

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE
LEIDSCHENDAM

Rapport no. 840348003

**EEN REGIONAAL GEOHYDROLOGISCH MODELONDERZOEK
VAN DE CENTRALE SLENK VAN NOORD-BRABANT**

Ir. H.T. Sman

maart 1985

**Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht en ten laste van het
Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne (Directie Drink- en
Industriewatervoorziening).**

Verzendlijst

1-3	De Directeur van de Directie Drink- en Industrierwatervoor- ziening, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
4-23	De Stuurgroep en de Projectgroep van het regionaal hydrolo- gisch onderzoek Centrale Slenk van Noord-Brabant
24	Secretaris-Generaal van het Ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur
25	Plv. Directeur-Generaal Milieuhygiëne van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
26-35	Contactgroep Grondwaterbeheer Grensstreek Nederland-België (West)
36-50	Contactgroep Grondwaterbeheer Grensstreek Nederland-België (Oost)
51	Direktie Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
52-53	Bureau Projecten en Rapportenregistratie
54-60	Auteur
61-65	Reserve

Voorwoord

Het hydrologisch modelonderzoek, dat in dit rapport wordt beschreven vormt een onderdeel van het hydrologisch onderzoek van de Centrale Slenk van Noord-Brabant. Dit laatste onderzoek wordt in samenwerking tussen de Provinciale Waterstaat van Noord-Brabant, de waterleidingbedrijven in midden en oost Noord-Brabant, de Rijkswaterstaat, de Rijks Geologische Dienst, de Dienst Grondwaterverkenning TNO en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne uitgevoerd.

Inhoud	Blz.
Voorwoord	II
Verzendlijst	I
Samenvatting	VII
 1. Inleiding	 1
1.1. Probleemstelling	1
1.2. Opzet regionaal onderzoek	2
1.3. Afbakening modelonderzoek	3
1.4. Karakterisering onderzoeksgebied	4
1.5. Verricht onderzoek	5
 2. Geologie	 7
2.1. Algemeen	7
2.2. Nederlandse formaties	9
2.3. Belgische formaties	15
2.4. Tektoniek	18
 3. Geohydrologie	 19
3.1. Algemeen	19
3.1.1. Watervoerende pakketten	19
3.1.2. Scheidende lagen	20
3.2. Beschikbare gegevens	22
3.3. Aanvullend onderzoek	25
3.3.1. Meetnet	25
3.3.2. Putproeven	25
 4. Computerprogrammatuur	 27
4.1. Algemeen	27
4.2. Gebruikte programma's	27
4.2.1. TRIST	27
4.2.2. MESH	29
4.2.3. TRIDAT	29

	Blz.
5. Model	30
5.1. Algemeen	30
5.2. Modelgebied	30
5.2.1. Netwerk	31
5.2.2. Schematisatie	33
5.2.3. Randvoorwaarden	35
5.3. Invoergegevens	36
5.3.1. Bodemkonstanten	36
5.3.2. Onttrekkingen	37
5.3.3. Stijghoogten	39
5.4. Kalibratie	39
6. Berekeningsresultaten	42
7. Evaluatie en konklusies	47
8. Literatuur	49
9. Literatuuroverzicht	52

Bijlagen

1. Modelgebied en diepteligging basis Formatie van Breda.
2. Schematisch profiel NW-ZO door Slenk.
3. A: Geohydrologische schematisatie van de Centrale Slenk per deelgebied.
B: Verbreiding van geohydrologische pakketten.
4. A: Netwerk model 1.
B: Netwerk model 2 (zonder ondergrond).
5. Bovenrandvoorwaarde model 2.
6. A. Berekende potentiaal in het eerste modelpakket.
B. Berekende potentiaal in het tweede modelpakket.
C. Berekende potentiaal in het derde modelpakket.
D. Berekende potentiaal in het vierde modelpakket.
7. A. Weerstand tegen verticale grondwaterstroming van de eerste scheidende laag in het tweede model.
B. " " " " " " tweede " "
C. " " " " " " derde " "
D. " " " " " " vierde " "
8. A Doorlatendheid van het eerste modelpakket in het tweede model.
B " " " tweede " " " "
C " " " derde " " " "
D " " " vierde " " " "
9. Diepe peilputten in de Centrale Slenk en profielen t.b.v. de ijking van het model.
10. A. IJkprofiel 1 voor modelpakket 1
B. IJkprofiel 2 voor modelpakket 1
C. IJkprofiel 3 voor modelpakket 1
D. IJkprofiel 4 voor modelpakket 1
E. IJkprofiel C voor modelpakket 1
11. A. IJkprofiel 1 voor modelpakket 4
B. IJkprofiel 2 voor modelpakket 4
C. IJkprofiel 3 voor modelpakket 4
D. IJkprofiel 4 voor modelpakket 4
E. IJkprofiel C voor modelpakket 4

12. A. Tienjarenplan scenario Genderen en Geldrop
B. Tienjarenplan scenario Gilzerbaan en Lieshout
C. Tienjarenplan scenario Helvoirt en Luyksgestel
D. Tienjarenplan scenario Klooster
E. Tienjarenplan scenario Helmond
F. Tienjarenplan scenario Oirschot
G. Tienjarenplan scenario Vlierden
H. Tienjarenplan scenario Aalsterweg.
13. Potentiaal verlaging in het eerste modelpakket t.g.v. de totale tienjarenplanuitbreiding.
14. Toename van de infiltratie door het pakket Kedichem/Tegelen t.g.v. de totale tienjarenplan uitbreiding.

Samenvatting

In het Centrale Slenkgebied van Noord-Brabant wordt een regionaal hydrologisch onderzoek uitgevoerd. De eerste fase van dat onderzoek omvat de inrichting van een aantal waarnemingsputten, een inventarisatie van geologische en geohydrologische gegevens en de ontwikkeling van een numeriek grondwaterstromingsmodel. Het modelonderzoek heeft tot doel een beter inzicht te krijgen in het hydrologisch regime van de diepere watervoerende pakketten in de slenk en de invloed van onttrekkingen op dat deelsysteem.

Het onderzoek, dat in dit rapport beschreven wordt, heeft geresulteerd in de ontwikkeling van twee modellen.

Het in model gebrachte oppervlak bedraagt 3575 km², waarvan ongeveer 400 km² in België ligt. Doordat de modellen zich uitstrekken tot in België is het mogelijk grensoverschrijdende effecten te beschouwen.

Beide modellen omvatten vier (diepe) watervoerende pakketten, waarbinnen de stijghoogten stationair worden berekend. De stijghoogte in het eerste goed doorlatende pakket is ingevoerd als bovenrandvoorwaarde. Door het gebruik van deze randvoorwaarde is het niet mogelijk de effecten van onttrekkingen op de freatische grondwaterstand te berekenen.

Het eerste model is opgebouwd uit relatief grote elementen van gemiddeld 7,5 km². Bij de opzet van het model stonden slechts een zeer beperkt aantal gemeten bodemkonstanten ter beschikking. Een groot aantal bodemkonstanten is bepaald door middel van interpolatie en schatting aan de hand van boorgegevens.

Met het eerste model is getracht de grondwaterbeweging in het voorjaar van 1979 te simuleren. Er is naar gestreefd een zo goed mogelijke overeenstemming te krijgen tussen berekende en gemeten potentialen, door de geschatte weerstanden tegen verticale grondwaterstroming, binnen fysisch toelaatbare grenzen aan te passen. Deze zgn. kalibratie fase is uitgebreid beschreven in het interimrapport no. 84 0348 002. Het bleek niet mogelijk het eerste model voldoende nauwkeurig te kalibreren. Dit werd onder andere veroorzaakt door het geringe aantal potentiaalgegevens in de diepe pakketten en de relatief grote elementen. Door het geringe aantal potentiaalgegevens was de vrijheid m.b.t. het aanpassen van bodemkonstanten te groot. De relatief grote elementen hadden tot gevolg dat nabij winningen, breuken en zones met sterke gradiënten in het potentiaalverloop, aanzienlijke verschillen tussen berekende en gemeten potentialen optraden.

Het tweede model is ontwikkeld uitgaande van de "gekalibreerde" bodemkonstanten van het eerste model. Het gemiddelde elementoppervlak is teruggebracht tot 2,4 km², terwijl het grootste element een oppervlak van 4,7 km² heeft (in het eerste model 26,8 km²). Ook voor het tweede model is een kalibratie uitgevoerd. Dit is gedaan met potentiaalgegevens uit het voorjaar van 1982. Ten opzichte van 1979 waren extra peilgegevens beschikbaar gekomen. De extra gegevens zijn afkomstig van nieuwe peilputten, geplaatst in het kader van dit onderzoek in België nabij de grens.

De kalibratie van het tweede model resulteerde in een bevredigende simulatie van het regionale stromingsbeeld. Slechts in het overgangsgebied van hoge zandgronden naar poldergebieden is sprake van een systematisch te hoog berekende potentiaal. Daarnaast was er ook nog sprake van afwijkingen tussen berekende en gemeten potentiaal. Dit betreft de waterwingebieden Genderen en Haaren en de Feldbissbreuk ten westen van Eindhoven.

Uit de simulatieberekeningen voor het voorjaar van 1982 kan gekonkludeerd worden, dat de voeding van de diepere watervoerende pakketten voor ca. 85% afkomstig is uit infiltratie vanuit de ondiepe pakketten en slechts voor 15% van randstroming. De voeding over de randen is hoofdzakelijk afkomstig uit Limburg.

De afvoer van water uit de diepe pakketten vindt voor 55% plaats door grondwaterwinning, ca. 10% stroomt af over de randen terwijl 35% kwelt naar de ondiepe pakketten. De afstroming over de randen heeft vooral plaats naar Limburg en naar het westen in het gebied tussen de in België gelegen plaatsen Arendonk en Mol.

Met het tweede model zijn berekeningen uitgevoerd naar de hydrologische effecten van mogelijke uitbreidingen van de productiecapaciteit van grondwaterwinningen in de Centrale Slenk. De in het tienjarenplan van de VEWIN voorgestelde uitbreiding van de capaciteit voor 1995 is in model gebracht. Het blijkt dat de voorgestelde uitbreiding van de productiecapaciteit met 50 miljoen m³ per jaar vooral invloed heeft op de stroming van en naar de ondiepe pakketten.

Wanneer de toename in onttrekking op 100% gesteld wordt, dan is 72% afkomstig van een toename van de voeding uit ondiepe pakketten, 24% komt door een afname van de kwel en 4% is afkomstig van een toename van de instroming over de modelranden. Uit de berekening volgt dat de onttrekkingskegels, als gevolg van de extra onttrekkingen, een straal hebben van enkele tot een twintigtal kilometers.

Deze kegels zijn berekend voor het tweede watervoerende pakket (F. v. Tegelen). In het noordelijk en oostelijk deel van de Centrale Slenk blijkt de totale potentiaalverlaging in het tweede pakket 0,1 à 0,3 meter te bedragen. Rekening houdend met de beperkende bovenrandvoorwaarde, vaste potentiaal in het eerste pakket, moet verwacht worden dat de gemiddelde verlaging nog enigszins groter zal zijn.

1. Inleiding

1.1. Probleemstelling

De winningsmogelijkheden van grondwater, zowel kwalitatief als kwantitatief kunnen in de Centrale Slenk van Noord-Brabant als zeer gunstig aangemerkt worden. In de Slenk komen twee of meer goed doorlatende pakketten voor, gescheiden door slecht doorlatende lagen met een hoge weerstand tegen verticale grondwaterstroming. De pakketten bevatten zoet grondwater; pas op grote diepte komt in mariene afzettingen brak grondwater voor, welke diepte in noordelijke richting geleidelijk afneemt.

Door het voormalige Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) is de voor de drink- en industriewatervoorziening winbare hoeveelheid grondwater in de Centrale Slenk geraamd op 241 miljoen m³ per jaar [Cramer, 1983]. In 1976 bedroeg de aktuele winning t.b.v. de drink- en industriewatervoorziening 150,4 miljoen m³, waarvan 96,9 miljoen m³ t.b.v. de drinkwatervoorziening en 53,5 miljoen m³ t.b.v. de industrie. De onttrekking voor beregening in de landbouw varieert sterk. Voor een gemiddeld jaar, uitgaande van de in 1976 aanwezige installaties, wordt de winning in de Slenk, in bovengenoemd RID-rapport, geschat op 22 miljoen m³ in het groeiseizoen.

Uitbreiding van grondwaterwinning in oost Noord-Brabant zal voorzover thans voorzien, in hoofdzaak plaatsvinden in de diepere watervoerende pakketten. Het winnen op grotere diepte kan tot gevolg hebben dat in een groter gebied een (geringe) grondwaterstandsaling in bovenliggende pakketten optreedt. Een toename van de onttrekking t.b.v. de beregening in de landbouw zal eveneens resulteren in grondwaterstandsaling in grotere gebieden. Daarnaast wordt het hydrologisch regime (in Nederland) ook beïnvloed door (nieuwe) winningen vlak over de landsgrens. Een gevolg is, dat bij de vergunningverlening voor een grondwateronttrekking niet meer kan worden volstaan met een lokaal onderzoek, maar dat ook de gevolgen op regionale schaal beschouwd moeten worden.

De Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven heeft een nota samengesteld [CoGroWa, 1980] waarin een overzicht gegeven wordt van de grondwaterwinning en grondwaterbehoefte in de Centrale Slenk. De Commissie komt tot de konklusie dat, gezien de voorlopige raming van de hoeveelheid winbaar grondwater en de onbekendheid inzake de gevolgen van een winning waarbij de groei van de behoefte volledig

wordt gedekt uit het grondwater, de huidige onttrekking door waterleidingbedrijven, industrie en landbouw slechts in beperkte mate mag worden uitgebreid.

De beperkte kennis van het geohydrologisch systeem en het belang van een verantwoord grondwaterbeheer heeft ertoe geleid, dat de Stuurgroep Coördinatie Geohydrologisch Onderzoek in 1975 een voorstel indiende bij Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant voor het inrichten van een groot aantal diepe peilputten. Het voorstel is ook voorgelegd aan de verschillende bij het onderzoek betrokken instanties. Op grond hiervan vond nader overleg plaats tussen de betrokken waterleidingbedrijven en het RID over een aangepaste opzet van het onderzoek. In dit overleg kwam de wenselijkheid naar voren om het regionaal onderzoek in midden- en oostelijk Noord-Brabant meer te doen aansluiten bij de laatste jaren in belangrijke mate gewijzigde inzichten ten aanzien van de opzet van een dergelijke studie. Aan het RID werd gevraagd om met een nieuw onderzoeksvoorstel te komen, waarbij met name de kwantificering van de invloed van grondwateronttrekking op het hydrologisch regime centraal zou moeten staan. In 1980 heeft de voorzitter van de Stuurgroep Coördinatie Geohydrologisch Onderzoek de opzet van een regionaal hydrologisch onderzoek met een principe-voorstel voor de kostenverdeling ingediend bij het College van Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant. De uitvoering van een aantal boringen, die in het onderzoeksvoorstel waren opgenomen, werd door dit college in juni 1982 goedgekeurd.

1.2. Opzet regionaal onderzoek

Het regionaal hydrologisch onderzoek van de Centrale Slenk in Noord-Brabant wordt verricht door een daartoe ingestelde projectgroep, waarin zitting hebben:

- Provinciale Waterstaat Noord-Brabant (PWS), secretariaat
- Rijks Geologische Dienst (RGD)
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), voorzitterschap
- Rijkswaterstaat (RWS)
- Dienst Grondwaterverkenning TNO (DGV-TNO)
- N.V. Tilburgsche Waterleiding-Maatschappij (TWM)
- Waterschap de Aa
- N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB)

De projectgroep doet verslag van de voortgang van het onderzoek door middel van (deel-) rapporten en voortgangsverslagen aan de Stuurgroep Hydrologisch Onderzoek Centrale Slenk, waarin zitting hebben:

- De diensten en instellingen van de projektgroep m.u.v. DGV-TNO
- Energie- en Waterbedrijf van Breda
- Energie- en Waterbedrijf van 's-Hertogenbosch
- Nutsbedrijven Eindhoven
- Gemeentelijk Waterleidingbedrijf van Helmond
- Gemeente Licht- en Waterbedrijven van Waalwijk
- N.V. Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant
- Waterschap de Dommel

Een belangrijk aspekt van de onderzoeksopzet is de gefaseerde aanpak, waarbij twee fasen kunnen worden onderscheiden.

Fase 1.

Het doel in deze fase is het leren kennen en simuleren van het regionaal hydrologisch systeem, voor zover dit de diepere watervoerende lagen omvat. Onderdelen van de eerste fase zijn:

- inventarisatie en evaluatie van beschikbare hydrologische en geologische gegevens;
- veldonderzoek om lacunes in geologische en geohydrologische kennis op te vullen;
- ontwikkeling van een numeriek grondwaterstromingsmodel, dat de diepere watervoerende lagen omvat.

Fase 2.

Deze fase heeft tot doel het regionaal hydrologisch systeem in meer uitgebreide zin te leren kennen en het kwantificeren van de gevolgen van winning van (zoet) grondwater, waarbij de aan de winning verbonden invloeden op andere belangen mede in beschouwing genomen worden.

Het modelonderzoek uit fase 1 is uitgevoerd door het Laboratorium voor Bodem en Grondwateronderzoek (LBG) van het RIVM in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieuhygiëne van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM).

1.3. Afbakening modelonderzoek

Het modelonderzoek is (in eerste fase) beperkt tot de simulatie van het grond-

water regime in de diepe pakketten. De hydrologische veranderingen in de ondiepe pakketten komen in de tweede fase aan de orde.

Het onderzoeksgebied omvat het Centrale Slenkgebied in de provincie Noord-Brabant en het aangrenzende gebied in België. De begrenzingen worden in principe gevormd door de Maas in het noorden, de Gilze-Rijen storing in het westen, de rijks- en provinciegrens in het zuiden en de Peelrandbreuk in het oosten. Het modelgebied is weergegeven op bijlage 1.

1.4. Karakterisering onderzoeksgebied

Het hierna volgende is grotendeels ontleend aan het DGV-TNO inventarisatie rapport "Centrale Slenk" [Lekahena, 1983].

De Centrale Slenk vormt een NW-ZO gericht dalingsgebied in Oost-Brabant, dat zich in Limburg voortzet als de Roerdalslenk. In het oosten wordt de Centrale Slenk begrensd door de Peelrandbreuk en in het westen door de Gilze-Rijenstoring. De topografie van het gebied wordt gekenmerkt door een enkele kilometers brede strook rivierkleigrond langs de Maas, die in zuidoostelijke richting overgaat in een zandlandschap. Daarbij stijgt het maaiveld geleidelijk van 2 tot circa 40 m +NAP. Het zandgebied wordt op natuurlijke wijze gedraineerd door de rivieren de Dommel, de Aa en de Donge. Het stroomgebied van de Dommel (oppervlakte ca. 1730 km²) beslaat het grootste deel van de Slenk.

De rivierkleigronden worden ontwaterd via bemaling. De ligging van de Centrale Slenk aan de rand van een voormalig sedimentatiebekken deed in het geologische verleden afzettingen onder verschillende omstandigheden ontstaan. Gedurende het Tertiair en bij de overgang naar het Kwartair speelde aanvankelijk mariene sedimentatie een belangrijke rol, waarna fluviatiele invloed de overhand kreeg. Deze ontwikkeling vindt zijn weerslag in de geohydrologische opbouw van de ondergrond, de verdeling van zoet en zout (brak) grondwater, alsmede in de daarmee samenhangende mogelijkheden tot grondwaterwinning.

1.5. Verricht onderzoek

Verschillende instanties hadden reeds, voor de aanvang van deze regionale studie, onderzoek uitgevoerd dat direct of indirect betrekking heeft op de geohydrologie van de Centrale Slenk. Een indruk van de veelheid van publicaties wordt verkregen uit het literatuuroversicht dat in dit rapport is opgenomen als hoofdstuk 9. De belangrijkste onderzoeken met betrekking tot het ontwikkelen van het numerieke model worden in het volgende nader toegelicht.

De geologie van de kaarbladen 51 oost en 52 west werd onderzocht door de RGD [Bisschops 1973, Toorn 1967].

Het RID heeft een beknopte inventarisatie van de watervoerende pakketten uitgevoerd [Juhasz-Holterman, 1982]. Op vele lokaties in de Centrale Slenk zijn door het voormalige RID, waterleidingbedrijven en een aantal ingenieursburo's studies verricht naar de mogelijkheden van grondwaterwinning.

Voorts is veel informatie over winplaatsen verkregen uit de adviezen en rapporten van het Technisch Secretariaat van de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven.

De Contactgroep Grondwaterbeheer Grensstreek Nederland-België (oostelijk grensgebied) heeft een groot aantal geologische profielen voor het grensgebied vervaardigd [Montfrans e.a., 1980]. In de loop van 1981 zijn negen diepe peilputten geboord in opdracht van Rijkswaterstaat ten behoeve van het kwantitatieve grensmeetnet (in het kader van het grondwaterbeheer). Door de RGD en het RID konden enkele diepe boringen worden gerealiseerd vooruitlopend op het voorgenomen Centrale Slenk onderzoek (Boerdonk 51F-155, Wintelre 51D-195, Eindhoven-Philipswijk 51E-67). In het grensgebied zijn tevens een aantal boringen gerealiseerd op Belgisch grondgebied in het kader van een onderzoeksprogramma van het Studiecentrum van Kernenergie in Mol (België).

Ten behoeve van deze regionale studie zijn ook een aantal onderzoeken gestart, waarvan de meeste (in concept) tijdens deze modelstudie gereed kwamen. Voor zover resultaten beschikbaar waren zijn deze in het onderzoek meegenomen. Het betreft de volgende onderzoeken.

- Inventarisatierapport van DGV-TNO [Lekahena, 1983].
- Breukenkaart van de Centrale Slenk [Schokking, 1985], waarbij voor een aantal nivo's de spronghoogte van de verschillende breuken is vermeld.

- Aanvullend meetnet met diepe boringen te Loon op Zand (44H-133), Rosmalen (45B-150), Wijbosch (45G-166) en Mierlo (51H-125).

Deze boringen zijn voorzien van een groot aantal waarnemingsfilters en sommige ook van een putfilter en/of een zoutwachter.

De boringen zijn uitgebreid beschreven, terwijl er ook geofysisch onderzoek in is uitgevoerd. De grondwaterstanden worden op de 14e en 28e van iedere maand waargenomen.

- Ten behoeve van de modelstudie zijn op de putfilters in de diepe pakketten van de boringen 51H-133, 51H-125 en 51E-67 putproeven uitgevoerd [Glasbergen].
- Selectie waarnemingsreeksen in het Centrale Slenkgebied van Noord-Brabant door DGV-TNO [van Bracht, 1982].

2. Geologie

2.1. Algemeen

De ondergrond van de Centrale Slenk wordt gekenmerkt door vele min of meer abrupte formatieovergangen. Het onderzoeksgebied, oostelijk Noord-Brabant, maakt deel uit van een instabiele zone, gelegen aan de noordoost-flank van het Brabants Massief. De Tertiaire en Kwartaire geschiedenis van deze zone kenmerkt zich door NO-ZW gerichte rekspanning, als gevolg waarvan een stelsel zuidoost-noordwest gerichte breuken ontstond, waarlangs delen van de aardkorst afschoven, respectievelijk werden opgeheven. Aldus ontstonden horsten en slenken.

De Centrale Slenk, welke zich in Limburg voortzet als de Roerdalslenk, wordt in het oosten gescheiden van de Peelhorst door de Peelrandbreuk. De begrenzing met het Brabants Massief in het westen wordt gevormd door de Gilze-Rijen storing. De overwegend dalende tendens van het Slenkgebied had tot gevolg, dat een sedimentatiebekken ontstond waarin vanaf het Tertiair een vrijwel continu verlopende serie van relatief dikke sedimentpakketten werden afgezet, terwijl op de tektonisch hoger gelegen delen, zoals de Peelhorst, de afzettingen uit overeenkomstige tijdvakken aanzienlijk dunner zijn of geheel ontbreken.

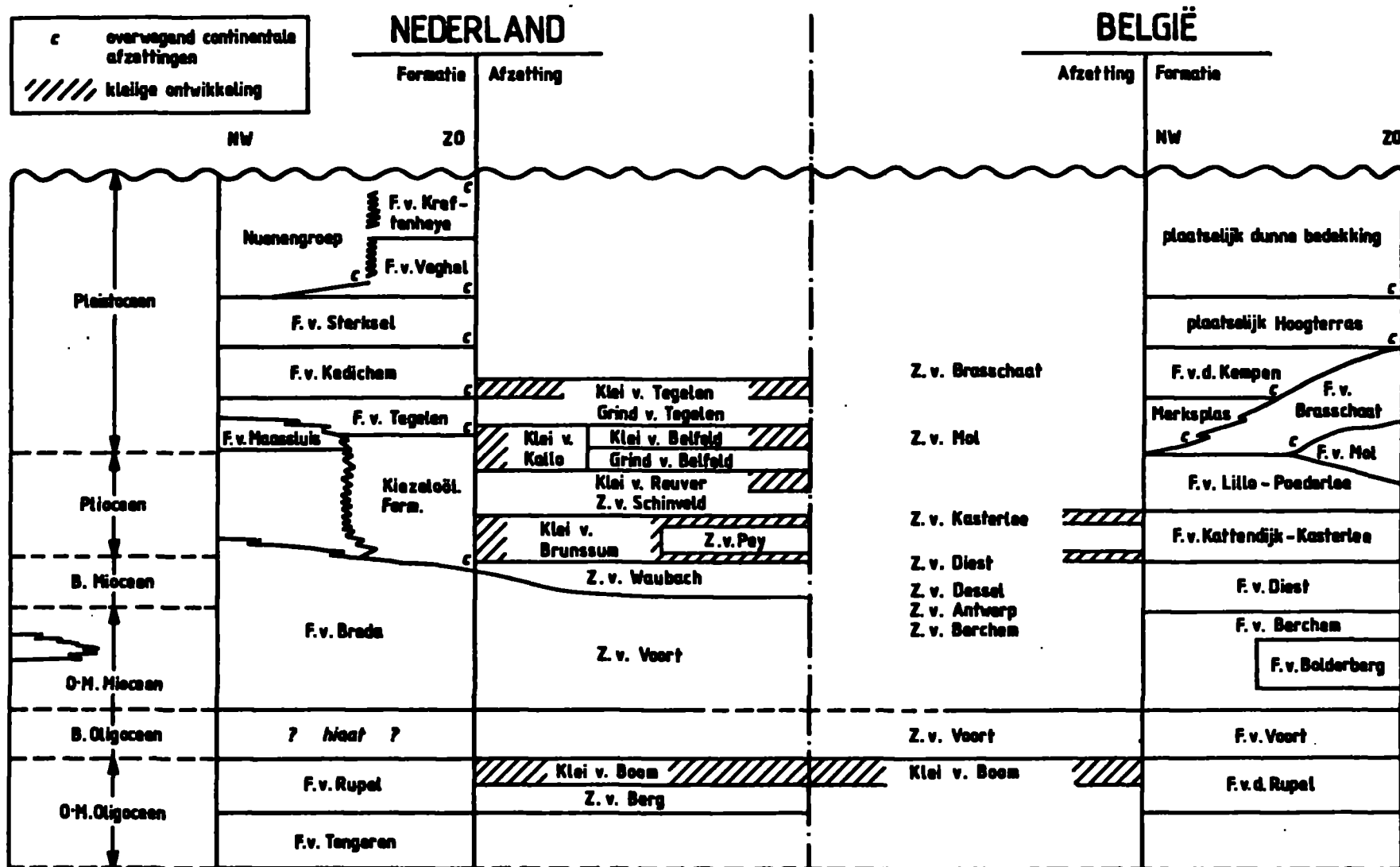
In het sedimentatiebekken zijn afzettingen onder verschillende omstandigheden ontstaan. Gedurende het Tertiair en bij de overgang naar het Kwartair speelde aanvankelijk mariene sedimentatie een belangrijke rol, waarna fluviatiele invloed de overhand kreeg.

Ter bestudering van de effecten van grondwateronttrekking in het Slenkgebied is het van belang de formaties welke zijn afgezet op de fijne sedimenten uit het Tertiair in beschouwing te nemen. In Nederland is de oudste te beschouwen formatie de Mioocene mariene Formatie van Breda. De Formatie van Breda is in België grover ontwikkeld, zodat daar de oudere Oligocene mariene Formatie van Rupel ook in beschouwing genomen moet worden.

In de volgende paragrafen zullen in het kort de formaties met hun karakteristieken en verbreiding beschreven worden. De afzettingen op Belgisch zowel als op Nederlands grondgebied worden in afzonderlijke paragrafen behandeld, waarbij zal worden aangegeven welke formaties equivalent zijn.

Een stratigrafische correlatie in het oostelijk grensgebied België-Nederland is opgenomen in figuur 1.

figuur 1: stratigrafische correlatie, oostelijk grensgebied België-Nederland



Bij de behandeling van de formaties zal de oudste (meestal diepliggende) formatie het eerst beschreven worden.

Een meer uitgebreide beschrijving van de geologie is te vinden in de rapporten van de Rijks Geologische Dienst [Bisschops 1973, Toorn 1967, Zagwijn 1975].

2.2. Nederlandse formaties

Formatie van Rupel

Deze mariene formatie bestaat uit twee sub-eenheden. Het bovenste deel wordt gevormd door bruine, harde kleien: Klei van Boom.

De basis bestaat uit een fijnzandig pakket: Zand van Berg. De formatie komt in het gehele gebied voor, waarbij de diepteligging van de formatie sterk wisselt. In het centrum van de Centrale Slenk wordt de formatie aangetroffen op een diepte van 1800 meter, naar de randen van het model wordt de formatie minder diep aangetroffen. De formatie wordt nabij Mol (Belgie), aan de zuidelijke modelrand, buiten de Centrale Slenk, aangetroffen op een diepte van 150 meter [Neerdaal, 1981].

Formatie van Breda

De formatie komt in het gehele onderzoeksgebied voor en is afgezet in een marien milieu. Het betreft glauconietrijke groen-grijze tot groen-zwarte zanden, zandige klei en klei met plaatselijk schelprijke zanden.

In het zuidwestelijke deel van het onderzoeksgebied (omgeving Luyksgestel) is waarschijnlijk sprake van een kustnabije (duin)afzetting, de formatie bestaat daar uit grove donkergroene glauconiet zanden.

Het bovenste deel van de mariene Formatie van Breda gaat naar het zuidoosten (omgeving Asten) over in de continentale Kiezeloëliet Formatie (zanden van Waubach).

Op bijlage 1 is de diepteligging van de basis van de Formatie van Breda weergegeven zoals deze is opgenomen in het RGD rapport over ondergrondse opslag en winning van warm water [RGD, 1982], waarin duidelijk de diepe depressie te herkennen is in de Slenk, het zgn. Sonsche Bekken.

Formatie van Oosterhout

Deze mariene formatie is verbreed in de noordwestelijke helft van het onderzoeksgebied en bestaat uit fijne slibhoudende en matig grove zanden, waartussen kleilagen voorkomen. Ter hoogte van de grote rivieren is de formatie opgebouwd uit matig fijne tot matig grove zanden met veel tot zeer veel schelpgruis (coralline crag). Het bovenste deel van de formatie kan bestaan uit zandige klei (Klei van Kallo). De formatie gaat in zuidoostelijke richting over in de fluviatiele Kiezeloëliet Formatie (figuur 2).

Kiezeloëliet Formatie

Deze jong-Tertiaire (Pliocene) formatie, welke in hoofdzaak is afgezet door de Rijn, komt voor in het zuidoosten van de Slenk.

De formatie vormt het fluviatiele equivalent van de formaties van Breda (gedeeltelijk) en Oosterhout. In het centrum van de Slenk ligt de formatie als een relatief dun pakket op de Formatie van Oosterhout (figuur 2).

Volledig ontwikkeld is de formatie een complexe eenheid, bestaande uit verschillende stratigrafische eenheden, die zowel boven als naast elkaar voorkomen. Deze pakketten bestaan hetzij overwegend uit klei, hetzij overwegend uit zand en/of grind. Een overzicht van de verdeling van de formatie in laagpakketten in verschillende gebieden van de Slenk is gegeven in figuur 1 en op bijlage 2.

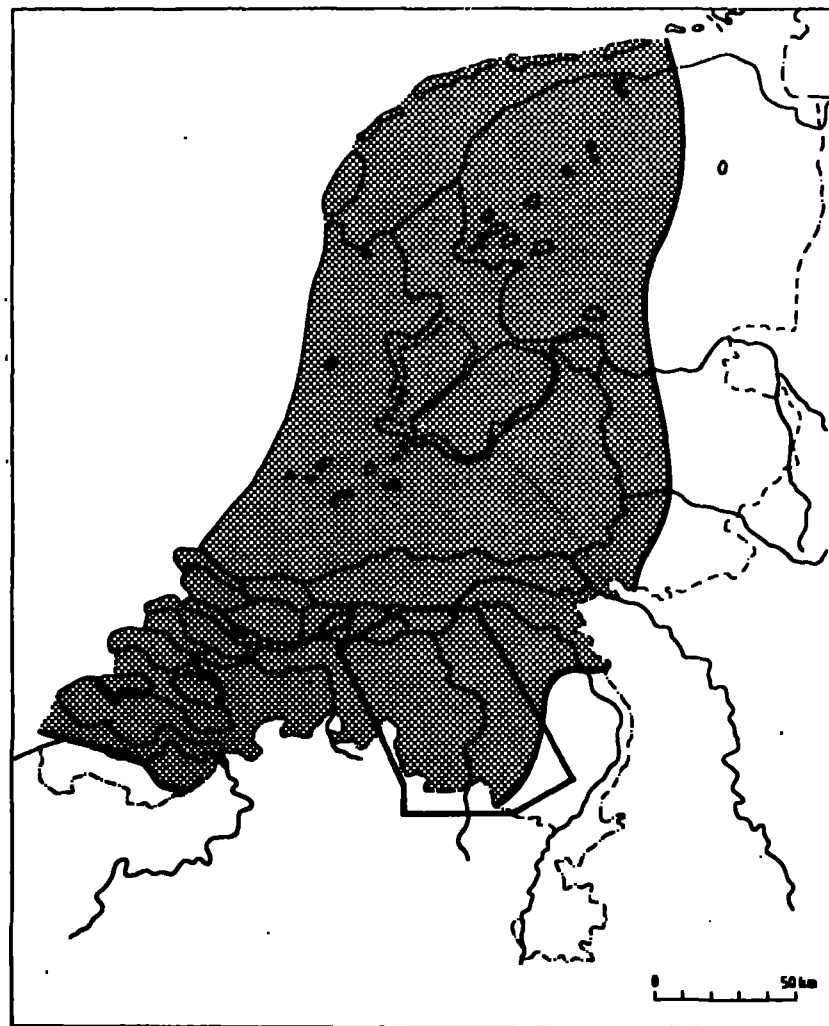
Onderscheiden worden: de Klei van Reuver, de Zanden van Schinveld, de Klei van Brunssum en de Zanden van Waubach. De Klei van Reuver en de Zanden van Schinveld ontbreken ten zuidwesten van de lijn Leveroy-Someren-Eindhoven-Valkenswaard. De Brunssum Klei kan daar echter een laag matig fijn tot grof grindhoudend zand bevatten: Zanden van Pey. De kiezeloëliet kleien zijn zeer compact, vaak rijk aan organische stof. Veelvuldig zijn zeer ver ingekoolde veenlagen (bruinkool) in de kleien ingeschakeld.

Formatie van Maassluis

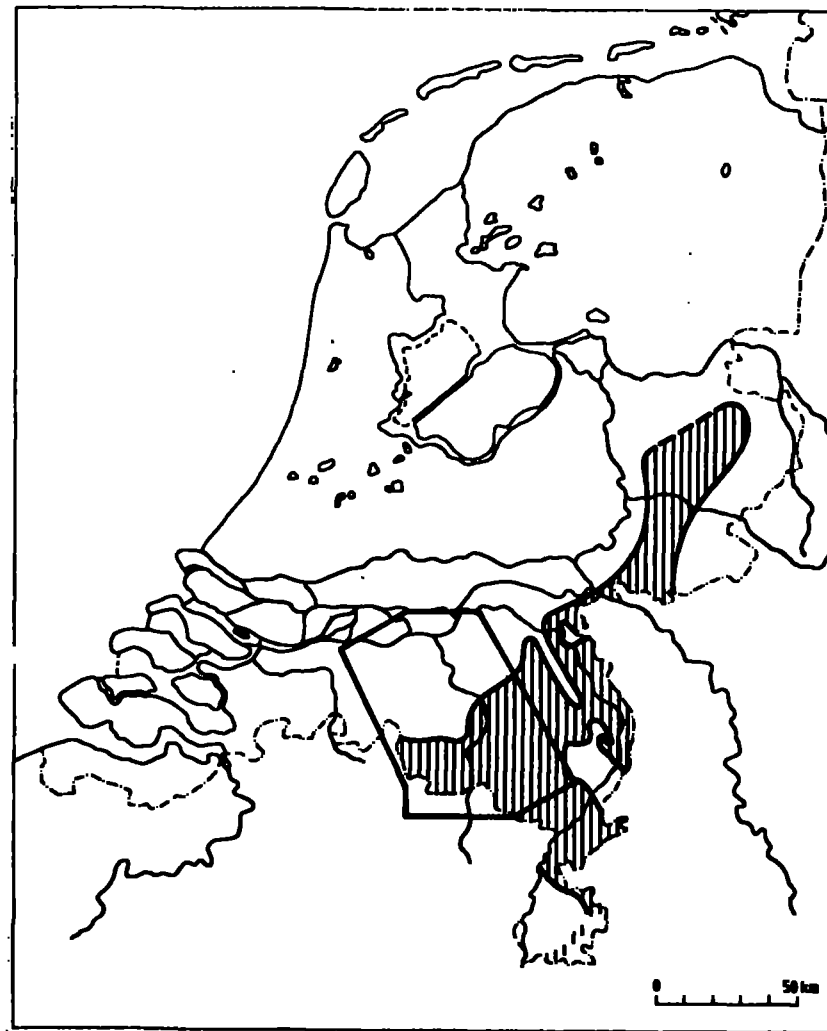
Een marien lithostratigrafische eenheid, opgebouwd uit grove en fijne schelphoudende zanden met ingeschakelde meestal zandige kleilagen of kleilenzen. De formatie rust op kleilige sedimenten die deel uitmaken van de Formatie van Oosterhout.

