkomt 2 m diep genomen. In dit gebied is de horizontale doorlatendheid van de bovenste watervoerende laag klein (1 m/d). De top van het referentievlak werd in enkele cellen aangepast om oscillaties in het rekenproces te vermijden. De diepte van het referentievlak onder het maaiveld is aangegeven op figuur 21.

7.7. Bergingscoëfficiënten

Bij tijdsafhankelijke simulaties moeten de elastische bergingscoëfficiënten van de doorlatende lagen en de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel opgegeven worden.

De ingevoerde elastische bergingscoëfficiënten werden bekomen uit de pompproef : in laag 1 van het model werd het gemiddelde genomen van lagen 1 en 3 van de pompproef ($1.1 \cdot 10^{-05}$), in lagen 2 en 3 van het model werd $2.0 \cdot 10^{-05}$ ingevoerd.

De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel bedraagt 0.07 en werd bepaald tijdens de kalibratie van het model (zie 8.2). Waar open waterplassen voorkomen werd 1.00 ingevoerd.

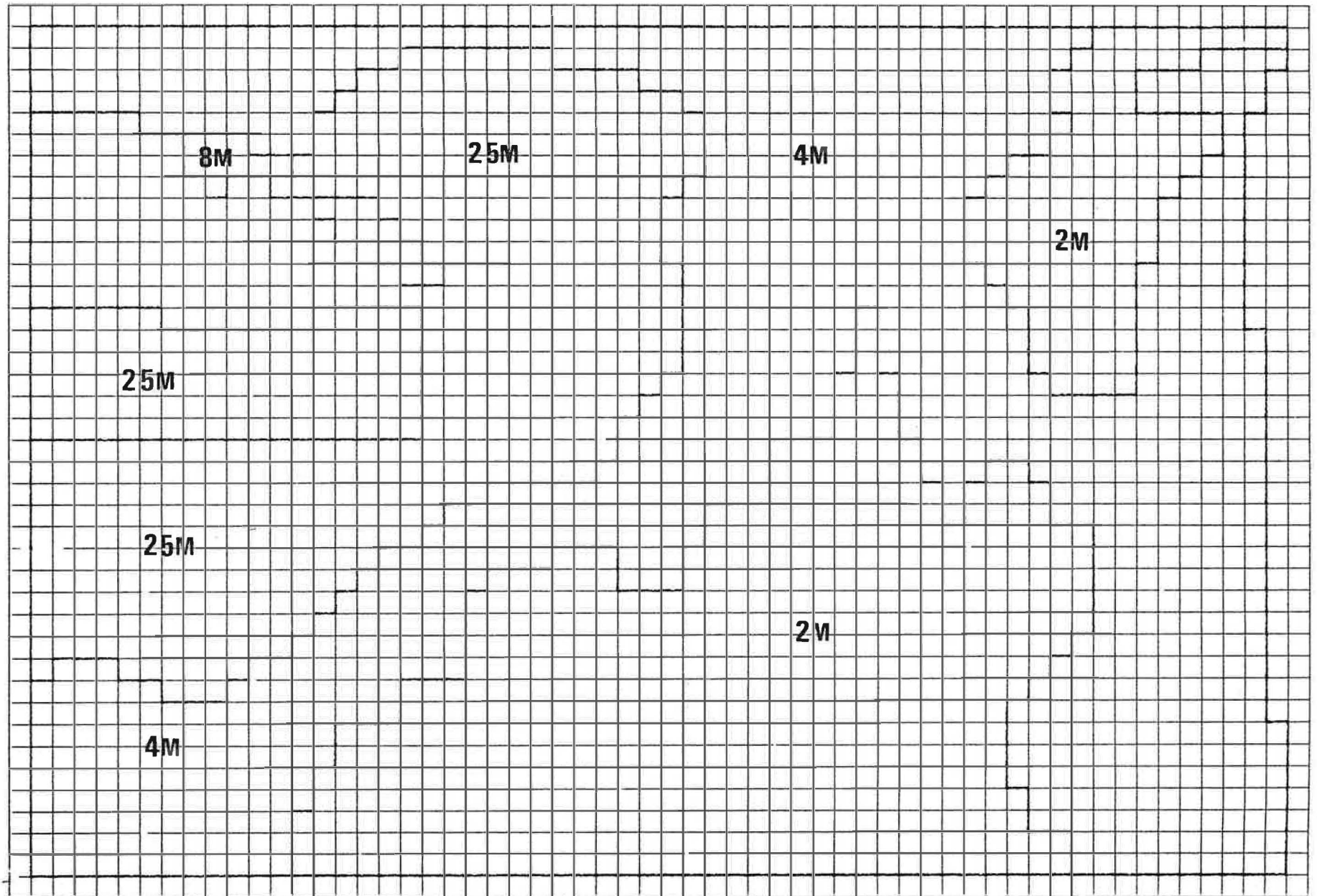


Fig. 21 - Diepte van het referentievlak

8. IJKING VAN HET MODEL

8.1. Bepaling van de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen

Uit een studie met een invers mathematisch model in het Belgische-Nederlandse grensgebied te Kalmthout-Essen is vroeger reeds gebleken (LEBBE e.a., 1985), dat de Noorderkempen op basis van de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen in 2 deelgebieden kan ingedeeld worden : een eerste deelgebied omvat de grote valeien en heeft een geringe hydraulische weerstand (tot enkele duizenden dagen), het tweede deelgebied bevat de interfluvia en de topografisch hoger gelegen gebieden (waarin ook de meeste vennen gelegen zijn) en heeft een grotere hydraulische weerstand (tot verschillende tienduizenden dagen). In bovenvermelde studie waren voldoende stijghoogtewaarnemingen voorhanden om een invers model toe te passen. In die studie werd door opeenvolgende berekeningen van het model de hydraulische weerstand per cel bepaald. Hierdoor kon een goed beeld verkregen worden van de laterale variatie van de weerstand.

Onder de interfluvia en topografisch hoger gelegen gebieden vormt de top van de Formatie van de Kempen een ondiep klei-substraat. De watertafel bevindt zich hier in de slecht doorlatende laag. Er vindt geen horizontale stroming in het freatisch reservoir plaats, enkel een verticale stroming naar de onderliggende laag (Formatie van Merksplas). Het stijghoogteverschil tussen de watertafel en de onderliggende laag wordt enkel bepaald door de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen. Door vergelijking van waargenomen en berekend stijghoogteverschil kan de hydraulische weerstand afgeleid en tijdens opeenvolgende berekeningen aangepast worden.

In de valleien is het stijghoogteverschil klein of bestaat er opwaartse stroming. De stand van de watertafel wordt hier

vooral bepaald door de aanwezigheid van waterlopen en de stroming naar de beekvalleien. Hier kan de weerstand niet afgeleid worden uit het stijghoogteverschil. In de valleien zijn (opwaartse) stijghoogteverschillen van meer dan 1 meter waargenomen, zodat kan aangenomen worden dat de weerstand er niet gering is. Hij werd hier op 1600 dagen geschat.

In deze studie werd de voorkeur gegeven het modelgebied in een aantal deelgebieden in te delen. Elk deelgebied wordt gekenmerkt door een bepaalde hydraulische weerstand. Deze werd bepaald door gedurende opeenvolgende berekeningen met het model de weerstanden van de deelgebieden aan te passen tot een goede overeenkomst tussen berekende en gemeten of geschat stijghoogteverschil bereikt was. De grootste weerstand komt onder het Groot Schietveld voor en bedraagt 12000 dagen. De kleinste waarde komt in de vallei voor (1600 dagen). De weerstand van de verschillende deelgebieden is aangegeven op fig. 17.

8.2. Bepaling van de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel

In de freatische laag van een grondwaterreservoir zijn de seizoenale schommelingen niet alleen afhankelijk van de wisselende neerslaghoeveelheden, maar ook van de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel. Hoe groter de bergingscoëfficiënt, hoe kleiner de jaarlijkse schommelingen.

In het studiegebied zijn voor een aantal peilputten sinds 1974 stijghoogtegegevens voorhanden. Hieruit kunnen de gemiddelde maandelijkse stijghoogten bepaald worden. Uit deze gemiddelden kan de gemiddelde jaarlijkse fluktuatie afgeleid worden (verschil tussen de hoogste en laagste maandgemiddelde). Met tijdsafhankelijke simulaties kunnen de maandelijkse stijghoogten bij de gemiddelde schommeling van de neerslaghoeveelheid berekend worden. Door vergelijking van de schommeling berekend door het model en de waargenomen schommelin-

gen kan de bergingscoëfficiënt gekalibreerd worden. Er werd 0.07 gevonden.

9. RESULTATEN

9.1. Inleiding

Nadat het model gekalibreerd was naar de gemiddelde toestand van 1983, werden simulaties uitgevoerd zonder winning en met verschillende winningsdebieten. Er werden permanente en tijdsafhankelijke berekeningen uitgevoerd.

Permanente toestanden geven de situatie na een oneindig lange tijd pomp, wanneer zich een evenwicht heeft ingesteld. De tijdsafhankelijke simulaties geven de maandelijkse stijghoogteschommelingen tengevolge van de seizoensale fluktuaties. Hierbij worden de maandelijkse gemiddelden van de nuttige neerslag in het model ingevoerd (zie 7.3.).

Eerst werden simulaties zonder winning uitgevoerd. Daarna werden berekeningen uitgevoerd voor winningsdebieten van 5000, 7500 en 10000 m³/dag uit de bestaande 6 winningsputten. Hiervoor werden enkel permanente toestanden gesimuleerd.

Vervolgens werden simulaties uitgevoerd voor een uitbreiding van de winning tot 15000 m³/dag uit 8 putten. Er werd zowel een permanente als een tijdsafhankelijke toestand berekend. De tijdsafhankelijke berekening geeft de evolutie van de verlaging van de watertafel gedurende een volledig hydrologisch jaar (opvul- en afvloeiperiode). Zowel voor de permanente als de tijdsafhankelijke toestand werd de invloed van het aanbrengen van 3 stuwen op de Weerij onderzocht. Voor de permanente toestand werd ook de verlaging veroorzaakt door de noordelijke (3 putten) en de zuidelijke (5 putten) batterij nagegaan.

Tenslotte werd onderzocht of een verplaatsing van de puttenbatterij naar de zuidoostelijke hoek van het militair gebied de verlaging van de watertafel kan beperken.

9.2. Toestand zonder winning

9.2.1. Permanente toestand

De berekende stijghoogten zijn weergegeven op de PLATEN 1, 2 en 3. De stijghoogtelijnen zijn getekend met een interval van 0.5 meter. De grondwaterstroming gebeurt loodrecht op de stijghoogtelijnen van hoge naar lage stijghoogte.

Het stromingspatroon in de onderste watervoerende laag (PLAAT 1) vertoont een eenvoudig patroon. Aan de randen zijn in deze laag vaste stijghoogten ingevoerd. De hoogste stijghoogten (+22 m) komen voor in de zuidwestelijke hoek van het gebied, de laagste (+12,5 m) in de noordoostelijke hoek. De stroming gebeurt in noordoostelijke richting.

In de tweede watervoerende laag (PLAAT 2) (Formatie van de Kempen) wordt het globaal patroon meer beïnvloed door de topografie en de hydrografie. De ligging van de vallei van de Weerijs en de Weehagense beek beïnvloed het verloop van de stijghoogtelijnen. Het algemeen stromingspatroon in deze laag is evenals in de onderste laag naar het noordoosten gericht.

In het freatisch reservoir (PLAAT 3) vertonen de stijghoogten een veel ingewikkelder patroon. De stand van de watertafel wordt vooral bepaald door lokale topografische en hydrografische omstandigheden.

De hoogste stijghoogten komen voor onder het Groot Schietveld. Van hieruit gebeurt de stroming naar Het Moerken in het noorden, de Schaapsdijkbeek in het zuiden en de Weerijs in het oosten. In de vallei van de Weerijs en de Weerhagense beek is de stroming naar de beken en de zijbeken gericht. In het zuiden van het modelgebied en op het interfluvium tussen Weerijs en Weerhagense beek gebeurt de stroming vooral naar

het noorden.

9.2.2. Seizoenale fluctuaties

Voor de toestand zonder winning is een tijdsafhankelijke berekening uitgevoerd om de maandelijkse fluctuaties vast te stellen. De berekende stijghoogten zijn niet voorgesteld maar werden gebruikt om de maandelijkse verlagingen van de watertafel ten gevolge van een winning van 15000 m³/dag te evalueren.

