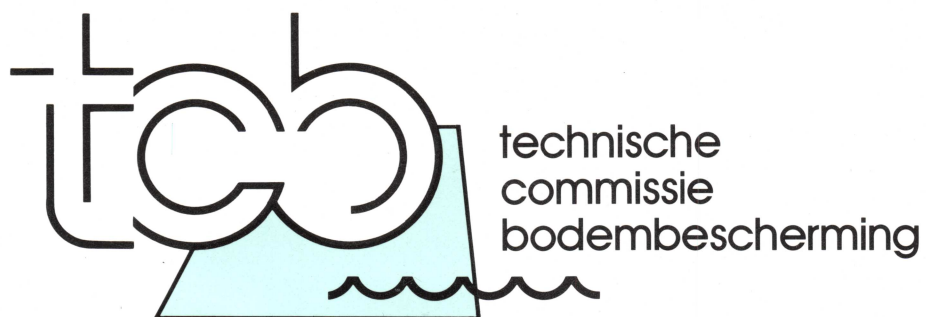




Bijlagen behorende bij het Rapport Grondwaterbescherming

Enkele voorbeelden van verblijftijdsverdelingen en beschermingsgebieden van winningen van freatisch water

**Ing. H. Boukes,
KIWA Nieuwegein**

INHOUD

	pag.
1. Inleiding	1
2. Doel van het onderzoek	1
3. Beschrijving van de winningen	1
3.1 Pompstation Archemerberg	1
3.2 Pompstation Vierlingsbeek	3
4. Uitgevoerde berekeningen	4
4.1 Archemerberg	5
4.2 Vierlingsbeek	6
5. Evaluatie van de berekeningen	8
6. Hoe nu verder.....	10

1 INLEIDING

Het onderzoek ten behoeve van de Nederlandse waterleidingbedrijven wordt gecoördineerd door de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven In Nederland (VEWIN), en wordt uitgevoerd door het KIWA. Tussen de vele projecten die in dit verband worden uitgevoerd neemt het onderzoek naar een effectieve Bescherming van Waterwingebieden een niet onbelangrijke plaats in. Binnen dit project wordt onder meer aandacht besteed aan het fenomeen beschermingsgebieden. Om het praktijkgerichte karakter van het onderzoek te waarborgen vindt het onderzoek voornamelijk plaats op drie proeflokaties, waarvan de pompstations Archemerberg (N.V. Waterleidingmaatschappij Overijssel) en Vierlingsbeek (N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant) in dit verband voor een nadere beschouwing in aanmerking komen.

2 DOEL VAN HET ONDERZOEK

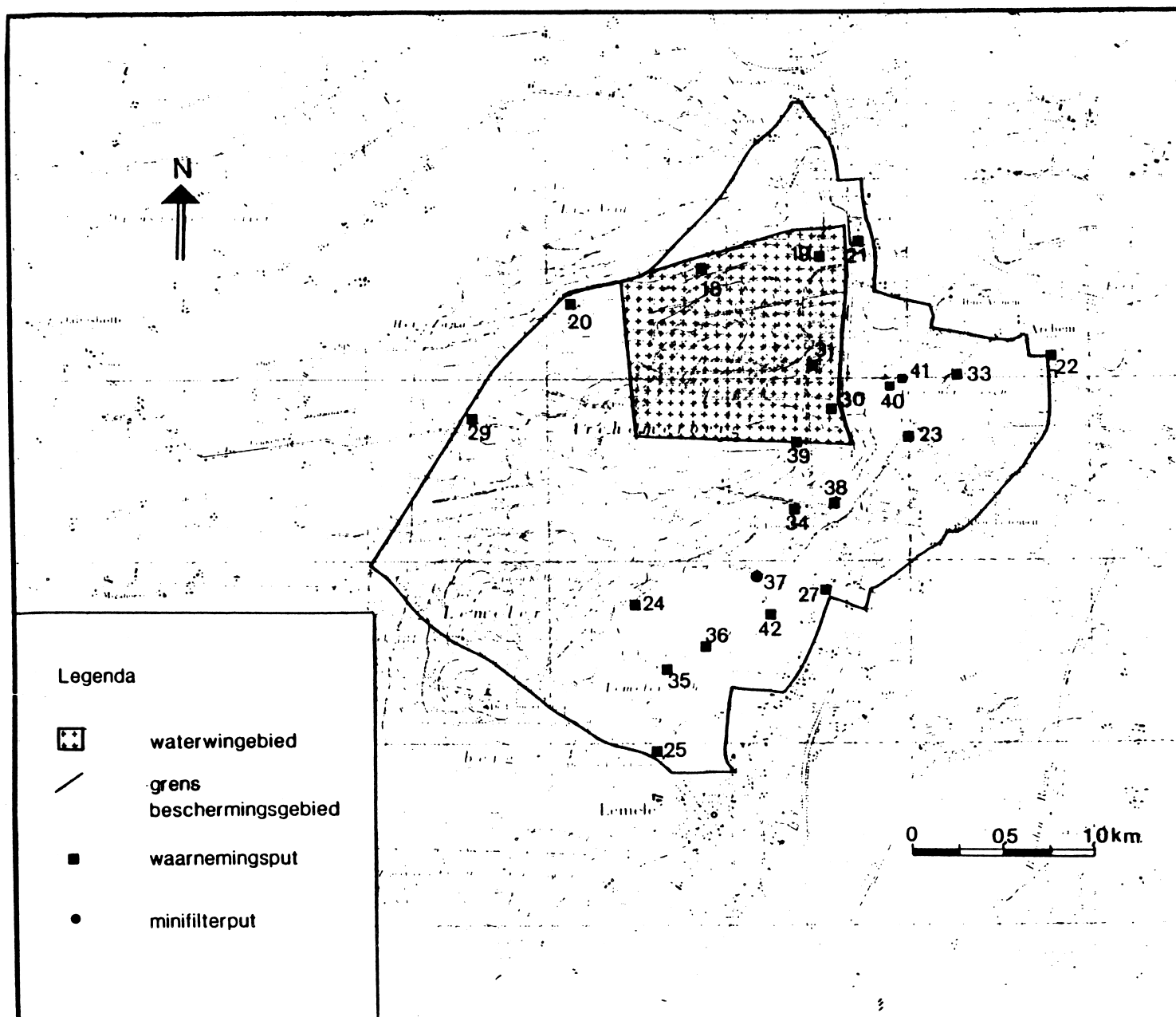
Het hier beschreven onderzoek dient als aanzet tot discussie over mogelijkheden van de bescherming van de kwaliteit van het grondwater dat ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening wordt onttrokken.