De formatie wordt aangetroffen in het noordwestelijke deel van het onderzoeksgebied (figuur 3) en vormt het mariene equivalent van de fluviatiele Formatie van Tegelen (onderste deel).

figuur 2: verdeling van de Formatie van Oosterhout en de Kieselofiel Formatie



verdeling Formatie van Oosterhout



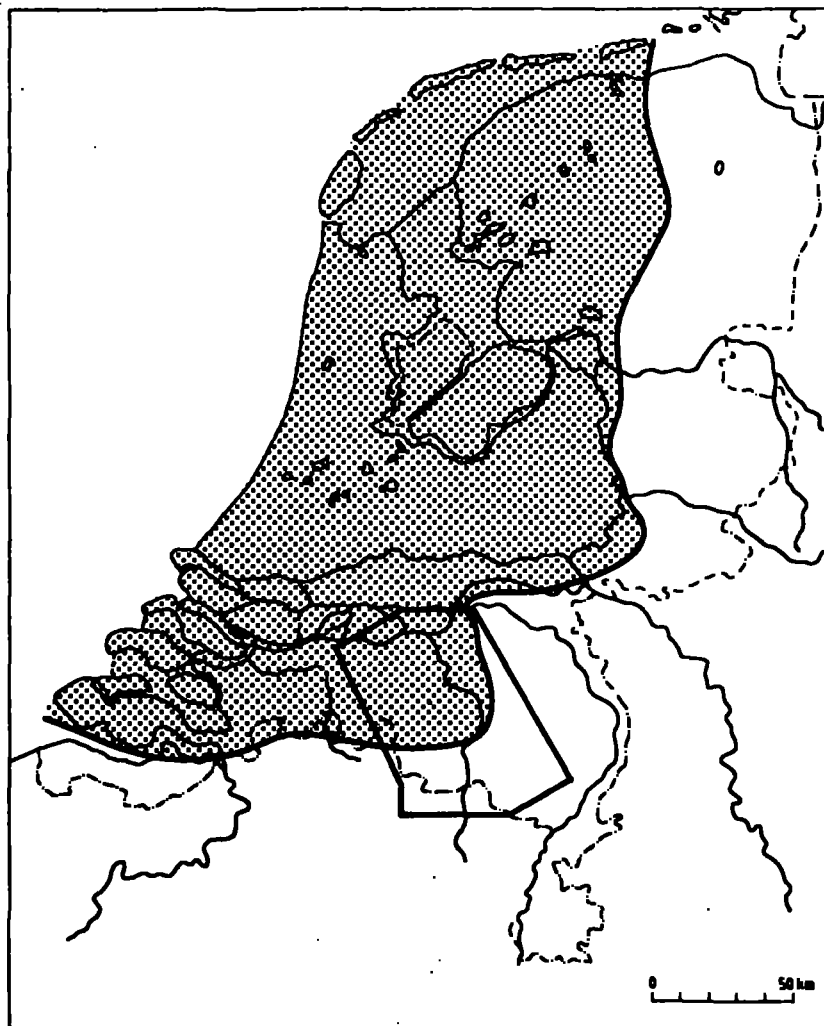
Legenda:

verdeling Kieselofiel Formatie

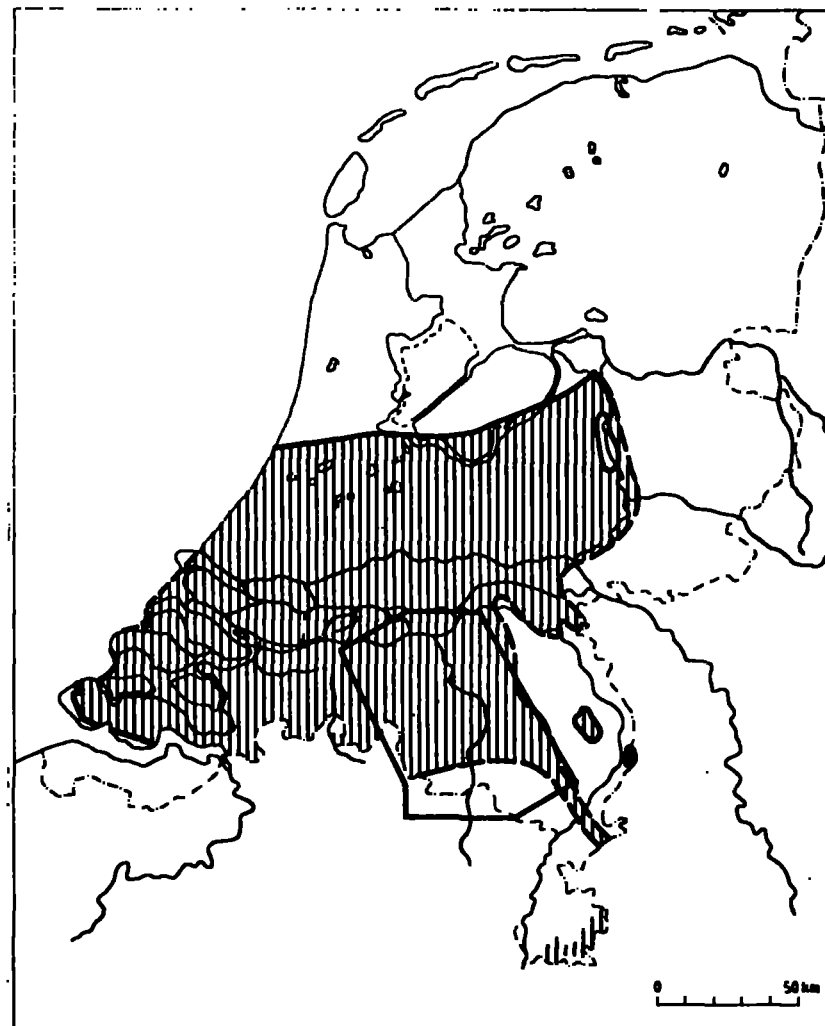
begrenzing onbepaald

Bron: BGD

figuur 3: verbreiding van de Formaties van Maasvlakte en Tegelen



 verbreiding Formatie van Maasvlakte



Legende:

 verbreiding Formatie van Tegelen

 begrenzing studiegebied

Bron: RGD

Formatie van Tegelen

Een fluviatiele eenheid, bestaande uit een aantal laagpakketten. Indien de formatie volledig is ontwikkeld kan deze worden onderverdeeld in:

- a. Klei van Tegelen, een pakket overwegend bestaande uit klei met inschakelingen van overwegend fijn zand.
- b. Grind van Tegelen, een pakket opgebouwd uit grof zand met vrij veel grind.
- c. Klei van Belfeld, een pakket bestaande uit klei met inschakelingen van fijn en grof zand.
- d. Grind van Belfeld, een grove grindige afzetting.

De Belfeld afzettingen, het fluviatiele equivalent van de Formatie van Maassluis, hebben een beperkte verbreiding. In de Centrale Slenk komen ze voor tussen Eindhoven en de verbreidingsgrens van de Formatie van Maassluis (figuur 3 en bijlage 2).

De verbreiding van de Formatie van Tegelen, die grotendeels op de Formatie van Maassluis ligt, is weergegeven in figuur 3.

Formatie van Kedichem

Een eenheid, overwegend bestaande uit fijne zanden en kleipakketten, soms met veenlagen. Grove lagen komen zelden voor. Tot de formatie behoren afzettingen van de grote rivieren, riviertjes uit het zuiden, alsmede periglaciaire afzettingen.

De verbreiding van de formatie is weergegeven in figuur 4.

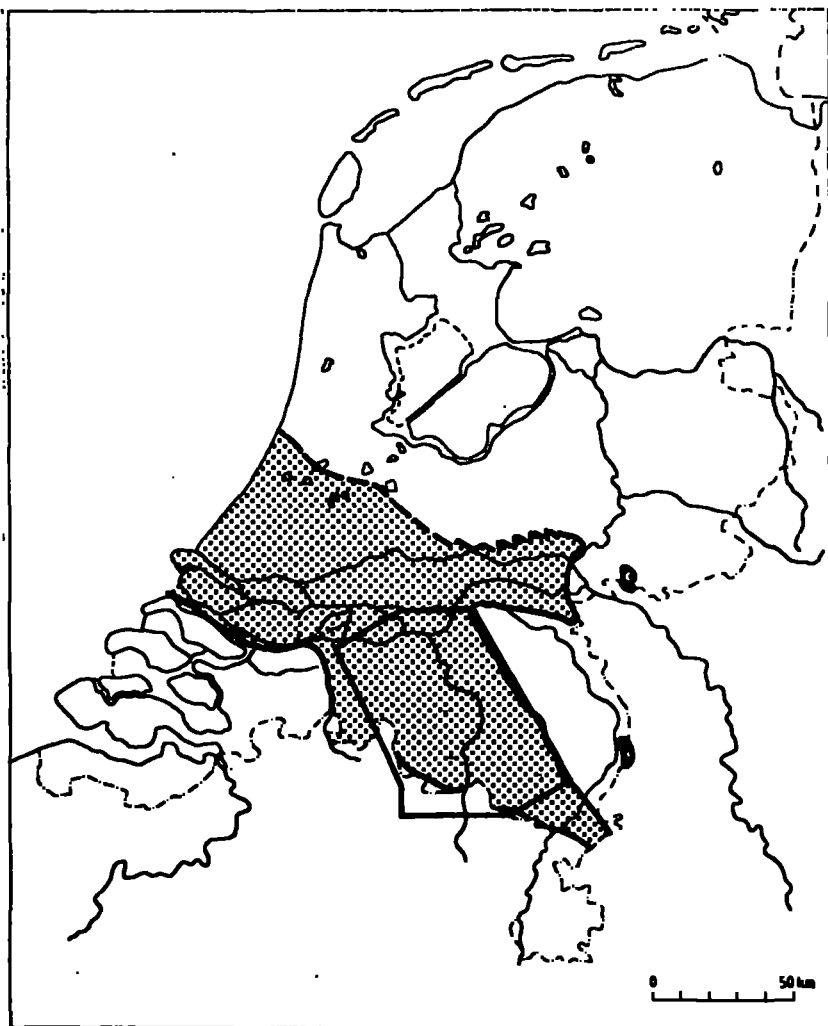
Formatie van Sterksel

De formatie is opgebouwd uit overwegend grindhoudende zanden. Kleilenzen komen slechts plaatselijk voor. Het betreft een fluviatiele afzetting die zich uitstrekt over nagenoeg het gehele Slenkgebied (figuur 4).

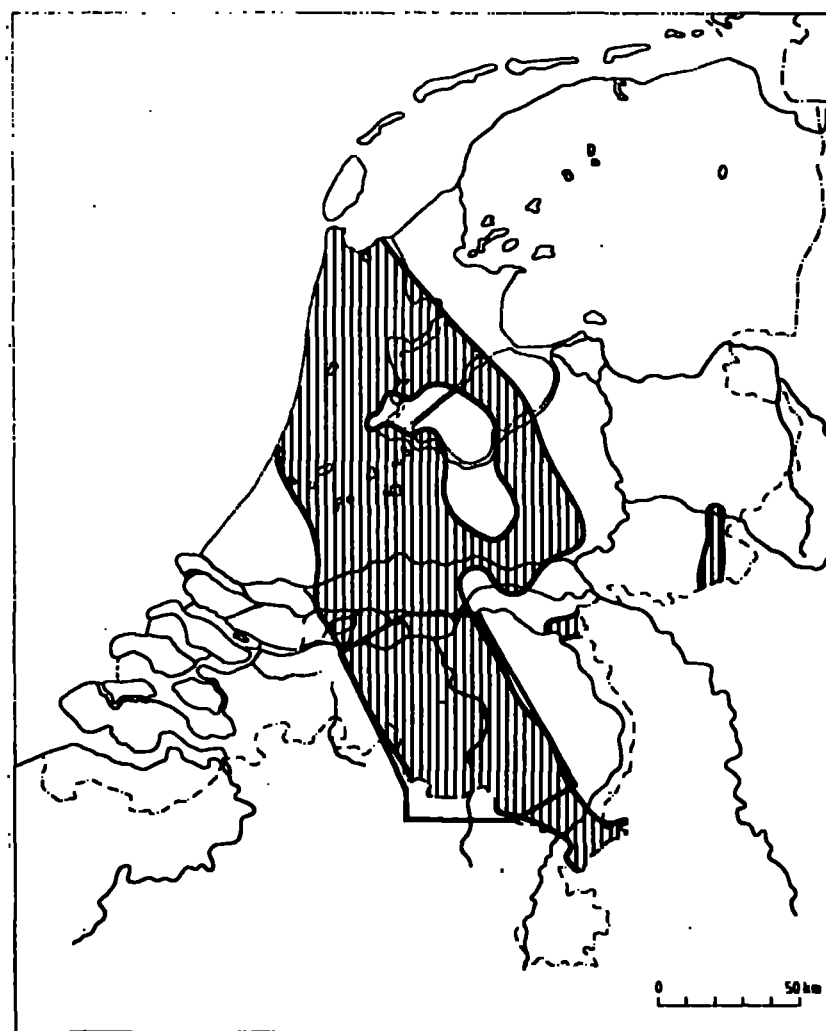
Formatie van Veghel

Pakket fluviatiele zanden, dat onderin min of meer grofzandig en grindhoudend kan zijn. In het onderzoeksgebied is het voorkomen beperkt tot een strook, die oostelijk van de lijn Eindhoven-'s-Hertogenbosch is gelegen. Ten oosten van 's-Hertogenbosch komt onderin de formatie een min of meer continue kleilaag voor (klei van Rosmalen).

figuur 4: verbreding van de Formaties van Kedichem en Sterksel



 verbreding Formatie van Kedichem



Legenda:

 verbreding Formatie van Sterksel

 begrenzing meeloopgebied

Bron: RSG

Formatie van Kreftenheye

Een eenheid samengesteld uit grove grindhoudende zanden met aan de bovenkant vaak een afdekkende kleilaag. Het betreft hier een fluviatiele afzetting, waarvan het voorkomen is beperkt tot het gebied van de grote rivieren in het noordelijk deel van de Centrale Slenk.

Nuenen-groep

Deze groep omvat de Formaties van Eindhoven, Asten en Twente en is opgebouwd uit een complex fijne lemige zanden, veen- en leemlagen. Plaatselijk komen onderin matig grove zanden voor, terwijl oostelijk van de Feldbiss-breuk de groep volledig zandig ontwikkeld is. De leemlagen (Brabantse leem) komen vooral voor in de wijde omgeving rond Eindhoven. De afzettingen uit deze groep zijn in het algemeen van lokale oorsprong. In het onderzoeksgebied komt de groep wijd verbreid voor.

De Betuwe Formatie

Een formatie bestaande uit een afwisseling van zand en klei met incidenteel veenlagen. De formatie wordt gerekend tot de fluviatiele afzettingen die in het gebied van de grote rivieren zijn ontstaan.

In het Holoceen zijn nog enkele veen- en beekafzettingen, alsmede stuifzand complexen ontstaan (waaronder de Drunense Duinen).

2.3. Belgische formaties

Formatie van Rupel

Een eenheid opgebouwd uit twee laagpakketten, onderin fijne slibhoudende zanden: zanden van Berg. Op deze zanden ligt een dik pakket bruine harde kleien: Klei van Boom. De formatie is equivalent met de gelijknamige Nederlandse formatie.

Formatie van Berchem

De formatie bestaat uit soms kleihoudende fijne tot matig fijne donkergroene tot zwarte zanden. De top van het pakket kan sterk kleilig ontwikkeld zijn. De formatie is equivalent met het onderste deel van de Formatie van Breda. De afzetting heeft kustnabij plaatsgevonden, waardoor de zanden over het algemeen grover zijn dan die in Nederland.

Formatie van Diest

De formatie wordt onderverdeeld in twee pakketten. Het onderste pakket bestaat uit fijne tot zeer fijne glauconietrijke zanden: zanden van Dessel. Deze fijne zanden worden naar boven toe grover en gaan over in de matig grove zanden van Diest. Boven op de zanden van Diest bevindt zich meestal een laag fijn leenhoudend zand en plaatselijk een compact kleipakket. Het kleipakket is met een dikte van enkele meters aangetroffen te Mol en Lommel. Er zijn echter onvoldoende gegevens om van deze kleilige ontwikkeling een verbredingskaart te maken.

De Formatie van Diest is equivalent met de top van de Formatie van Breda. De zanden van Diest komen overeen met de grove ontwikkeling van de Formatie van Breda in Nederland, welke in oostelijke richting overgaat in de grove Kiezeloëliet zanden (zanden van Waubach). De kleilige ontwikkeling van de top van de Formatie van Diest is waarschijnlijk in Nederland aangetroffen nabij Rausel [boringen 57A-35, 42, 43].

Naar het oosten wordt op overeenkomstige diepten ook klei aangetroffen: Brunssum Klei [boringen 57B-45, 47, 69, 80].

Formatie van Kasterlee

Een eenheid bestaande uit grijs glauconiethoudend fijn zand, dat op wat kleilige brokjes en fijn grind na, onmerkbaar overgaat in de onderste facies van de Zanden van Mol. Boven in de Zanden van Kasterlee wordt nog maar zeer weinig glauconiet aangetroffen.

Formatie van Mol

Een eenheid die plaatselijk kan bestaan uit twee zandpakketten gescheiden door een donkerbruine tot zwarte laag ligniethoudend zand en/of ligniethoudende klei. De scheidende laag bereikt bij Mol een dikte van enkele meters. De zanden onderin de formatie zijn fijn en grijs van kleur. Bovenin de formatie bevinden zich witte matig grove zanden.

Tabel 1: Breuken.

Breuk	Ligging		Spronghoogten		
	Nederland	België	op globale diepte van 500 m. -mv.	nabij top Form. van Maassluis op ca.100-150 m. -mv.	nabij maai-veld
Gilze-Rijen storing	Oosterhout-Gilze-Rijen		50-80	10-20	5-15
Hooge Mierde breuk	Hooge Mierde Reusel	Reusel-Rouw-Mol	50-70	5-15	5
Oostelijk van Tilburg	Almkerk-Tilburg		50	10	0
Feldbiss	Oirschot-Valkenswaard	Hamont-'t Hasselt	40-80	10-30	0-10
Peelrand-breuk	Oss-Meyel		200-500	50-100	0-10

2.4. Tektoniek

Vanaf het Carboon heeft de breuktektoniek grote invloed uitgeoefend op het gebied van oostelijk Noord-Brabant. Ten gevolge van een kantelende beweging t.o.v. het Brabants Massief ontstonden stelsels zuidoost-noordwest gerichte breuken, waarlangs delen van de aardkorst afschoven, respectievelijk werden opgeheven. Het gebied verbrokkelde tot een aantal horsten en slenken.

Ten westen van de Slenk bevindt zich het Brabants Massief, de begrenzing wordt gevormd door de Gilze-Rijen storing. Oostelijk van de Slenk bevindt zich de Peelhorst, waarbij de begrenzing gevormd wordt door de Peelrandbreuk.

Vanaf het laat tertiaire Midden Mioceen wordt de slenk gekenmerkt door een overwegend dalende beweging, waarbij het dalingscentrum zich ten noordwesten van Son bevindt (Sonsche Bekken); dit is duidelijk te zien op de contourkaart, bijlage 1. Aangenomen moet worden, dat de daling ook nu nog optreedt. Bij waterpassingen langs de meetlijn Gemert-Deurne ('52 en '64) werd een gemiddelde daling van ongeveer 0,3 mm per jaar vastgesteld.

Het onderzoeksgebied wordt gekarakteriseerd door een vijftal breukzônes. In tabel 1 is per zone vermeld: de naam van de belangrijkste breuk, de globale ligging en de spronghoogte (vertikale verplaatsing) op drie referentienivo's.

Opgemerkt dient te worden dat in de volgende gebieden veel secundaire breuken of voortrappen voorkomen.

- tussen de Gilze-Rijen storing en de Tilburgse breuk
- tussen de Hooge Mierde breuk en de Feldbiss breuk
- een zône van tien kilometer ten westen van de Peelrandbreuk.

Bovenstaande gegevens zijn ontleend aan de in het kader van dit onderzoek vervaardigde breukenkaart [Schokking, 1985] en de literatuur [Bisschops 1973, Toorn 1967, Zagwijn 1975].

3. Geohydrologie

3.1. Algemeen

Bij de geohydrologische beschrijving van een onderzoeksgebied wordt onderscheid gemaakt tussen goed en minder goed doorlatende afzettingen. Grondwater stroomt bij voorkeur door relatief grove, goed doorlatende sedimenten.

Wanneer de grove sedimenten (zand, grind en schelpen) voorkomen in een laag van voldoende uitgestrektheid en met een dikte van enkele tot vele tientallen meters, dan spreekt men van een watervoerend pakket. Binnen het watervoerende pakket overheerst, regionaal bezien, de horizontale stromingsterm.

Een watervoerend pakket contrasteert qua doorlatendheid met fijnkorrelige afzettingen, zoals klei en slibhoudend zand. Wanneer fijnkorrelige afzettingen op of tussen watervoerende pakketten voorkomen in een aaneengesloten laag met voldoende verbreiding, dan vormen zij een scheidende laag of een slechtdoorlatend afdekkend pakket. Het grondwater ondervindt binnen zo een laag een grotere stromingsweerstand, waardoor de verticale stromingskomponent zal domineren.

Een opeenvolging van watervoerende pakketten en scheidende lagen vormt een geohydrologisch systeem, aan de onderzijde begrensd door een slechtdoorlatende laag. Bijlage 2 geeft een schematische stratigrafische indeling van de Slenk van het noordwesten naar het zuidoosten.

Uitgaande van de stratigrafie is een geohydrologische indeling gemaakt van de Centrale Slenk. Door de aanwezigheid van faciele overgangen komen de uiteindelijke geohydrologische begrenzingen niet meer overeen met de stratigrafische.

3.1.1. Watervoerende pakketten

In het onderzoeksgebied kunnen een drietal watervoerende pakketten onderscheiden worden, die in het gehele onderzoeksgebied voorkomen.

- Het eerste watervoerende pakket wordt hoofdzakelijk gevormd door de zanden van de Formatie van Sterksel. In het oosten van de Slenk wordt ook nog een belangrijke bijdrage geleverd door zanden van de Formatie van Veghel. Tenslotte worden ook de zanden van Kreftenheye en die welke zich onderin de Nuenen groep bevinden tot dit pakket gerekend.

- Het tweede watervoerende pakket bestaat uit de zandige afzettingen van de Formaties van Tegelen en Maassluis. Daar waar de Formatie van Maassluis ontbreekt (figuur 3 en bijlage 2) bestaat de Formatie van Tegelen uit twee watervoerende pakketten:

II.1 Grind van Tegelen

II.2 Grind van Belfeld

gescheiden door een laag Klei van Belfeld.

- Binnen het derde watervoerende pakket komen zowel boven als naast elkaar meerdere watervoerende lagen voor.

Ten noorden van de lijn Ravels-Best-Veghel bestaat het derde watervoerende pakket slechts uit de Formatie van Oosterhout.

Ten zuiden van de lijn Arendonk-Luyksgestel is de Formatie van Breda zandig ontwikkeld, met een kleilig pakket bovenin de formatie. Daar is de volgende onderverdeling mogelijk:

III.1 Formatie van Oosterhout

III.2 Formatie van Breda (zanden van Diest).

Ook in het zuidoosten van de Slenk is een tweedeling mogelijk. Ten oosten van de Feldbiss en ten zuiden van de lijn Eindhoven-Gemert worden twee zandige pakketten aangetroffen in de Kiezeloëliet Formatie. Onderin zijn dat de Zanden van Waubach en daarop de Zanden van Schinveld.

III.1 Kiezeloëliet Formatie (Zanden van Schinveld)

III.2 Kiezeloëliet Formatie (Zanden van Waubach)

Lokaal, tussen Valkenswaard en Weert, worden i.p.v. de Zanden van Schinveld de Zanden van Pey aangetroffen:

III.1 Kiezeloëliet Formatie (Zanden van Pey)

III.2 Kiezeloëliet Formatie (Zanden van Waubach)

Het voorkomen van de verschillende watervoerende pakketten is schematisch aangegeven op bijlage 3.

3.1.2. Scheidende lagen

De eerste slechtdoorlatende laag vormt het afdekkende pakket. Dit pakket bestaat hoofdzakelijk uit fijne sterk leemhoudende zanden (Brabants Leem) van de Nuenen groep. Het pakket is goed ontwikkeld ten oosten van de Feldbiss, met een maximale dikte van 30 à 40 meter tussen Eindhoven en 's-Hertogenbosch. Verder worden tot het afdekkend pakket gerekend:

de Rosmalen Klei. (F.v. Veghel) zuidoostelijk van 's-Hertogenbosch en de rivierkleien langs de Maas.

De samenstelling van dit pakket wordt nader beschreven in het inventarisatie rapport van de RGD [Schokking, 1985].

De tweede slechtdoorlatende laag bevindt zich tussen het eerste en tweede watervoerende pakket. Deze scheidende laag is opgebouwd uit de kleien van de Formaties van Kedichem en Tegelen (Klei van Tegelen). In het midden en noorden van de Slenk bereikt de laag een dikte van 20 à 40 meter, in het zuiden ontbreekt hij volledig. De afzettingen van Kedichem bestaan overwegend uit fijn zand en kleilagen met veeninschakelingen. De Klei van Tegelen is een overwegend kleilig pakket met soms inschakelingen fijn zand.

De derde scheidende laag wordt alleen aangetroffen in het oosten van de Slenk en wordt gevormd door de oudste kleien van de Tegelen Formatie (Belfeld Klei) en de voortzetting van deze afzetting binnen de Formatie van Maassluis. Deze laag wordt aangetroffen in het gebied Eindhoven-Helmond; type B op bijlage 3.

De Belfeld Klei is een laagpakket hoofdzakelijk bestaande uit klei met een enkele ingeschakelde meestal fijne zandlaag. De maximale dikte van het pakket bedraagt 20 à 30 meter.

De vierde scheidende laag wordt gevormd door een aantal naast elkaar voorkomende slechtdoorlatende lagen, die geen aaneengesloten geheel vormen.

In het westelijk deel van de Slenk wordt boven in de Formatie van Oosterhout een laag aangetroffen die veel kleilenzen bevat (Klei van Kallo), afgewisseld met fijne zanden. In het zuidoosten van de Slenk, zones B en C op bijlage 3, komen in de Kiezeloëliet Formatie twee kleipakketten in laterale zin naast elkaar voor. In zone B is dit de (bovenste) Brunssum Klei en in zone C de Reuver Klei.

Beide Kiezeloëliet pakketten zijn opgebouwd uit compacte kleien met ingeschakelde zeer ver ingekoolde veenlagen (bruinkool). De weerstand tegen verticale grondwaterstroming in deze lagen met een dikte van 10 tot 80 meter is zeer hoog.

De diepste scheidende laag wordt gevormd door de (onderste) Brunssum Klei (Kiezeloëliet Formatie) in de zones B, C en D, met eenzelfde samenstelling als de bovenste Brunssum Klei. De gemiddelde dikte is over het algemeen geringer.

In het zuidwesten, zone E, wordt bovenop de grove fracties van de Formatie van Breda (zanden van Diest) een pakket van fijne zanden (zanden van Kasterlee) en plaatselijk een pakket (paarse) klei van enkele meters dikte aangetroffen.

De slechtdoorlatende basis van het geohydrologisch systeem in de Centrale Slenk

wordt gevormd door mariene sedimenten. In het noorden zijn dit de fijne zanden van de Formatie van Oosterhout.

In het zuidoosten, waar het fluviatiele equivalent van de Formatie van Oosterhout, de Kiezeloöliet Formatie, goed watervoerend is, wordt de basis gevormd door de Formatie van Breda.

Tenslotte in het zuidwesten, waar de Formatie van Breda kustnabij is afgezet en bestaat uit grove zanden, wordt de basis gevormd door de Boomse Klei van de Formatie van Rupel.

3.2. Beschikbare gegevens

Het geohydrologisch systeem is in deze paragraaf beschreven aan de hand van bodemkonstanten, als de doorlatendheid van een watervoerend pakket (kD-waarde), de weerstand van de scheidende laag (c-waarde) en de potentiaal (stijghoogte) van het grondwater.

kD- en c-waarden

Het doorlaatvermogen en de weerstand kunnen in principe bepaald worden m.b.v. een pompproef. De in de Centrale Slenk uitgevoerde pompproeven en het pakket waarop ze zijn verricht zijn opgenomen in tabel 2.

Daarnaast kan de doorlatendheid van een pakket bepaald worden met een putproef. In het kader van dit onderzoek zijn een drietal putproeven op de diepste pakketten uitgevoerd, waarvan de resultaten ook in tabel 2 zijn opgenomen.

Tenslotte kunnen bodemkonstanten geschat worden uit de samenstelling van boormonsters (lithografie) en het milieu waarin de afzettingen zijn ontstaan (stratigrafie). De verkregen waarden zijn alleen bruikbaar als startwaarden voor de ijklingsberekeningen.

Stijghoogtegegevens

DGV-TNO houdt een bestand bij van grondwaterstandwaarnemingen met o.a. een waarnemingsfrequentie van 2x per maand. Eind 1981 verleende het RID aan DGV-TNO een opdracht tot het selekteren van gebiedskaracteristieke grondwaterwaarnemingsreeksen in van belang zijnde watervoerende pakketten [Bracht van, 1982].

De selectie resulteerde in 22 niet visueel door winningen beïnvloede waarnemingsreeksen in het ondiepe watervoerende pakket (Formatie van Sterksel), met regelmatige waarnemingen in de periode 1970-1980.

In de diepe pakketten konden slechts 16 waarnemingsreeksen met regelmatige waarnemingen in de periode 1970-1980 geselecteerd worden. Slechts van twee van deze reeksen kan gesteld worden dat ze slechts in beperkte mate zichtbaar door winningen beïnvloed waren. De overige lijken sterker beïnvloed.

De analyse van de geselecteerde waarnemingsreeksen resulteerde in de keuze van twee representatieve jaren: 1978 en 1979.

In 1978 vertoonde het stijghoogteverloop een gemiddeld beeld; de freatische grondwaterstand is volledig hersteld van de droge periode herfst 1975 - voorjaar 1977.

In de diepe pakketten treedt het volledige herstel na de extreme droge periode later op, voor deze pakketten moet 1979 beschouwd worden als representatief jaar.

In het inventarisatierapport "Centrale Slenk" [Lekahena, 1983] is door DGV-TNO het regionale stijghoogteverloop tot uitdrukking gebracht in een tweetal isohypsenkaarten. De kaarten hebben betrekking op het ondiepe watervoerende pakket (Formatie van Sterksel, d.d. 28.4.1979, schaal 1:100.000) en het diepe watervoerende pakket (Formatie van Oosterhout en de Kiezeloëliet Formatie, d.d. 28.8.1982, schaal 1:250.000).

DGV-TNO heeft afgezien van de vervaardiging van stijghoogtekaarten van de tussenliggende watervoerende pakketten (Formaties van Tegelen en Maasluis) omdat deze pakketten regionaal bezien heterogeen van opbouw en moeilijk als eenheid te begrenzen zijn.

Uit genoemde isohypsenkaarten volgt de karakterisering van het regionale stijghoogteverloop. Hierop is in het navolgende beknopt ingegaan.

Eerste watervoerende pakket

Het isohypsenpatroon toont ter hoogte van Weert een ongeveer west-oost verlopende waterscheiding bijlage 5. Dit is een met het model getekend potentiaalbeeld op grond van gemeten stijghoogten.

Vanaf deze waterscheiding stroomt het grondwater in zuidoostelijke richting naar de Maas in Limburg en in noordwestelijke richting naar de Maas, via de Centrale Slenk.

Toestroming van grondwater vindt tevens plaats vanaf de Peelhorst, waarbij de Peelrandbreuk een hydrologisch obstakel vormt, waarlangs stuwings van grondwater optreedt.

In het zuidwesten van het onderzoeksgebied is nog een waterscheiding aanwezig die loopt over Lommel-Luyksgestel-Rausel-Ravels. Vanaf deze waterscheiding stroomt grondwater in noordelijke richting de Centrale Slenk in en in zuidelijke richting stroomt het af naar het Schelde-bekken in België.

Tabel 2: Pomp- en putproefgegevens.

Pompproeven (Ned.)	model- * pakket	kD (m ² /d)	λ (m)	c (d)
Loosbroek	1	1050	2200	4600
Nuland	1	2250	650	190
Haaren	1,2	1000	1500	2250
Son	1	1740	5400	17000
Ospel	2	1250	1700	-
Vlierden	1,2	1750	4500	11500
Oirschot	2	1000	3100	9600
Schijndel	1,2	1550	3030	5700
Lieshout	1,2	1300	3600	-
Genderen	1,2	1650	2500	-
Stamproy	4	1650	20000	250000
Weert (1)	3	800	25000	75000
Weert (2)	3	850	-	-
Malpie (0)	3,4	2000	6000	20000
Someran	3,4	1300	4000	12000
Helvoirt	1/4	1100	1700	2600
Gilzerbaan	1/4	1150	-	440
Aalsterweg	2/4	2190	4000	7300

Pompproeven
(Belgie)

Ravels	1,2	562	-	490
	4	1210	-	330
Retie	4	738	-	557
Olmen	4	3150	-	-
Meerle	1,2	800	-	-
	4	750	-	-
Lommel	4	750	-	-

Putproeven
(Ned.)

Loon op zand	3,4	1000	-	-
Mierlo	4	2000	-	-
Eindhoven	basis	-	-	-

* zoals weergegeven in figuur 6.

Diepe watervoerende pakket

Als gevolg van het relatief geringe aantal peilputten in het diepe pakket is door DGV-TNO gekozen voor een latere waarnemingsdatum, 28 augustus 1982, zodat ook van recent geplaatste peilbuizen gegevens beschikbaar waren, tevens is het isohypsenpatroon getekend op een kleinere schaal (1:250.000).

Uit het isohypsenbeeld blijkt duidelijk een sterke overeenkomst in stromingsrichting met het eerste pakket; de waterscheiding in het zuidwesten van de Slenk wordt in beide pakketten aangetroffen.

Toestroming van grondwater heeft hoofdzakelijk plaats vanaf de zuidwestelijke waterscheiding en via de Roerdalslenk vanuit Limburg, er bevindt zich in het diepe pakket geen waterscheiding ter hoogte van Weert [zie bijlage 6D], dit is het met het model berekende isohypsenbeeld in het diepste pakket. Dit komt echter goed overeen met het gemeten beeld.

3.3. Aanvullend onderzoek

Bij de opzet van het hydrologisch onderzoek was reeds in een vroegtijdig stadium duidelijk dat er onvoldoende gegevens bekend waren van de diepe pakketten. Er is toen een programma opgezet dat voorzag in een groot aantal boringen, die voorzien zouden worden van peilfilters in alle relevante watervoerende lagen. Enkele boringen zouden tevens voorzien worden van pompfilters t.b.v. putproeven.

3.3.1. Meetnet

De putten zijn zo geplaatst dat ze zo minimaal mogelijk beïnvloed worden door bestaande winningen. Tevens is gezorgd voor een redelijke spreiding over het onderzoeksgebied. Het grootste aantal putten is echter geplaatst langs de grens (in het kader van het grensmeetnet) met België. De putten zijn geplaatst in de periode van oktober-'81 tot oktober-'82. Dit heeft tot gevolg dat de stijghoogte-waarnemingen niet goed bruikbaar zijn wanneer gerekend wordt met het karakteristieke jaar 1979.

3.3.2. Putproeven

Op een drietal putten zijn putproeven uitgevoerd [Glasbergen].

In het navolgende zijn de resultaten beknopt weergegeven

- 44 H 133

De putproef Loon op Zand t.b.v. de bepaling van de doorlatendheid van het pakket in de Formatie van Oosterhout, deze bedraagt ongeveer $1000 \text{ m}^2/\text{d}$. Dit betreft het pakket dat zich bevindt tussen 147 en 210 m -NAP, met de geohydrologische basis als onderbegrenzing.

- 51 H 125

De putproef Mierlo werd uitgevoerd om een doorlatendheidscoëfficiënt van de zanden van Waubach (Kiezeloëliet Formatie) te bepalen.

Het doorlaatvermogen van de zanden van Waubach bedraagt circa $2000 \text{ m}^2/\text{d}$, met een pakketdikte van 115 meter, waarbij de geohydrologische basis is aangenomen op 330 meter onder NAP.

- 51 E 67

Met de putproef Eindhoven - Philipswijk is de doorlatendheidscoëfficiënt van de zanden in de Formatie van Oosterhout bepaald om een indruk te krijgen of deze zanden als watervoerend, danwel als onderdeel van de geohydrologische basis moeten worden gezien.

De doorlatendheidscoëfficiënt bedraagt $0,5 \text{ à } 0,3 \text{ m/d}$ voor respectievelijk het ondiepe (340 m -mv) en het diepe filter (420 m -mv). De totale dikte van de Formatie van Oosterhout bedraagt hier 140 meter, zodat het doorlaatvermogen minder bedraagt dan $100 \text{ m}^2/\text{d}$. Dit is geen relevante bijdrage gelet op de grovere afzettingen van de Kiezeloëliet Formatie die erboven liggen. Dit impliceert dat de afzettingen van de Formatie van Oosterhout tot de geohydrologische basis kunnen worden gerekend.

4. Computerprogrammatuur

4.1. Algemeen

Bij het RIVM is een groot aantal programma's operationeel voor de numerieke simulatie van grondwaterstroming.

De programma's kunnen worden ingedeeld in twee categorieën.

Naar oplopende complexiteit zijn dit:

- stationaire grondwaterstroming in de verzadigde zone;
- instationaire grondwaterstroming in de verzadigde zone;

Gelet op het doel van het onderzoek is besloten de berekeningen uit te voeren met een stationair programma.

Bij deze beslissing hebben de volgende criteria belangrijk bijgedragen:

- omvang van het onderzoeksgebied;
- beschikbaarheid van gegevens;
- complexiteit van het hydrologisch systeem, waarbij een schematisatie met meerdere watervoerende pakketten noodzakelijk is;
- ervaring met het programmapakket.

Uit het aanbod stationaire programma's is gekozen voor een versie van het programma TRIST. Dit programma heeft het voordeel dat een tot acht watervoerende pakketten gelijktijdig doorgerekend kunnen worden, dit kan niet met de andere beschikbare programma's.