9.3. Toestand zonder uitbreiding van de winning (6 putten)

9.3.1. Toestand met winning van 5000 m³/dag

De berekende verlaging van de watertafel is voorgesteld op PLAAT 4.

Op de westelijke oever bedragen de verlagingen iets meer dan 40 cm. Op de oostelijke oever ca. 30 cm. Rondom de Stapelheidebeek zijn de verlagingen beperkt.

9.3.2. Toestand met winning van 7500 m³/dag

De berekende verlagingen van de watertafel is voorgesteld op PLAAT 5.

Op de westelijke oever bedraagt de verlaging tot meer dan 60 cm. Op de oostelijke oever tot ongeveer 60 cm. Rond de Stapelheidebeek zijn de verlagingen beperkt.

9.3.3. Toestand met winning van 10000 m³/dag

De berekende verlagingen van de watertafel is voorgesteld op PLAAT 6.

Op de westelijke oever bedraagt de verlaging tot meer dan 80 cm. Ten oosten en zuiden van de Weerijis bedraagt de verlaging tot 60 cm. Rond de Stapelheidebeek is de verlaging kleiner.

9.4. Toestand met uitbreiding van de winning (15000 m³/dag)

9.4.1. Permanente toestand

De berekende stijghoogten zijn voorgesteld op PLATEN 7, 8 en 9. In de aangepompte laag (PLAAT 7) zijn er rond de winningsputten depressietrechters in het stijghoogtepatroon aanwezig. In de lagen 2 en 3 (PLAAT 8 en 9) is de invloed van de winning niet opvallend en volgt een veel complexer patroon dat bepaald wordt door lokale omstandigheden zoals waterlopen en topografie.

Op PLAAT 10 is de verlaging van de watertafel uitgezet.

De verlaging van de watertafel is het kleinst in de beekdalen. Hier bedragen de verlagingen tussen 20 en 50 cm. Langs de waterlopen is de verlaging beperkt aangezien het grondwaterreservoir hier een beroep kan doen op de aanwezigheid van het oppervlaktewater, met andere woorden de beken zullen minder gaan draineren en/of eventueel zelfs water gaan irrigeren. Tussen de waterlopen zijn de verlagingen veel aanzienlijker : ten westen van de Weerijis ca. 1.20 m, tussen Weerijis en Stapelheidebeek ca. 0.90 m en ten oosten van de Stapelheidebeek ca. 0.70 m. Onder het Groot Schietveld-Brecht blijven de verlagingen zeer beperkt (meestal minder dan 20 cm). Ook in de beekdalen van het Moerken en de Schaapsdijkbeek is de verlaging gering.

Op PLAAT 11 staat de supplementaire verlaging voorgesteld die optreedt, wanneer de winning uitbreidt van het huidige maximaal vergund debiet (10000 m³/dag) naar 15000 m³/dag.

Met het model werd de mogelijkheid onderzocht om met behulp van stuwen de verlaging van de watertafel te beperken. In het model werden 3 stuwen op de Weerijs aangebracht (zie 7.5). Vergelijking van de toestand met en zonder stuwen geeft aan hoeveel de verlaging zal beperkt worden (de watertafel verhoogd worden) wanneer de stuwen worden aangebracht. De verhoging van de watertafel is voorgesteld op PLAAT 12. Daaruit blijkt dat slechts in de onmiddellijke omgeving van de stuwen er invloed is, een maximale verhoging van ca. 30 cm, en dat in de gebieden tussen de beken er weinig verandert.

Met het model werd de invloed van de noordelijke batterij (van 3 putten) en de zuidelijke batterij (van 5 putten) afzonderlijk bepaald bij een winning van 15000 m³/dag. De verlagingen van de watertafel zijn voorgesteld op PLATEN 13 en 14. Hieruit blijkt dat de zuidelijke batterij een grotere invloed heeft dan de noordelijke.

9.4.2. Seizoenale fluctuaties

Van de tijdsafhankelijke simulatie werd de verlaging van de watertafel om de drie maanden uitgezet (PLATEN 15 tot en met 18). Hierbij komt de toestand in januari en april ongeveer overeen met het midden en het einde van de opvulperiode, en de toestand in juli en oktober met het midden en einde van de afvloeiperiode.

De verlagingen zijn in de afvloeiperiode iets groter dan in de opvulperiode. De verschillen zijn echter eerder beperkt. Het algemeen patroon van de verlagingen verandert niet in de loop van het hydrologisch jaar : de verlagingen zijn het kleinste in de beekdalen en het grootste in de gebieden die tussen de waterlopen in liggen.

Op PLATEN 19 tot en met 22 staat de verhoging van de waterta-

fel tengevolge van het aanbrengen van de 3 stuwen op de Weer-
ijs. De stuwen zorgen slechts in de onmiddellijke omgeving
voor een beperking van de verlaging. In de winterperiode
bedraagt de verhoging van de watertafel maximaal 40 cm, in de
zomerperiode maximaal 20 cm. Dit komt in de eerste plaats
omdat het waterpeil in de winter op slechts 30 cm onder maai-
veld wordt gehouden, in de zomer echter op 60 cm onder maai-
veld.

9.5. Toestand met alternatieve winningsconfiguratie

Er werd een simulatie uitgevoerd waarbij een geheel nieuwe
winningsconfiguratie gebruikt wordt met alle putten gelegen
in de SE-hoek van het militair domein ten oosten van de weg
Brecht-Wuustwezel. De verlagingen van de watertafel zijn
voorgesteld op PLAAT 23. Er treden verlagingen op tot meer
dan 2 m.

10. BESLUIT

In het gebied rondom de geplande winningsuitbreiding werd in 7 bestaande piezometers de natuurlijke gammastraling opgemeten. Deze metingen lieten toe de kleilagen in de Formatie van de Kempen te onderscheiden. Er kon tot nog toe geen rechtstreeks verband met de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen gevonden worden.

De interpretatie van de pompproef die in 1974 werd uitgevoerd gaf betrouwbare waarden voor de hydraulische doorlatendheden van de onderste watervoerende lagen. Door gebrek aan stijghoogtewaarnemingen boven de Formatie van de Kempen kon de hydraulische weerstand hiervan niet betrouwbaar bepaald worden.

Met een mathematisch model werd de invloed van de bestaande en uitgebreide winning nagegaan. In het mathematisch model werd de hydraulische weerstand van de Formatie van de Kempen bepaald tijdens de kalibratie van het model. In de vallei van de Weerijds kon de weerstand niet bepaald worden. Er werd een geschatte waarde van 1600 dagen ingevoerd. Er werden zowel permanente ("steady state") als tijdsafhankelijke simulaties uitgevoerd.

Voor de bestaande winning bestaande uit 6 putten werd de verlaging van de watertafel berekend voor debieten van 5000, 7500 en het momenteel maximaal vergunde debiet van 10000 m³/dag.

Wordt de winning uitgebreid tot 8 putten en het winningsdebiet opgedreven tot 15000 m³/dag dan treden verlagingen van de watertafel op tot ca. 1.20 m. In de nabijheid van de beken zijn de verlagingen kleiner. De grootste verlagingen komen voor tussen de waterlopen. Vooral de zuidelijke batterij van 5 putten zorgt voor verlagingen. De verlagingen zijn in de

zomer groter dan in de winter maar het globaal patroon verandert niet. Het aanbrengen van 3 stuwen op de Weerijs zorgt slechts zeer lokaal voor een beperking van de verlaging. Wanneer een alternatieve winning in de zuidoostelijke hoek van het militair gebied wordt aangelegd zullen bij winning van 15000 m³/dag rond deze winning verlagingen van de water-tafel van meer dan 2 m optreden.

GERAADPLEEGDE WERKEN

BAKKER, T.W.M. (1981). Nederlandse kustduinen - Geohydrologie. Pudoc, Wageningen, 189 pp.

DE BREUCK, W., VAN DIJCK, E. & LEBBE, L. (1981). Hydrogeologische, bodemkundige en ekologische studie van de "Kalmthoutse Heide" en de omliggende landbouwgronden. Hydrogeologische studie. 94 p., 57 fig., 25 tab., 6 aanh. Gent : Rijksuniversiteit - Geologisch Instituut (rapport TGO 79/5 in opdracht van Minister van de Vlaamse Gemeenschap).

LEBBE, L., VAN CAMP, M., RAMAN, G. & DE BREUCK, W. (1985). Hydrogeologisch matematisch 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, rapport TGO 81/08b in opdracht van de Vlaamse executieve.

LEBBE, L. (1988). Uitvoering van pompproeven en interpretatie door middel van een invers model, 563 p., 109 fig., 61 tab. Gent : Rijksuniversiteit - Leerstoel voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie. Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de Graad van Geaggreerde voor het Hoger Onderwijs.

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).

TECHNISCHE DIENST VAN DE PROVINCIE ANTWERPEN (1950). Atlas van de onbevaarbare waterlopen. Atlas en beschrijvende tabellen opgesteld naar aanleiding van de "Wet op de waterlopen" van 1950. Archief van de technische dienst van de stad Antwerpen.

VAN CAMP, M. (1981). Hydrogeologie van het gebied rondom de Nieuwe Brug te Brecht-Loenhout-Wuustwezel. 71 p., 70 fig., 2 aanh. Gent : Rijksuniversiteit - Leerstoel voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, Licenciaatsverhandeling.



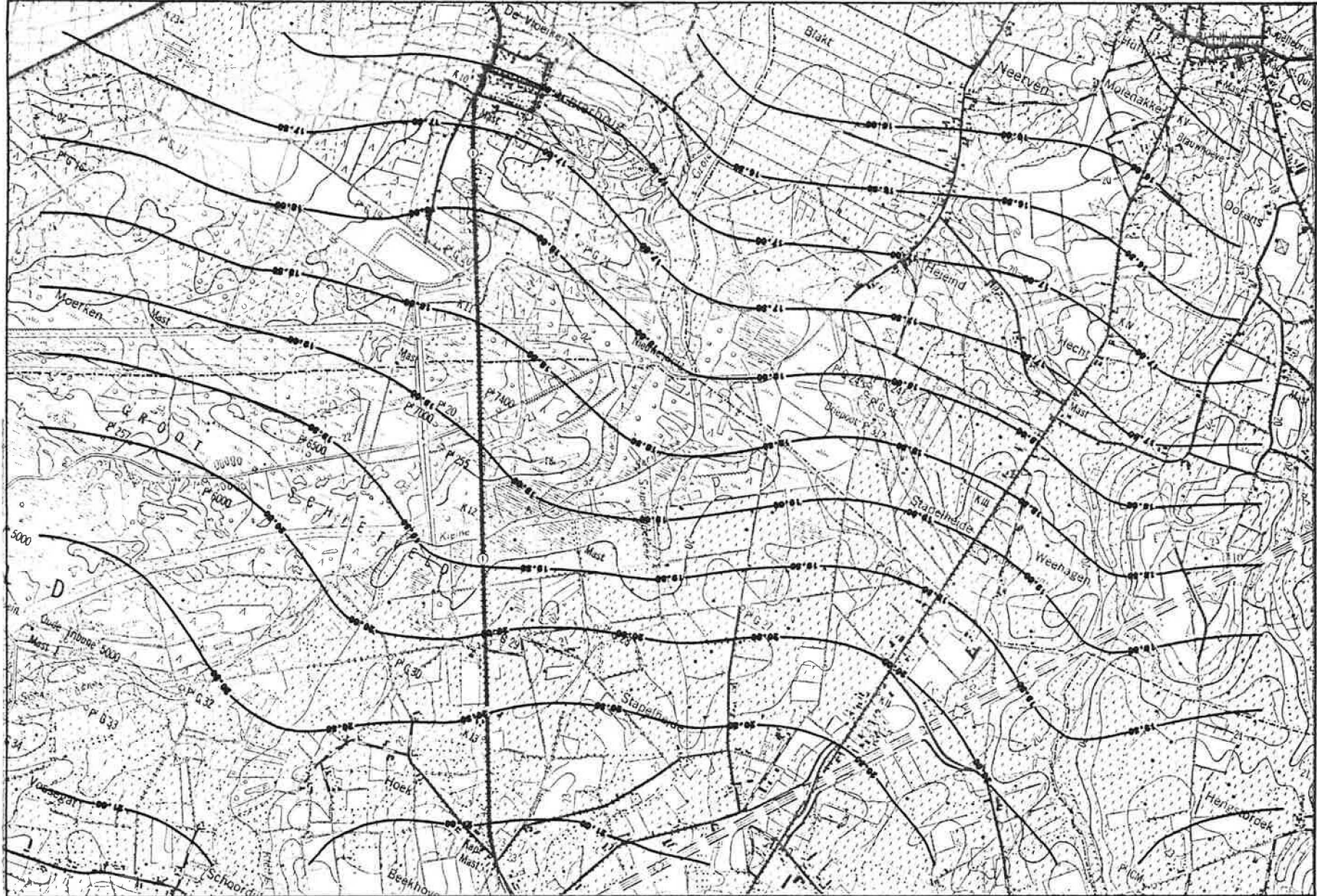
PLAAT 1 TOESTAND ZONDER WINNING

LAAG 1

ISOLIJNEN

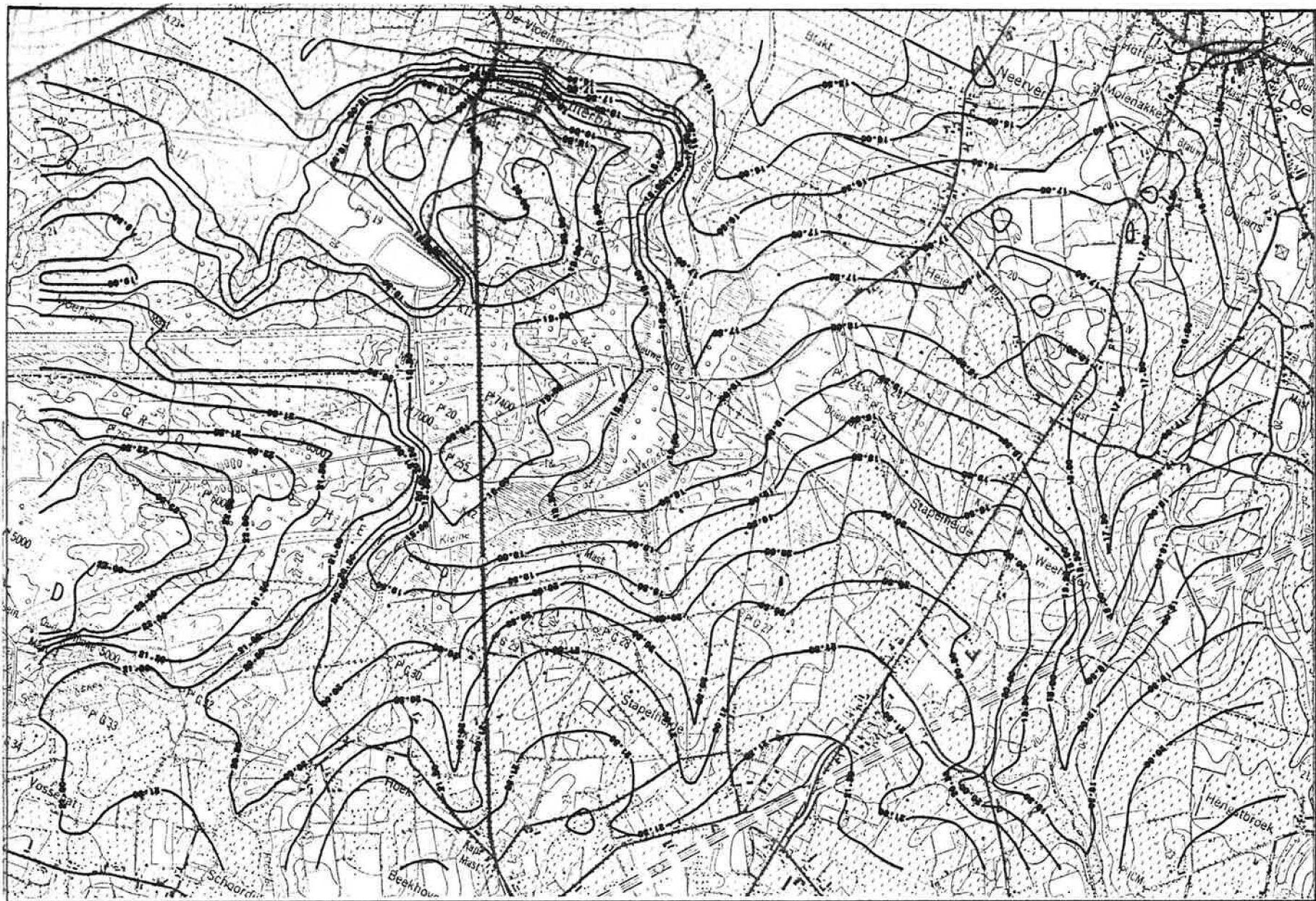
SCHAAL 1/25000

LIJNEN OP DE 0.50 METER



PLAAT 2 TOESTAND ZONDER WINING

LAAG 2	ISOLIJEN
SCHAAL 1/25000	LIJNEN OP DE 0.50 METER



PLAAT 3 TOESTAND ZONDER WINNING

LAAG 3	180 Lijnen
SCHAAL 1:25000	1 Lijn om de 0.50 Meter



PLAAT 4-VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ 5000 M³/D

LAAG 3-LAAG 3

ISOLIJNEN

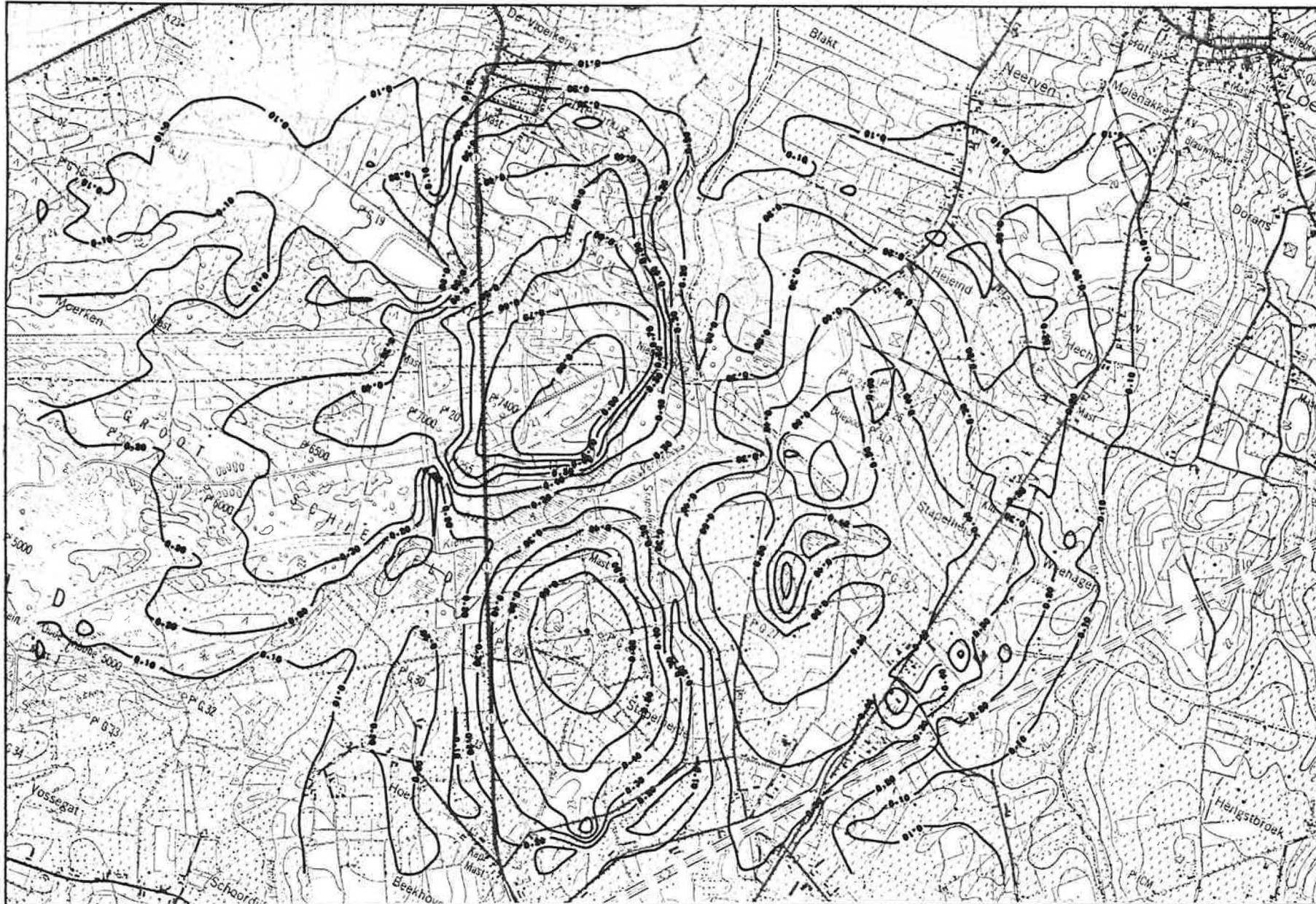
SCHAAL 1/25000

LIJNEN OP DE 0.10 METER



PLAAT 5-VERLASSING VAN DE WATERTAFEL BIJ 7500 M3/D

LAAG 3-LAAG 3	ISOLI-LIEN
SCHAAL 1/25000	LIJNEN OM DE 0.10 METER



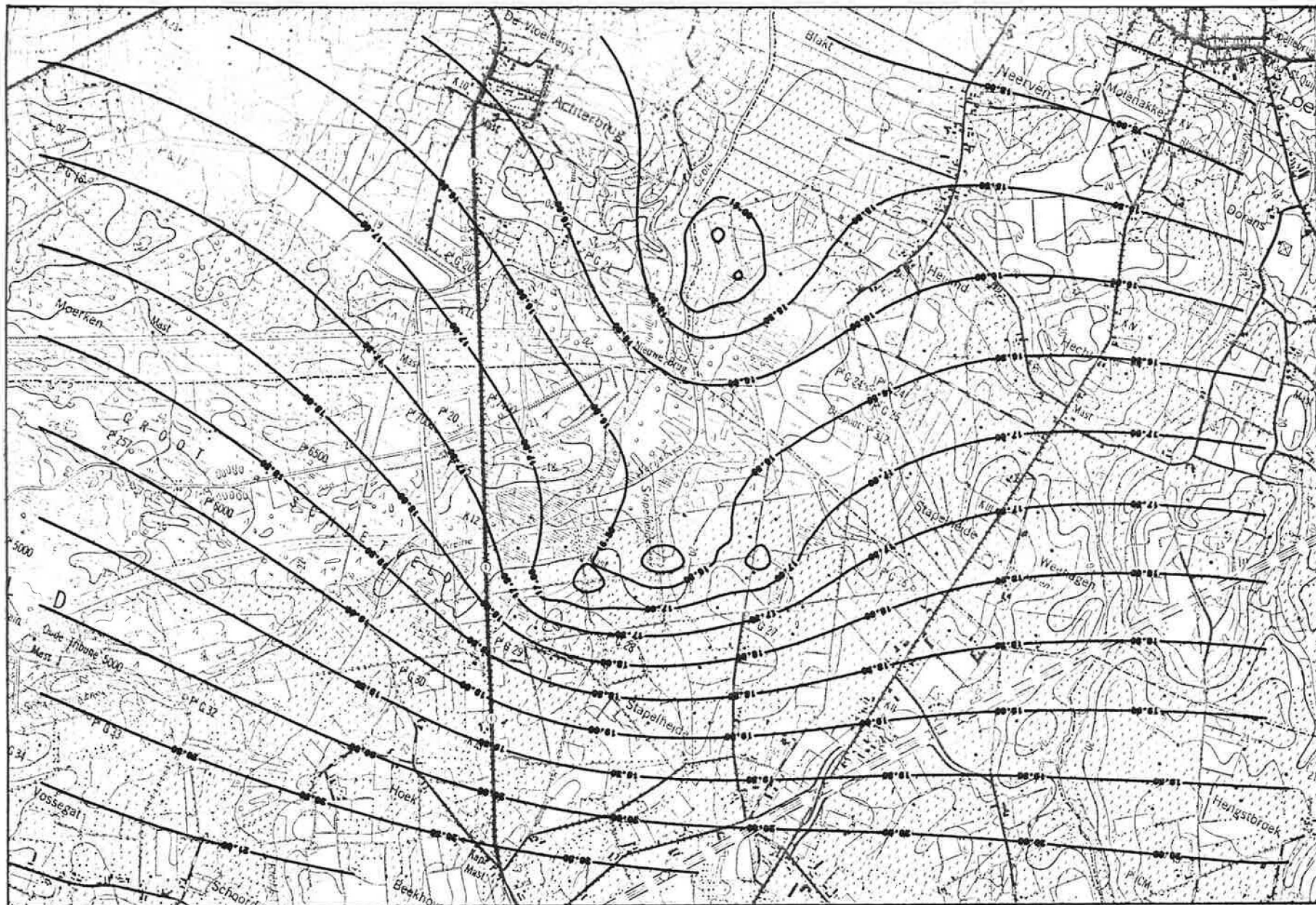
PLAAT 6-VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ 10000 NS/D