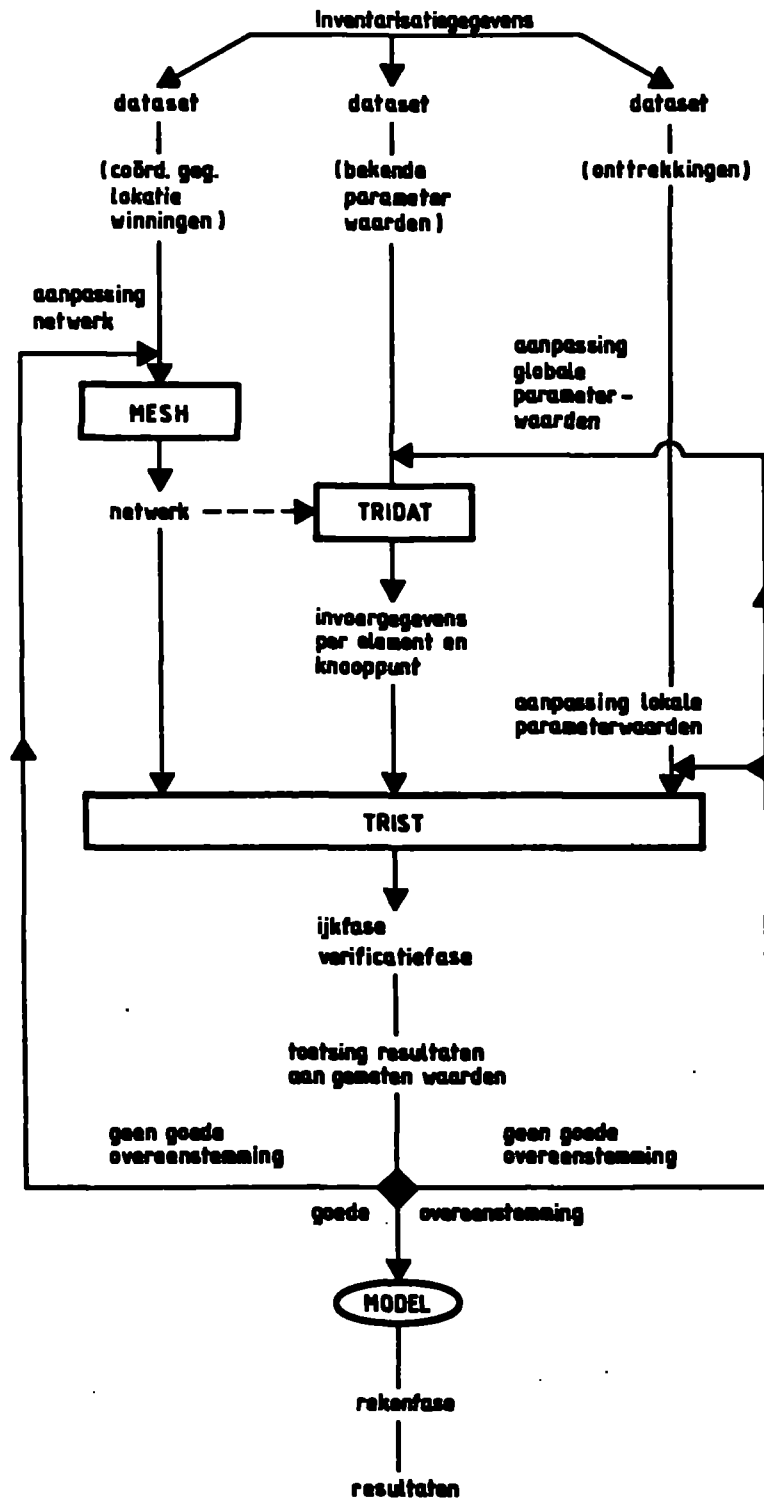
4.2. Gebruikte programma's

4.2.1. TRIST

TRIST is een programma voor de berekening van stationaire grondwaterstroming. Ten tijde van de aanvang van de modelopzet, was het mogelijk de berekening gelijktijdig uit te voeren voor maximaal vier watervoerende pakketten, gescheiden door semi-permeabele lagen.

De stroming in de watervoerende pakketten wordt verondersteld louter horizontaal te zijn, terwijl de communicatie tussen de pakketten tot stand komt door een uitsluitend verticale stroming door de semi-permeabele lagen.

De programma's zijn gebaseerd op Galerkin's methode en de eindige elementen methode. Er wordt gebruik gemaakt van driehoekige elementen.



figuur 5: stroomschema gebruikte computerprogramma's

Voor de berekening kunnen worden ingevoerd:

onttrekkingen, infiltraties, nuttige neerslag, vaste polderpeilen, grondwaterstand/afvoer-relatie en waterlopen. Als randvoorwaarde kan een stroming over de rand of een grondwaterpotentiaal op de rand worden gegeven. De semipermeabele lagen mogen ontbreken in gedeelten van het modelgebied.

Nadere informatie over het programma is te vinden in de handleiding [Leijnse, 1980]. Voor een uiteenzetting van de gebruikte methode wordt verwezen naar de literatuur [Pinder, 1977].

4.2.2. MESH

Bij gebruik van het programma TRIST wordt het onderzoeksgebied verdeeld in een (groot) aantal elementen, maximaal 2000.

De generatie van dit netwerk wordt aanzienlijk vereenvoudigd door gebruik van het programma MESH. Met dat programma kan snel een netwerk gegenereerd worden, waarbij rekening wordt gehouden met de loop van rivieren en de ligging van winningen of belangrijke peilputten. Daarnaast heeft MESH twee bijzondere eigenschappen:

- de dichtheid van het netwerk kan lokaal worden aangepast zonder dat hierdoor de dichtheid in het resterende gedeelte van het gebied verandert.
- een uitbreiding, c.q. verkleining van het netwerkgebied kan worden gerealiseerd zonder dat het netwerk in het oorspronkelijke gebied een wijziging ondergaat.

Een nadere beschrijving is te vinden in de handleiding [Kovar, 1980].

4.2.3. TRIDAT

Na de generatie van het netwerk dient per knooppunt en/of per element een aantal gegevens te worden ingevoerd. Dit betreft o.a. de weerstand per scheidende laag, de doorlatendheid per watervoerend pakket, nuttige neerslag en gegevens m.b.t. rivieren, onttrekkingen en randvoorwaarden. De invoer van deze gegevens kan aanzienlijk vereenvoudigd worden door gebruik te maken van het programma TRIDAT.

TRIDAT is een programma dat voor een door MESH gegenereerd netwerk van driehoekige elementen de bodemkonstanten per knooppunt of element berekend aan de hand van door de gebruiker gedefinieerde isolijnen of deelgebieden. Voor een beschrijving van het programma en de gebruikte interpolatietechnieken kan worden verwezen naar de handleiding [Leijnse, 1979].

De samenhang tussen de verschillende programma's is aangegeven in figuur 5.

5. Model

5.1. Algemeen

Daar de geologische en geohydrologische opbouw van de ondergrond zeer complex is en bij aanvang van het onderzoek vele hydrologische componenten onbekend zijn, is gekozen voor de ontwikkeling van een stationair deelmodel voor de simulatie van de grondwaterstroming. In het deelmodel worden de diepere watervoerende pakketten beschouwd.

5.2. Modelgebied

Het onderzoeksgebied omvat de Centrale Slenk. Het modelgebied dient in ieder geval het onderzoeksgebied te omvatten, maar het is vaak noodzakelijk dit groter te kiezen, zodat modelgrenzen gekozen kunnen worden die een minimale invloed hebben op de berekeningsresultaten in het onderzoeksgebied. Modelranden worden bij voorkeur zo gekozen dat ze samenvallen met waterscheidingen en in ieder geval niet te dicht langs winningen lopen. Voor een rand moet in ieder watervoerend pakket de potentiaal op of de stroming over de rand goed bepaald kunnen worden, het is dan ook gunstig wanneer nabij de rand geen sterke gradiënten in het potentiaalverloop voorkomen.

Gelet op bovenstaande criteria is het in bijlage 1 weergegeven modelgebied gekozen. Het modeloppervlak bedraagt 3575 km².

De noordrand is gekozen in het rivierengebied, waar het potentiaalverloop gering is.

De oostrand valt samen met de Peelrandbreuk, welke in de diepere pakketten als ondoorlatend beschouwd kan worden.

De zuidoostrand loopt evenwijdig aan de waterscheiding in het ondiepe pakket nabij Weert. De rand in het zuidwestelijk deel van het modelgebied is zo gekozen, dat een strook Belgisch grondgebied met een breedte van circa tien kilometer wordt meegenomen, zodat de mogelijkheid bestaat eventuele grensoverschrijdende effecten te bestuderen.

De westrand is gekozen langs de Gilze-Rijen storing. De rand valt niet samen met de storing, maar is er enkele kilometers westelijk van gesitueerd. Hiermede wordt de mogelijkheid open gehouden de eventuele invloed van deze breuk op het hydrologisch regime in beschouwing te nemen.

5.2.1. Netwerk

Het onderzoeksgebied wordt ten behoeve van de modelberekeningen verdeeld in driehoekige elementen. In de hoekpunten van deze elementen, zgn. knooppunten, kan een onttrekking of infiltratie worden gesitueerd, terwijl tevens de potentiaal kan worden berekend dan wel opgegeven.

Het is wenselijk de randknooppunten zoveel mogelijk samen te laten vallen met waarnemingsputten, zodat de randvoorwaarden relatief nauwkeurig bepaald kunnen worden.

De knooppunten in het veld worden zo gekozen dat alle winningen door minstens een knooppunt worden gerepresenteerd.

Tenslotte kunnen de resterende knopen zo worden gekozen dat deze samenvallen met belangrijke waarnemingsputten, waardoor een vergelijking tussen berekende en gemeten potentialen eenvoudiger wordt.

De dichtheid van het netwerk kan aangepast worden aan de beschikbaarheid van gegevens m.b.t. bodemkonstanten en stijghoogten of aan de gewenste mate van detail in een bepaald deelgebied.

De eerste netwerk opzet is zo uitgevoerd dat alle bestaande en geplande winningen goed in model kunnen worden gebracht. De beperkte beschikbaarheid van gegevens en het ontbreken van voorkeursgebieden hebben ertoe geleid dat het netwerk niet extra verdicht is.

Het voordeel van het grofmazige netwerk, zoals weergegeven in bijlage 4A, is dat de hoeveelheid invoergegevens en rekentijd beperkt zijn.

Bij de kalibratie van het eerste model bleek het grofmazige netwerk niet te voldoen. Vooral nabij winningen en breuken bleek het onmogelijk de grondwaterstroming goed te simuleren. Om deze problemen te ondervangen is voor het tweede model het in bijlage 4B weergegeven netwerk gegenereerd.

In tabel 3 zijn een aantal algemene gegevens van de netwerken opgenomen.

Tabel 3: Gegevens van het netwerk.

	model 1	model 2
Totaal model-oppervlak	3575 km ²	3575 km ²
Gegevens elementen		
aantal	474	1510
oppervlakte		
gemiddeld	7,5 km ²	2,4 km ²
minimaal	0,7 km ²	0,4 km ²
maximaal	26,8 km ²	4,8 km ²
Gegevens knooppunten		
aantal	258	788
oppervlakte invloedsgebied knooppunt		
gemiddeld	13,9 km ²	4,5 km ²
minimaal	1,1 km ²	1,0 km ²
maximaal	52,5 km ²	11,2 km ²
randknooppunten	40	64
onttrekkingspunten	40	52*

* Het aantal onttrekkingspunten is toegenomen, doordat uitgestrekte winplaatsen over meerdere knooppunten zijn verdeeld.

5.2.2. Schematisatie

Om te komen tot een model-schematisatie van het regionale systeem is gebruik gemaakt van de beknopte geohydrologische inventarisatie van het RID [Juhasz-Holterman, 1982], de Grondwaterkaart van DGV-TNO [Lekahena, 1983] aangevuld en gekorrigeerd met gegevens van de breukenkaart van de RGD [Schokking] en recente seismische gegevens.

Bij de keuze van de slechtdoorlatende lagen en de watervoerende pakketten is niet alleen gekeken naar het voorkomen van klei en zand in de boringen daar dit zeer plaatselijke informatie betreft. De geohydrologische schematisatie is mede gebaseerd op de geologische herkomst van de sedimenten, zodat een indruk van de mogelijke uitgestrektheid van de afzettingen bestaat.

Door de gecompliceerde geologische opbouw van de ondergrond in de Centrale Slenk is schematisatie niet eenvoudig en zeker niet eenduidig. Een schematisatie met een groter aantal watervoerende pakketten blijft altijd mogelijk.

Rekening houdend met de geologie in de Slenk is het uit geohydrologisch oogpunt wenselijk vijf à zes watervoerende pakketten te onderscheiden. Er worden zes pakketten onderscheiden wanneer (lokaal) binnen het afdekkend pakket (Nuenen groep) één watervoerend pakket wordt verondersteld. Het maximale aantal van zes watervoerende pakketten wordt o.a. aangetroffen ten zuidoosten van Eindhoven. In het onderzoeksgebied komen ook gebieden voor waar slechts sprake is van één watervoerend pakket, o.a. op de Peelhorst en in delen van België. De variatie in het aantal watervoerende pakketten wordt mede veroorzaakt door de breuken, de overgang van mariene naar fluviatiele afzettingen en het uitwijken van een aantal formaties in zuidelijke richting.

Rekening houdend met de eigenschap van het te gebruiken computerprogramma, dat lagen in principe doorlopen over het gehele modelgebied, is het totale onderzoeksgebied geschematiseerd tot vier diepe watervoerende pakketten, waarbij de pakketten zoveel mogelijk geologisch gekoppeld zijn. Zo bevinden de mariene afzettingen van de Formatie van Maassluis zich in dezelfde pakketten als de fluviatiele afzettingen van de Formatie van Tegelen, zie figuur 6.

De berekening van de grondwaterstroming wordt uitgevoerd voor de vier onderste pakketten. Daarbij wordt het potentiaalverloop in het erboven liggende pakket (o.a. Formatie van Sterksel) bekend verondersteld en ingevoerd als bovenrandvoorwaarde.

figuur 6: model schematisatie.

model pakket	Mariene formatie (afzetting)	Fluviatile formatie (afzetting)	kode grondwaterkaart DGV-TWO
		Muenengroep	
			
vaste stijghoogte	-	Sterksel, Veghel, Kreftenheije	I
 C ₁	-	Kadichem, Tegelen (Teg. klei)	
1	Maassluis	Tegelen (Teg. grind)	II, IIA
 C ₂	Maassluis	Tegelen (Belfeld klei)	
2	Maassluis	Tegelen (Belfeld grind)	II, IIB
 C ₃	Oosterhout (klei v. Kallio)	Kiezeloëliet (klei v. Rauver, Brunssum)	
3	Oosterhout	Kiezeloëliet (Z.v. Schinveld, Pay)	III, IIIA, IIIB
 C ₄	Breda	Kiezeloëliet (Brunssum klei)	
4	Oosterhout, Breda, (z.v. Antwerp, Daurne, Diest)	Kiezeloëliet (z.v. Waubach)	III, IIIC
 Basis	Oosterhout, Breda, Rupel (klei v. Boom)	-	

1 = nummering watervoerende pakketten in het model

C₁ = codering scheidende lagen in het model

Wanneer plaatselijk lagen ontbreken of verspringen (breuken), wordt dit in het model verwerkt door aangepaste c - en kD -waarden te hanteren.

5.2.3. Randvoorwaarden

Het model is geen gesloten systeem, maar maakt deel uit van een groter hydrologisch systeem. Op de randen dienen grootheden opgegeven te worden die het contact met de omgeving tot stand brengen, dit kan middels het opgeven van een potentiaal op of een stroming over de rand. Het model staat tevens in contact met de omgeving via infiltraties en onttrekkingen.

In het model worden de volgende randvoorwaarden gebruikt.

Onderrand

Deze wordt gevormd door de slechtdoorlatende afzettingen binnen de formaties van Oosterhout, Breda en Rupel, welke als ondoorlatend worden beschouwd.

Bovenrand

Bij deze rand wordt uitgegaan van de gemeten potentiaal in het watervoerende pakket opgebouwd uit de grove afzettingen van de Formaties van Sterksel, Veghel en Kreftenheye. De gemeten potentialen worden gebruikt als modelinvoer. Het Sterksel pakket wordt als het ware beschouwd als een polder met een beheerst, konstant peil. Deze randvoorwaarde zal een kleiner effect hebben op de resultaten naarmate de scheidende laag, opgebouwd uit de slechtdoorlatende afzettingen van de Formaties van Kedichem en Tegelen, een hogere weerstand heeft en het pakket waarin de potentiaal gemeten wordt een grotere doorlatendheid heeft.

Hieruit volgt direct dat daar waar de slechtdoorlatende laag ontbreekt, de bepaling van de vaste potentialen zeer kritisch wordt.

Zijrand

Bij deze rand zijn beide type randvoorwaarden, vaste potentiaal en konstante randstroming, gebruikt.

Langs de Peelrandbreuk is gewerkt met een ondoorlatende rand. De Peelrandbreuk is een zone waar de afzettingen over aanzienlijke afstand (honderden meters) in verticale richting t.o.v. elkaar zijn verschoven. Dit heeft tot gevolg gehad, dat de grove afzettingen van de Formaties van Tegelen en de Kiezeloëliet Formatie in de Slenk overgaan in de fijne slibhoudende zanden van de Formatie van Breda op de Peelhorst. Het sterke contrast in doorlatendheid rechtvaardigt de aanname, dat de horizontale stroming over deze breuk verwaarloosbaar is.

Op de overige randen is gewerkt met een vaste potentiaal. Eventuele onnauwkeurigheden in de bepaling van de vaste potentiaal zullen langs de westrand, welke ongeveer langs een stroombaan loopt, en langs de noordrand, waar de gradient in het potentiaalverloop gering is, geen grote invloed hebben op de resultaten. De situatie op de zuidrand daarentegen is zeer belangrijk. De sterke gradient in het stijghoogteverloop en de relatief grote doorlatendheid in de diepere pakketten maken dat fouten in de bepaling van de randpotentiaal een aanzienlijke invloed hebben op de resultaten. Hierdoor wordt het gebrek aan potentiaalgegevens langs de rand in België tussen Lommel en Stamproy als een belangrijk hiaat in kennis ervaren.

5.3. Invoergegevens

Per element of knooppunt dienen een of meer van de volgende parameters te worden ingevoerd:

- weerstandswaarde voor iedere scheidende laag;
- doorlatendheid voor elk watervoerend pakket;
- bovenrandpotentiaal, zijrandpotentiaal;
- (eventueel aanwezige) onttrekking of infiltratie per pakket.

Voor zover de parameters tijdsafhankelijk zijn, moet een waarde bepaald worden die representatief is voor de gekozen kalibratieperiode.

5.3.1. Bodemkonstanten

De startwaarden t.b.v. de kalibratieberekeningen van de bodemparameters, doorlaatvermogen (kD) en weerstand tegen verticale stroming (c) werden verkregen uit de Grondwaterkaart [Lekahena, 1983]. In vermelde volgorde werd aan de volgende bepalingsmethoden meer gewicht toegekend:

- pompproeven (kD, c);
- putproeven (kD);
- extrapolatie van waarden verkregen uit pomp- en putproeven aan de hand van gegevens uit boorstaten (kD, c).

De uitgestrektheid van het gebied waarvoor de bepaalde waarden bruikbaar zijn, is geschat met behulp van de door DGV-TNO opgestelde profielen voor de Grondwaterkaart. Daar waar niet voldoende pompproef of putproef gegevens voorhanden waren, is een extrapolatie uitgevoerd evenredig met de dikte van de afzettingen.

De geschatte bodemkonstanten zijn ingedeeld in een aantal categorieën. Voor de c-waarde zijn dit 25, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10.000 en 25.000 dagen. De laagste waarde (25 d) wordt gebruikt wanneer de scheidende laag afwezig is. Een zandpakket zonder scheidende laag heeft namelijk ook een weerstand tegen verticale grondwaterstroming. Vooral als rekening gehouden wordt met de gelaagdheid binnen het pakket, waardoor over het algemeen de doorlatendheidscoëfficiënt in verticale richting veel kleiner is dan die in horizontale richting, zal bij een pakket dikte van 25 à 50 meter de waarde van 25 dagen snel bereikt zijn.

Het minimale doorlaatvermogen wordt gesteld op $10 \text{ m}^2/\text{d}$, daarnaast wordt gewerkt met de categorieën 250, 500, 1000, 1500 en $2000 \text{ m}^2/\text{d}$.

5.3.2. Onttrekkingen

In het model zijn slechts winningen ingevoerd, waarvan de totale onttrekking aan de in het model beschouwde pakketten meer dan 0,5 miljoen m^3 per jaar bedraagt. De onttrekkingen zijn (zover bekend) naar de verschillende pakketten toegerekend. Wanneer ter plaatse van een winning de weerstandbiedende laag ontbreekt, dan is de onttrekking naar evenredigheid van doorlatendheid over de pakketten verdeeld. Voor de onttrekking is gerekend met een gemiddelde dag onttrekking over het eerste kwartaal.

Ingevoerde winningslokaties, de onttrokken hoeveelheden en de naam van de Gemeente of de waterwinplaats zijn opgenomen in tabel 4.

De totale onttrokken hoeveelheid, in 1979 aan de diepe pakketten, bedroeg 91 miljoen m^3 . Hiervan werd 68 miljoen m^3 onttrokken t.b.v. de drinkwatervoorziening en 23 miljoen door de industrie. De waterleidingbedrijven onttrokken ca. 70% van de totaal benodigde hoeveelheid aan de diepe pakketten. Bij de industrie was dit ongeveer 20%.

Tabel 4: Grondwaterwinning diepe pakketten

nummer onttrek- kings- punt	gemeente pompstation/ winplaats	model pakket	Gemidd. onttrekking over eerste drie maanden		Gem. onttrekk. 1e 3 mnd. omgerekend naar jaarcijfer
			1979 [m ³ /d]	1982 [m ³ /d]	1982 [10 ⁶ .m ³ /jaar]
2	Gilze	1	2145	2520	0.9
2		2	2145	2520	0.9
3	Genderen	1	6800	6770	2.5
3		2	6800	6770	2.5
6	Gilzerbaan	1	15750	14290	5.2
6		2	15750	14290	5.2
12	Haaren	1	10000	8230	3.0
12		2	5800	8230	3.0
18	Schijndel	1	6700	9520	3.5
18		2	6700	9520	3.5
19	Son	1	7000	8000	2.9
19		2	7000	8000	2.9
19		3	6400	8000	2.9
24	Someren	3	0	3250	1.2
25	Aalsterweg	2	18100	16550	6.0
26	Geldrop	2	6000	6000	2.2
45	Geldrop	2	0	2240	0.8
27	Helmond	4	1700	1410	0.5
28	Ospel	2	0	2000	0.7
28		3	4800	3490	1.3
29	Weert	3	3000	3060	1.1
30	Oosterhout (ind)	1	4000	1570	0.6
30		2	2400	3180	1.2
30		3	2000	2230	0.8
31	Gilze (ind)	2		1120	0.4
32	Drunen (ind)	1	7000	7400	2.7
33	Bergsjk (ind)	3	3900	4600	1.7
34	Budel (ind)	3	4400	5660	2.1
38	Neerpelt (Bel)	4	7900	9560	3.5
40	overpelt (Bel)	4	17000	19500	7.1
41	Loosbroek	1	16200	3500	1.3
42	Loosbroek	1	0	3500	1.3
43	Veghel	1	4200	5070	1.9
43		2	2500	5070	1.9
43		3	2500	5070	1.9
44	Nuland	1	22400	9260	3.4
46	Dongen (ind)	3	0	1280	0.5
46		4	0	1000	0.4
47	Dongen (ind)	3	0	2000	0.7
47		4	0	1790	0.7
48	Dessel (Bel.ind)	3	0	300	0.1
48		4	0	300	0.1
49	Maasheide	4	0	1720	0.6
50	Wezel (Bel.ind)	4	0	4440	1.6
51	Wezel (Bel.ind)	4	0	4440	1.6
52	Lommel (Bel.ind)	4	10100	6490	2.4

5.3.3. Stijghoogten

Bij de ontwikkeling van het model zijn stijghoogtegegevens noodzakelijk voor de bepaling van randvoorwaarden en de kalibratie van het model. Dit onderzoek is uitgevoerd met een stationair model. De te gebruiken stijghoogtegegevens dienen een stationaire situatie zo goed mogelijk te benaderen. Aan het einde van het voorjaar is meestal sprake van een redelijk stationaire toestand. In de winter raakt de bodem verzadigt t.g.v. het neerslag overschot, waardoor de stijghoogte fluktuaties in het voorjaar beperkt zijn.

Voor het eerste model zijn stijghoogte gegevens verzameld voor 28 april 1979. Deze datum heeft als voordeel dat het stijghoogteverloop in de voorafgaande winter sterke overeenkomst vertoont met het langjarig gemiddelde. Daarnaast waren de gegevens voor het eerste watervoerende pakket al verzameld door DGV-TNO [Lekahena, 1983].

Aanvullende gegevens zijn verkregen uit:

- het grondwaterstanden archief van DGV-TNO;
- archieven van de waterleidingbedrijven.

Voor het tweede model zijn stijghoogtegegevens verzameld voor 15 maart 1982. De datum diende in het vroege voorjaar gekozen te worden, omdat het voorjaar van 1982 een zeer droge periode kende. Het stijghoogteverloop in de winter kent een sterke overeenkomst met 1979.

Het was noodzakelijk voor de ontwikkeling van het tweede model nieuwe stijghoogtegegevens te verzamelen.

T.a.v. 1979 waren namelijk een groot aantal nieuwe peilbuizen, met filters in vele pakketten, in gebruik genomen. Ook de lokatie van de nieuwe filterbuizen maakte het noodzakelijk deze buizen bij de model ontwikkeling te betrekken.

De extra peilgegevens betreffen:

- grondwaterstanden van het grensmeetnet, Contactgroep Grondwaterbeheer Grensstreek Nederland-België;
- grondwaterstanden van Belgische onderzoeken.

5.4. Kalibratie

Het model is opgezet uitgaande van een beperkt aantal gemeten hydrologische componenten, veel gegevens zijn bepaald door extrapolatie van waarden, verkregen uit pomp- en putproeven, aan de hand van boorbeschrijvingen. Na het invoeren van deze

basisgegevens is de stijghoogte in alle knooppunten in de verschillende watervoe-
rende pakketten berekend. De berekende potentialen moeten in voldoende mate over-
eenstemmen met de gemeten stijghoogten. Wanneer de afwijking te groot is, dan
kunnen de bodemkonstanten binnen bepaalde fysische grenzen worden aangepast.
Hierbij dient terdege gelet te worden op de betrouwbaarheid en bruikbaarheid van
de gemeten stijghoogten.

Het resultaat van de kalibratie is sterk afhankelijk van het aantal vrijheids-
graden binnen het systeem en het aantal gemeten stijghoogten.

Gelet op de gecompliceerdheid van het systeem is het wenselijk het aantal vrij-
heidsgraden te beperken. Als vrijheidsgraad is de weerstand tegen verticale
grondwaterstroming genomen, de variatie in deze waarde is groter dan die van het
doorlaatvermogen. Tevens is bij andere studies gebleken dat het regionale systeem
gevoeliger is voor wijzigingen in c-waarden, dan voor wijzigingen in kD-waarden.

Kalibratieputten

Van 1979 zijn van 36 peilputten stijghoogtegegevens bekend in een of meer van de
modelpakketten. Van deze 36 putten bevinden zich 13 putten in de directe nabij-
heid van een winning.

Voor 1982 zijn gegevens van 48 extra peilputten beschikbaar. Van deze extra bui-
zen bevinden zich er 4 in de direkte nabijheid van een winning en 13 liggen op
Belgisch grondgebied.

Ook in 1983 zijn nog een 7-tal peilbuizen in gebruik genomen. De stijghoogtegege-
vens van deze buizen zijn meegenomen als indicatieve waarden.

Kalibratieresultaat

De kalibratie van het eerste model, voor het voorjaar van 1979, heeft niet geleid
tot een bruikbaar model. Het kalibratieproces, dat uitgebreid wordt beschreven in
het interimrapport [Sman, 1983], is afgebroken op een moment dat voor meer dan
50% van de peilgegevens het verschil tussen berekende en gemeten waarde nog meer
dan een halve meter bedroeg.

Het kalibratieproces is afgebroken, omdat verwacht werd dat een beter resultaat
niet haalbaar was. De oorzaak van de kalibratieproblemen is gezocht in de grote
element afmetingen en het ontbreken van voldoende stijghoogtegegevens.

De kalibratie van het tweede model verliep beter. Door de beschikbaarheid van

meer peilgegevens en het gebruik van kleinere elementen, bleek al snel dat de Feldbissbreuk een grote invloed had op het hydrologisch systeem. De breuk is daarna in model gebracht door de desbetreffende elementen een geringe doorlatendheid te geven, vooral in het derde en vierde modelpakket. Dit heeft een duidelijk effect op het isohypsenbeeld, zie bijlagen 6D en 8D. Ook bleek dat de Onderste Brunssumklei (vierde scheidende laag in het model) in de omgeving van Weert een aanzienlijke weerstand diende te hebben. Anders zou het water in het vierde watervoerende modelpakket naar Limburg afstromen i.p.v. naar de Slenk, zoals uit de gemeten potentialen volgt.

Een algemeen beeld dat uit de kalibratie wordt verkregen, is dat de weerstand van de scheidende lagen hoger is dan in het begin aan de hand van interpolaties en schattingen werd aangenomen. Het resultaat van de kalibratie van het tweede model is in de vorm van profielen opgenomen in de bijlagen 9, 10 en 11.

Uit die bijlagen volgt dat ook de kalibratie van het tweede model nog niet heeft geleid tot een perfecte overeenstemming.

In de nabijheid van winningen werden nog aanzienlijke verschillen gevonden, o.a. Genderen (44F-146), Haaren (45G-192) en Eindhoven (51G-271, 51G-306).

Ook nabij de Feldbissbreuk is de simulatie nog niet optimaal (51D126, 51D195).

Tevens lijkt er nog een systematische fout in het model te zitten bij de overgang van het zandgebied naar de polders. De potentiaal wordt in dit overgangsgebied over de volle breedte van de Slenk te hoog berekend, (44H-34, 44H-133, 45G-166, 51B-92, 51E-49 en 51F-155).

6. Berekeningsresultaten .

Bij de modelstudie is ernaar gestreefd de navolgende resultaten te verkrijgen:

- a) inzicht in het regionale verloop van de bodemparameters (kD en c);
- b) het kunnen kwantificeren van de invloed van wijzigingen in de grondwateronttrekking op het hydrologisch regime;
- c) inzicht in de noodzaak van extra (veld-)onderzoek.

Ad a

Een beperkt inzicht in het regionale verloop van de bodemparameters wordt verkregen uit de figuren opgenomen in bijlagen 7 en 8. De kD- en c-waarden zijn voor het overgrote deel afkomstig van schattingen aan de hand van boorgegevens, waarbij de c-waarden gekalibreerd zijn. Gelet op de nog resterende verschillen tussen berekende en gemeten potentiaal is te verwachten, dat in het noorden van de Slenk de weerstand van pakket Kedichem/Tegelen minder hoog zal zijn.

Ad b.

Voor het kwantificeren van de invloed van wijziging in grondwateronttrekkingen is het niet noodzakelijk dat het model zeer nauwkeurig is gekalibreerd.

De fout die bij de simulatie van de uitgangssituatie wordt gemaakt, zal ook bij de berekening van de nieuwe situatie gemaakt worden. De fout heeft een geringe invloed op het berekende effect: het verschil tussen beide berekeningen.

Met het tweede model kunnen in principe alle mogelijke uitbreidingen van bestaande, geplande of nog te plannen pompstations doorgerekend worden, mits de onttrekking plaats vindt in de diepere pakketten.

Voor dit rapport zijn alleen de Nederlandse waterleidingbedrijven beschouwd, die volgens het tienjarenplan hun productie uit de diepe pakketten in 1995 vergroot zullen hebben.

In tabel 5 zijn de pompstations met de geplande uitbreiding opgenomen.

Per lokatie is de extra produktiekapaciteit opgeteld bij de onttrekking in 1982. Het verschil tussen de onttrekking in 1982 en de aanwezige produktiekapaciteit in 1982 is buiten beschouwing gelaten. In de bijlagen 12A t/m 12H is voor de verschillende lokaties weergegeven wat de extra potentiaalverlaging in het eerste modelpakket zal zijn. Uit deze bijlagen blijkt duidelijk dat verschillende winningen meetbare effecten (>10 cm) hebben over een afstand van meerdere kilometers.

Opgemerkt dient te worden dat deze verlagingsbeelden beïnvloed worden door de bovenrandvoorwaarde. Doordat de potentiaal in het eerste watervoerende pakket wordt vastgehouden, kan deze onder invloed van de extra onttrekking niet dalen. Was de daling wel mogelijk, dan zou de potentiaalverlaging in 'e mode akketten groter zijn. De invloed van de extra onttrekkingen zou dan over een nog groter gebied merkbaar zijn.

Met betrekking tot de lokatie Luijksgestel dient opgemerkt te worden dat de simulatieberekening niet bruikbaar is. Door het ontbreken van slechtdoorlatende lagen worden de resultaten te veel beïnvloed door de bovenrand voorwaarde. Zowel de berekende verlaging als de grootte van het invloedsgebied zijn "onderschat".

Tabel 5: Extra produktiekapaciteit 1995.

model no onttrekk. punt	lokatie	model- pakket	1982 [m ³ /d]	debiet 1995 [m ³ /d]	extra produktie capaciteit [10 ⁶ m ³ /jaar]
6	Gilzerbaan	1	14290	18400	3,0
6		2	14290	18400	
3	Genderen	1	6770	10950	3,0
3		2	6770	10950	
7	Klooster	4	0	8200	3,0
11	Helvoirt/Vlijmen	3	0	16400	6,0*1)
14	Oirschot	3	0	16400	6,0
15	Luyksgestel	3	0	5500	2,0
21	Lieshout	3	0	5500	2,0
23	Vlierden	4	0	5500	2,0*2)
25	Aalsterweg	2	16550	40000	8,5
26	Geldrop	2	6000	17400	7,0
45	Geldrop	2	2240	10000	
27	Helmond	4	1410	12000	3,9

* Effecten die niet in het scenario zijn meegenomen:

1) capaciteit wordt anders onttrokken:

2.0 Vlijmen

3.0 Helvoirt ondiep

1.0 Helvoirt diep

2) diepe winning gaat 4.0 bedragen doordat deel van ondiepe winning naar diep gaat.

Op bijlage 13 is het effect van de in tabel 5 aangegeven uitbreiding van de produktiekapaciteit weergegeven. Daaruit blijkt dat in een groot deel van de Centrale Slenk sprake zal zijn van een potentiaalverlaging van meer dan 25 centimeter in het eerste modelpakket.

Op bijlage 14 is de toename van de infiltratie door de eerste scheidende laag (Formatie van Kedichem). Het blijkt dat vooral bij Luyksgestel, Gilzerbaan en Oirschot sprake zal zijn van een tamelijk sterke lokale toename van de infiltratie.

Om een indruk te krijgen van de herkomst van het extra onttrokken water in 1995 zijn in figuur 7 twee waterbalansen opgenomen.

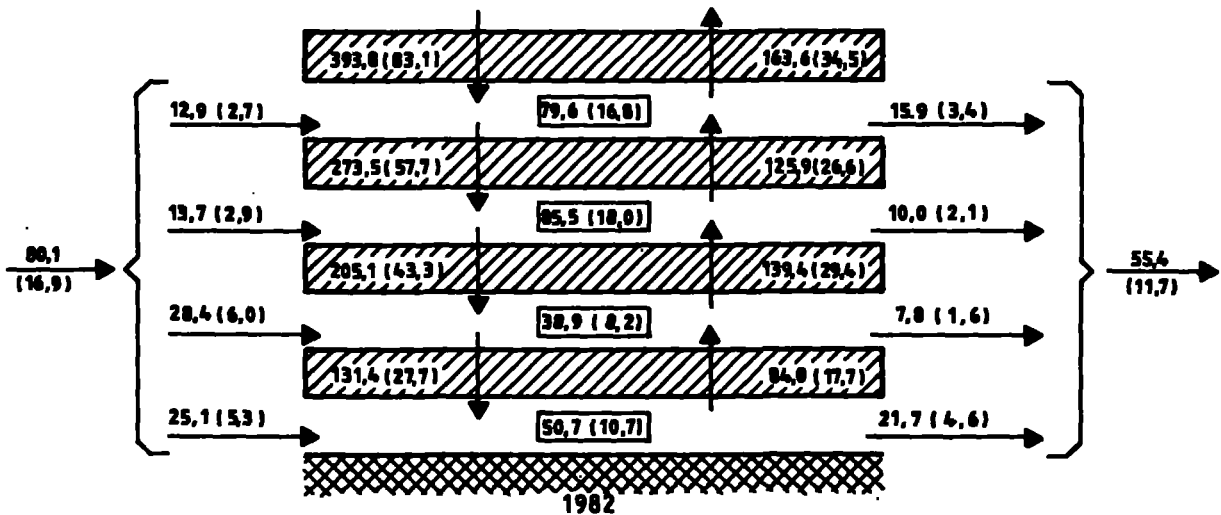
De bovenste figuur geeft de situatie voor 1982, de onderste de situatie voor de situatie in 1995.

In figuur 8 is alleen het effect van de extra onttrekking weergegeven. Uit de waterbalansen blijkt dat de extra onttrekking voor 95% wordt aangevuld uit de ondiepe pakketten (72% door toename van de infiltratie en 23% door een afname van de kwel). Opmerkelijk is dat de afstroming vanuit de diepe pakketten nauwelijks wordt beïnvloed door de extra onttrekking (0,4%).

Ad c.