LAAG 3-LAAG 3

ISOLINIEN

SCHAAL 1/25000

LIJNEN OP DE 0.10 METER



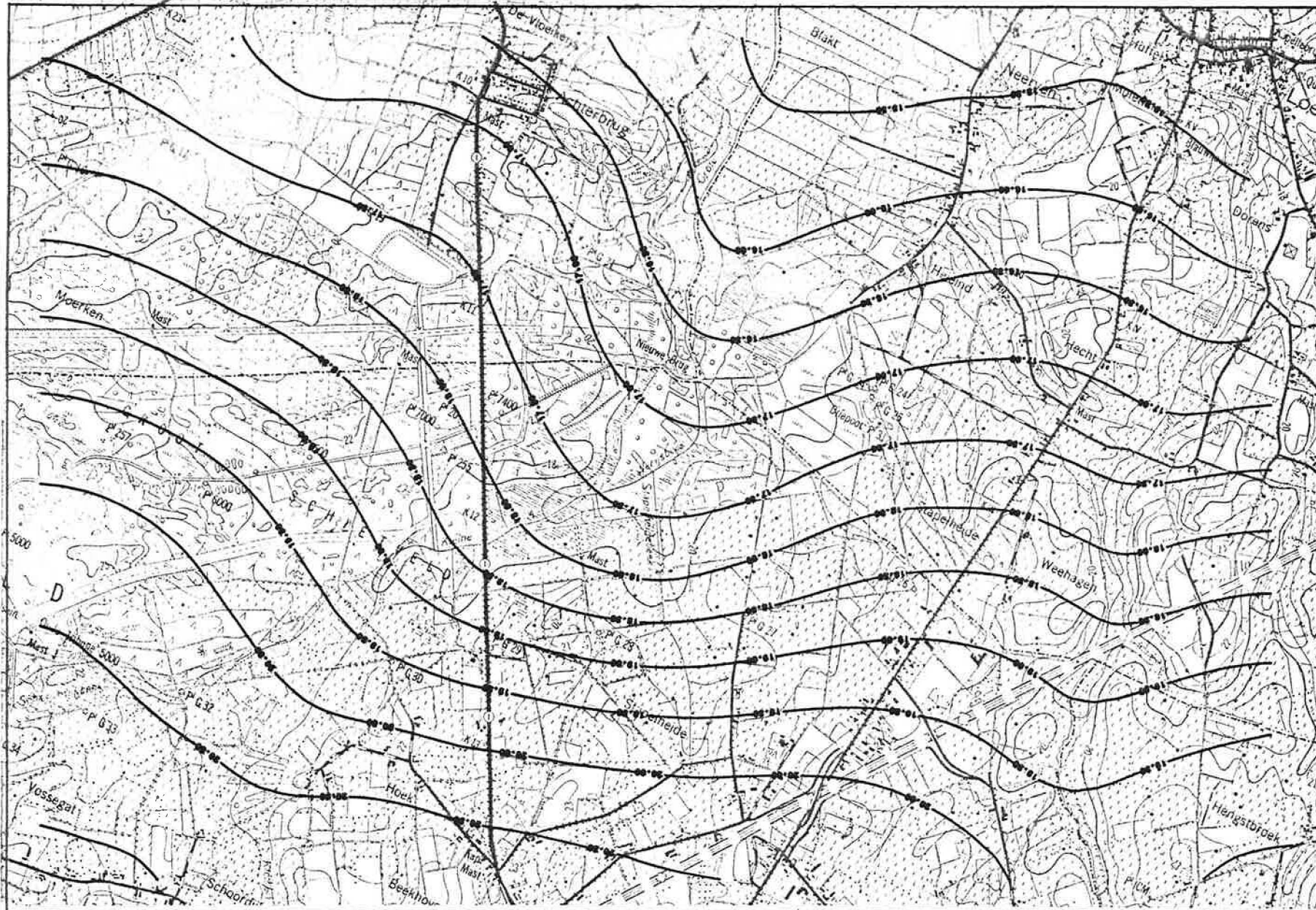
PLAAT 7 TOEGANG MET WINNING VAN 10000 M³/D

LAAG 1

180 LIJNEN

SCHAAL 1/25000

LIJNEN OM DE 0.30 METER



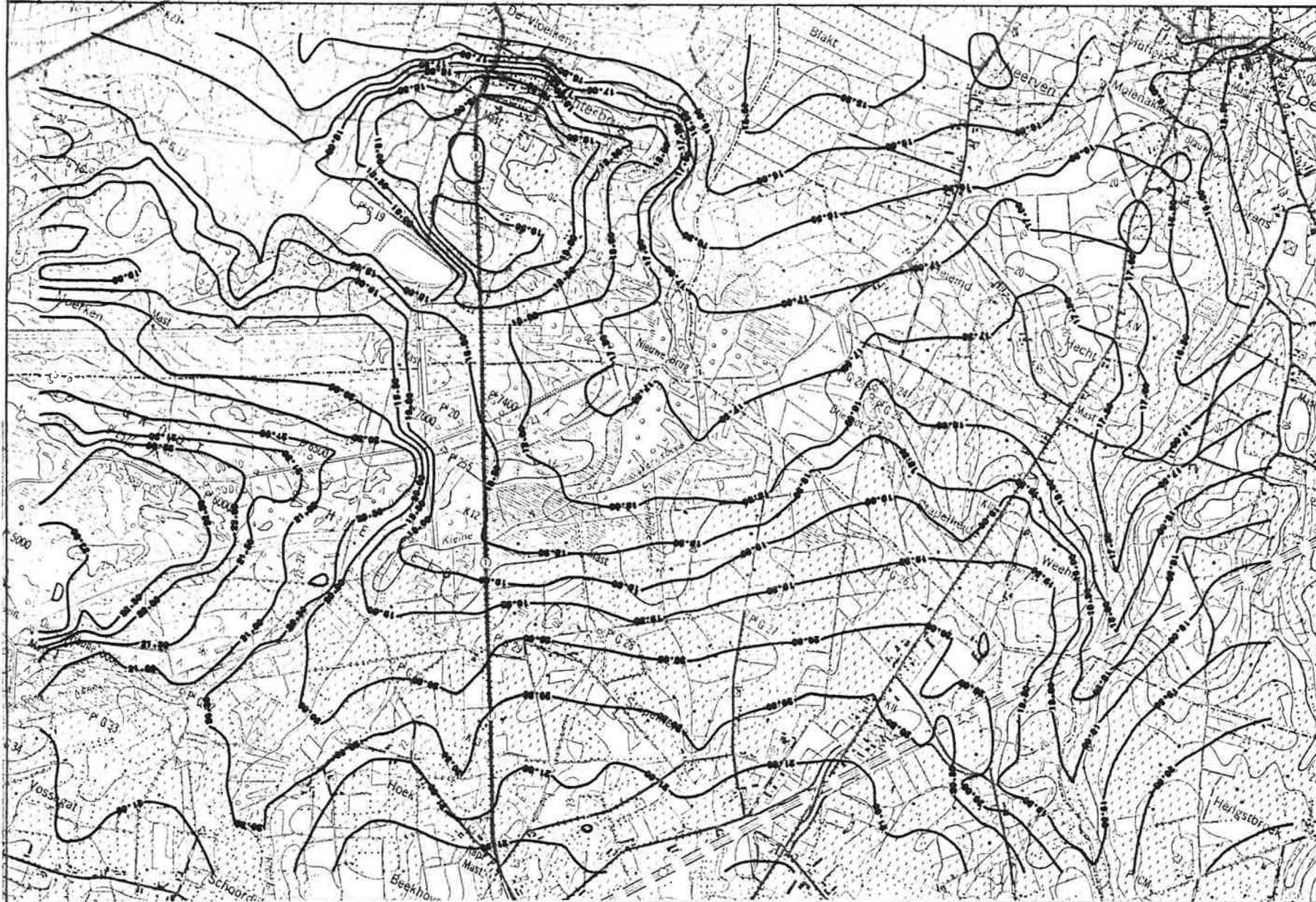
PLAAT 0-TOEGESTAND MET WINNING VAN 15000 M³/D

LAAG 2

1801-JUWEN

SCHAAL 1/25000

LIJNEN OM DE 0.50 METER



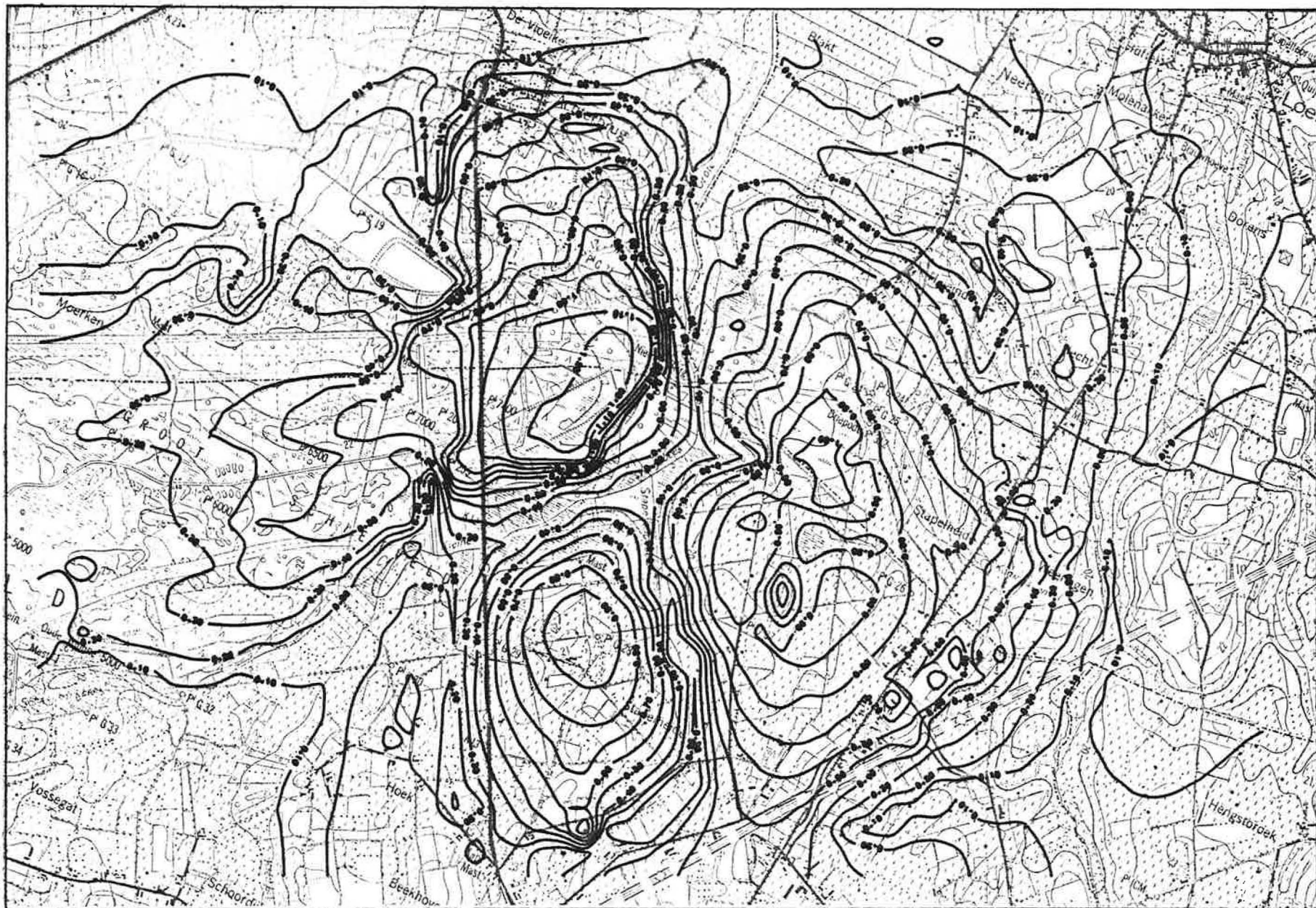
PLAAT 0-TOESTAND MET WINDING VAN 15000 N3/9

LAAG 3

1801.000

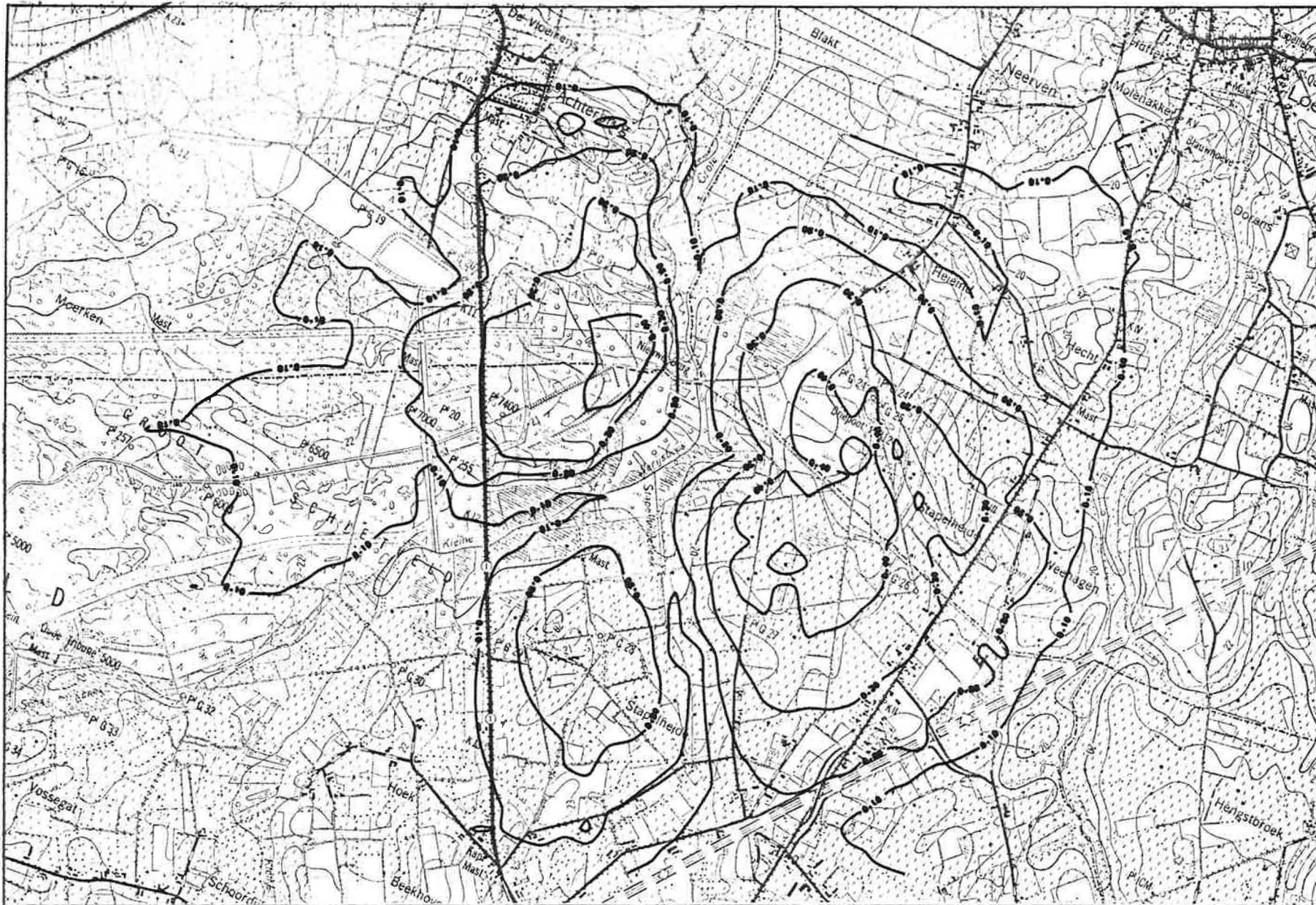
SCHAAL 1/25000

LIJNEN OM DE 0.50 METER



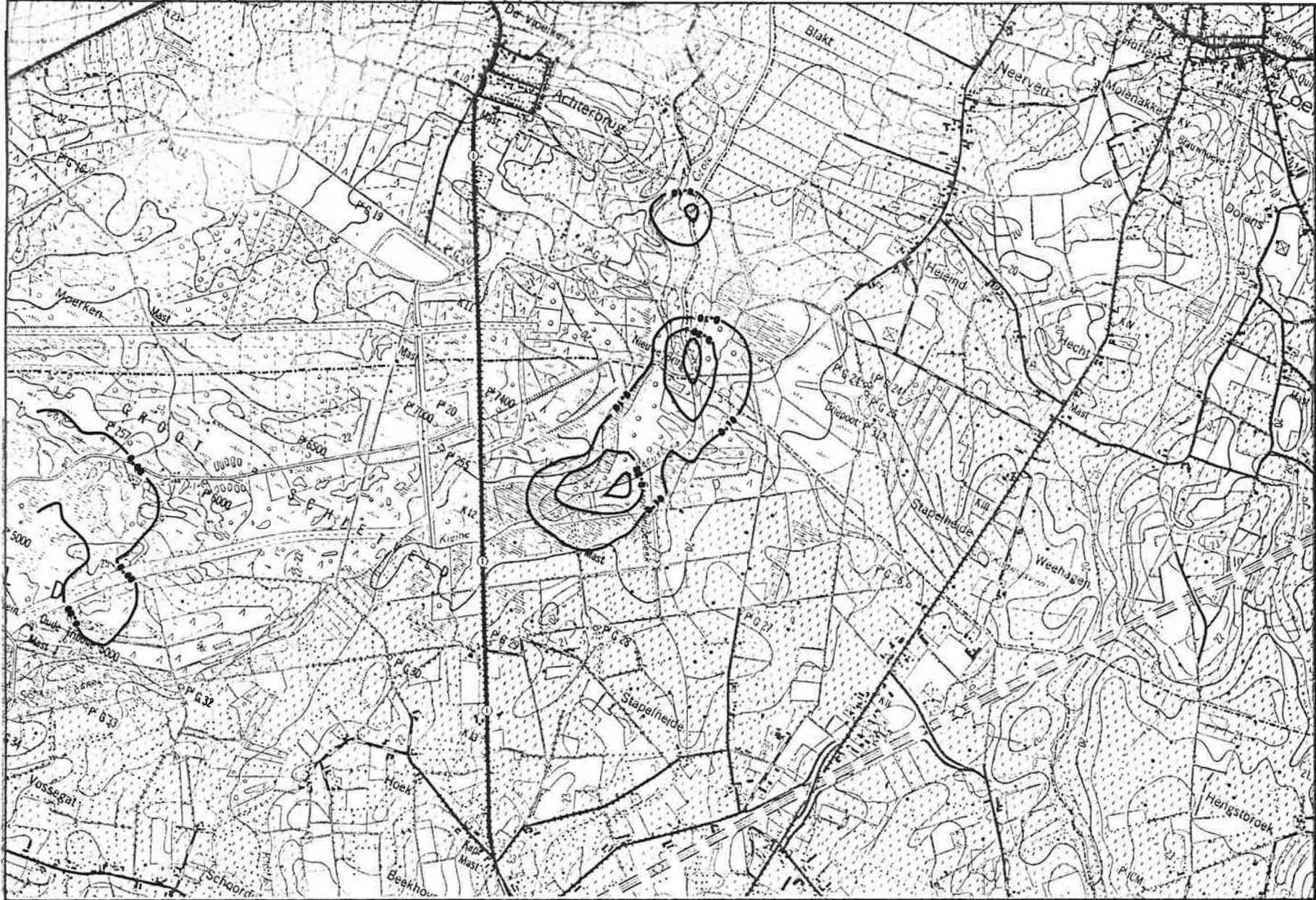
PLAAT 10-VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ 15000 M3/S

LAAG 3-LAAG 3	1881.10.10
SCHAAL 1/25000	LIJNEN OP DE 0.10 METER



PLAAT 11: BIJZONDERE VERLAGING I.G.V. TOERANE VAN 10000 NAAR 15000 M3/B

LAAG 3-LAAG 3	ISOLIJNEN
SCHAAL 1/25 000	LIJNEN OM DE 0.10 METER



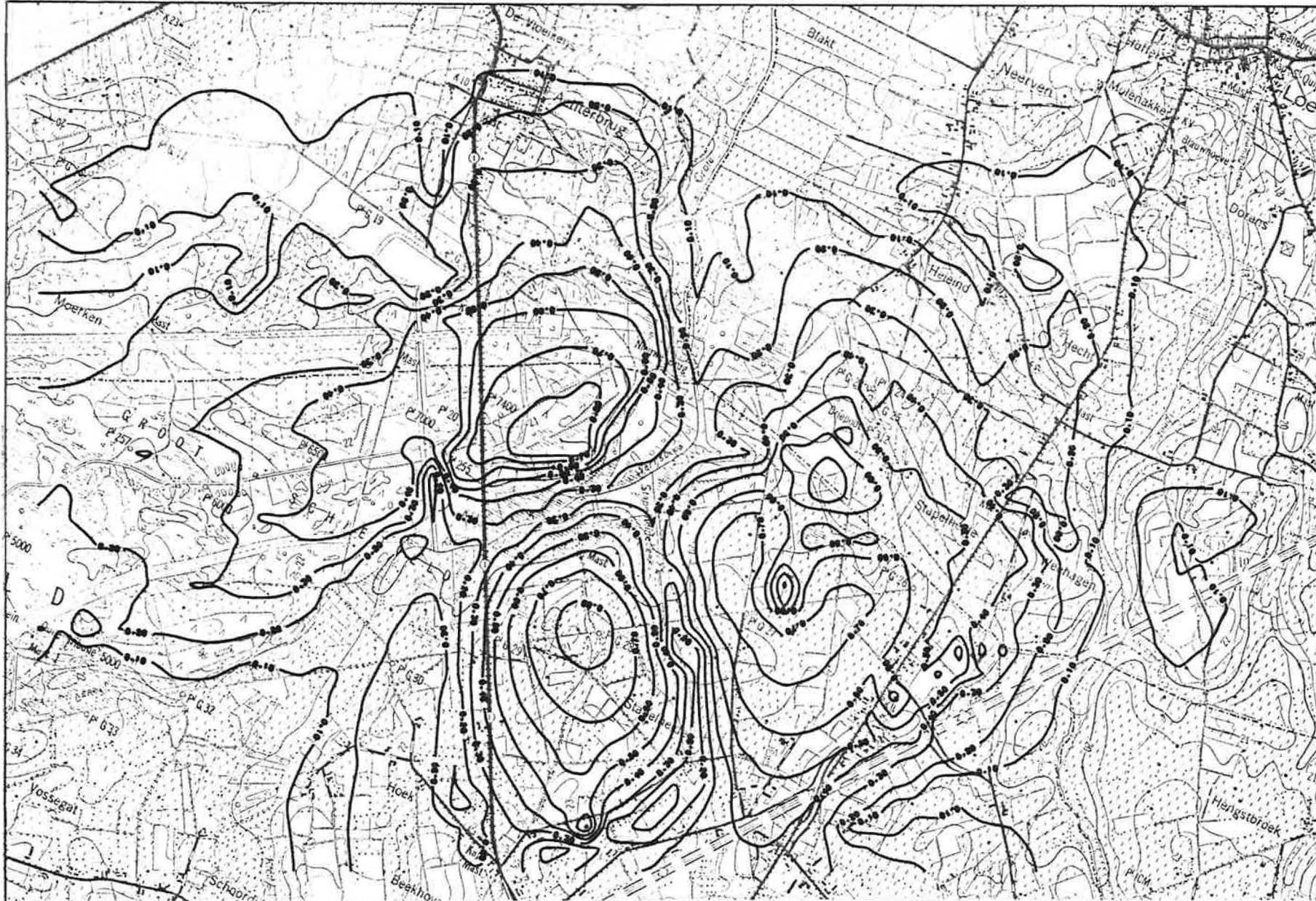
PLAAT 13: VERHOOGING VAN DE WATERAFDEL. T.G.V. AANDELEN VAN 3 STUEN