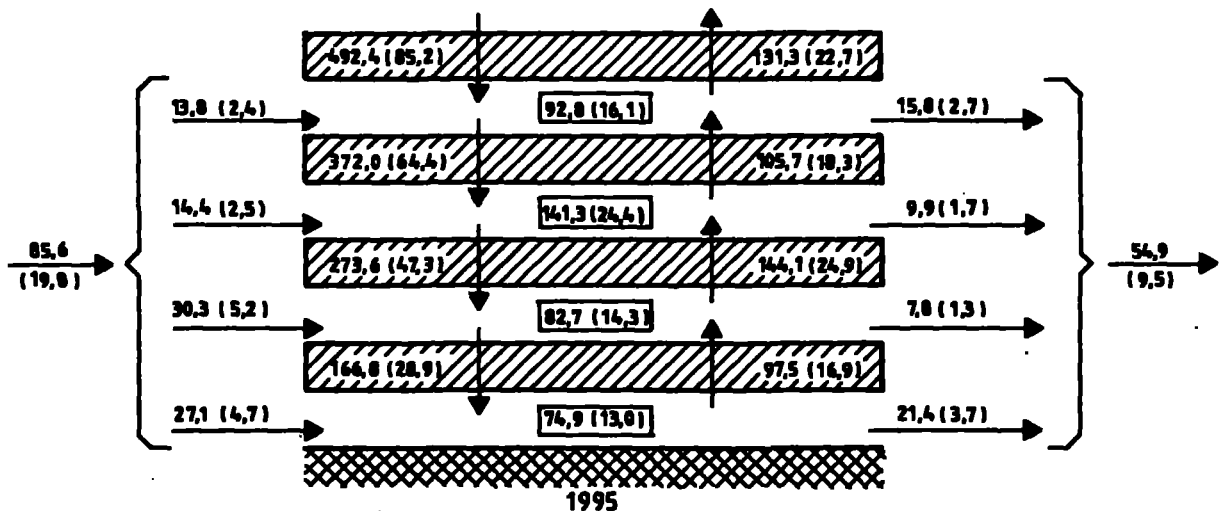
De noodzaak van extra (veld)onderzoek is uit deze modelstudie niet naar voren gekomen. Een aanvulling op het diepe peilbuizennet zou bij een verdere modelstudie wenselijk zijn, hoewel er niet direkt voorkeurslokatie is aan te geven.

Een eenvoudige verbetering van het meetnet is te realiseren door put 45G-108 te waterpassen en put 50F-157 te controleren op korrekte waarnemingen. De laatste put toont soms sterke infiltratie danwel sterke kwel voor dezelfde periode van een jaar.



De totale voeding van het systeem: $473,9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ (100 %)

De totale onttrekking: $254,7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ (53,7 %)



De totale voeding van het systeem: $578,0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ (100 %)

De totale onttrekking: $391,7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ (67,8 %)

////// scheidende laag

XXXXXX geohydrologische basis

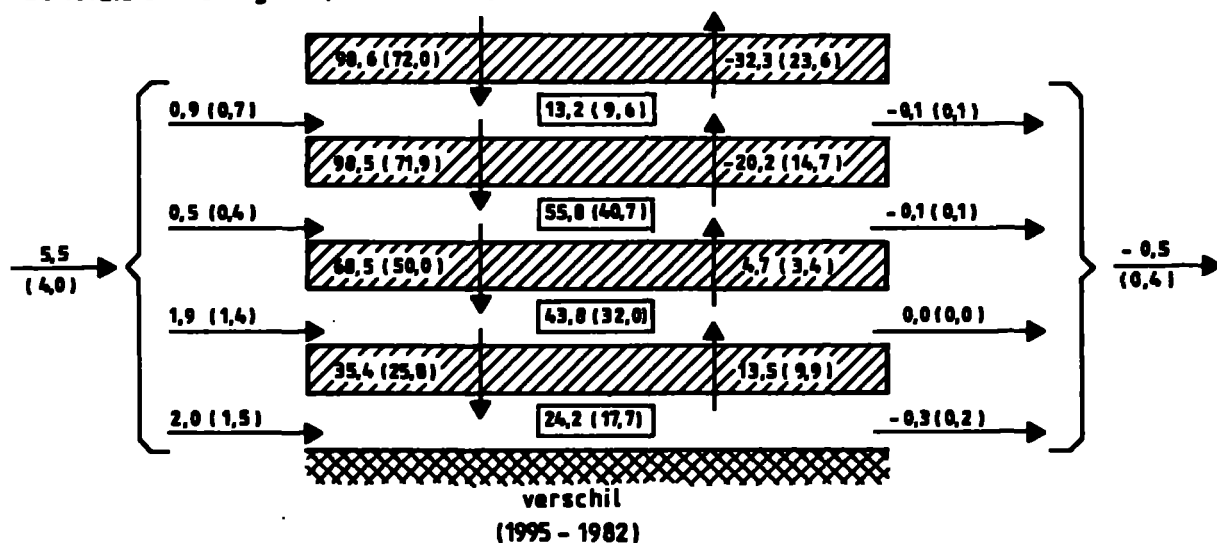
13,7 - debiet (1000 m³/d)

83 - onttrekking (1000 m³/d)

(1,3) - percentage t.o.v. de totale onttrekking

figuur 7: waterbalansen van het model voor 15-3-1982 (referentie) en 1995 (scenario 10-jarenplan).

De totale onttrekking: $137,0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ (100 %)



figuur 8: waterbalans voor de extra produktiecapaciteit

7. Evaluatie en konklusies.

Voor de ontwikkeling van een numeriek grondwaterstromingsmodel van de Centrale Slenk bleek het noodzakelijk te werken met relatief kleine elementen ($2,4 \text{ km}^2$). Dit bleek noodzakelijk om het potentiaalverloop nabij breuken en de waterscheidingskam in het zuidwesten goed in model te brengen. De meeste onttrekkingskegels van pompstations zijn echter nog te lokaal om met dit netwerk te berekenen.

De kalibratie van het (tweede) model is niet helemaal voltooid. Tussen de 390 en 410 km-lijn in noordelijke richting wordt systematisch een te hoge potentiaal berekend (zie bijlagen 9 en 10). Dit vindt mogelijk zijn oorzaak in de relatief hoge ingevoerde c-waarden van het Kadichem/Tegelen pakket in de poldergebieden.

De beschikbaarheid van potentiaalgegevens voor het tweede modelpakket (Formatie van Maassluis en Belfeld Grind) is zeer gering. IJking op dit pakket was dan ook niet mogelijk. Het pakket is wel in boringen aan te tonen, maar het had niet in model gebracht behoeven te worden. Nu het in model gebracht is, is het wel mogelijk wanneer gegevens beschikbaar komen, deze zeer eenvoudig in te passen.

In het zuidwestelijk deel van het modelgebied, hoofdzakelijk in België, zijn onvoldoende gegevens bekend. Dit heeft tot gevolg, dat de voor het systeem van belang zijnde randstroming en infiltratie in dit gebied niet goed bepaald kunnen worden.

Het gebruik van de gemeten stijghoogten, in het watervoerende pakket van Sterksel, als boven-randvoorwaarde vermindert de bruikbaarheid van het model. Fouten in de bepaling van deze randvoorwaarde werken nagenoeg onverandert door in alle watervoerende pakketten.

Een uitbreiding van het model van vier naar vijf watervoerende pakketten zal de bruikbaarheid van het model aanzienlijk vergroten. Hierdoor wordt het mogelijk de Formatie van Sterksel als watervoerend pakket mee te nemen, waardoor de effecten van winningen op de stijghoogte binnen dat pakket ook kunnen worden berekend. Dit gegeven kan dan later eventueel gebruikt worden als invoer voor een deelsysteem dat het afdekkend pakket omvat.

Het bleek goed mogelijk superpositie berekeningen met het model uit te voeren. De verwachting dat de invloed van de onttrekkingen zich over grote gebieden uitstrekt wordt door de berekening bevestigd.

Tevens volgt dat de aanvoer van water t.b.v. de extra onttrekking hoofdzakelijk plaats heeft vanuit de ondiepe pakketten. De winningseffecten blijven "beperkt" tot de Centrale Slenk.

8. Literatuur

Bracht, M.J. van, 1982.

Selectie waarnemingsreeksen in het Centrale Slenkgebied van Noord-Brabant.

Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Rapport no. OS 82-18.

Bisschops, J.H., 1973.

Toelichting bij de Geologische kaart van Nederland.

Eindhoven oost (51 0), 1:50.000.

Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1980.

Nota met betrekking tot de grondwaterwinning en waterbehoefte in de Centrale Slenk van Oostelijk Noord-Brabant, Utrecht.

Cramer, W., e.a. 1983.

Rapport inzake de winningsmogelijkheden van grondwater in Nederland.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.

Glasbergen, P., (in voorbereiding).

Rapportage putproeven Eindhoven, Loon op Zand en Mierlo.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Voorburg.

Juhász-Holterman, M.H.A., 1982.

Beknopte geohydrologische inventarisatie van de diepere watervoerende pakketten van de Centrale Slenk en het overgangsgebied ten zuidwesten van Eindhoven.

Rapport HyH 82-10, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.

Kovar, K., 1980

Gebruikershandleiding voor het programma MESH

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.

Rapport HYH 80-02.

Leijnse, A., 1979.

Gebruikershandleiding voor het programma TRIDAT.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.

Rapport HyH 79-09.

Leijnse, A., 1980.

Gebruikershandleiding voor de programma's TRIST, TRISA, TRISB, TRISC.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.

Rapport HyH 80-06.

Lekahena, E.G., 1983.

Grondwaterkaart van Nederland, Centrale Slenk (Oost-Brabant).

Rapport no. GKW-32. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Montfrans, H.M. van, J. Baccaert, P. Laga en R. van Rooyen, 1980.

Geologische inventarisatie van de Contactgroep Grensstreek Nederland-Belgie.

[oostelijk grensgebied] (overzichtskaart met profielen)

Belgische Geologische Dienst, Brussel.

Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Neerdael B. et al., 1981.

Utilisation des diagraphies dans la determination des caracteristiques

Lithologiques dans l'argile de Boom et leur interet pour les correlations dans l'argile.

In: Siting of radioactive waste repositories in geological formations.

OECD, Paris.

Pinder, G.F. and Gray, W.G., 1977.

Finite element simulation in surface and subsurface hydrology.

Academic Press, New York.

Rijks Geologische Dienst, 1982.

Geologische inventarisatie van tertiaire afzettingen in Zuid-Nederland t.b.v.

de ondergrondse opslag en winning van warm water, Haarlem.

Rapport no. 28DS22.

Schokking, F., 1985.

Breukenkaart van de Centrale Slenk.

Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Schokking, F., 1985.

Rapport inventarisatie afdekkend-pakket t.b.v. een eventuele 2e fase van het modelonderzoek in het kader van het hydrologisch onderzoek Centrale Slenkgebied Noord-Brabant.

Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Sman, H.T., 1983.

Een regionaal geohydrologisch modelonderzoek van de Centrale Slenk van Noord-Brabant.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Leidschendam.

Interimrapport no. 84 0342 002.

Toorn, J.C., 1967.

Toelichting bij de Geologische kaart van Nederland.

Venlo west (52 W), 1:50.000.

Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Zagwijn, W.H., en Staalduinen, C.J., 1975.

Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland.

Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

9. Literatuuroverzicht

Dit hoofdstuk bevat een literatuuroverzicht ten behoeve van het regionaal hydrologisch onderzoek Centrale Slenkgebied van Noord-Brabant. Het overzicht bevat alle bij de leden van de projectgroep bekende relevante publicaties op het gebied van

- geologisch onderzoek
- geofysisch onderzoek
- geohydrologisch onderzoek
- waterhuishouding
- bodemonderzoek
- onderzoek naar de drinkwatervoorziening

1. Geologisch Onderzoek

Bisschops, J.H., 1973.

Toelichting bij de Geologische kaart van Nederland, Eindhoven oost (51 oost)
1 : 50.000. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Rijks Geologische Dienst, 1973,

Geologie van het gebied tussen de Rijen-Geertruidenbergstoring en de
Peelrandbreuk in de provincie Noord-Brabant, betreffende de bladen 45 west en
oost. Rapport no. 930 A.

Geologische Stichting, 1964.

Uitgestrektheid en dikte van voor wateronttrekking in aanmerking komende
lagen in de ondergrond van Noord-Brabant. Rapport nr. 418.

Rijks Geologische Dienst, 1973.

Geologie van het gebied bij 's-Hertogenbosch, Oss en Uden (kaartblad 45).
Rapport 930 B.

Rijks Geologische Dienst, 1974.

Geologisch onderzoek Midden Noord-Brabant, Rapport 1268/7006.

Rijks Geologische Dienst, 1976.

Twee geologische projecten in Zuid-Nederland. Rapport 7400.

Rijks Geologische Dienst, 1980.

Geologisch onderzoek Land van Hausden en Altena. Rapport no. 10334.

Rijks Geologische Dienst, 1982.

Geologische inventarisatie van tertiaire afzettingen in Zuid-Nederland t.b.v.
ondergrondse opslag en winning van warm water, Haarlem.
Rapport no. 82DS22.

Ridder, N.A. de en J.I.S. Zonneveld.

De ondergrond van het Boven-Dommelgebied.

Geologische Stichting en Landbouwproefstation en Bodenkundig Instituut TNO.

Zagwijn, W.H. en C.J. van Staalduinen, 1975.

Geologische overzichtskaarten van Nederland.

Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

2. Geofysisch onderzoek

Geophysische Dienst der Staatsmijnen, 1949.

Eindverslag van het geofysisch onderzoek in Z.O. Nederland.

Mededelingen van de Geologische Stichting serie C-I-3-nr. 1.

Lekahena, E.G., 1981.

Geo-electrisch onderzoek Oosterhout-West. Rapport no. GF-126.

Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Senden, W., 1981.

Geo-electrisch onderzoek Bommelerwaard en Land van Altena. Rapport no. 109,

Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Senden, W. 1981.

Geo-electrisch onderzoek 's-Hertogenbosch-Oost, kaartblad 45 Oost. Rapport no. GF-134.

Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Stavenga T., 1978.

Geo-electrisch onderzoek Bommelerwaard en Land van Altena. Rapport no. 109,

Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Van Dalfsen, W. en T. Stavenga, 1976.

Rapport inzake een geo-electrisch onderzoek op de kaartbladen 52 west en 52 oost (Venlo). Rapport no. 96.

Dienst Grondwaterverkenning TNO.

3. Geohydrologisch onderzoek

Adviesbureau Arnhem B.V., 1978.

Beoordeling van een claim inzake droogteschade ten gevolge van bronnering nabij de Gewandeweg/Huizenbeemdweg, Gemeente Oss. Rapport AA1832.

Bon, J., 1976.

Geohydrologische interpretatie van het grondwatervlak in Midden-Noord-Brabant. Nota 912, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Bracht, M.J. van, 1982.

Selectie waarnemingsreeksen in het Centrale Slenkgebied van Noord-Brabant, rapport nr. OS 82-18. Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Duijvenbooden, W. van en G.T. Busz, 1978.

Overzicht van de grondwaterwinplaatsen voor de openbare drinkwatervoorziening op basis van een classificatie van de geëxploiteerde watervoerende pakketten. Rapport HyH - 78/01, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

IWACO, 1980.

Geohydrologisch onderzoek Winplaats Luyksgestel.

IWACO, 1982.

Geohydrologische modelstudie van het pompstation Vlierden.

Rapport 30.162-1.

IWACO, 1982.

Verkenkend geohydrologisch onderzoek naar de mogelijkheden voor een industriële grondwateronttrekking op het industrieterrein "De Vossenbergh" te Tilburg. Rapport 30.203-3.

IWACO, 1981.

Aanvulling op het geohydrologisch winplaatsonderzoek Luyksgestel.

Rapport 30.161.

IWACO, 1983.

Berekeningen winplaats Luyksgestel.

Rapport 30.225.

IWACO, 1983.

Herberekening verplaatste winning Luyksgestel.

Rapport 30.233.

IWACO B.V., 1983.

Bepaling van lokatie voor een grondwaterwinning ten zuidoosten van Tilburg.

Rapport 30.192-2.

Juhász-Holterman, M.H.A. en A.N.M. Obdam, 1981.

Grondwaterstandsanalyse in de omgeving van het pompstation Son. Rapport HyH 81-26. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

Juhasz-Holterman, M.H.A., 1982.

Beknopte geohydrologische inventarisatie van de diepere watervoerende pakketten van de Centrale Slenk en het overgangsgebied ten zuidwesten van Eindhoven. Rapport HyH 82-10, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

Langbein, J.B.M., 1975.

Grondwaterkaart van Nederland. Inventarisatierapport Midden-Brabant. Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Lekahena, E.G., 1972.

Grondwaterkaart van Nederland, Geohydrologische toelichting bij kaartbladen 51 oost en 52 west. Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Lekahena, E.G. en G.A.G. Nalisse, 1974.

Grondwaterkaart van Nederland, Geohydrologische toelichting bij kaartbladen 45 west en 45 oost. Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Lekahena, E.G., 1983.

Grondwaterkaart van Nederland, Centrale Slenk (Oost-Brabant). Rapport no. GWK-32. Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Philips J.G.H., G. van der Velde, M.A. den Hoed, 1982.

Oriënterend onderzoek naar de winningsmogelijkheden van grondwater te Empel. Rapport SWO-393. KIWA N.V.

Philips J.G.H., M.A. den Hoed, G. van der Velde, 1983.

Vervolgonderzoek naar de mogelijkheden voor grondwaterwinning in de nabijheid van Empel. Rapport SWO-83.207. KIWA N.V.

Post W.J., 1983.

Modelstudie naar de invloed van de omlegging van de Zuid-Willemsvaart op de grondwaterstroming nabij het waterwingebied te Helmond.

Rapport HyH 83-21, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1946.

Nota inzake de te verwachten daling van den grondwaterstand tengevolge van de waterwinning in het te stichten pompstation Vessem van de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1951.

Nota inzake een geo-hydrologisch onderzoek naar de te verwachten daling van de grondwaterstand tengevolge van de waterwinning in een tussen Vlierden en Ommel te stichten pompstation van de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1954.

Nota inzake de verlaging van de grondwaterstand onder invloed van de wateronttrekking in de winplaats te Acht van de N.V. Philips' gloeilampenfabriek.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1956.

Geohydrologie der waterwinplaatsen in de provincie Noord-Brabant.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1959.

Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek ten behoeve van de aanleg van een spoorwegonderdoorgang nabij de Insulindelaan te Eindhoven.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1960.

Rapport inzake een onderzoek naar het te verwachten waterbezwaar in een bouwput ten behoeve van de bouw van een schutsluis in de haven te Waalwijk.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1961.

Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek ten behoeve van de grondwaterwinplaats van de Gemeentebedrijven te Weert.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1964.

Rapport inzake de geohydrologische onderzoeken t.b.v. de uitbreiding van de waterwinplaats Gilzerbaan van de N.V. Tilburgse Waterleiding Maatschappij.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1965.

Rapport inzake een onderzoek naar de mogelijkheid tot het inrichten van een 2^e waterwinplaats voor de gemeente Eindhoven in de omgeving van Geldrop en Heeze.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1965.

Rapport inzake de te verwachten grondwaterstandsverlagingen ten gevolge van de wateronttrekking door het pompstation Budel van de Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1965.

Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek i.v.m. de stichting van een nieuwe waterwinplaats te Loosbroek van de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1967.

Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek t.b.v. de uitbreiding van de grondwaterwinning op de waterwinplaats Rosmalen-Nuland.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1969.

Rapport inzake de mogelijkheden van uitbreiding van de waterwinplaats Genderen.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1970.

Rapport inzake het te verwachten waterbezwaar van de onderdoorgangen in de rondweg ten noorden van Den Bosch.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1970.

Rapport inzake de mogelijkheid van grondwaterwinning op het industrieterrein te Uden (N.Br.).

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1971.

Rapport inzake een onderzoek naar de mogelijkheid tot het inrichten van een tweede grondwaterwinplaats aan de Hoogbosweg en het winnen van diep grondwater op de bestaande winplaatsen aan de Graafschap Hornelaan te Weert.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1971.

Inventarisatie van de geohydrologische en bodemkundige gegevens van het Maaskant-gebied tussen Empel en Macharen.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1971.

Nota inzake de pompproef in het 'diepe' watervoerende pakket op de waterwinplaats Aalsterweg van de gemeente Eindhoven.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1973.

Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek t.b.v. de mogelijke stichting van een waterwinplaats ten zuiden van Valkenswaard (De Malpy).

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1974.

Rapport betreffende een geohydrologisch en hydrochemisch onderzoek naar de mogelijkheden van uitbreiding van de grondwaterwinning te Waalwijk, inclusief beschermende maatregelen.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1976.

Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek ten behoeve van de aanleg van een spoortwonderdoorgang in het bestemmingsplan Herzenbroeken te Eindhoven.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1977.

Rapport betreffende een voortgezet geohydrologisch onderzoek naar de gevolgen van een uitbreiding van de grondwaterwinning door het pompstation Waalwijk.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1979.

Rapport inzake een onderzoek naar de mogelijke verzilting van het grondwater op de waterwinplaats Genderen in het Land van Altena.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1979.

Rapport inzake de analyse van grondwaterstanden in de omgeving van het pompstation 'Ir. A.J. Stuurman' te Schijndel.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 1980.

Rapport inzake een proefbemaling t.b.v. de bouw van sluis DE in de Zuid-Willemsvaart.

Roijs E.M.E., 1983.

Berekening verandering grondwaterstanden ten gevolge van de verbetering van de Zuid-Willemsvaart in het traject Den Dungen-Erp. Rijkswaterstaat, directie waterhuishouding en Waterbeweging, district zuidoost.

Nota 83.7.

Tjaden N.V., 1972.

Rapport betreffende proefbemaling t.b.v. de Mars fabrieken te Veghel (N.B.) nr. D7258.

Tjaden B.V., 1977.

Rapport betreffende het houden van een pompproef en het aan de hand daarvan opstellen van een bemalingsplan t.b.v. het drooghouden van een bouwput, Nieuwbouw St. Elisabeth Ziekenhuis, Tilburg. Rapport nr. 28.7063.

Visscher W., 1970.

Regionaal geo-hydrologisch onderzoek bij de bepaling van de optimale grondwateronttrekking in een groot stroomgebied H₂O 3:76-81.

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1960.

Nota inzake de berekening van de te verwachten afpompingen in de pompputten van de waterwinplaats Haaren (Noord-Brabant).

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1968.

Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek t.b.v. een door de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant te stichten nieuwe waterwinplaats in de omgeving van Son.

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1970.

Rapport betreffende een geohydrologisch onderzoek t.b.v. een door de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant te stichten waterwinplaats in de omgeving van Schijndel.

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1971.

Rapport betreffende een geohydrologisch onderzoek t.b.v. een door de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant te stichten waterwinplaats in de omgeving van Lieshout.

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1972.

Rapport betreffende een geohydrologisch onderzoek t.b.v. de door de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant uit te breiden waterwinplaats Vlierden.

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1972.

Rapport betreffende een geohydrologisch onderzoek t.b.v. een door de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant te stichten waterwinplaats in de omgeving van Lith.

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1973.

Rapport betreffende een geohydrologisch onderzoek t.b.v. een door de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant te stichten waterwinplaats in de omgeving van Helvoirt.

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1974.

**Rapport betreffende een geohydrologisch onderzoek t.b.v. een door de
N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant te stichten waterwinplaats in de
omgeving van Oirschot.**

N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 1974.

**Rapport betreffende een geohydrologisch onderzoek t.b.v. een door de
N.V. Waterleidingmaatschappij te stichten waterwinplaats in de omgeving van
Someren.**

4. Waterhuishouding

Bon, F., 1975.

**Het afvoeronderzoek in Midden-Noord-Brabant. Nota 874, Instituut voor
Cultuurtechniek en Waterhuishouding.**

Brinkhof, J., 1967.

**Rapport inzake onderzoek naar de frequentie van afvoeren in het stroomgebied
van de Donge.**

Rijkswaterstaat- Dienst voor de Waterhuishouding.

Van der Laan, W.P., H.J. Eggink en E.H. Ketelaars, 1972.

**De waterhuishouding van het stroomgebied van de Dommel: kwantitatieve en
kwalitatieve aspecten.**

De Ingenieur 84: A795 - A808.

5. Bodemonderzoek

Stichting voor Bodemkartering, 1976

Bodemkaart van Nederland, blad 45 oost, 46 west - 46 oost.

6. Onderzoek naar de drinkwatervoorziening

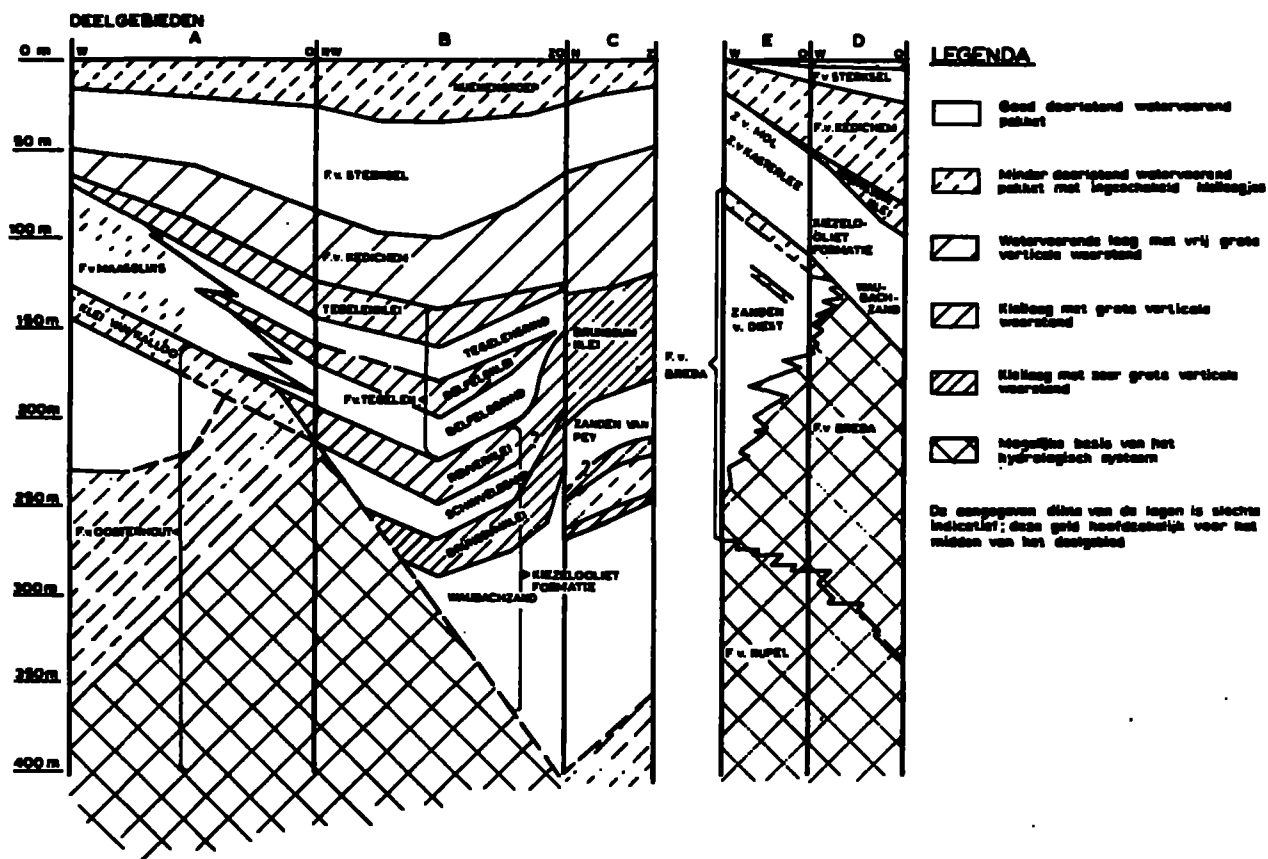
Werkgroep Basisplannen Oost-Noord-Brabant, 1970.

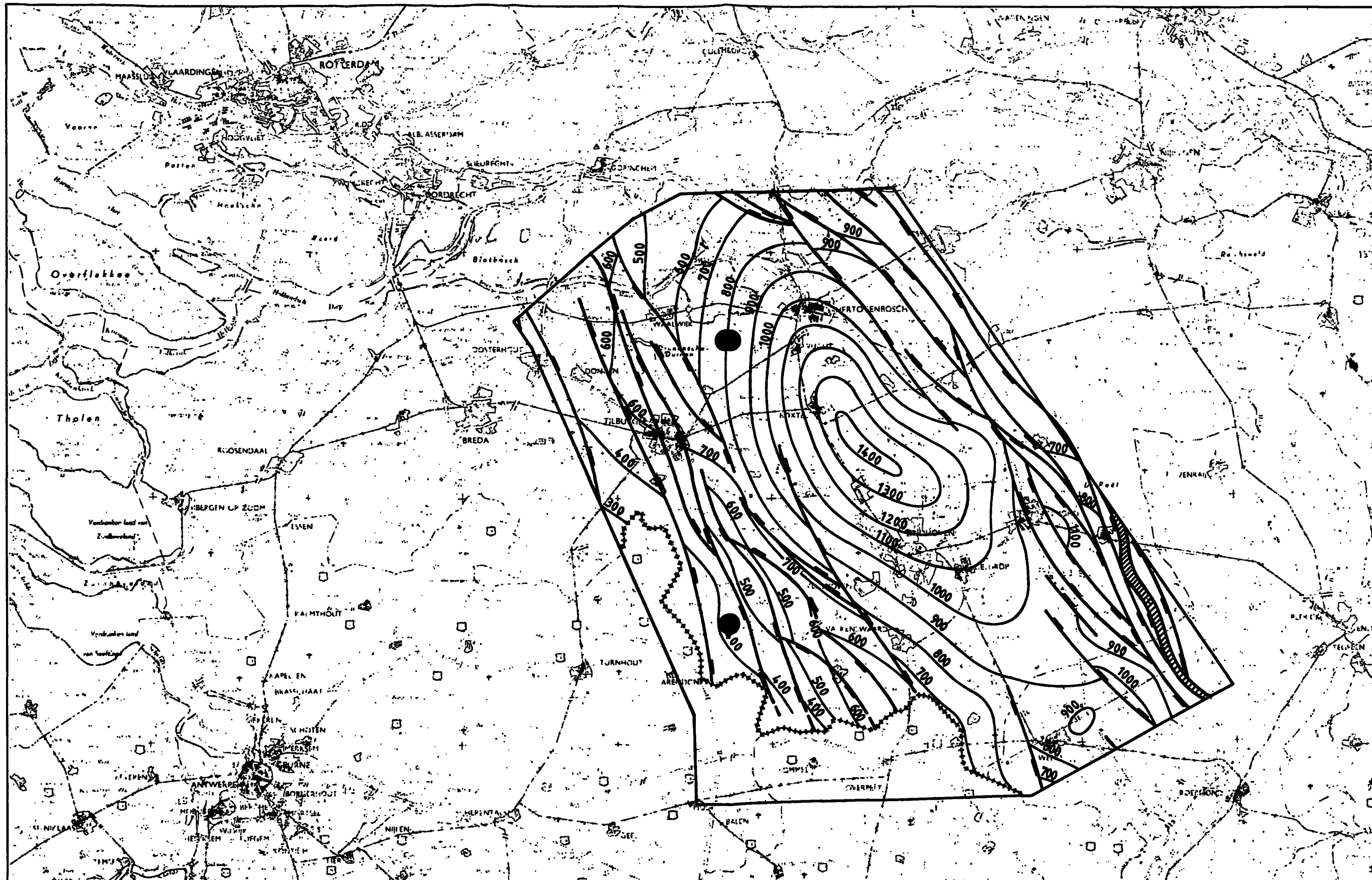
Deelrapport Basisplannen Oost-Noord-Brabant.

VEWIN, 1983.

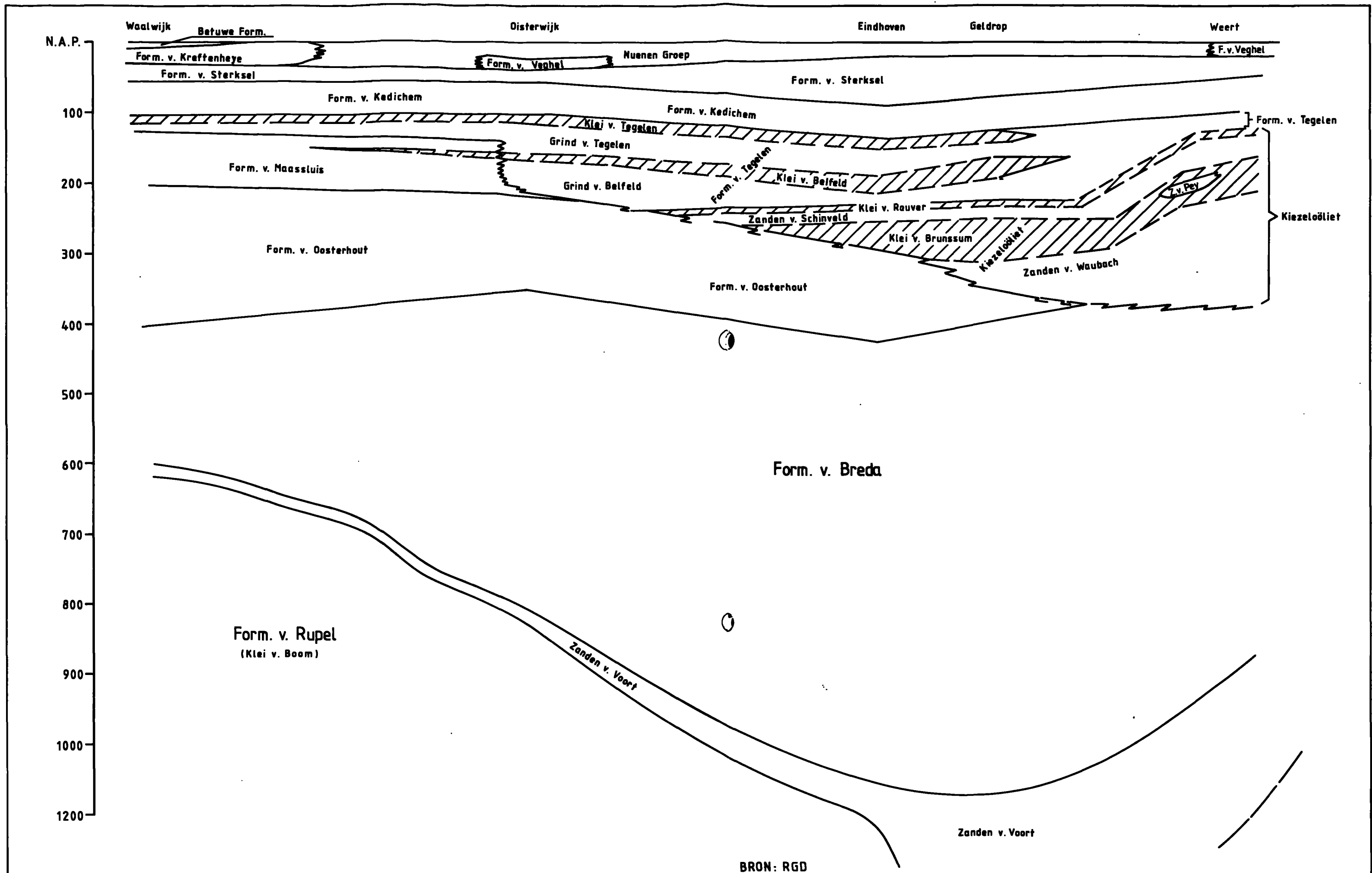
Tweede Tienjarenplan, concept deelrapport 1-5, behoefteprognoses regio zuid.

Concept deelrapport 11-5, behoeftedekking regio zuid, concept deelrapport 111-5, produktiemiddelen regio zuid.