LAAS 3-LAAS 3	1881 JAREN
SCHAAL 1/25000	LIJNEN OP DE 0.10 METER



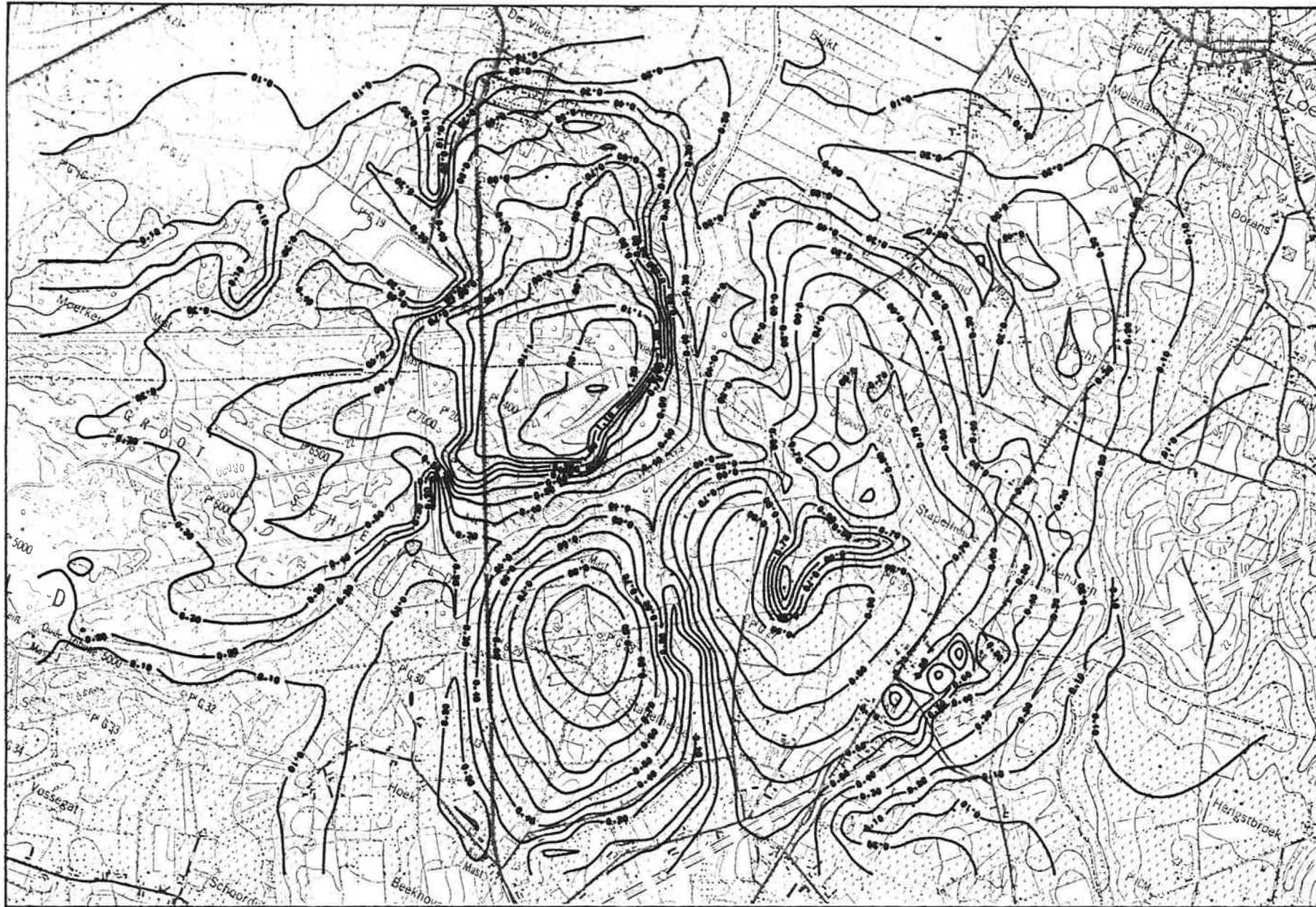
PLAAT 13-VERLAGING VAN DE WATERTAFEL T.O.V. DE 3 D-PUTTEN BIJ 18000 N3/D

LAAG 3-LAAG 3	100 L. WER
SCHAAL 1/25000	LIJNEN OP DE 0.10 METER



PLAAT 14-VERLAGING VAN DE WATERTAFEL T.G.V. DE 6 6-PUTTEN BIJ '8000 RZ/D

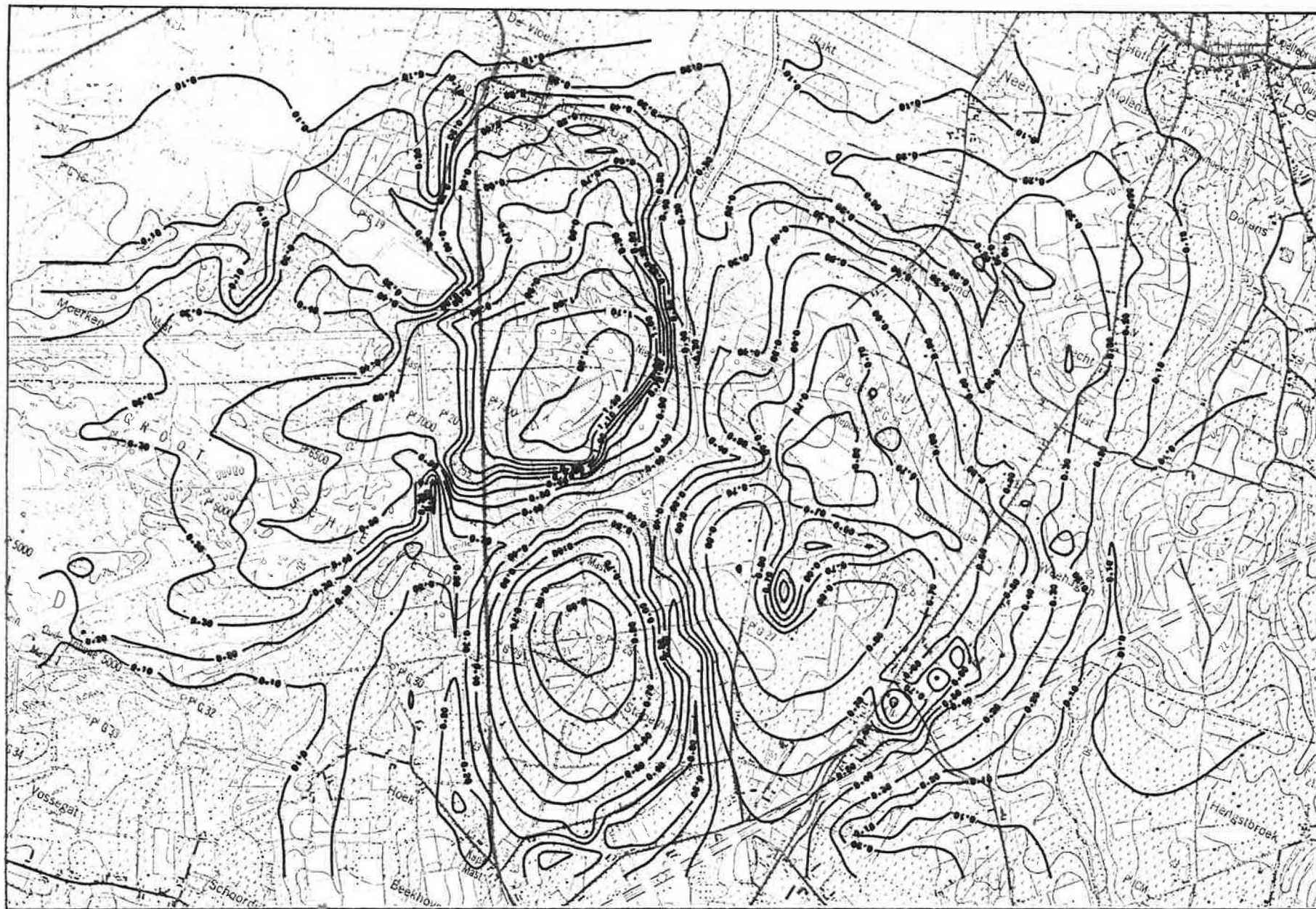
LAAG 3-LAAG 3	ISOLTIJEN
SCHAAL 1/25 000	LIJNEN ON DE 0.10 METER



PLAAT 18: VERLAGING VAN DE WATERTAFEL IN JANUARI 1928 (STAKEN)

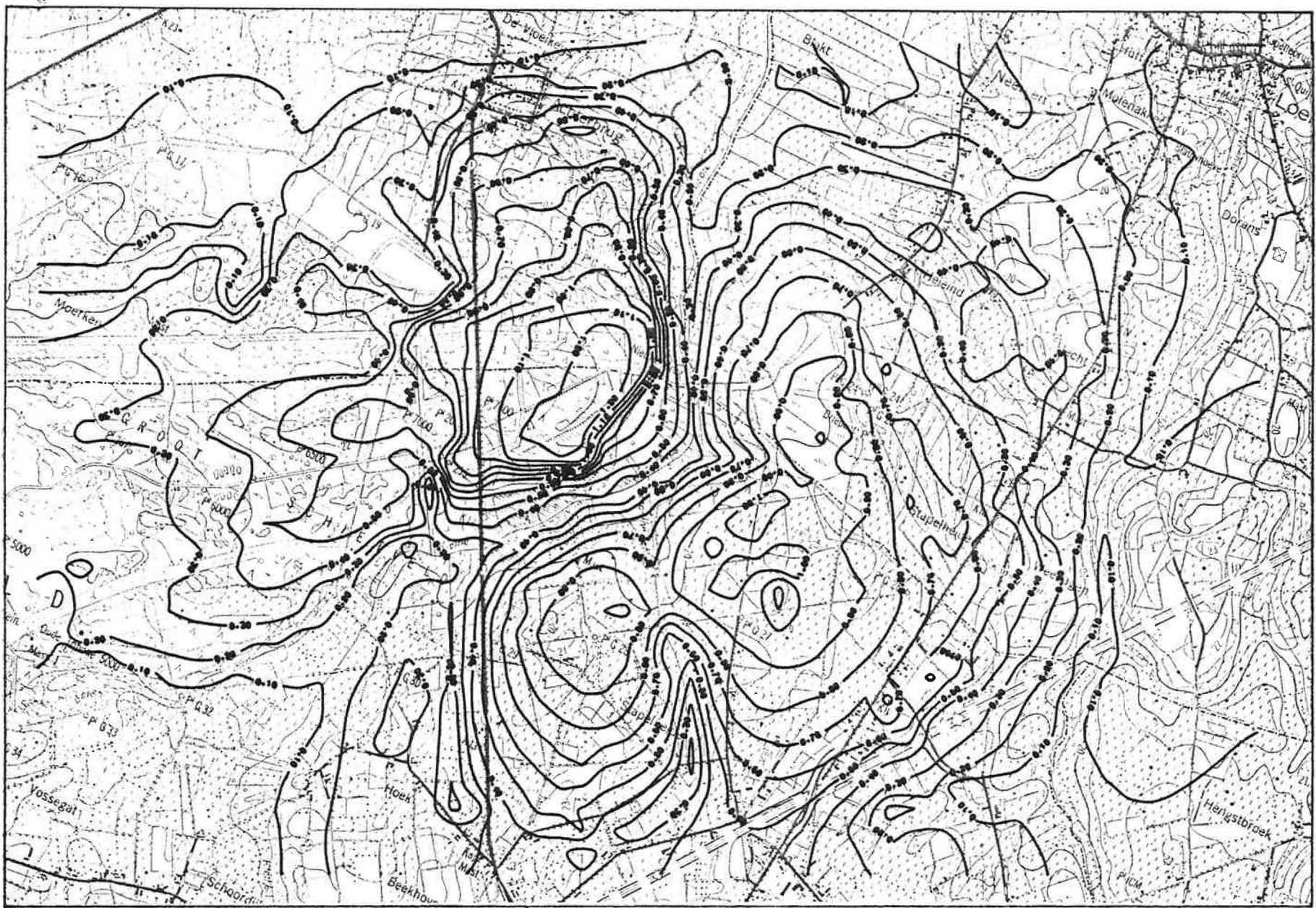
LAAG 3-LAAG 3
 SCHAAL 1:25000

100 Lijnen
 1 Lijnen op de 0.10 Meter



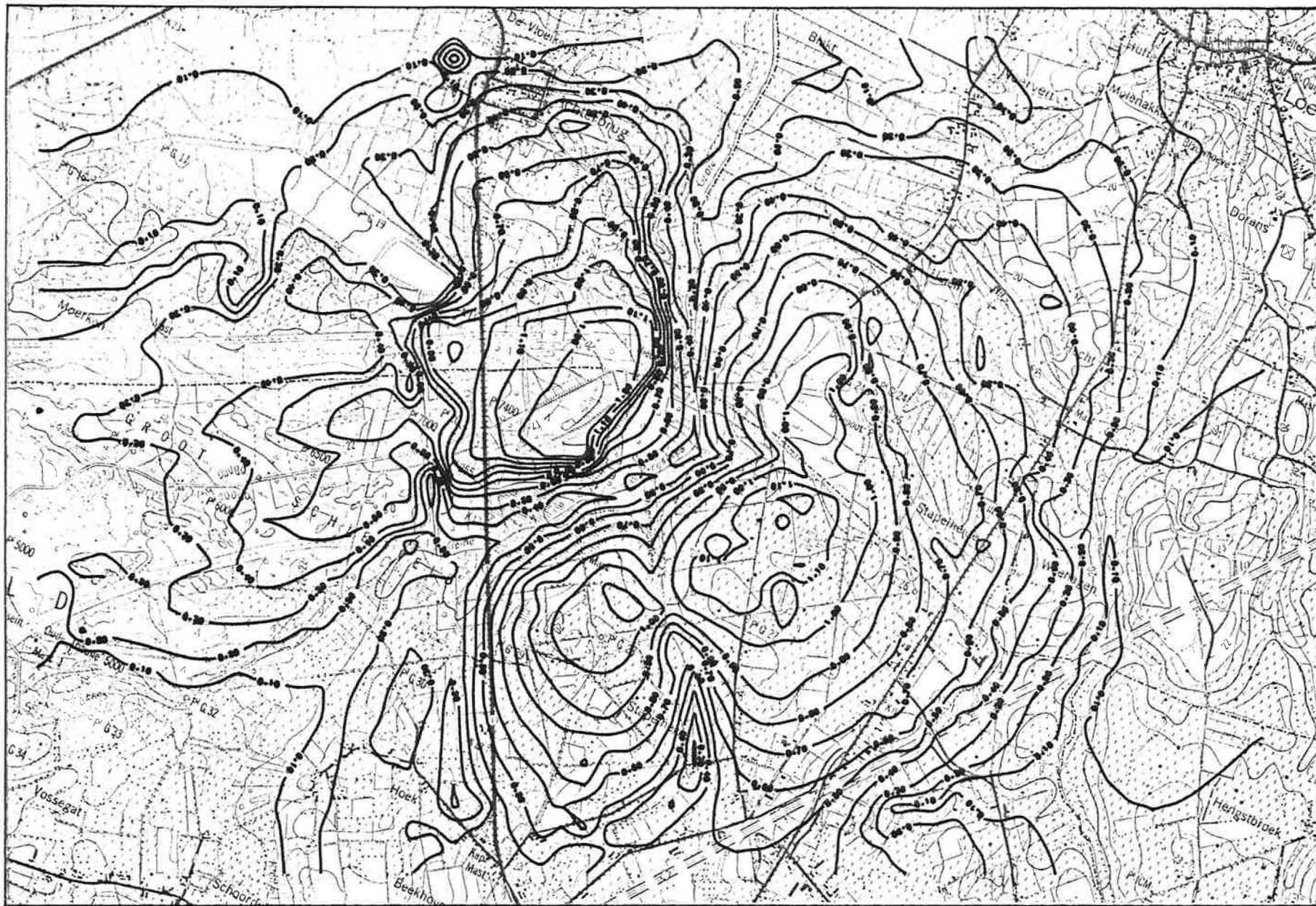
PLAAT 16 VERKLARING VAN DE WATERTAFEL IN APRIL (GEEN STUNEN)

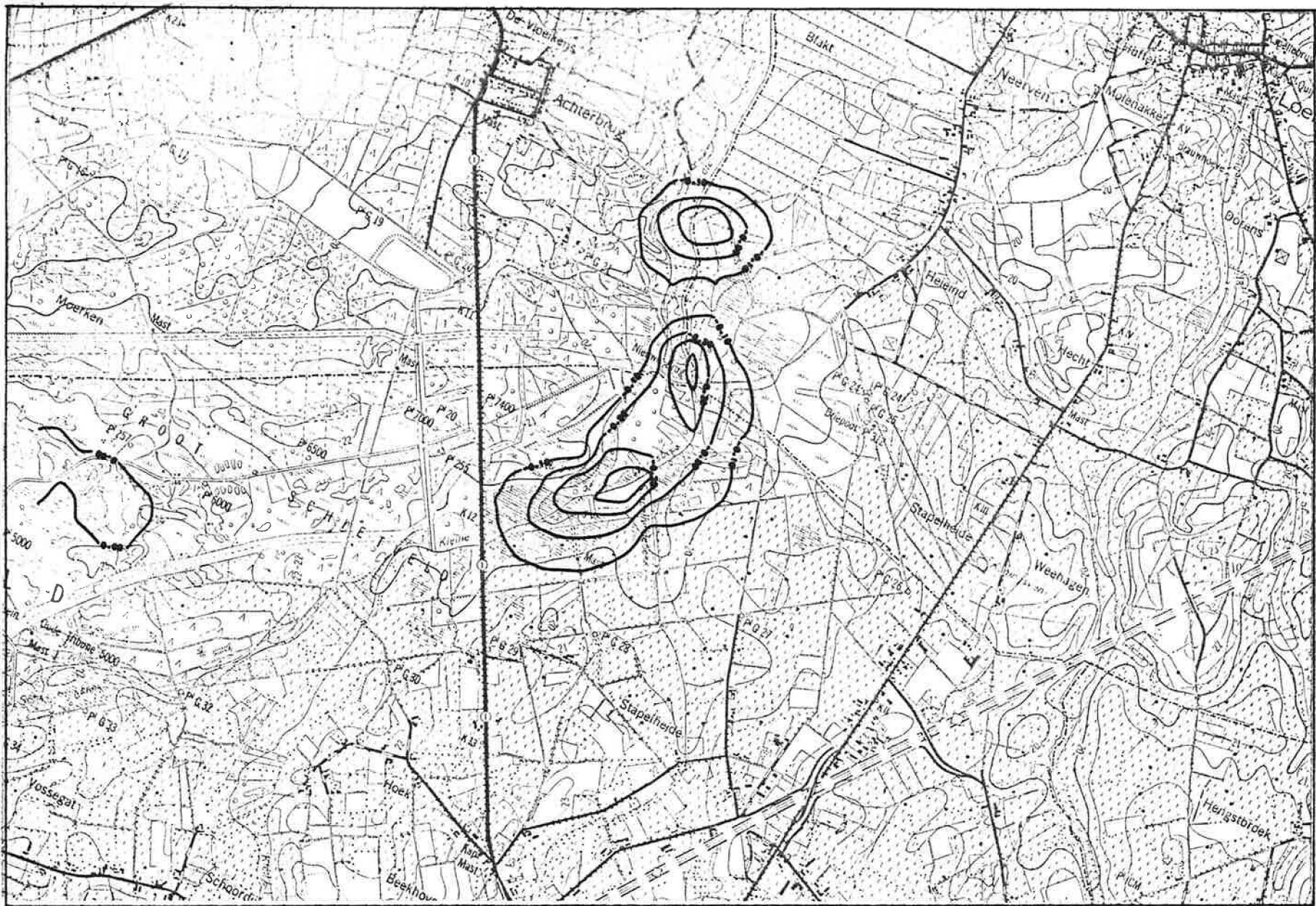
LAAG 3-LAAG 3	180 LITJEN
SCHAAL 1/25 000	1 LITJEN OM DE 0.10 METEN



PLAAT 17 VERLAGING VAN DE WATERTAFEL IN JULI (OOREN STUEN)

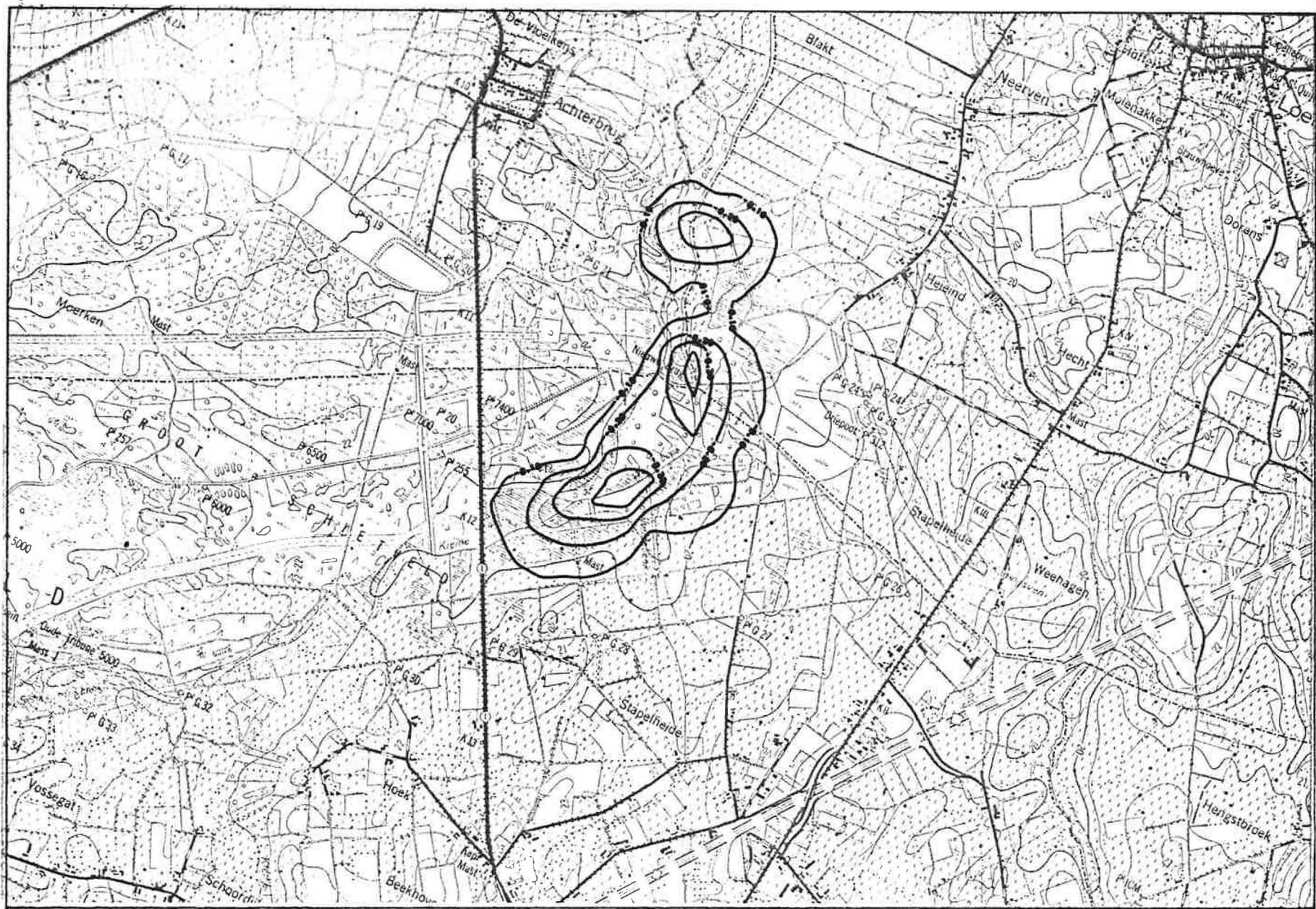
LAAO 3-LAAO 3	100L. JHEE
SCHAAL 1/25000	L1.000 OM DE 0.10 METER