Legenda :		900 dieptecontour, diepte in meters - n.a.p.		RIVM 1984		Titel: MODELGEBIED EN DIEPTELIGGING BASIS FORMATIE VAN BREDA			
	breuk met gaping		breuk (afgeschoven zijde)		rijks grens	Get. Schaal: 1: 400.000		Project: Bijlage 1	
	begrenzing modelgebied	Bron RGD 10371 (1982)		Gez.		Form. Tek. nr.		A3 84/0243	

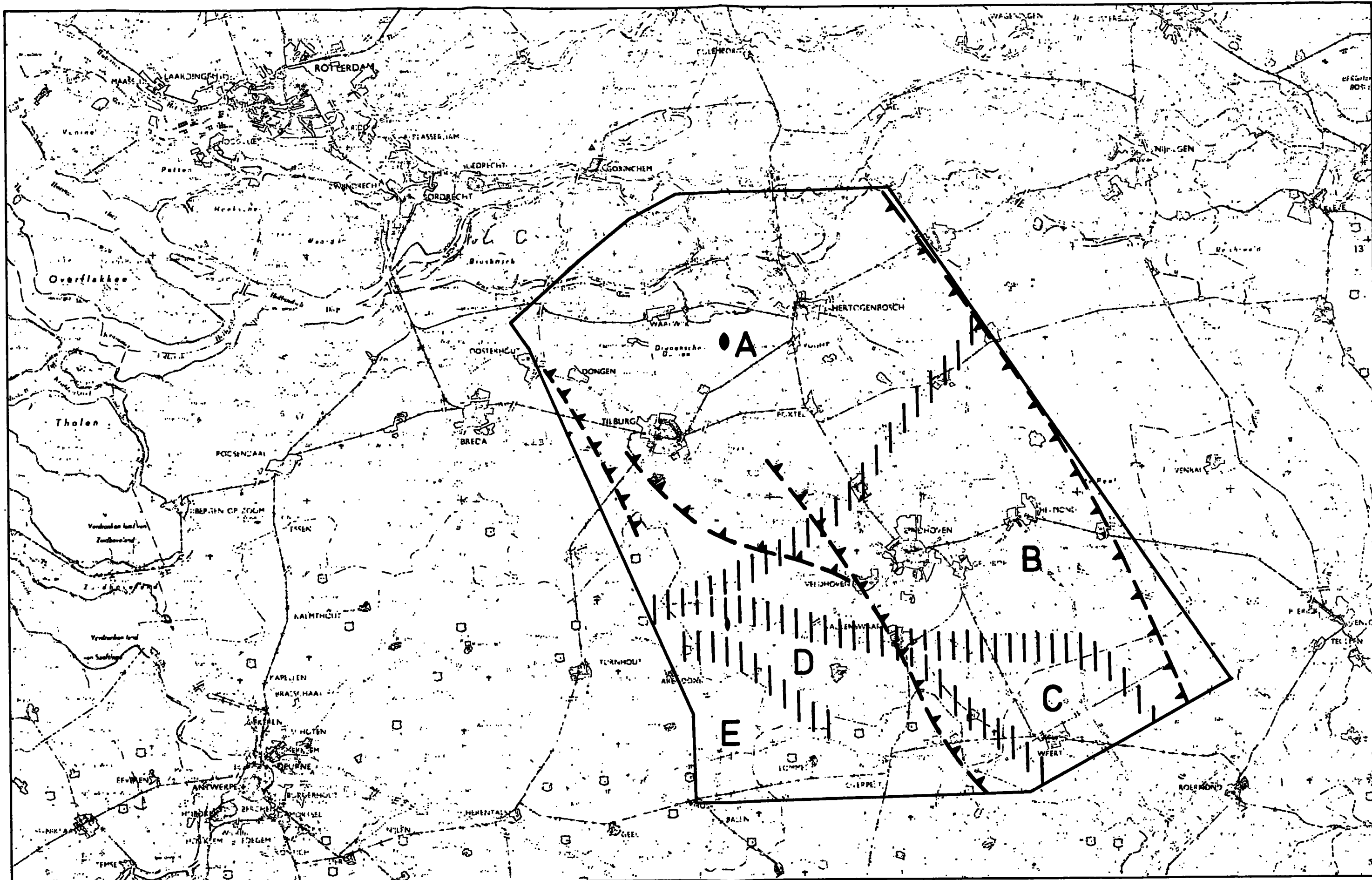


BRON: RGD

RIVM 1984
LABORATORIUM VOOR BODEM
EN GRONDWATERONDERZOEK

Titel: SCHEMATISCH PROFIEL NW-ZO
DOOR SLENK

Get.	Schaal:	Project:	Bijlage 2	Form.	Tek. nr.
Gez.				A3	84/0244



Legenda:

— begrenzing modelgebied
 - - - breuk

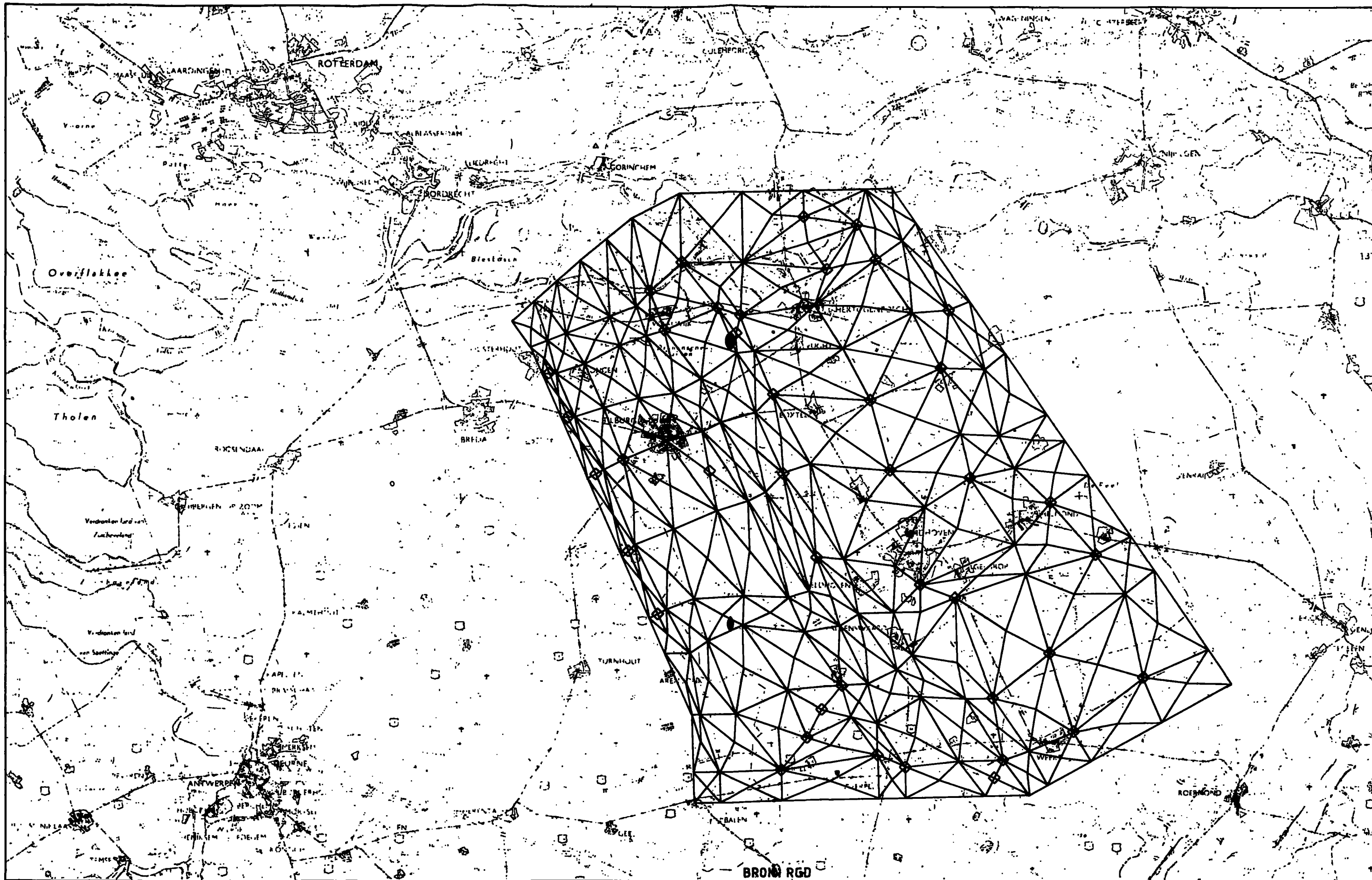
A profieltype (fig. 6b)
 ||| begrenzing profieltypen

RIVM 1984
 LABORATORIUM VOOR BODEM
 EN GRONDWATERONDERZOEK

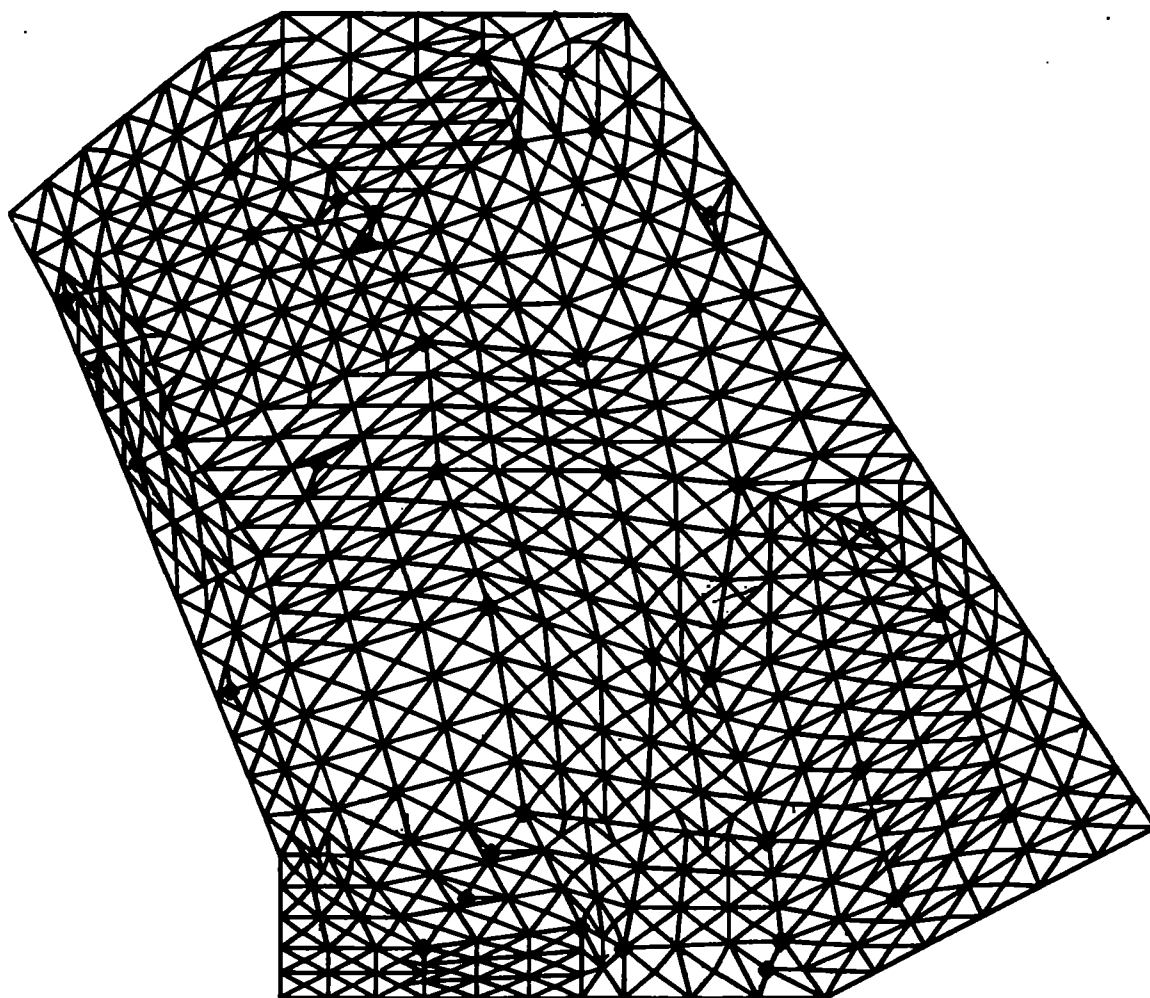
Get. _____
 Gez. _____
 Schaal:
 1:400.000

Titel:
 VERBREIDING VAN GEOHYDROLOGISCHE PAKKETTEN

Project: _____
 Bijlage 3B
 Form. A3
 Tek. nr. 84/0245



Legenda : ☐ onttrekkingslokatie		BRON RGD RIVM 1984 LABORATORIUM VOOR BODEM EN GRONDWATERONDERZOEK		Titel: NETWERK MODEL 1	
		Get. JD Gaz.	Schaal: 1:400.000	Project:	Bijlage 4A



C. W. M. PLOTPROGRAMMA MESH ""
SCHAAL 1:400000 DATUM=31-OCT-84 TIJD=13:53:20

NETWERK CENTRALE SLENK, DIEPE PAKKETTEN

○ = Lokatie van een (toekomstige) onttrekking

(I) = onttrekking door de industrie

430 [km]

410

390

370

350

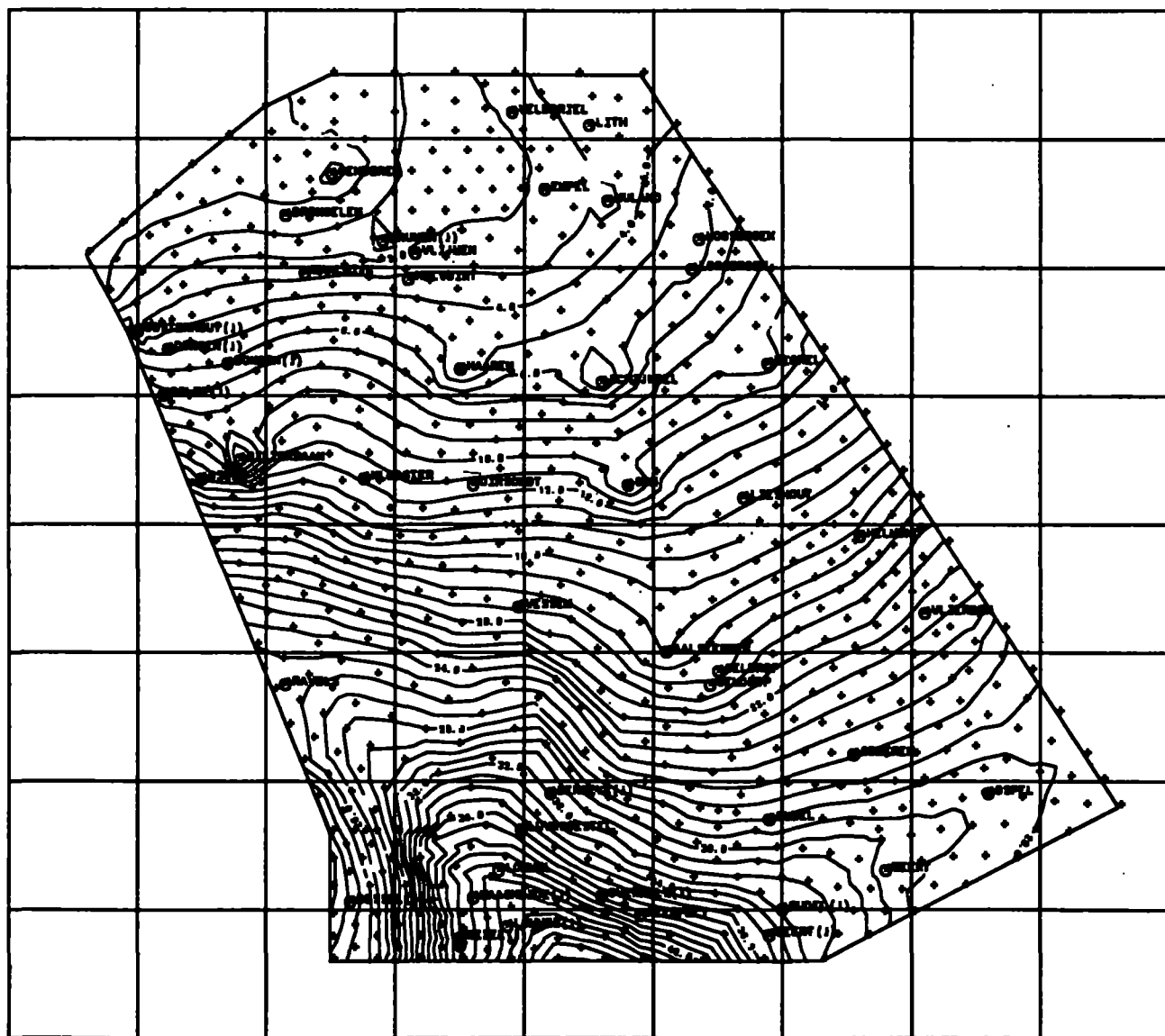
110

130

150

170

190 [km]



o = Lokatie van een (toekomstige) onttrekking
 (I) = onttrekking door de industrie

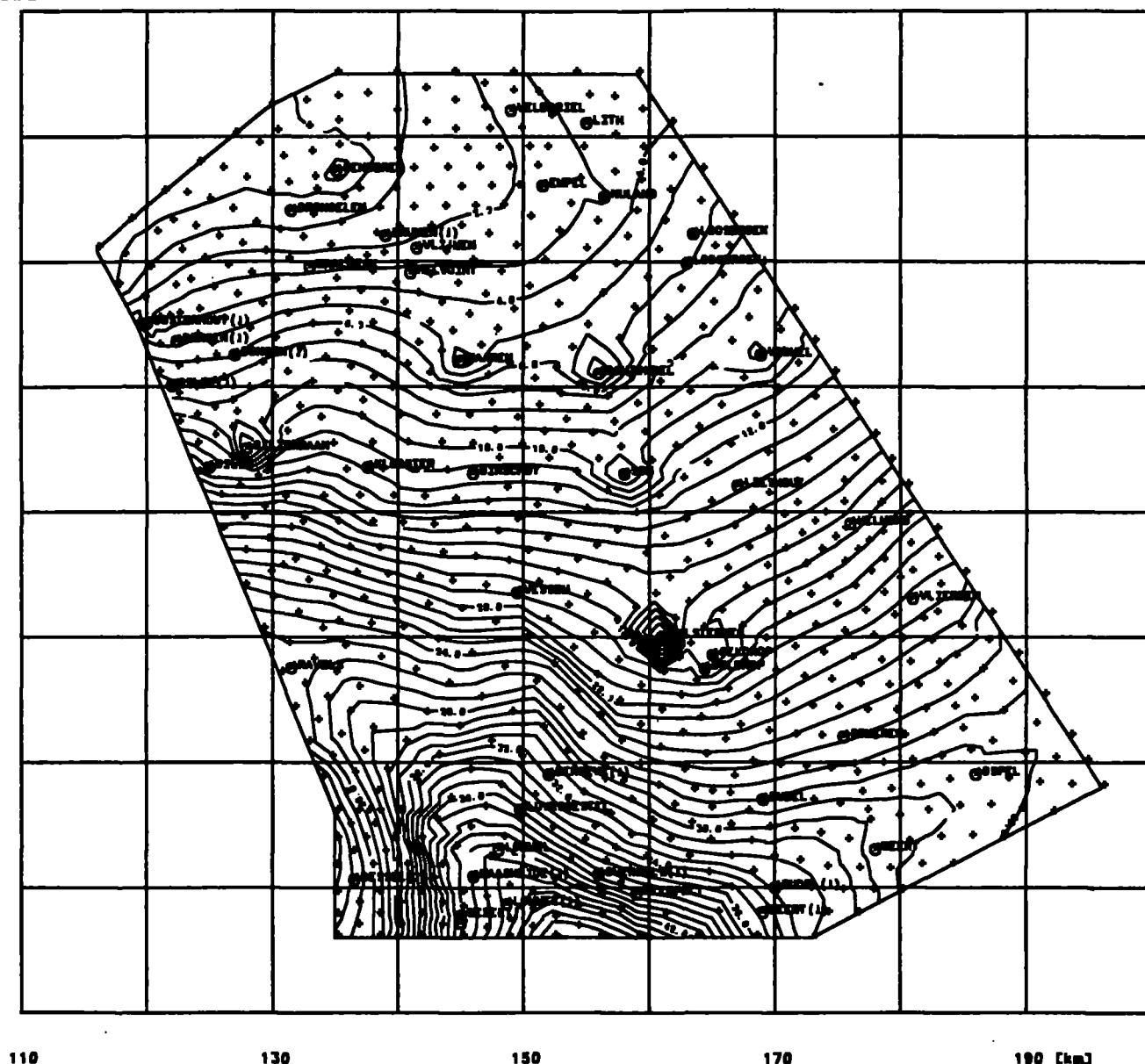
430 [km]

410

390

370

350



110

130

150

170

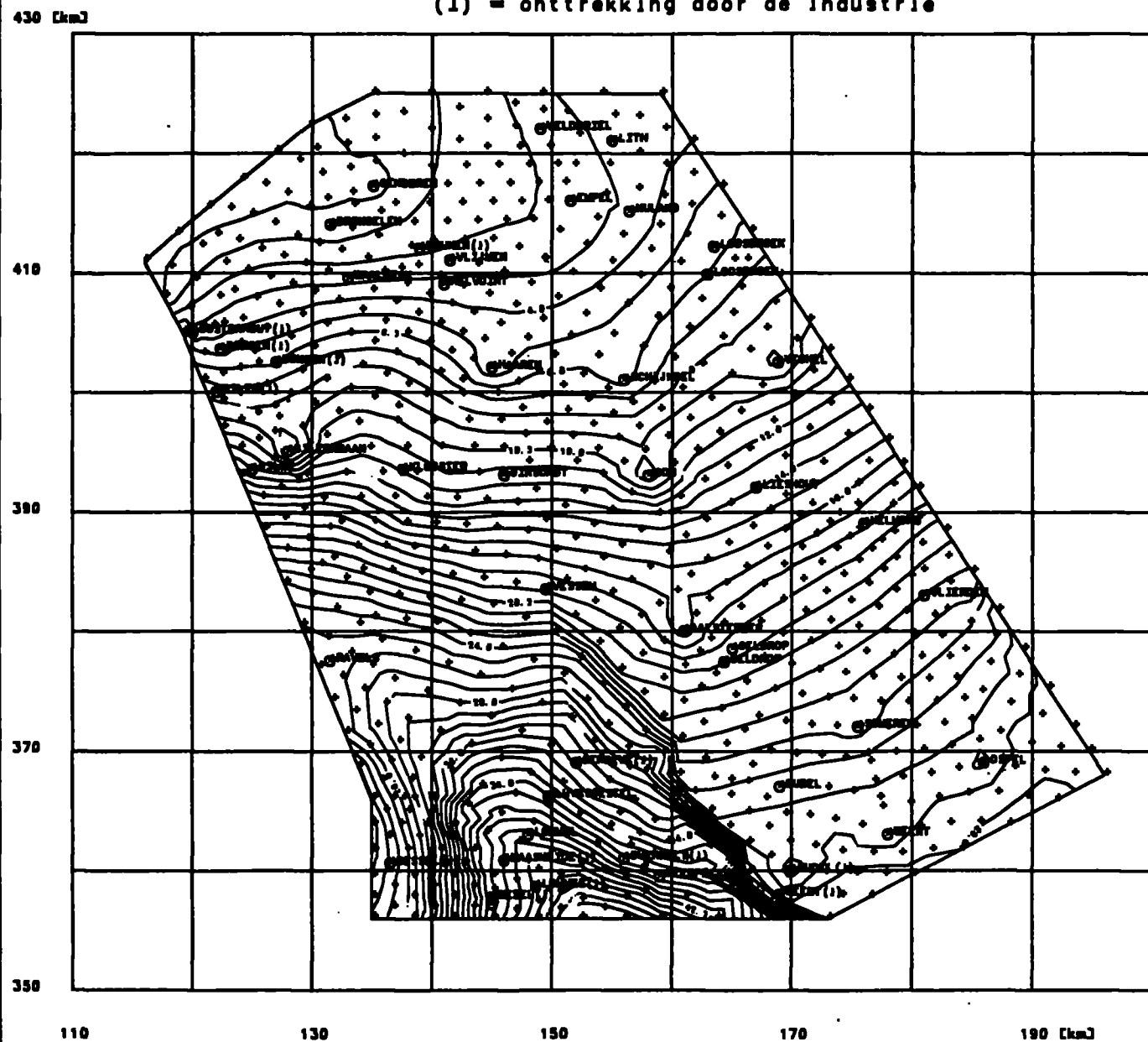
190 [km]

R.I.V.M. - L.B.G.

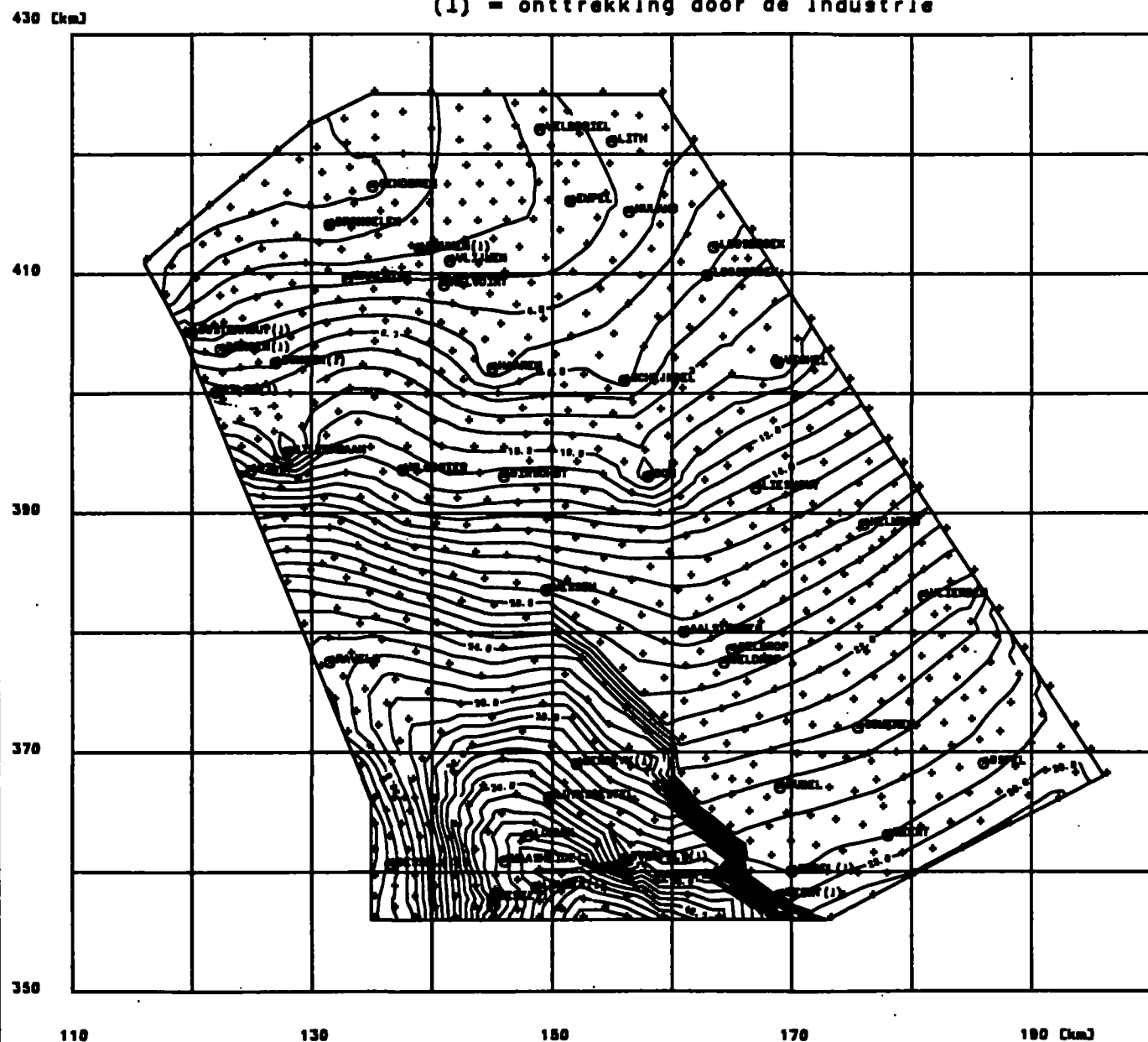
Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.
 berekende potentiaal in het tweede modelpakket (beïnvloed grind
 en meesluits). simulatie: 15 maart 1982

o = Lokatie van een (toekomstige) onttrekking
 (I) = onttrekking door de industrie



o = Lokatie van een (toekomstige) onttrekking
 (I) = onttrekking door de industrie



R.I.V.M. - L.B.G.
 Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.
 berekende potentiaal in het vierde modelpakket (bredaEdienst).
 oosterhout en waubach). simulatie: 15 maart 1982

LEGENDA bodemkonstanten

— : $c \leq 100$ (d)| : $c = 100 - 500$ (d)+ : $c = 500 - 1000$ (d)x : $c = 1000 - 2500$ (d)x : $c = 2500 - 5000$ (d)x : $c = 5000 - 10000$ (d)o : $c \geq 25000$ (d)

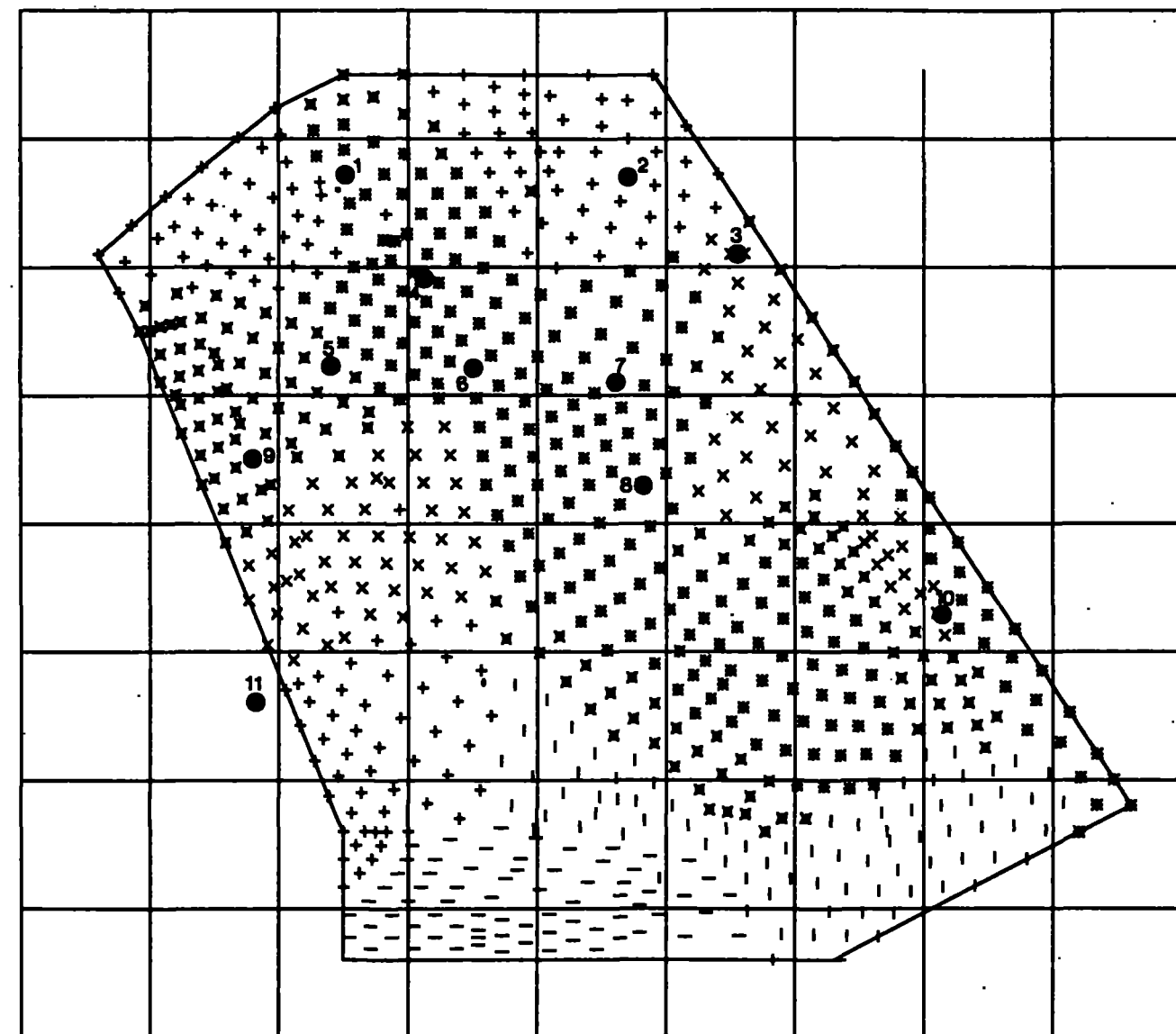
430 [km]

410

390

370

350



110

130

150

170

190 [km]

Legenda:

● lokatie pomp- of putproef

2600 = c1 (dagen)

(500) = λ onderliggende watervoerende pakket

1 = (2500)

7 = 5700

2 = 190

8 = 17000

3 = 4400

9 = 440

4 = 2600

10 = 11500

5 = (1000)

11 = 490

6 = 2250

R. I. V. M. - L. B. G.

Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Weerstand tegen verticale grondwaterstroming van de eerste scheidende laag in het model (F. van Kedicem en Tegelen)

LEGENDA bodemconstanten

- : c <= 100 (d)

| : c = 100 - 500 (d)

+ : c = 500 - 1000 (d)

x : c = 1000 - 2500 (d)

x : c = 2500 - 5000 (d)

x : c = 5000 - 10000 (d)

o : c >= 25000 (d)

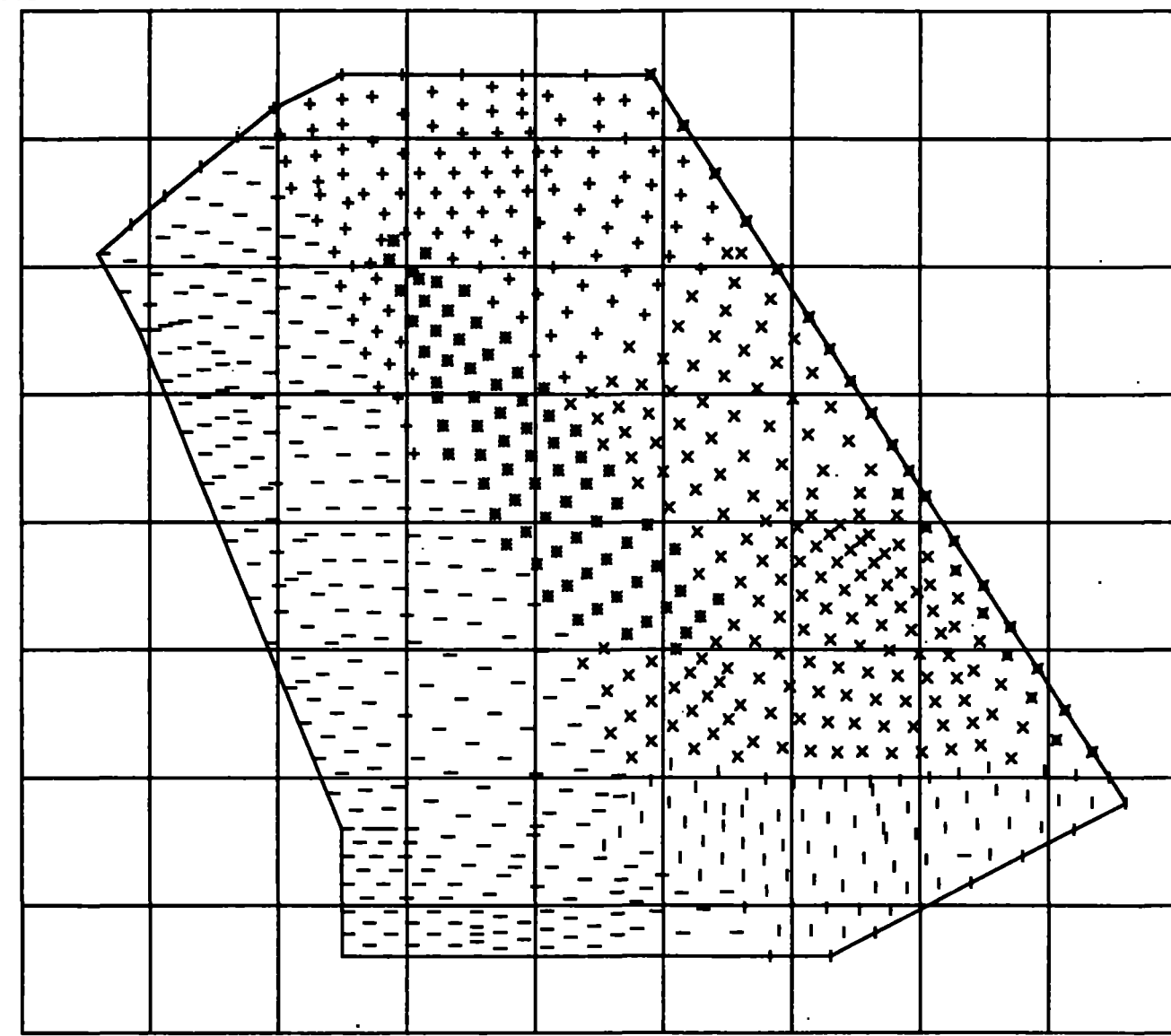
430 [km]

410

390

370

350



110

130

150

170

190 [km]

R.I.V.M. - L.B.G.
Feb. 1985

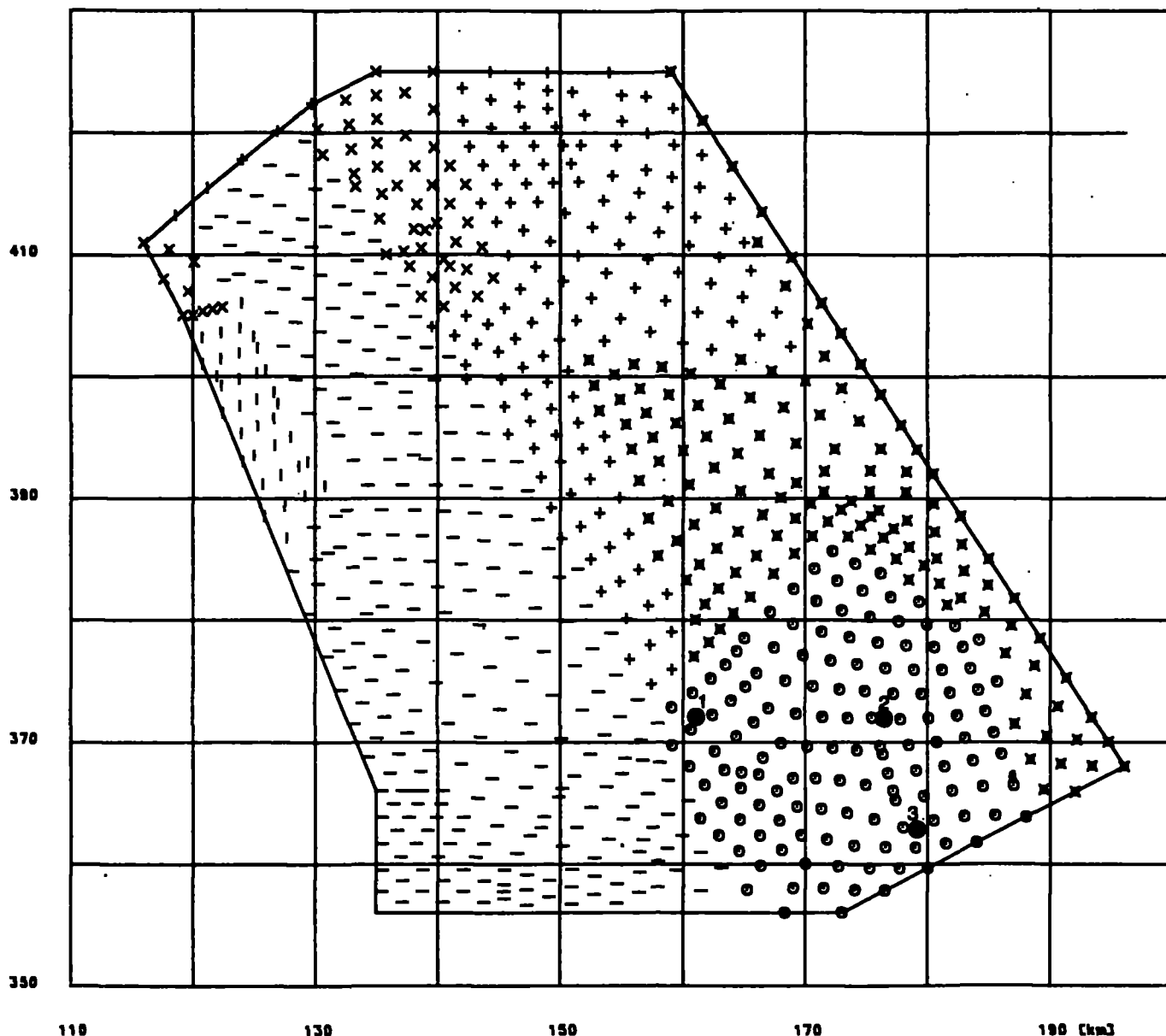
Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Weerstand tegen verticale grondwaterstroming van de tweede scheidende laag
in het model (F. Tegelen en Meerswijk)

LEGENDA bodemkonstanten

- : $c \leq 100$ (d)+ : $c = 100 - 500$ (d)+ : $c = 500 - 1000$ (d)x : $c = 1000 - 2500$ (d)x : $c = 2500 - 5000$ (d)x : $c = 5000 - 10000$ (d)o : $c \geq 25000$ (d)

430 [km]



Legenda:

● lokatie pomp - of putproef

2600 = c3 (dagen)

(500) = λ onderliggende watervoerende pakket

1 = 30.000

2 = 12.000

3 = 75.000

LEGENDA bodemkonstanten

— : $c \leq 100$ (d)/ : $c = 100 - 500$ (d)+ : $c = 500 - 1000$ (d)x : $c = 1000 - 2500$ (d)x : $c = 2500 - 5000$ (d)■ : $c = 5000 - 10000$ (d)● : $c \geq 25000$ (d)

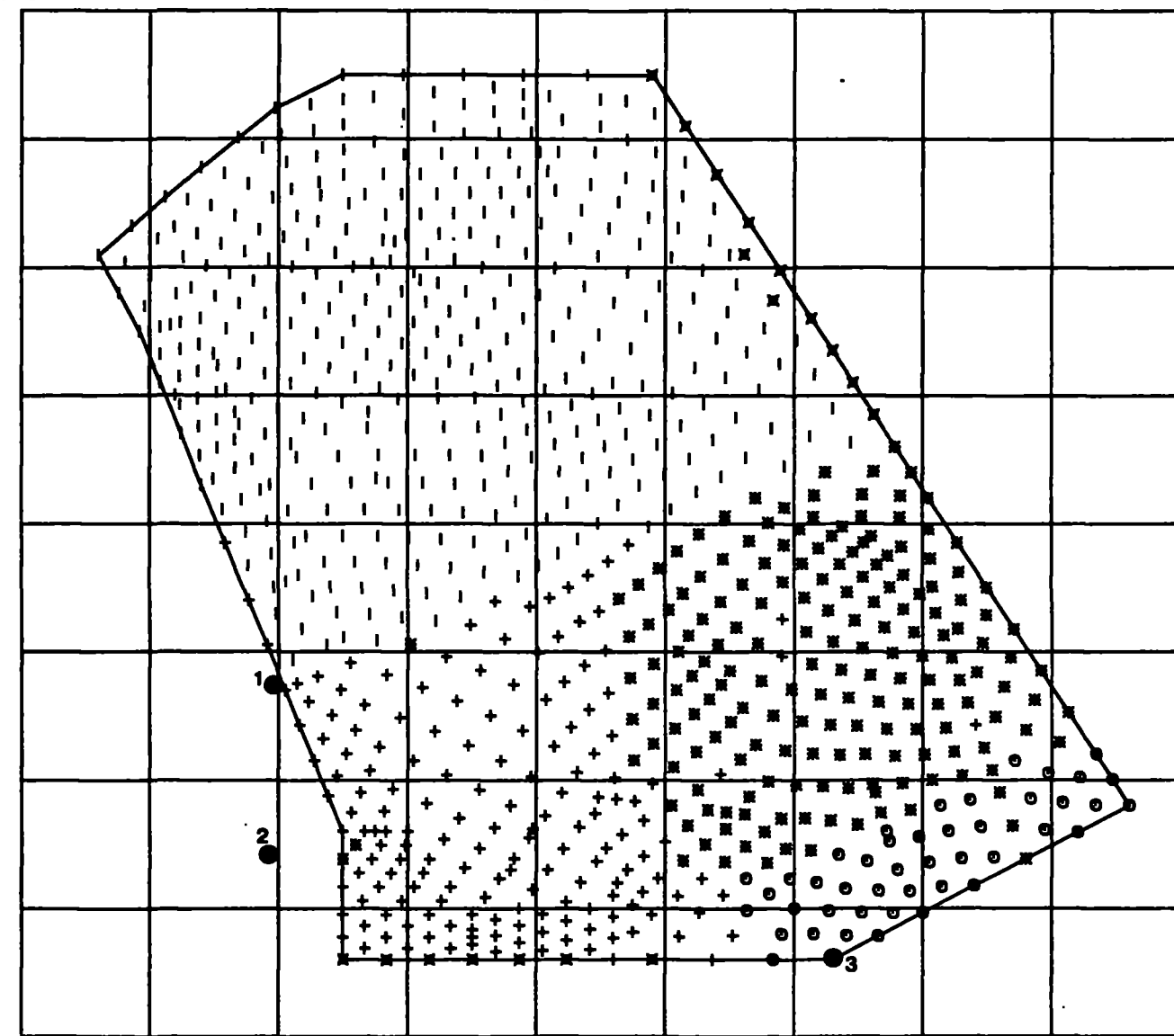
430 [km]

410

390

370

350



110

130

150

170

190 [km]

Legenda:

● lokatie pomp- of putproef

2600 = c_4 (dagen)(500) = λ onderliggende watervoerende pakket

1 = 330

2 = 557

3 = 250.000

R.I.V.M. - L.B.G.