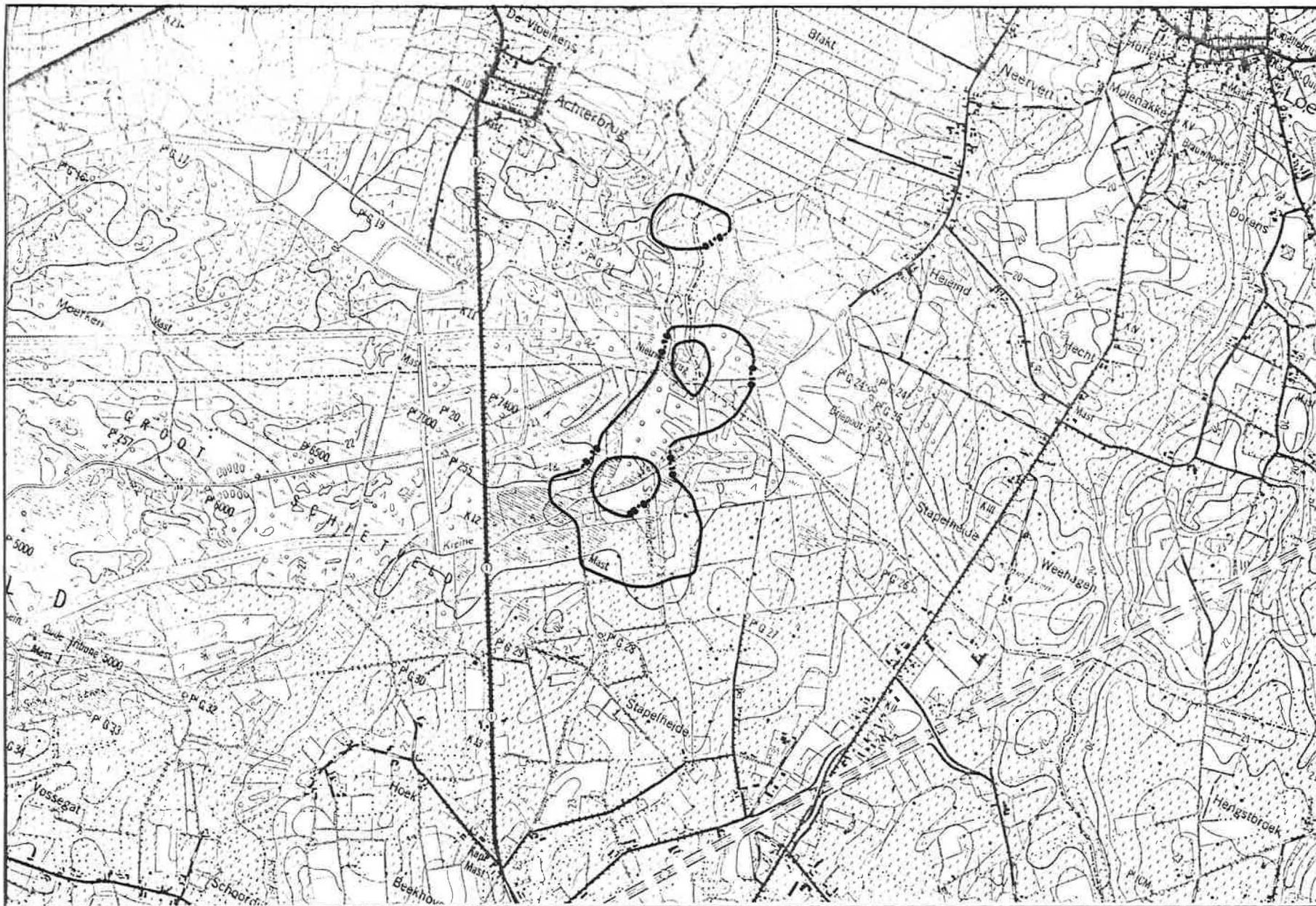
PLAAT 10. VERHOOGING VAN DE WATERTAPEL T.G.V. 3 STUWEN IN JANUARI

LAAO 3-LAAG 3	100L1J0EN
SCHAAL 1/25.000	L1J0EN ON DE 0.10 METER



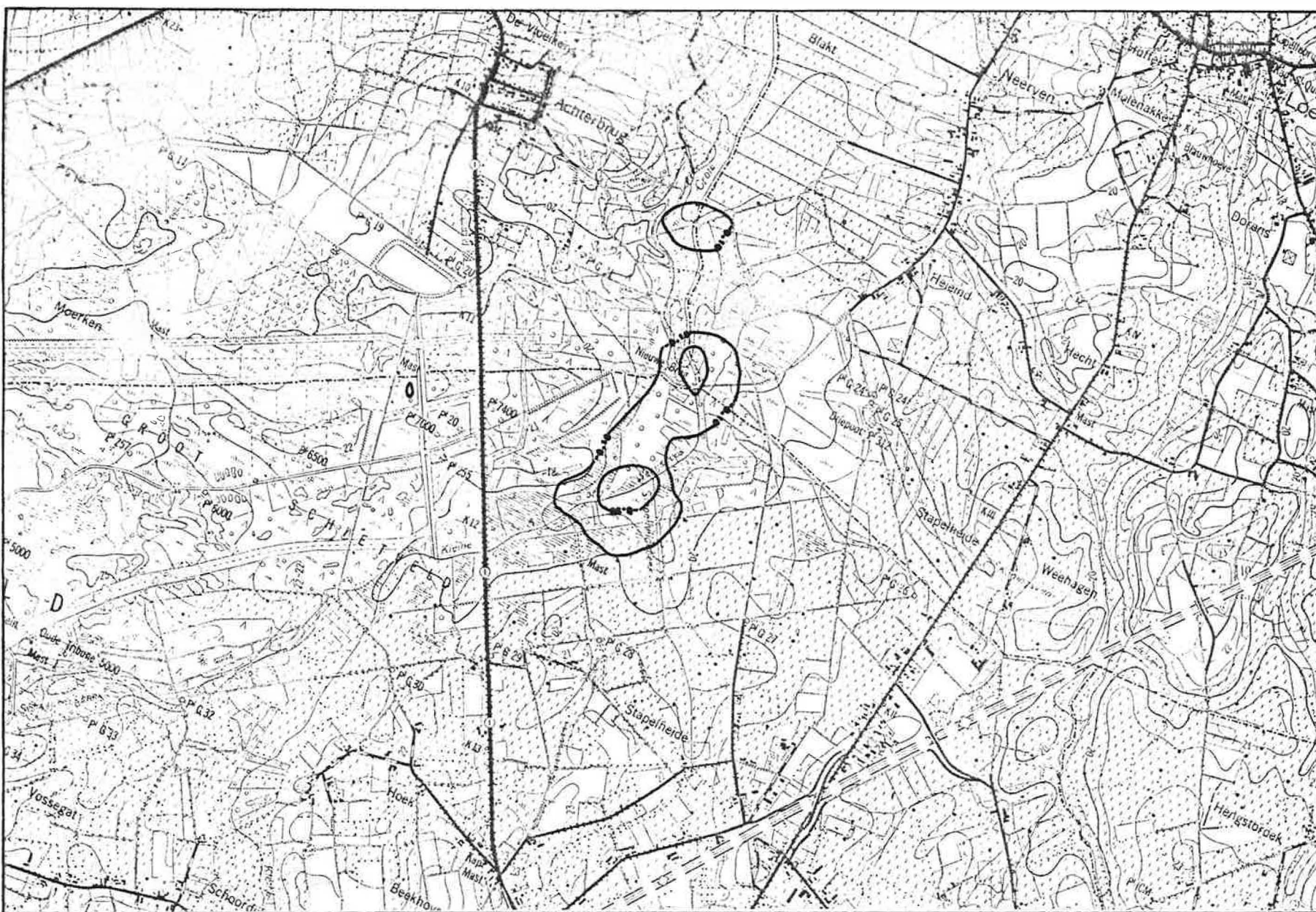
PLAAT 30: VERBODIGE VAN DE WATERTAFEL T.O.V. 3 STUKEN IN APRIL

LAGE 3-LAGE 3	100 L.I.NEN
SCHAAL 1/25 000	LIJNEN OP DE 0.10 METER



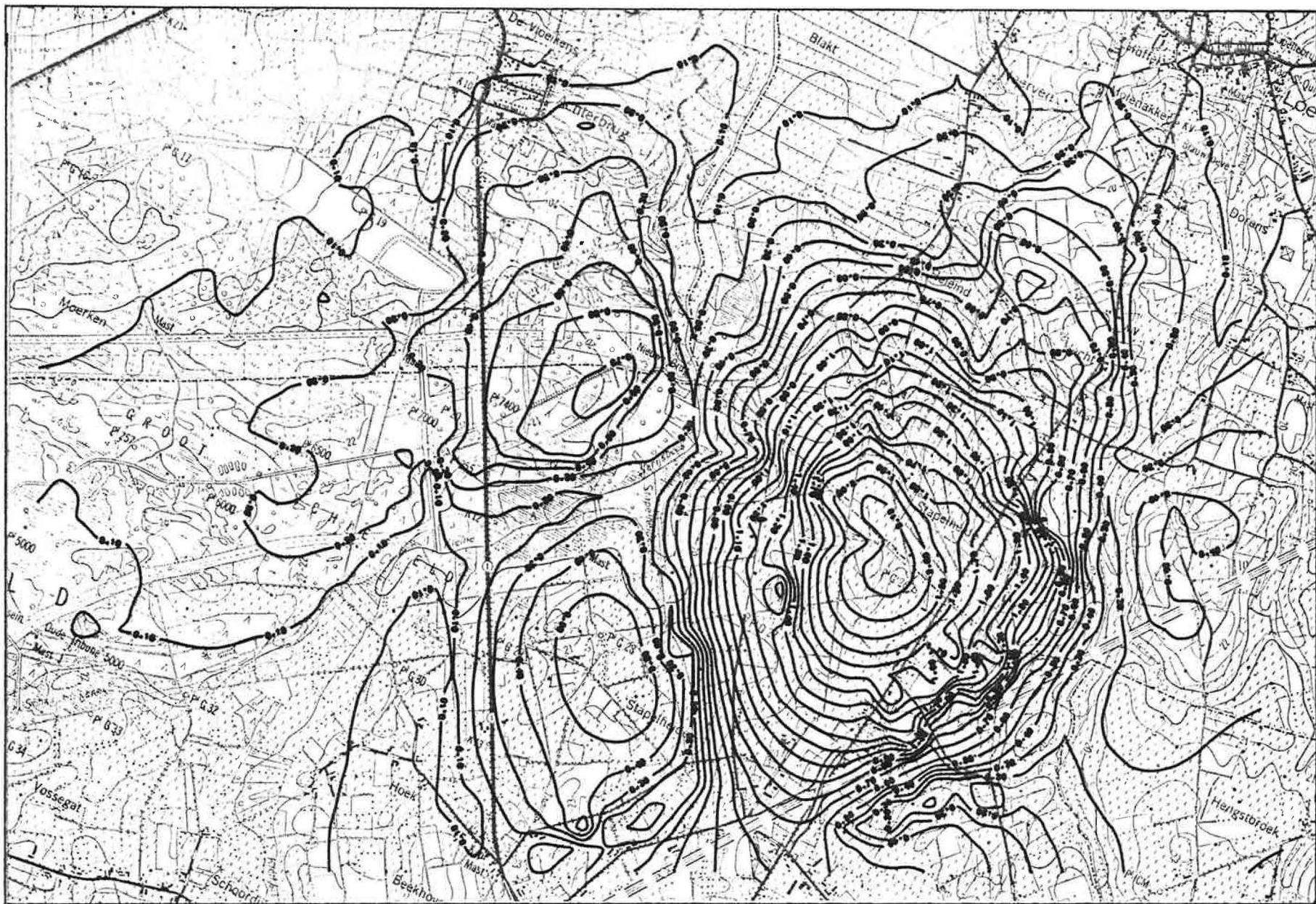
PLAAT 21-VERHOOGDE VAN DE WATERTAFEL 1.0.V. 3 STUKEN IN A.1

LAAK 3-LAAG 3	1881 JUNI
SCHAAL 1/25.000	GEKOZEN MAATDEEN IN METER



PLAAT 20-VOLGINGS VAN DE WATERTAFEL T.G.V. 3 STUEN IN OOSTER

LAAE 3-LAAE 3	ISO-LIJNEN
SCHAAL 1/25 000	OMGEZET WAARDEN IN METER



PLAAT 23 VERLAGING VAN DE WATERTAFEL BIJ ALTERNATIEVE VERBODSCONFIGURAT

LAAE 3-LAAE 3	1881 JAREN
SCHAAL 1/25.000	LIJNEN OP DE 0.10 METER