Feb. 1985

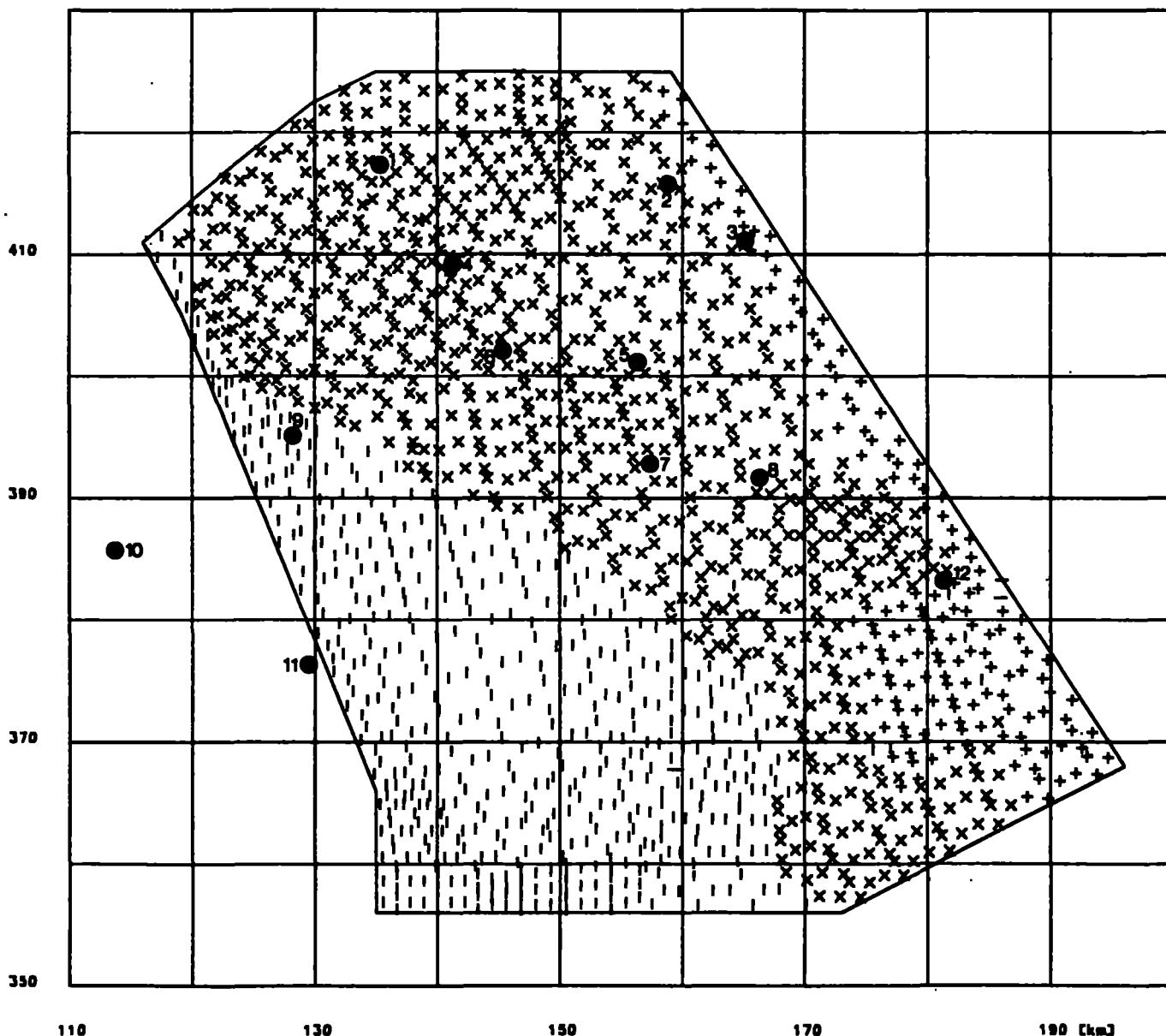
Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Weerstand tegen verticale grondwaterstroming van de vierde scheidende laag
in het model (Kiezeloort F. en F. van Breda)

LEGENDA bodemkonstanten

— : $k_d \leq 10$ (mm/d)| : $k_d = 10 - 500$ (mm/d)+ : $k_d = 500$ (mm/d)x : $k_d = 1000$ (mm/d)■ : $k_d = 2000$ (mm/d)

430 [km]



Legenda:

● lokatie pomp- of pulproef

2600 = $kD1 (m^2/d)$ (500) = kD van meerdere pakketten

1 = (1650)

7 = 1740

2 = 2250

8 = (1300)

3 = 1050

9 = (1150)

4 = (1100)

10 = (800)

5 = (1550)

11 = 562

6 = (1000)

12 = (1750)

R.I.V.M. - L.B.G.

Feb. 1985

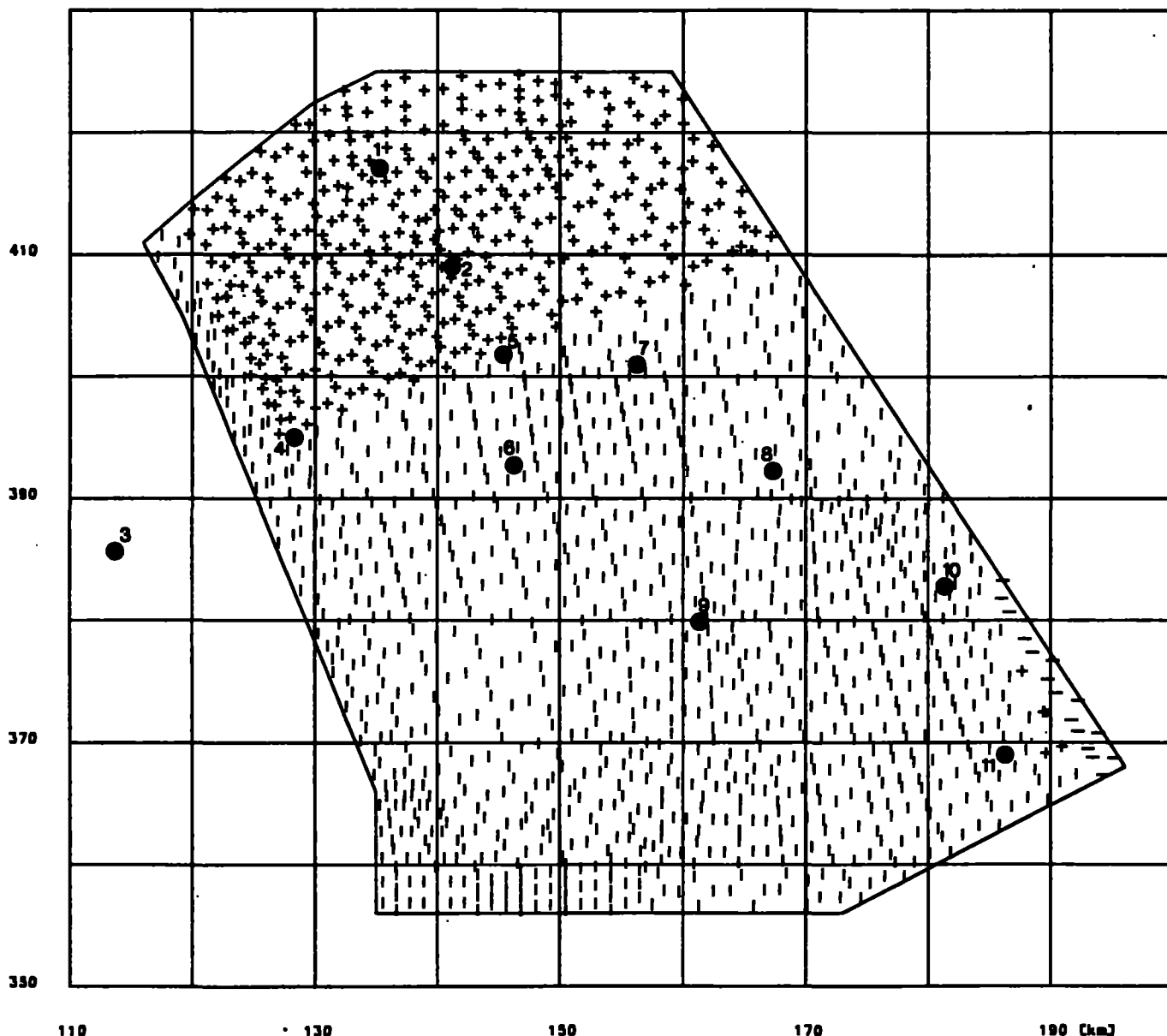
Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Doelmatigheid van het eerste modelpakket
(F. Tegelen)

LEGENDA bodemkonstanten

— : $k_d \leq 10$ (mm/d)| : $k_d = 10 - 500$ (mm/d)+ : $k_d = 500$ (mm/d)x : $k_d = 1000$ (mm/d)■ : $k_d = 2000$ (mm/d)

430 [km]



Legenda:

● lokatie pomp- of putproef

2600 = $kD2(m^2/d)$ (500) = kD van meerdere punten

1 = (1650) 7 = (1550)

2 = (1100) 8 = (1300)

3 = (800) 9 = (2190)

4 = (1150) 10 = (1750)

5 = (1000) 11 = 1250

6 = 1000

R. I. V. M. - L. B. G.

Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Doorlopendheid van het tweede modelpakket
(F. Tegelen en Meerswijk)

LEGENDA bodemkonstanten

— : $k_d \leq 10$ (mm/d)| : $k_d = 10 - 500$ (mm/d)+ : $k_d = 500$ (mm/d)X : $k_d = 1000$ (mm/d)■ : $k_d = 2000$ (mm/d)

430 [km]

410

390

370

350

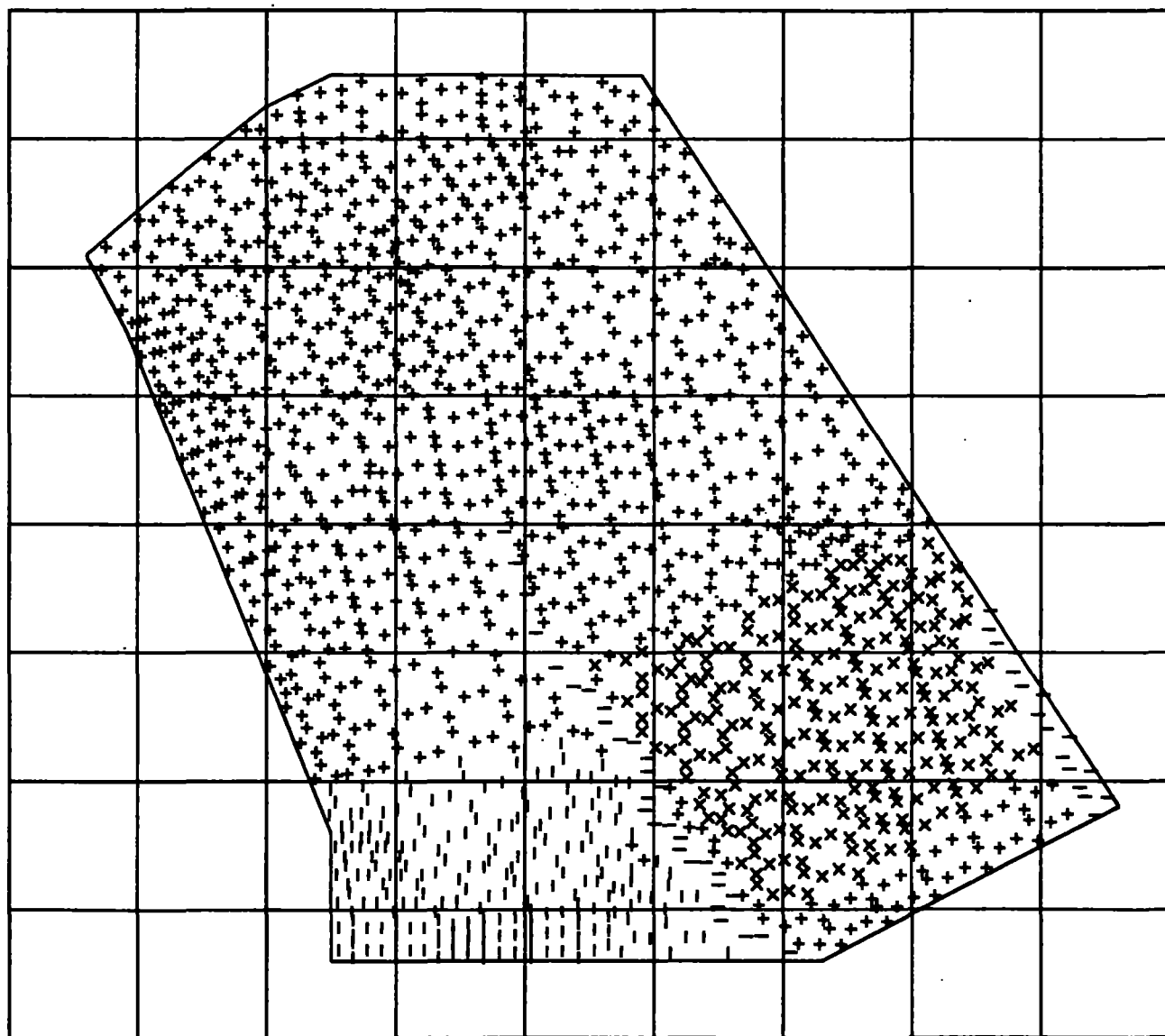
110

130

150

170

190 [km]



R.I.V.M. - L.B.G.

Feb. 1985

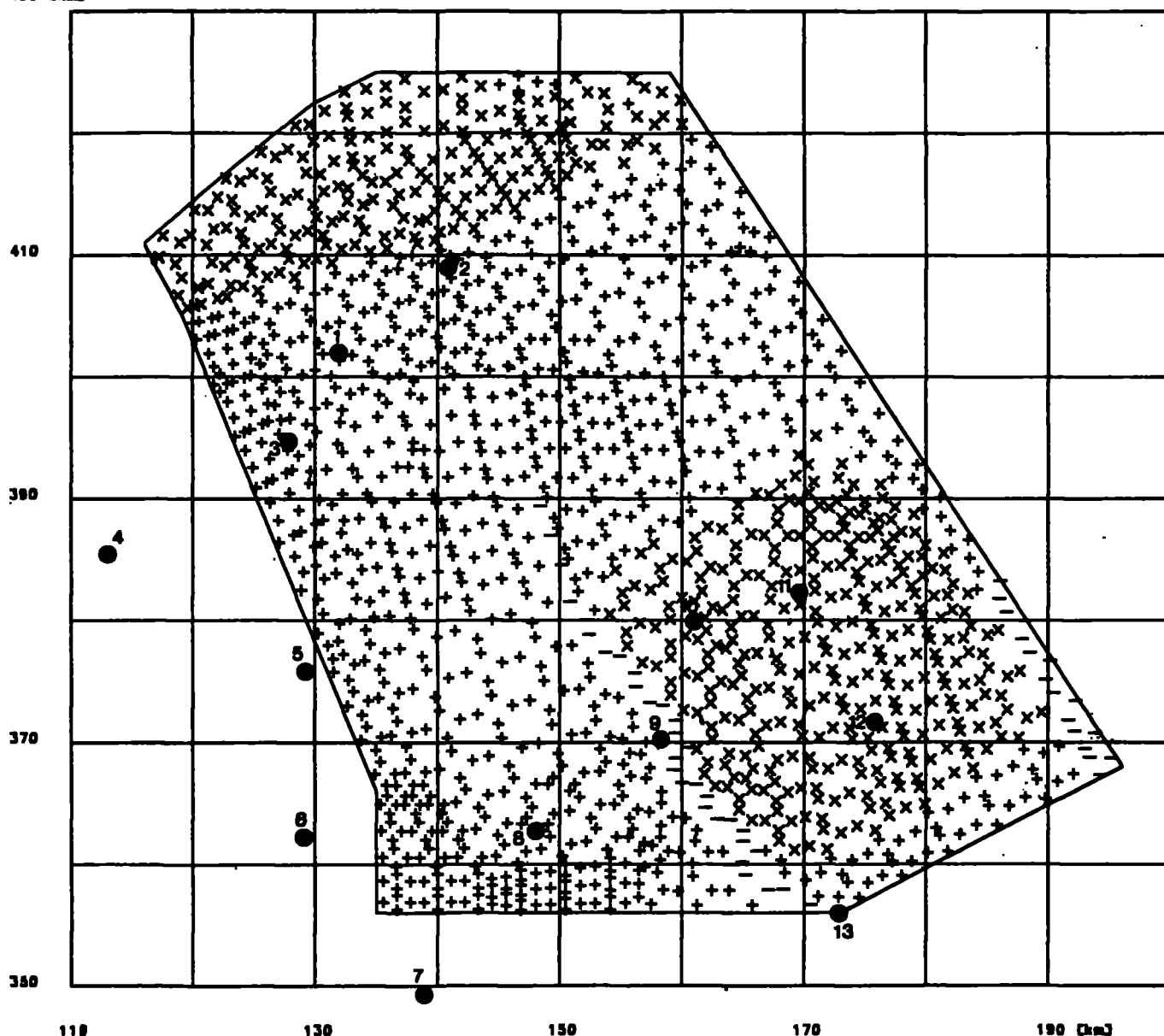
Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Doorsienendheid van het derde modelpakket
(Kieseloort F. en F. Oosterhout)

LEGENDA bodemkonstanten

— : $k_d \leq 10$ (mm/d)| : $k_d = 10 - 500$ (mm/d)+ : $k_d = 500$ (mm/d)x : $k_d = 1000$ (mm/d)■ : $k_d = 2000$ (mm/d)

430 [km]

Legenda:

● lokatie pomp- of putproef

2500 = kD (m^2/d)(500) = kD van meerdere pakketten

1 = (1000)	6 = 738	11 = 2000
2 = (1100)	7 = 3150	12 = (1300)
3 = (1150)	8 = 750	13 = 1650
4 = 750	9 = (2000)	
5 = 1210	10 = (2190)	

R.I.V.M. - L.B.G.

Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Doelstelling van het vierde modelpakket
(Kiesloot F. en F. Breda)

X = Lokatie van een diepe peilput
 44e = kaartblad, 119 = (TNO) putnummer
 — = Ijkingprofiel

430 [km]

410

390

370

350

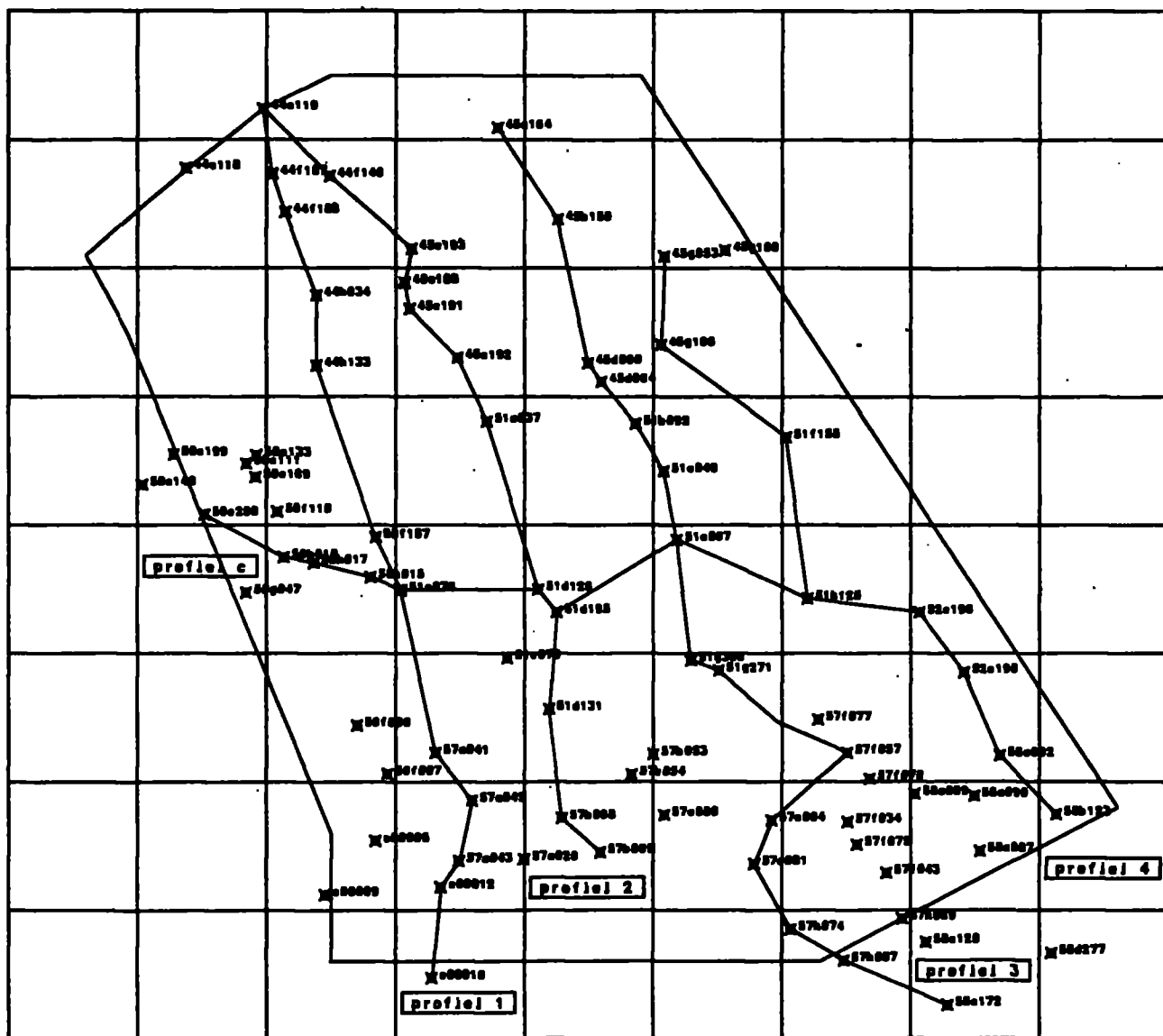
110

130

150

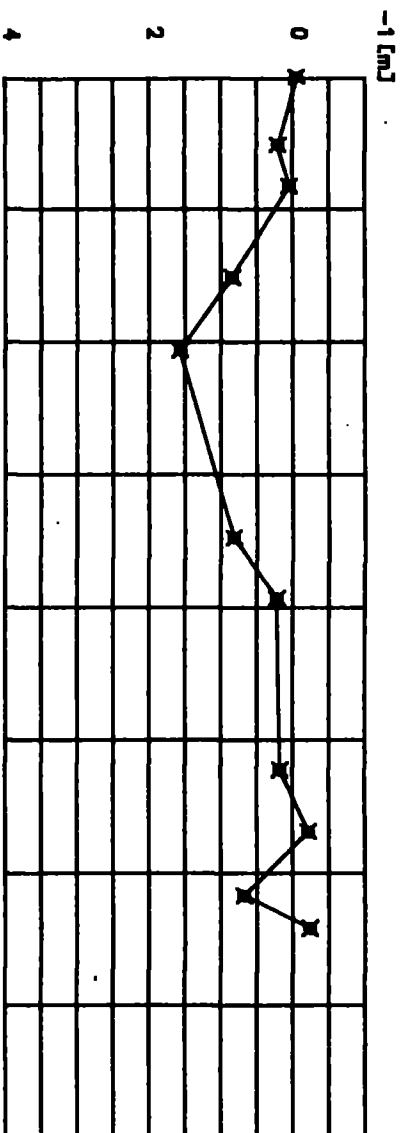
170

190 [km]

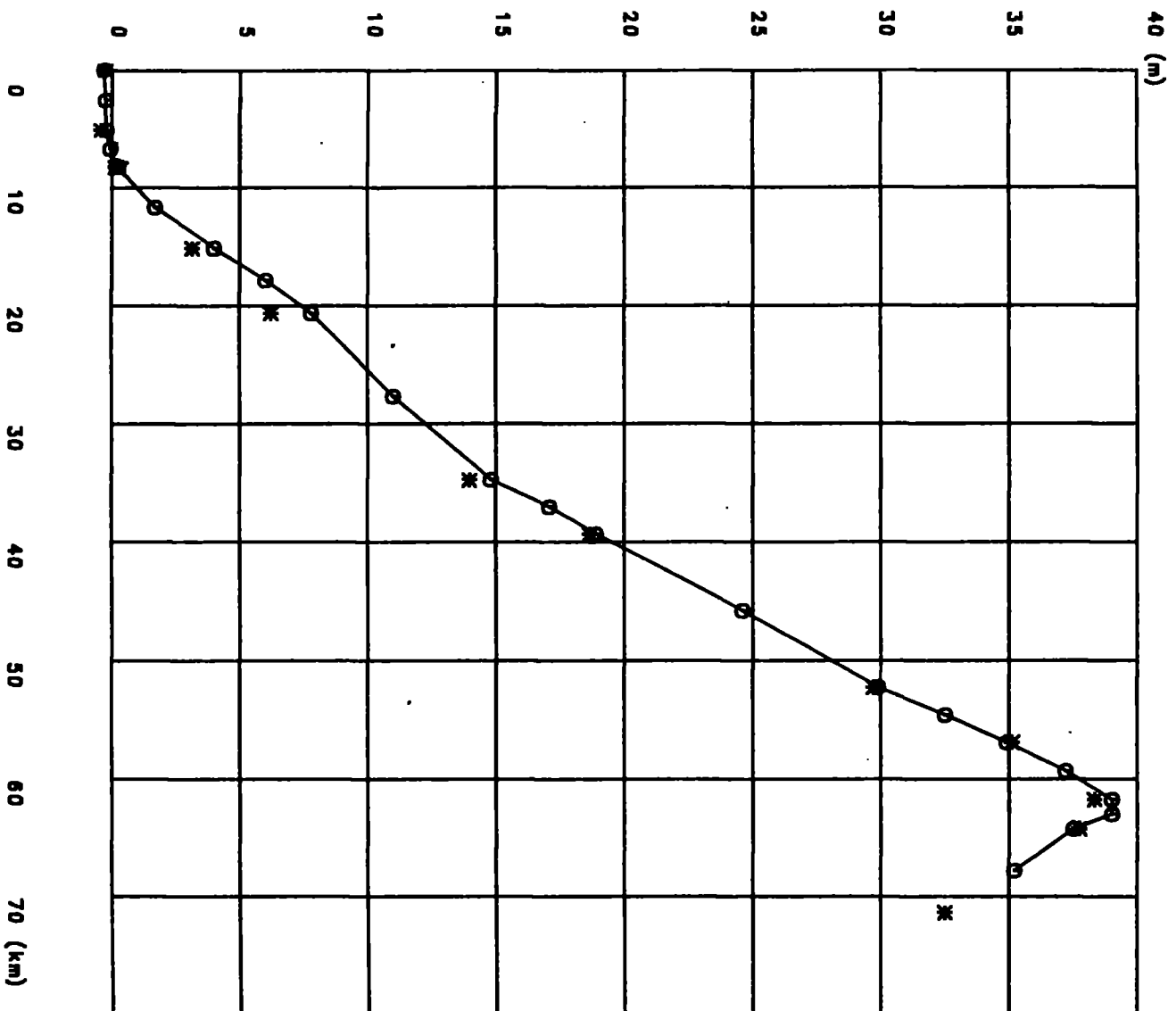


Profiel 1 - pakket 1

Bijlage 10A



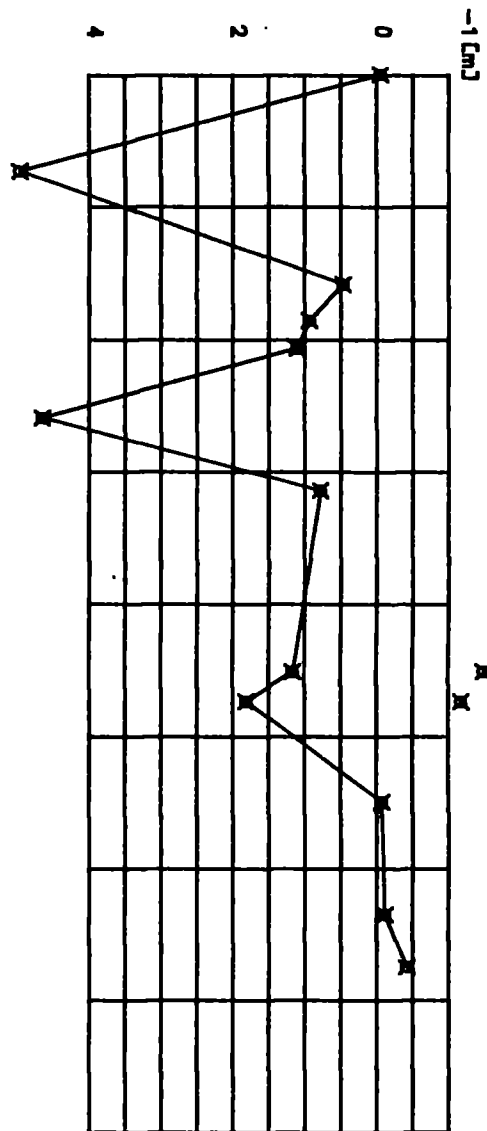
x berekende potentiaal min
gemeten potentiaal



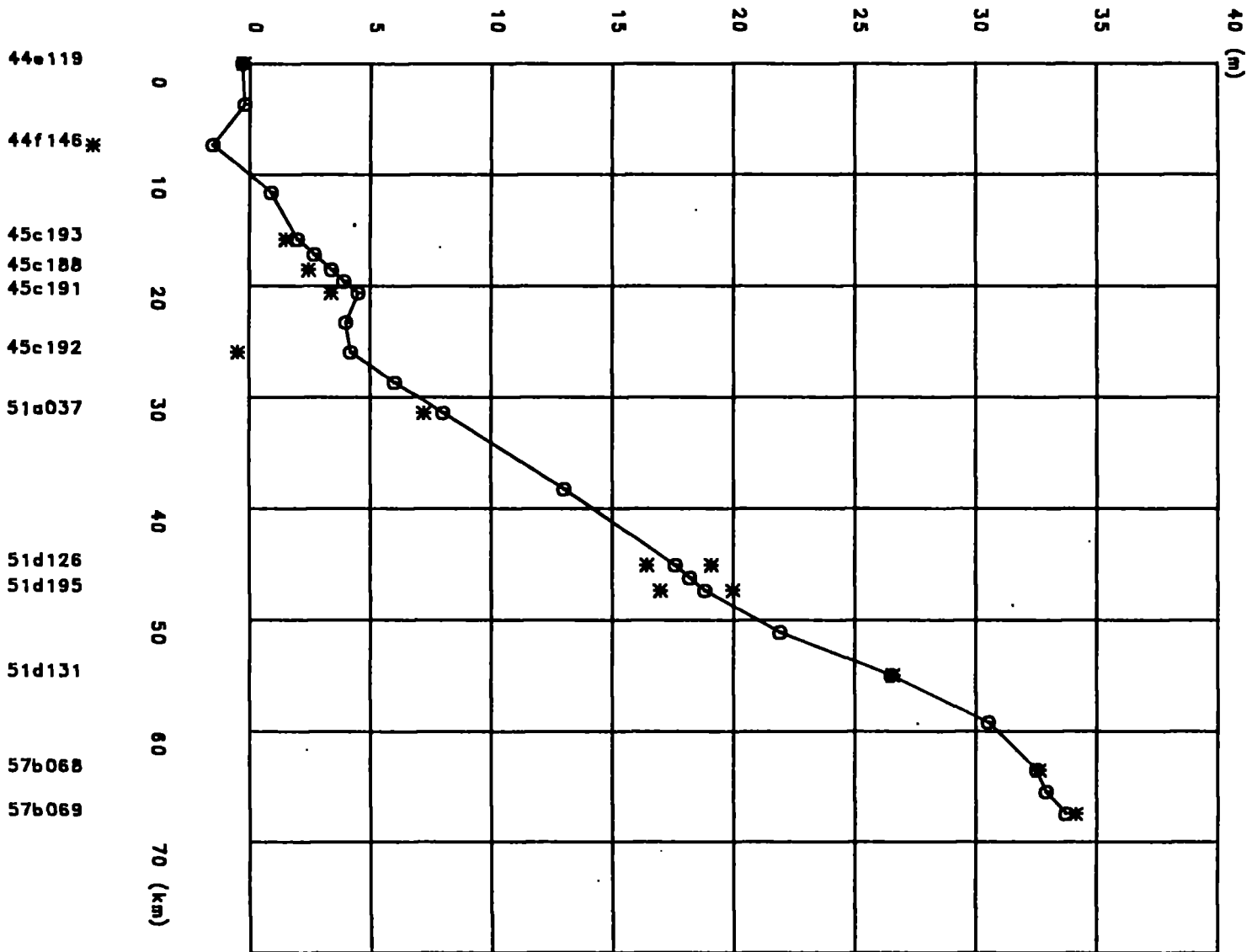
o berekende potentiaal
* gemeten potentiaal

44e119
44f187
44f186
44h034
44h133
50f157
51c076
57a041
57a042
57a043
s00012
s00016

Profiel 2 - pakket 1



x berekende potentiaal min
gemeten potentiaal

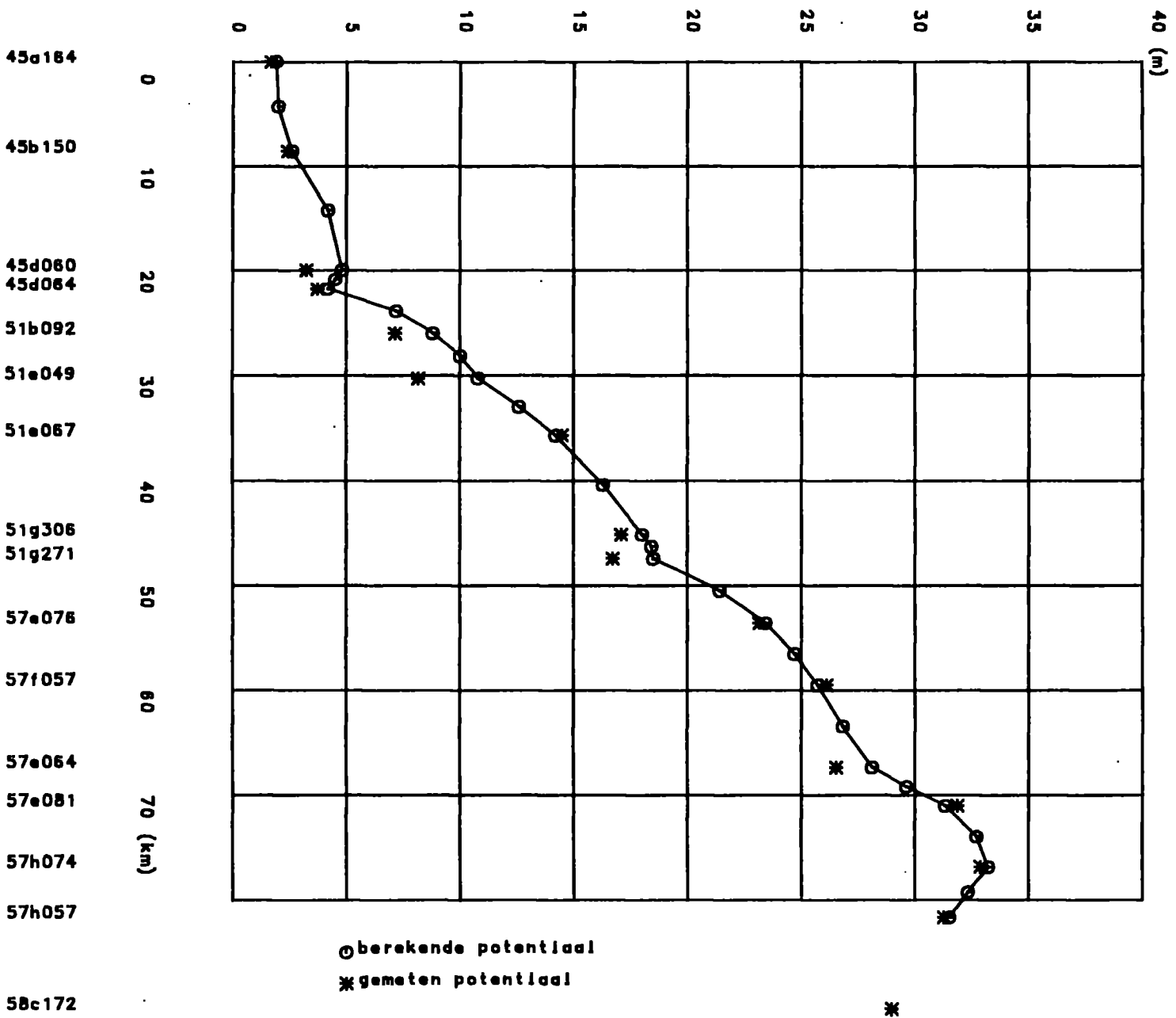
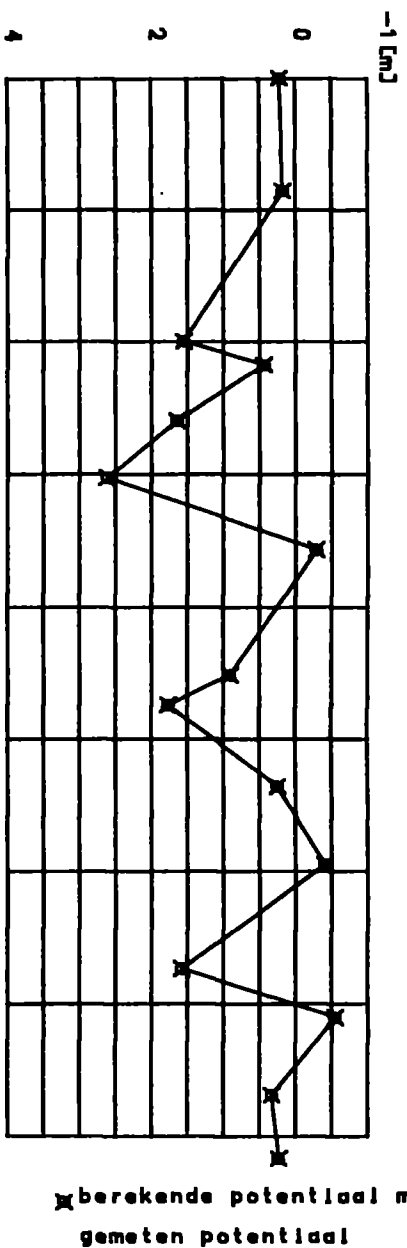


o berekende potentiaal
* gemeten potentiaal

44e119
44f146*
45c193
45c188
45c191
45c192
51a037
51d126
51d195
51d131
57b068
57b069

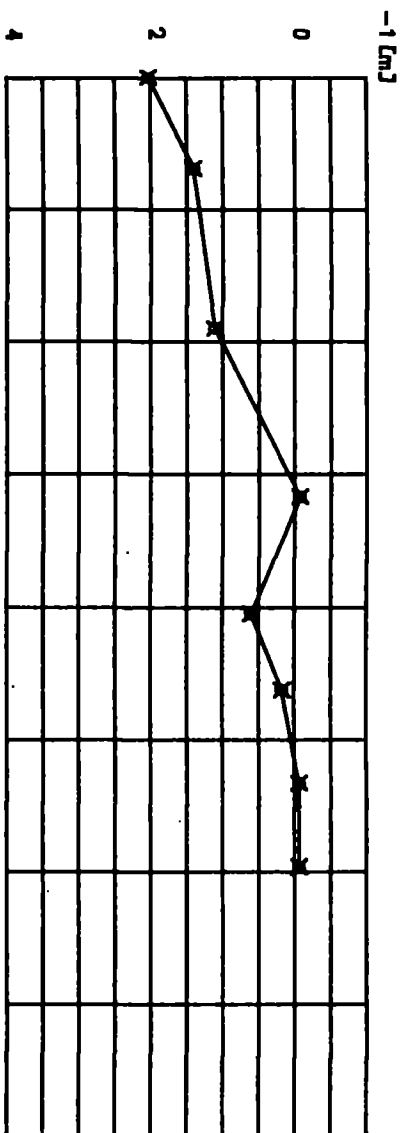
Profiel 13 - pakket 1

Bijlage 10 c

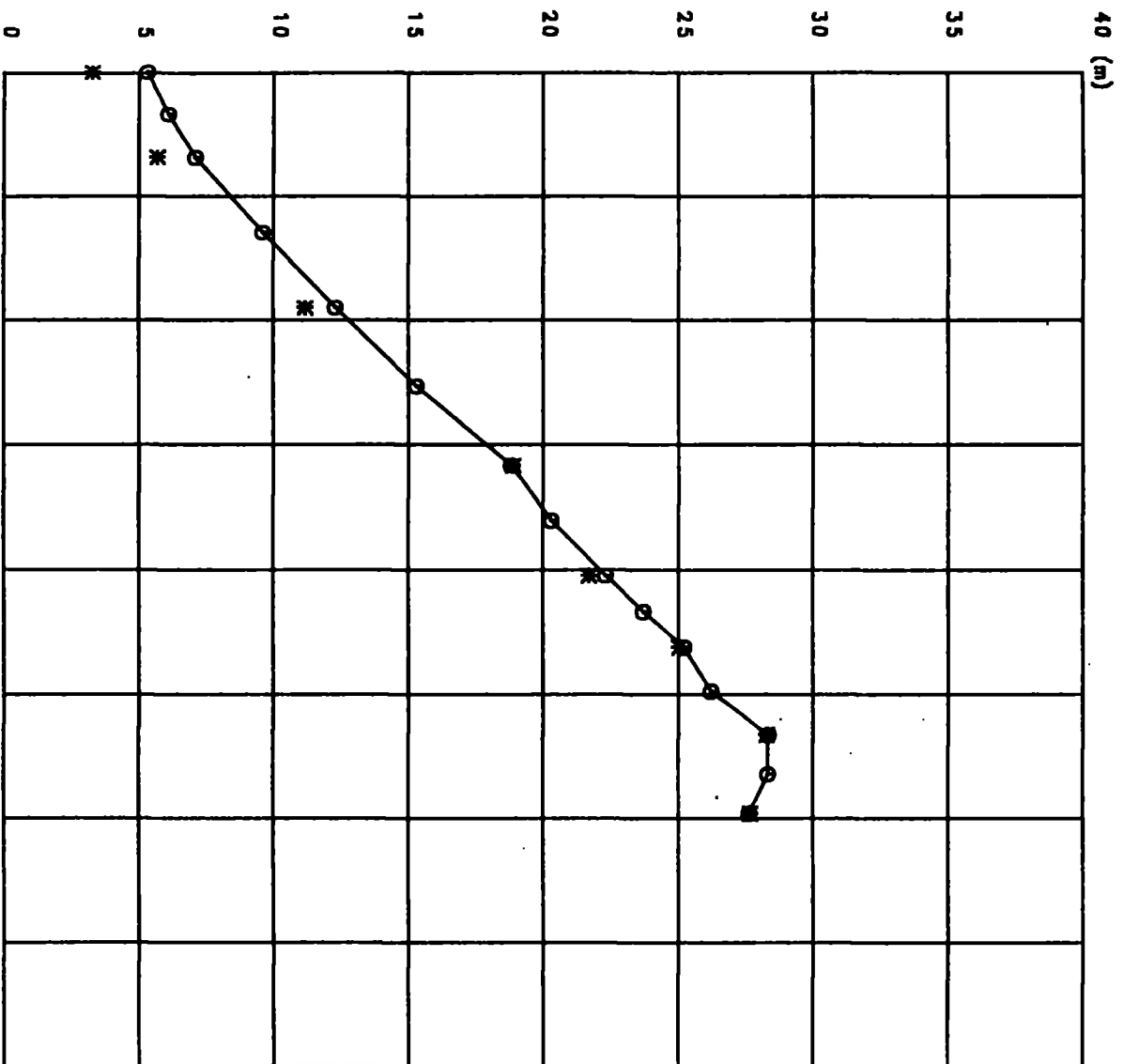


Profiel 4 - pakket 1

Bijlage 10D



x berekende potentiaal min
gemeten potentiaal



o berekende potentiaal
x gemeten potentiaal

45g053

45g186

51f155

51h125

52c196

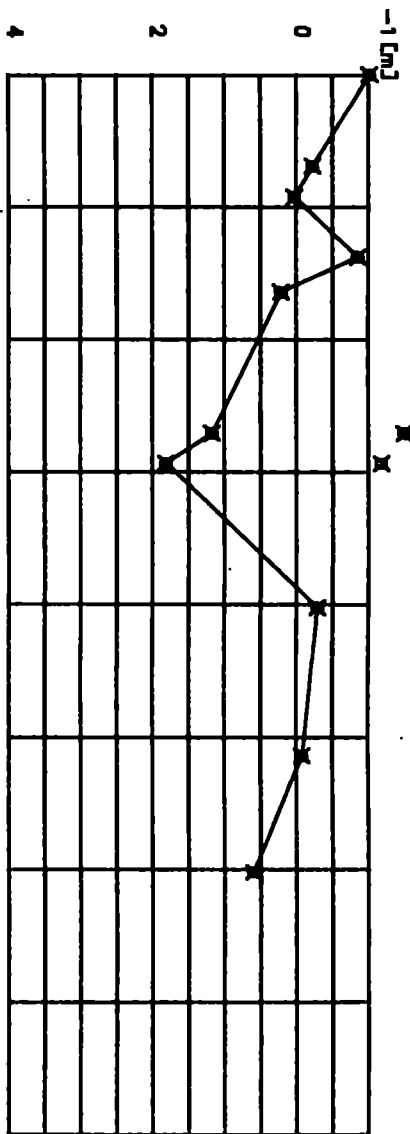
52c190

58a092

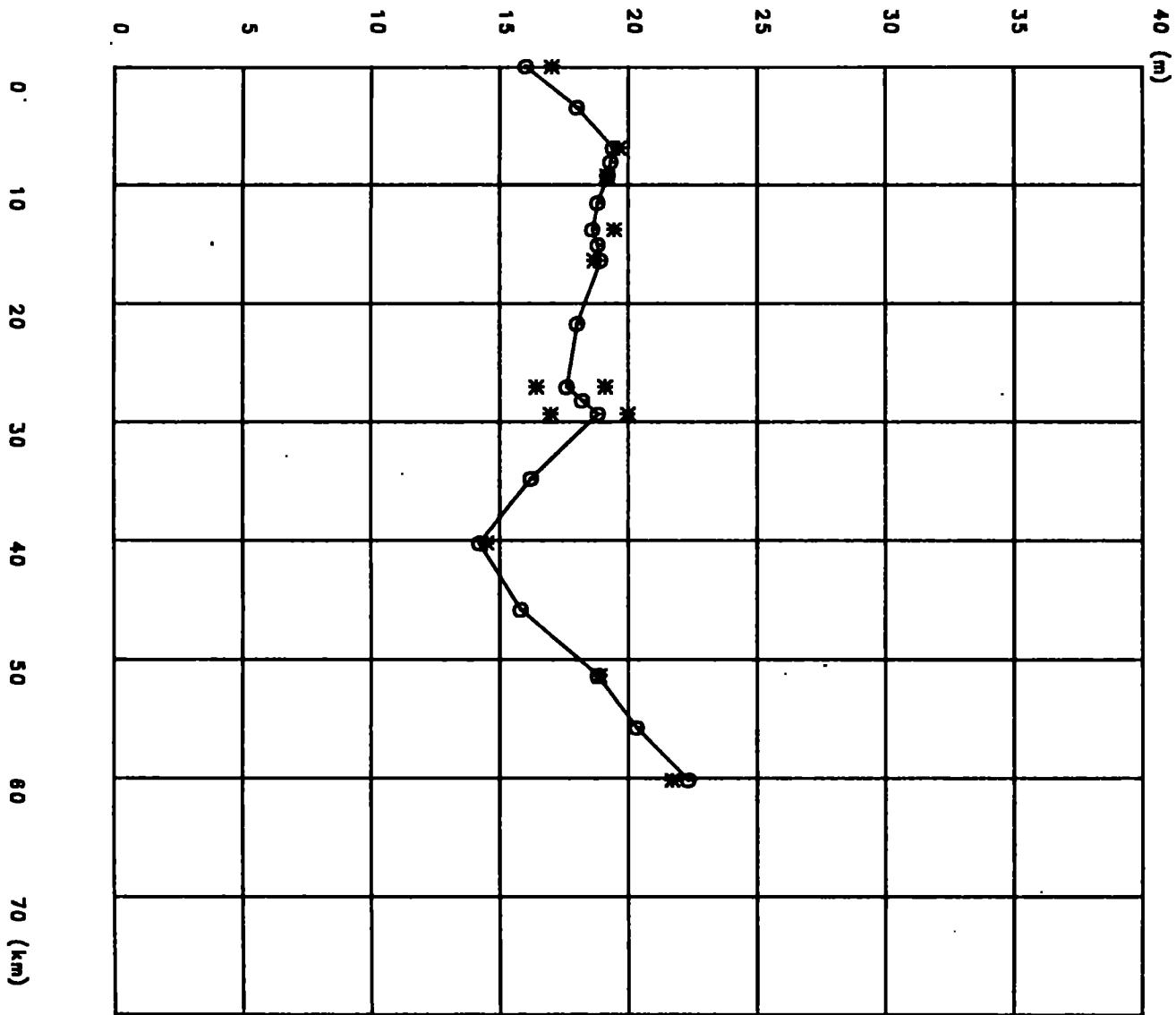
58b123

0 10 20 30 40 50 60 70 (km)

Profielc - pakket1



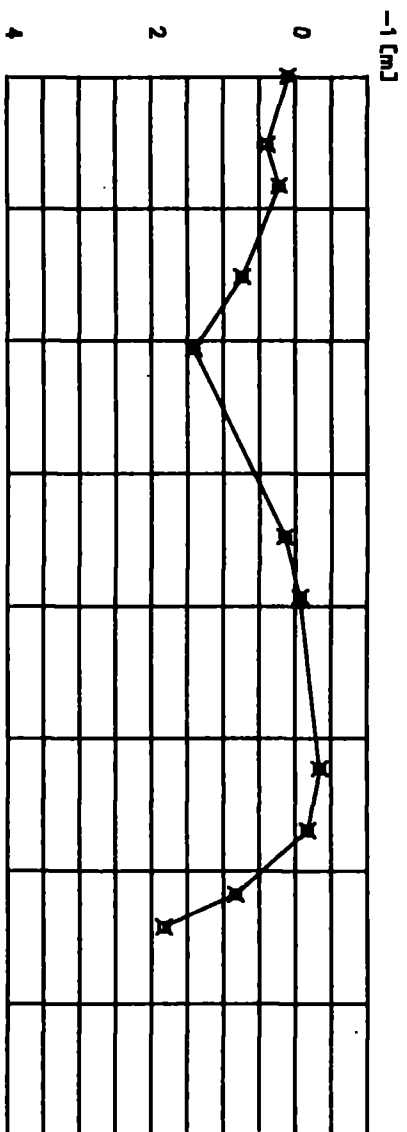
✕ berekende potentiaal min
 gemeten potentiaal



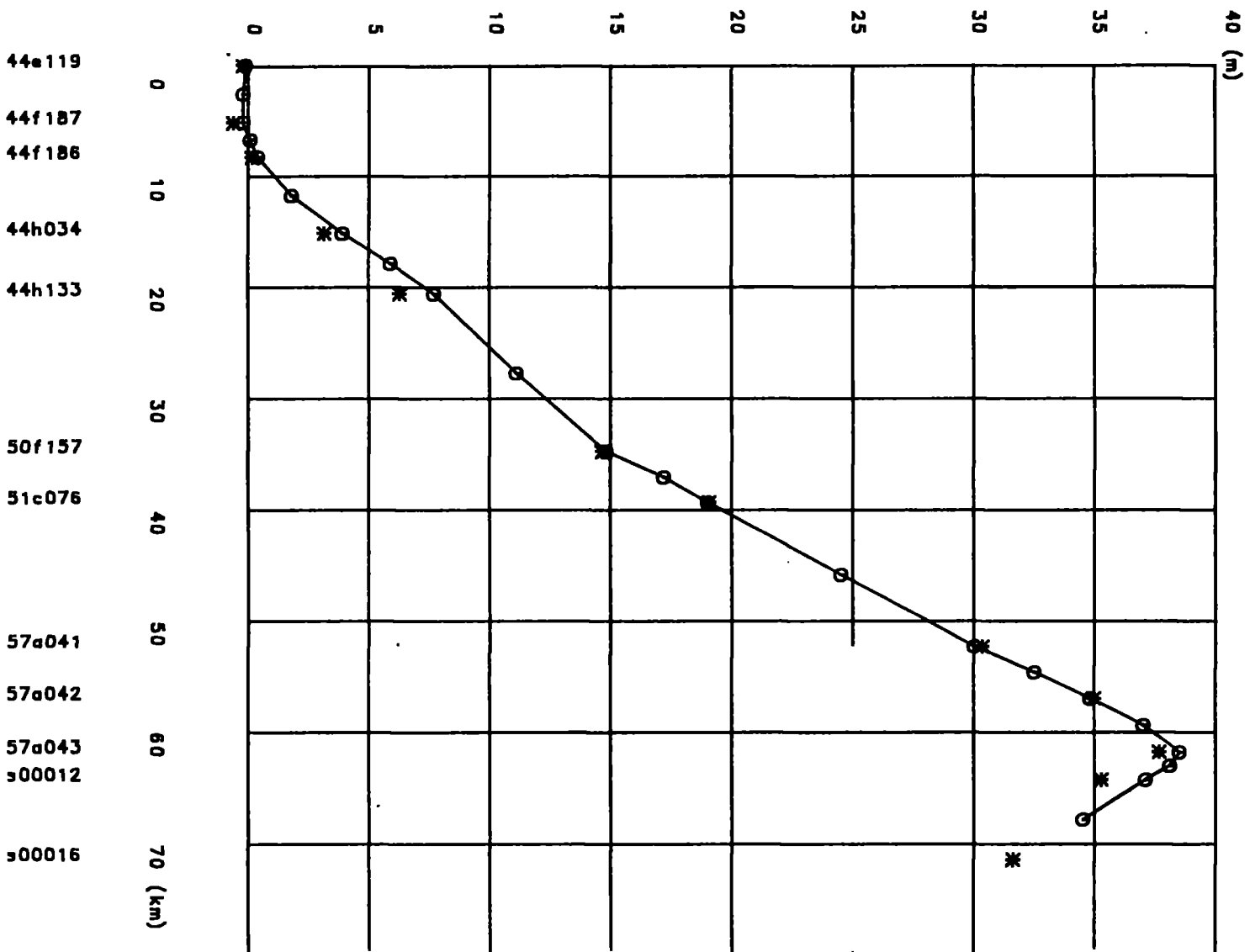
○ berekende potentiaal
 ✕ gemeten potentiaal

Profiel 1 - pakket 4

Bijlage 11A



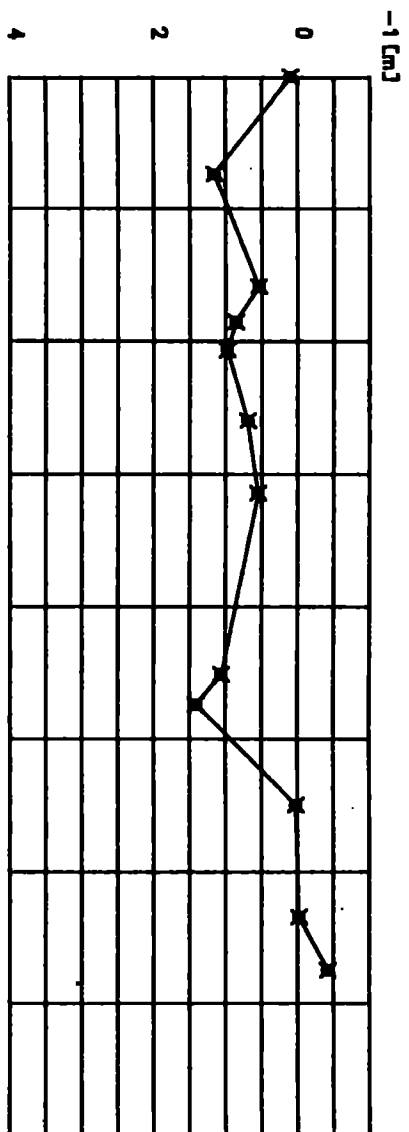
⊗ berekende potentiaal
* gemeten potentiaal



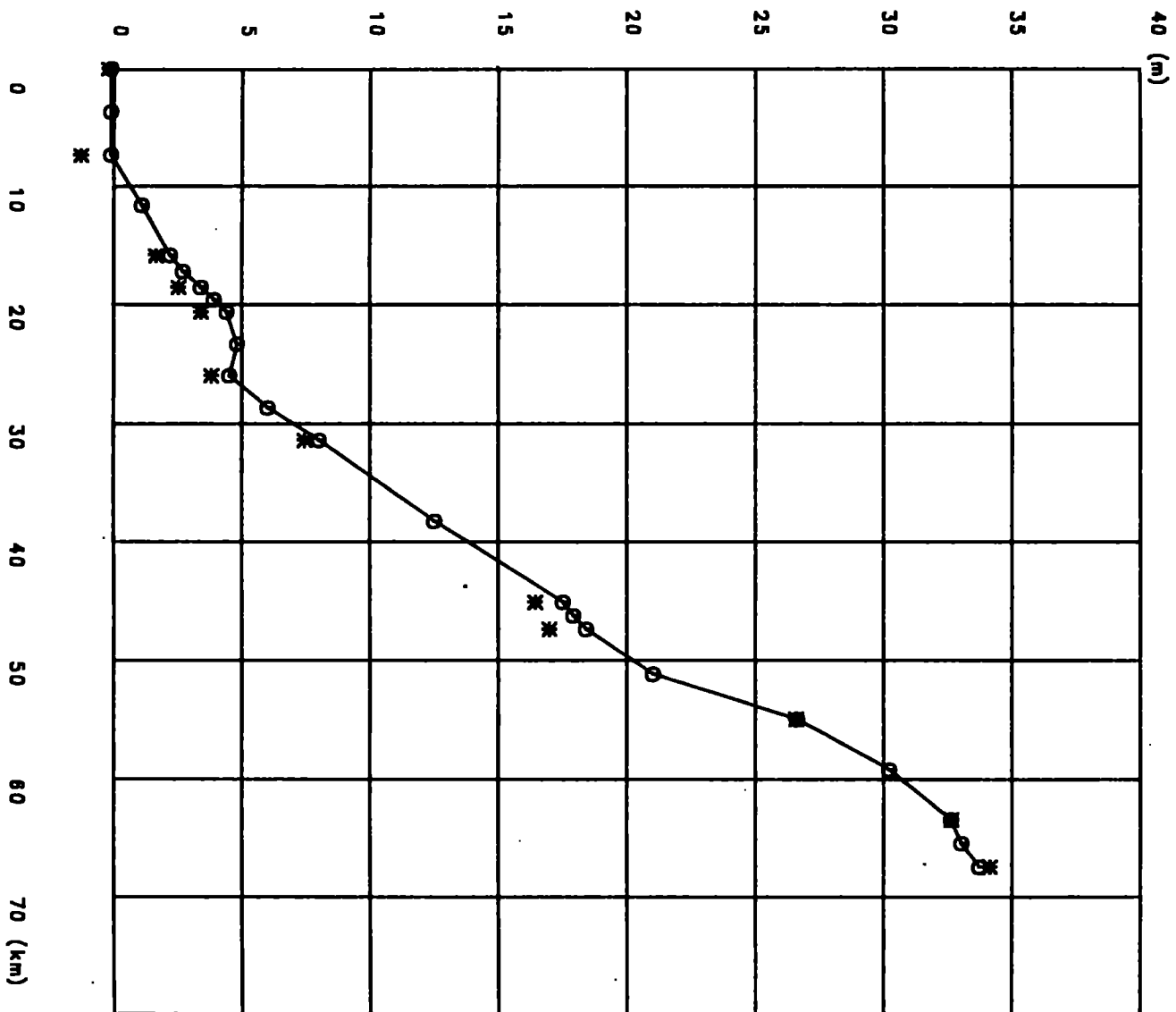
⊗ berekende potentiaal
* gemeten potentiaal

Profiel 2 - pakket 4

Bijlage 11B



x berekende potentiaal min
gemeten potentiaal

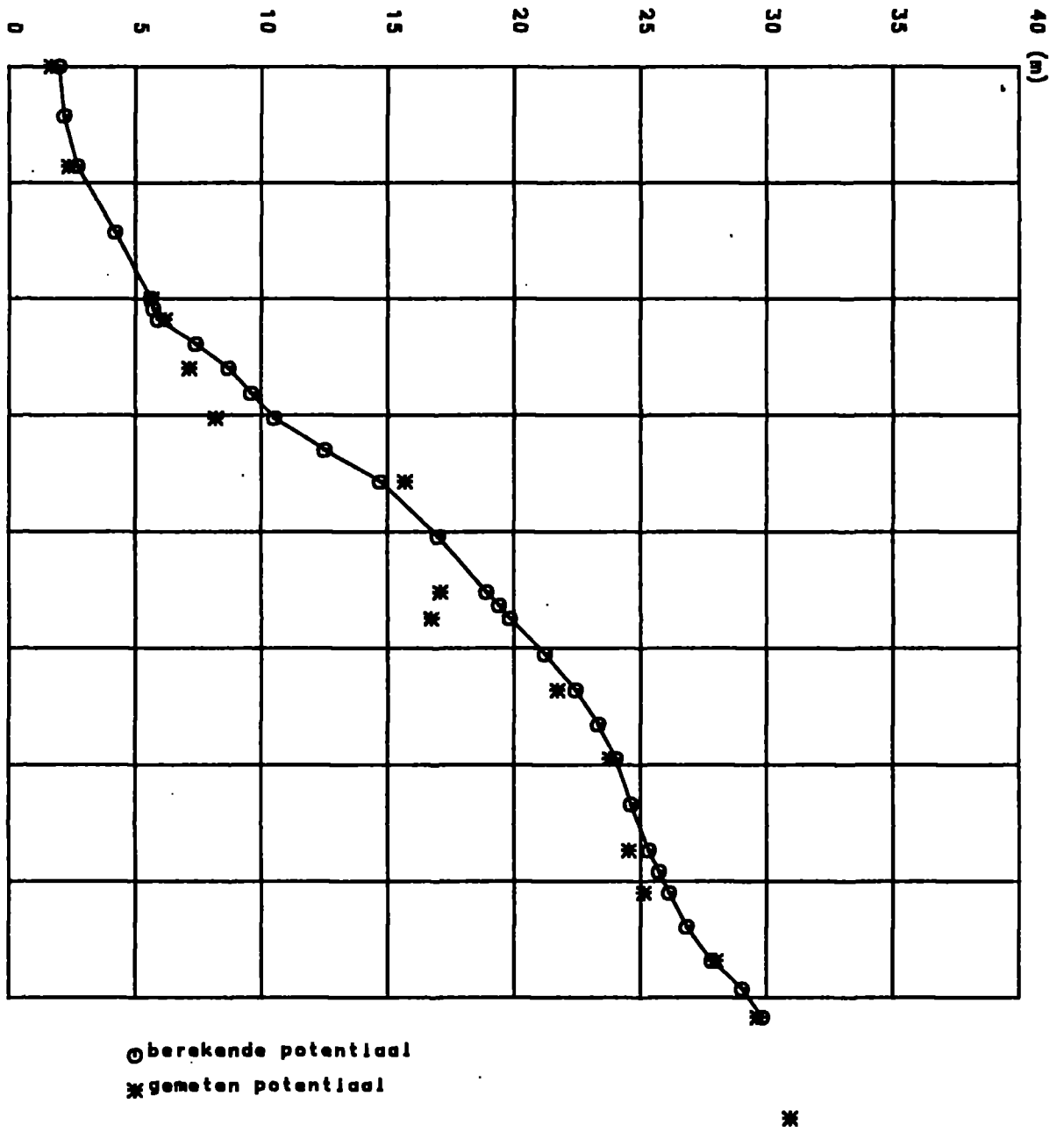
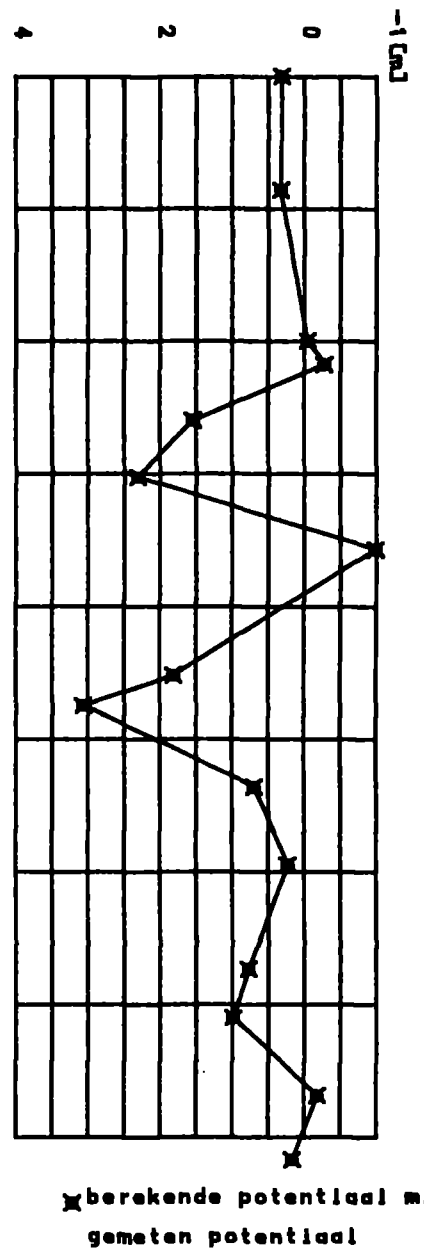


o berekende potentiaal
* gemeten potentiaal

44e119
44f148
45c193
45c188
45c191
45c192
51a037
51d128
51d195
51d131
57b068
57b069

Profiel 3 - pakket 4

Bijlage 11c

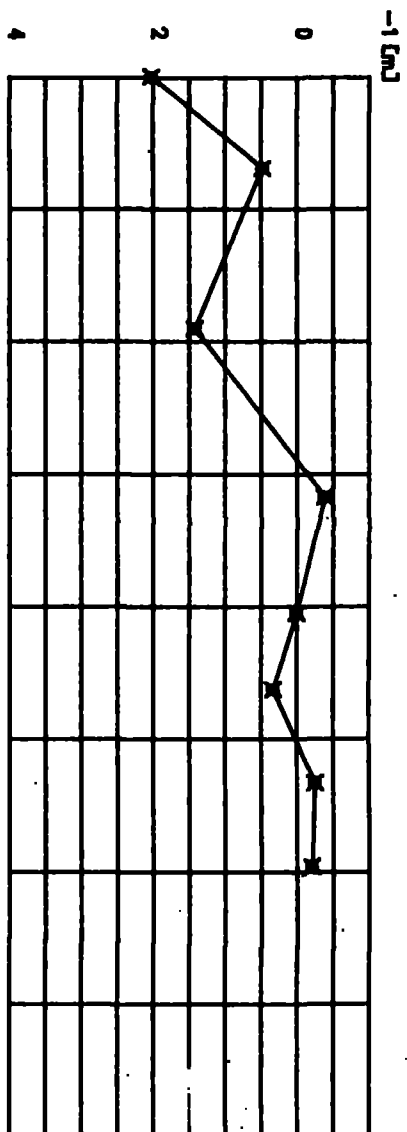


45a164
45b150
45d060
45d064
51b092
51e049
51e067
51g306
51g271
57e076
57f057
57e064
57e081
57h074
57h057
58c172

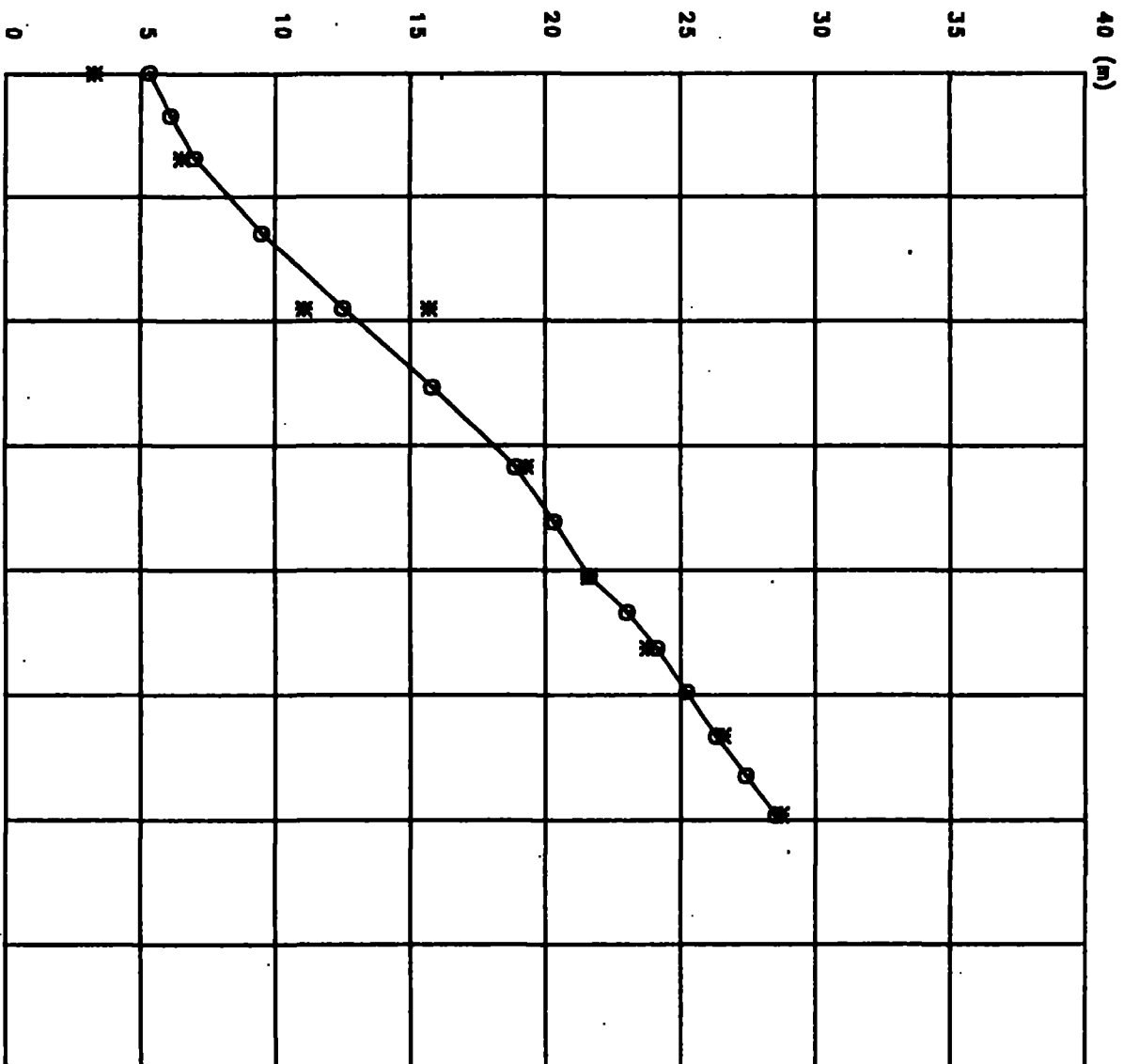
○ berekende potentiaal
* gemeten potentiaal

Profiel 4 - pakket 4

Bijlage 11D



x berekende potentiaal min
gemeten potentiaal

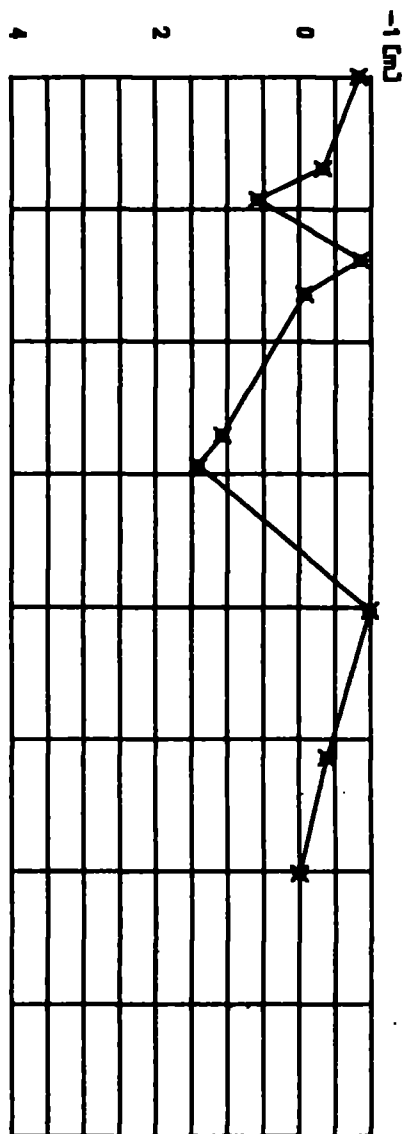


o berekende potentiaal
x gemeten potentiaal

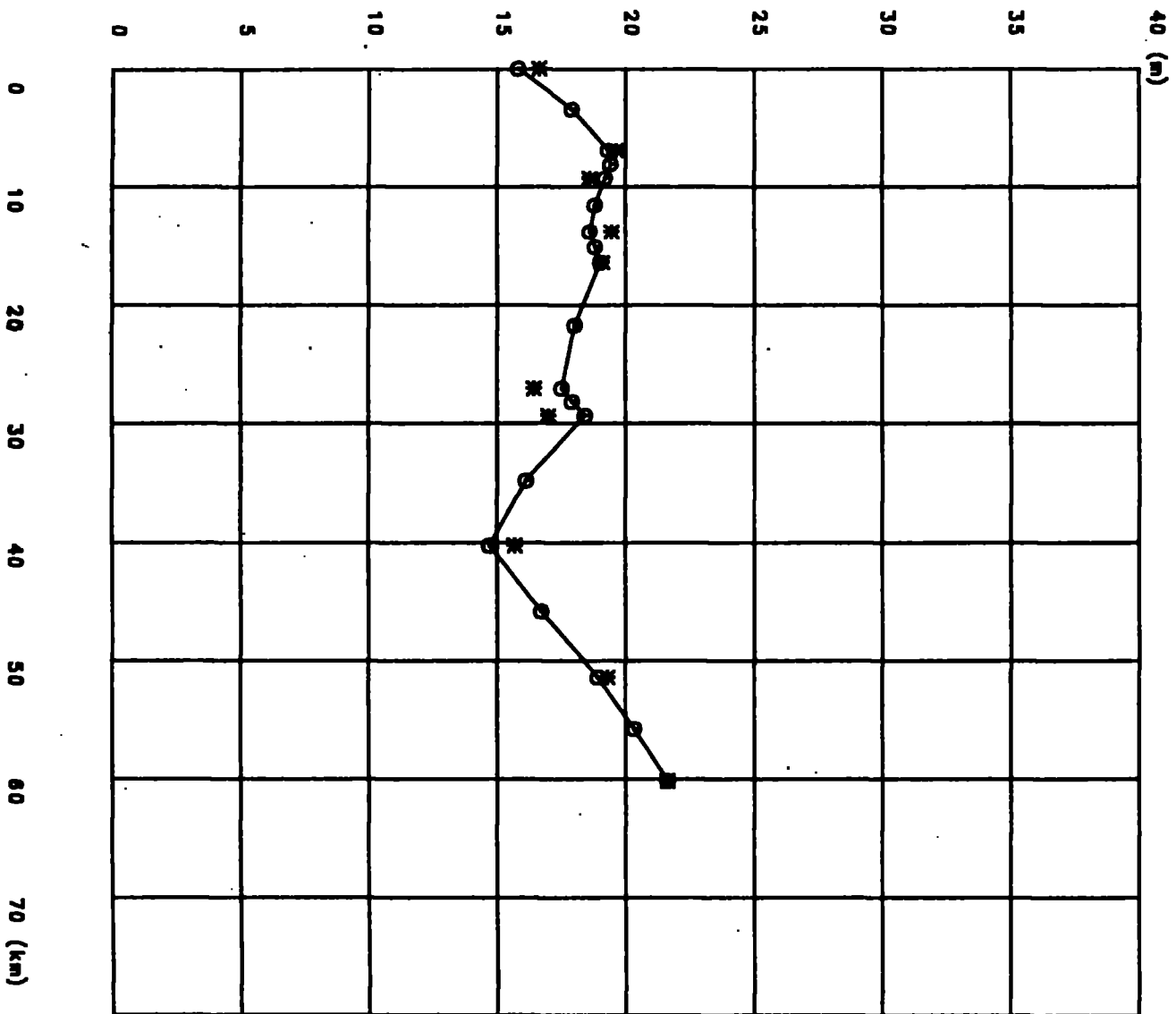
45g053
45g188
51f135
51h125
52c198
52c190
58a092
58b123

Profielc - pakket4

Bijlage 11E



⊗ berekende potentiaal min
* gemeten potentiaal



⊗ berekende potentiaal
* gemeten potentiaal

50e200

50h010
50h017

50h015
51c076

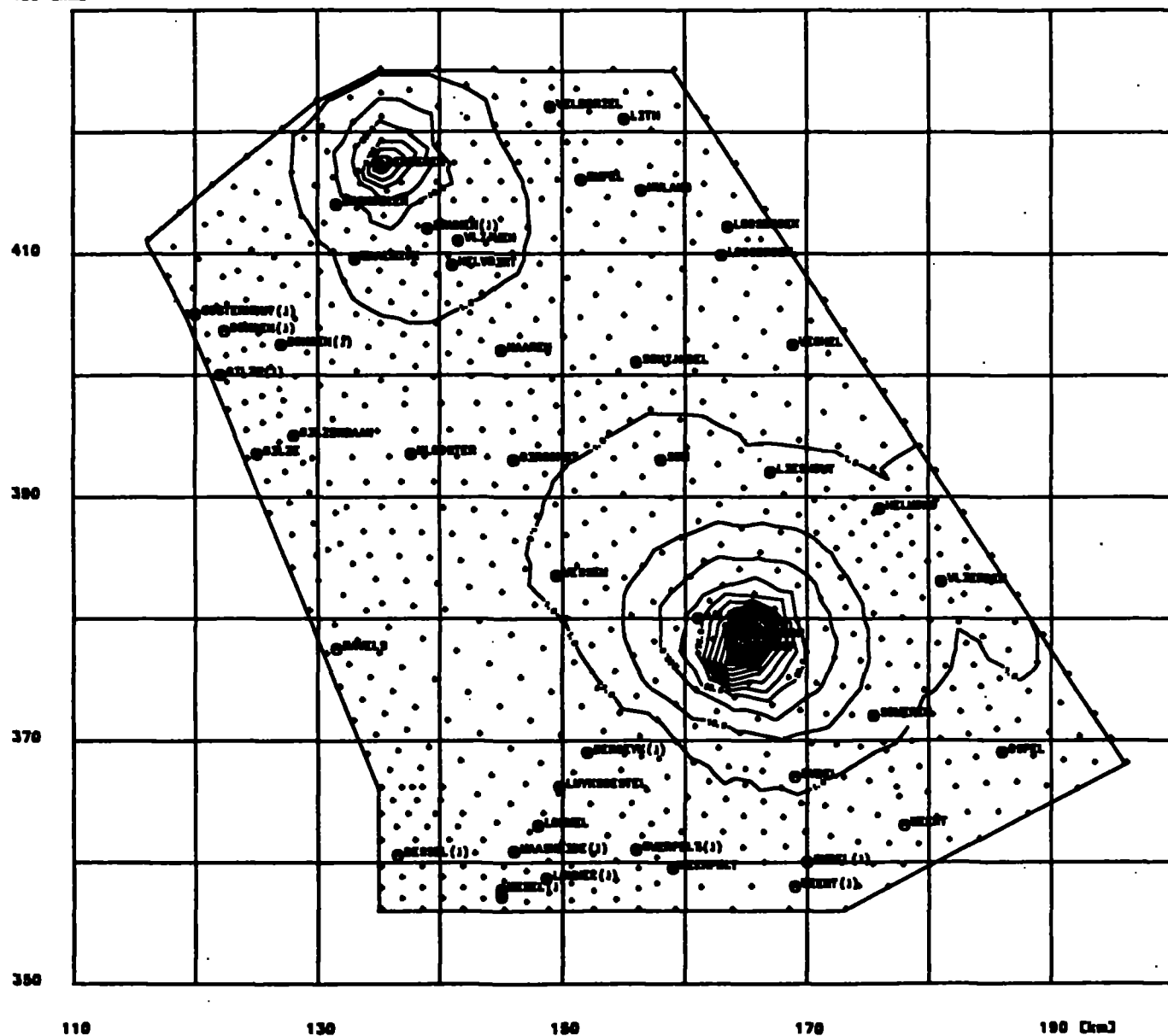
51d126
51d195

51e067

51h125

52c196

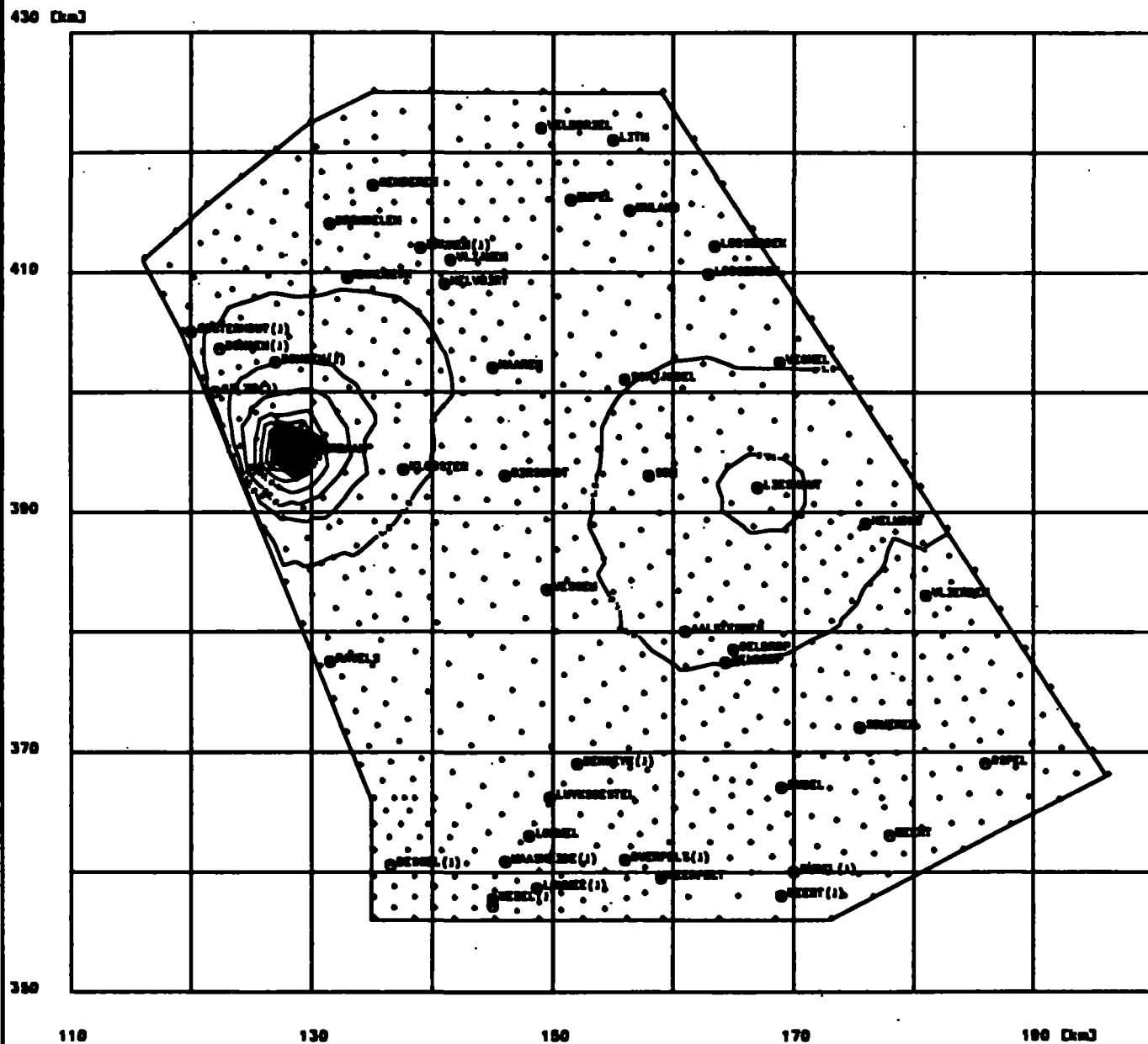
* = Lokatie van een (toekomstige) onttrekking
 (1) = onttrekking door de industrie
 — = verlaging in centimeters, lijnen op:
 1, 10, en 25 centimeter, daarna om de 25 centimeter



R. I. V. M. - L. B. G.
Feb. 1985

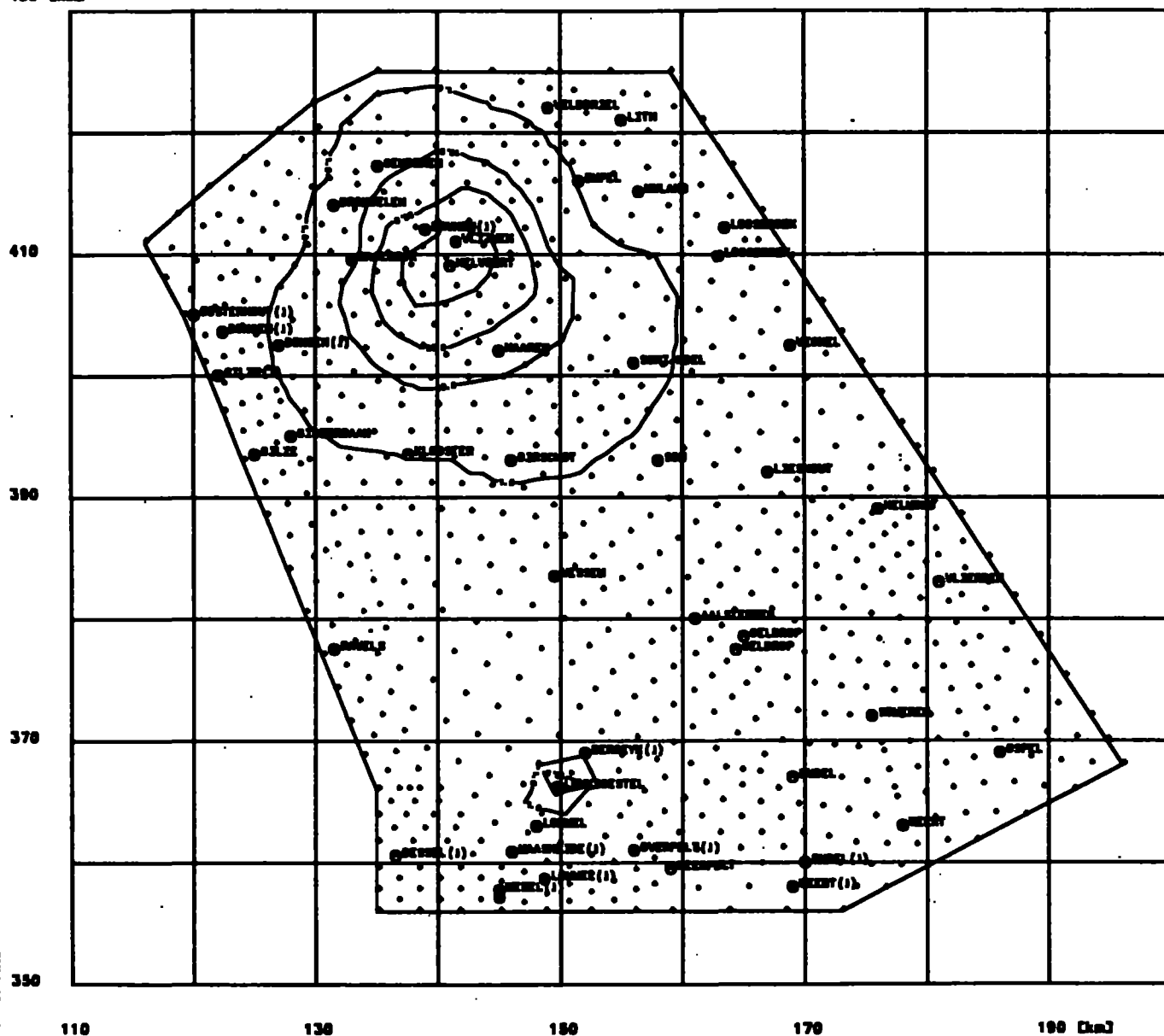
Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.
Berekenende potentiaalverlaging in het eerste modelpakket (Tegelen grind)
tgv uitbreiding winning te Gendaren en Geldrop (Tienjersplan 1995)

- = Lokatie van een (toekomstige) ontzetting
 (1) = ontzetting door de industrie
 — = verlaging in centimeters. lijnen op:
 1. 10. en 25 centimeter, daarna om de 25 centimeter



- = Lokatie van een (toekomstige) onttrekking
 (1) = onttrekking door de industrie
 — = verlaging in centimeters. Lijnen op:
 1, 10, en 25 centimeter, daarna om de 25 centimeter

430 [km]



Opr. De uitbreiding van 6 miljoen m^3 zal niet volledig in het diepe pakket van Helvoirt gerealiseerd worden

maar:

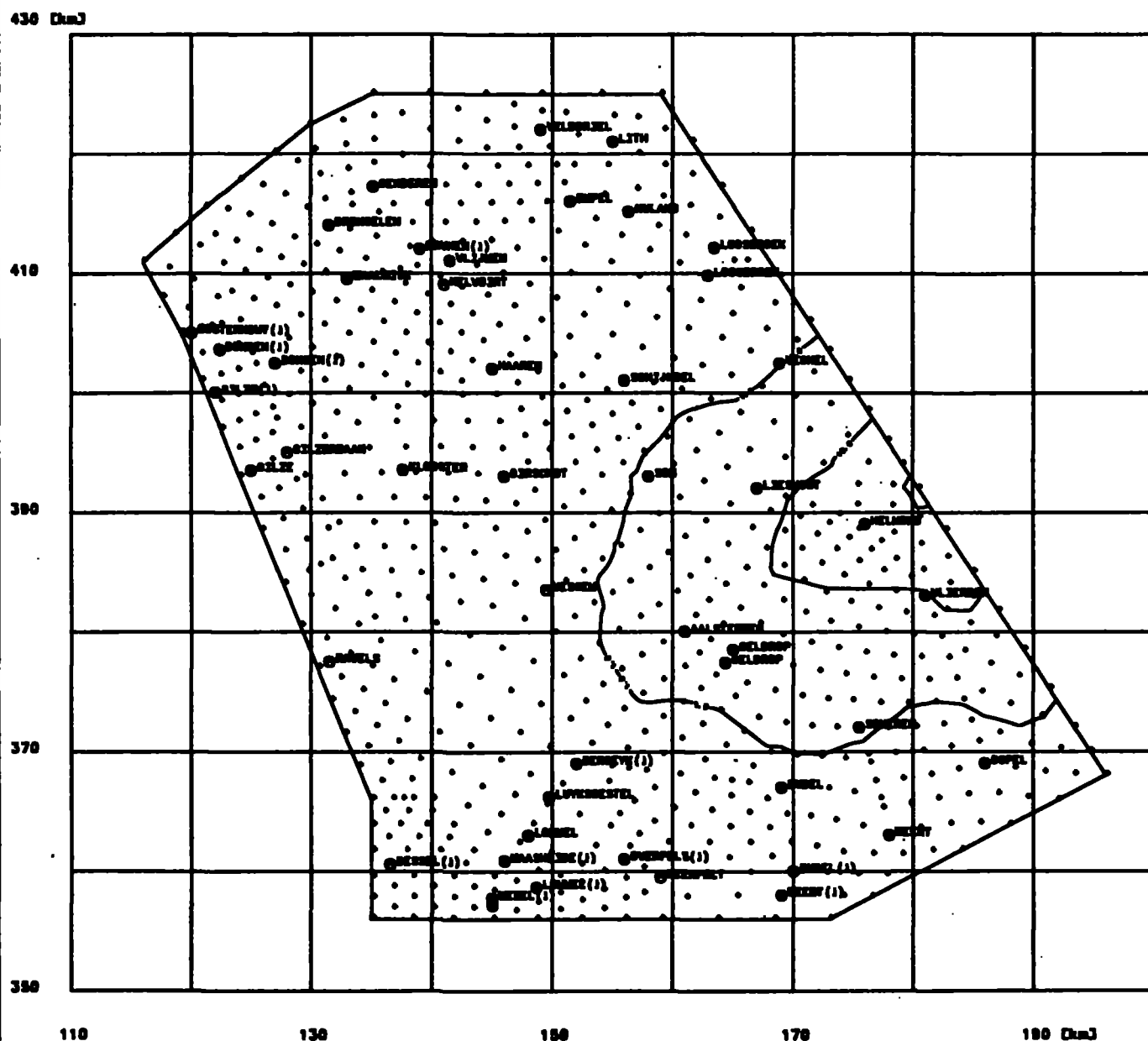
Helvoirt diep 1 miljoen m^3

„ ondiep 3 miljoen m^3

Vlijmen diep 2 miljoen m^3

Hierdoor zal de potentiaal verlaging in het eerste modelpakket ongeveer gehalveerd worden.

- = Lokatie van een (toekomstige) onttekening
 (1) = onttekening door de industrie
 — = verhoging in centimeters, lijnen op:
 1, 10, en 25 centimeter, daarna om de 25 centimeter



Opm. Deel van de huidige ondiepe winning wordt verplaatst naar het diepe pakket. Dit geeft een verdubbeling van het debiet. De verhogingen zullen ook circa twee maal zo groot worden.

R.I.V.M. - L.B.G.
Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.
Berekenende potentiaalverhoging in het eerste megalpakket (Tegelen grind)
tgv uitbreiding winning te Heilmond (Tienjerenplan 1985)

- = Lokatie van een (toekomstige) ontroeking
 (i) = ontroeking door de industrie
 — = verhoging in centimeters. Lijnen op:
 1. 10. en 25 centimeter, daarna om de 25 centimeter

430 [cm]

410

390

370

350

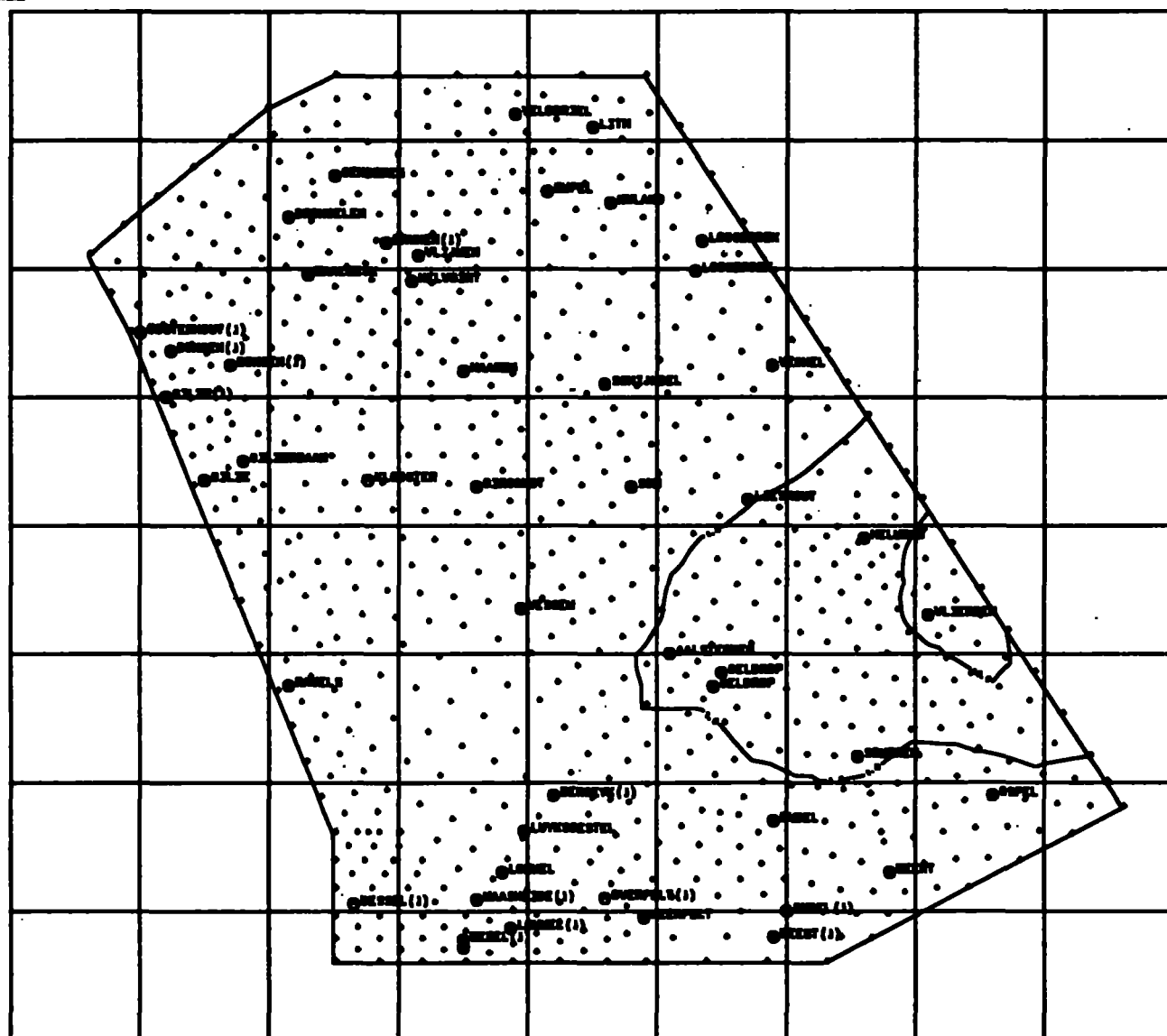
110

130

150

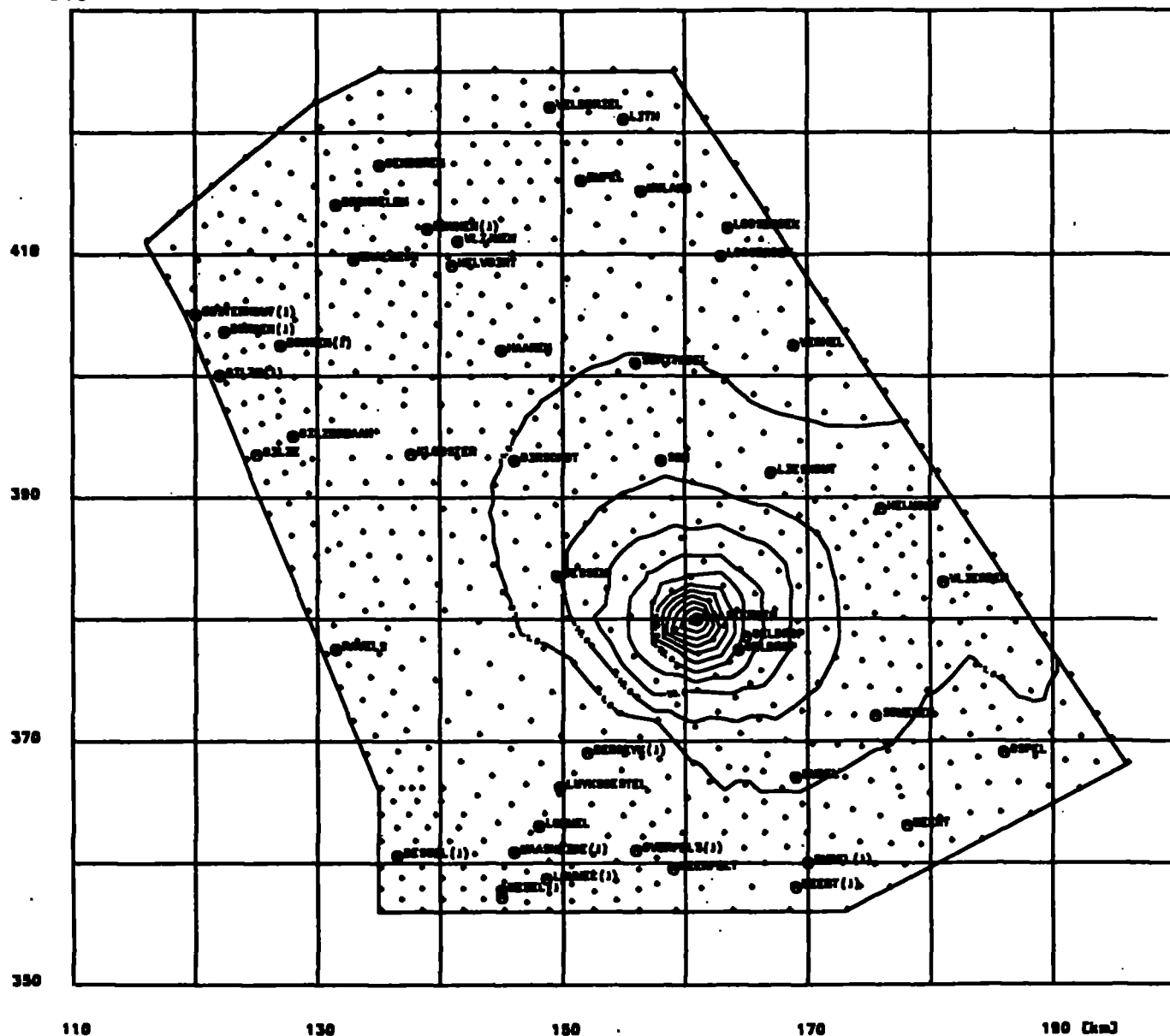
170

190 [km]

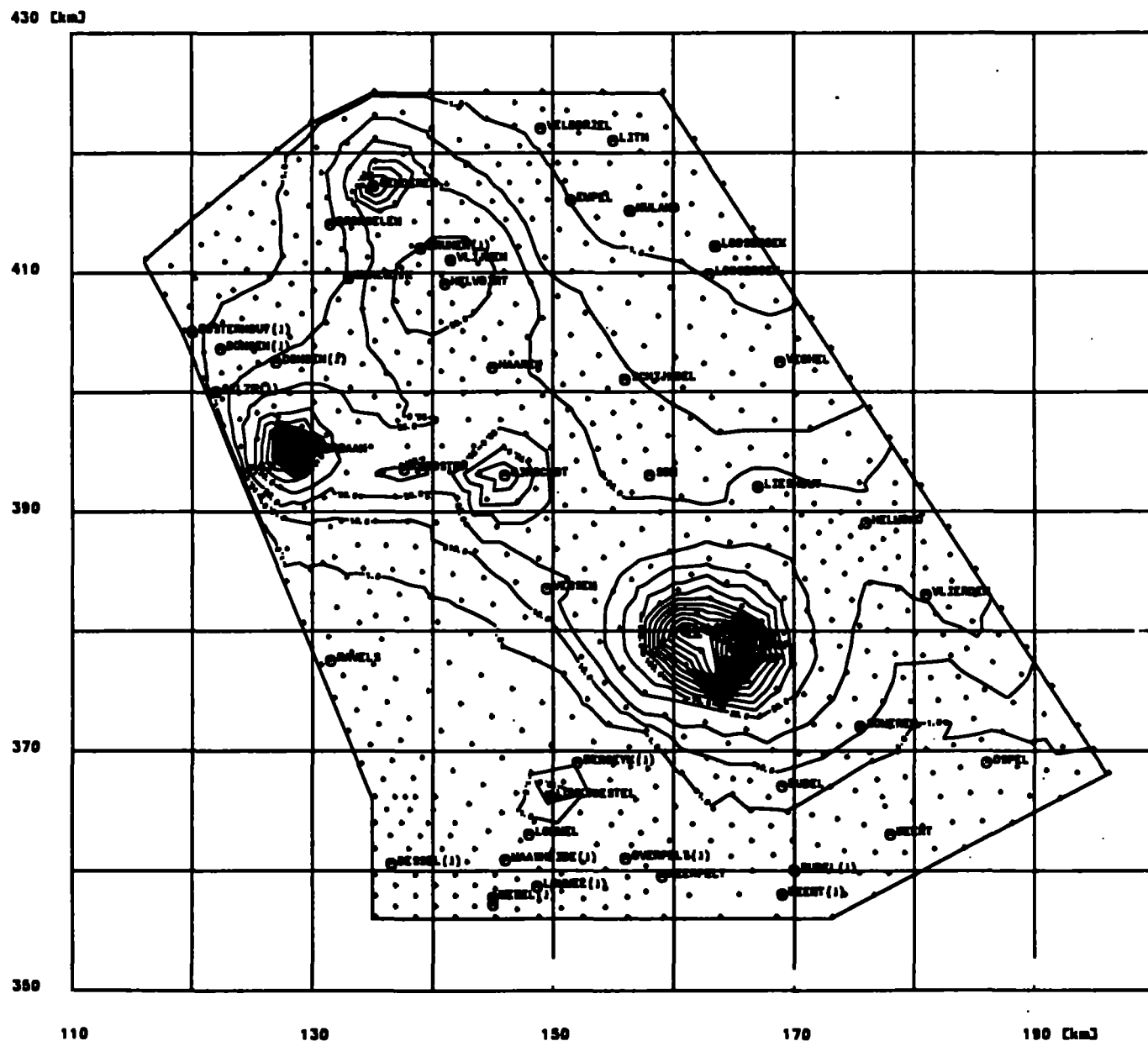


- = Lokatie van een (toekomstige) ontzetting
 (1) = ontzetting door de industrie
 — = verhoging in centimeters. lijnen op:
 1, 10, en 25 centimeter, daarna om de 25 centimeter

430 [km]



0 = Lokatie van een (toekomstige) enttrectking
 (1) = enttrectking door de industrie
 — = verlaging in centimeters, lijnen op:
 1. 10, en 25 centimeter, daarna om de 25 centimeter



R.I.V.M. - L.B.G.

Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLEK.

Potentilla-verlaging eerste modelpakket (Tegelen grind), tgv. uitbreiding winning te: Gonderse, Geldorp, Heilvoirt, Luyksgestel, Gilsbeek, Lieshout, Klever, Heijmond, Gilsbeek, Vliederveen en Asperweg (Tienjarenplan 1995)

- = Lokatie van een (toekomstige) onttrekking
 (1) = onttrekking door de industrie
 / = extra infiltratie in duizendste millimeter. lijnen op:
 10 en 50 duizendste, daarna om de 50 duizendste

430 [km]

410

390

370

350

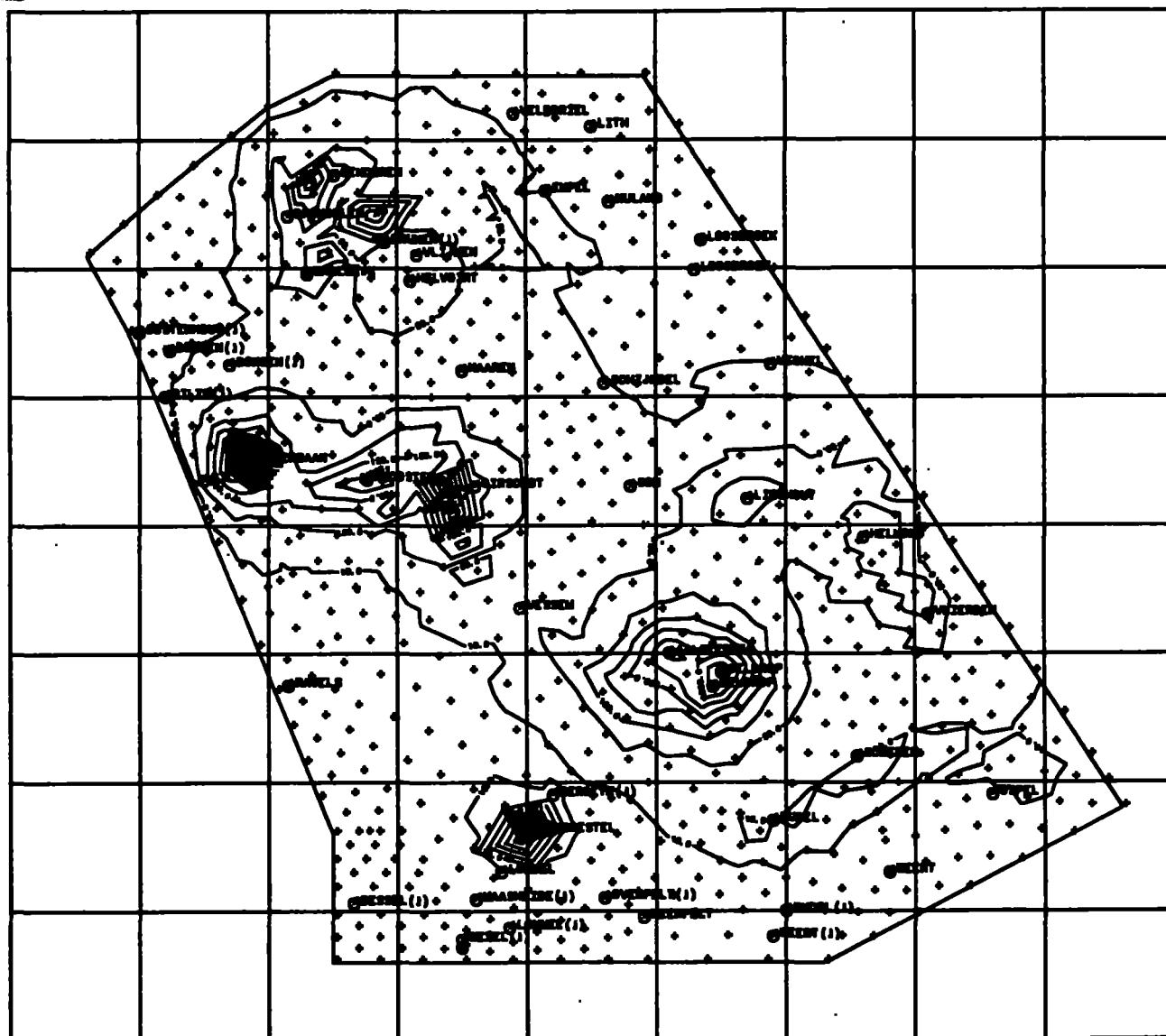
110

130

150

170

190 [km]



R.I.V.M. - L.B.G.

Feb. 1985

Regionaal Hydrologisch Onderzoek CENTRALE SLENK.

Toekomstige infiltratie door de laag Noordoost-Vogelen. (ge) uitbreiding winning te:
 Gendern, Geldrop, Helvoirt, Luyksgestel, Gilzichem, Lierhout, Kijndert,
 Helmond, Gilzebeek, Vlierden en Aalsterweg