3 BESCHRIJVING VAN DE WINNINGEN

3.1 Pompstation Archemerberg

Het pompstation Archemerberg ligt op de oostflank van de stuwwal tussen Ommen en Lemele in Overijssel (figuur 1) en onttrekt grondwater sinds 1960. De onttrekking is geleidelijk toegenomen van 0,5 á 1,0 miljoen m³/jaar in de eerste jaren tot ca 3 miljoen m³/jaar rond 1980. Ook Archemerberg is een freatische

Lokatiekaart Archemerberg



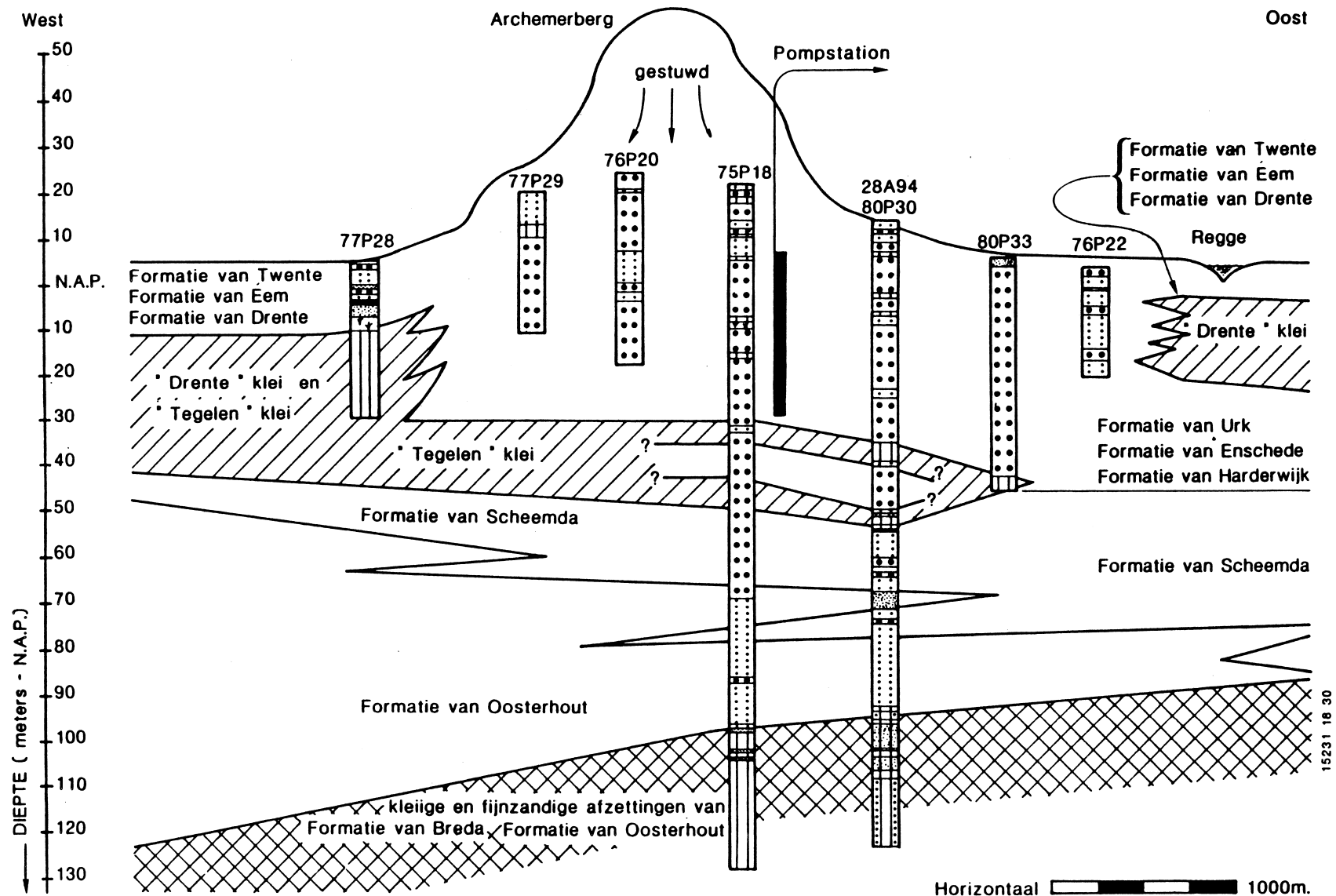
Figuur 1.

winning.

Het puttenveld ligt in een bosgebied en bestaat uit 17 pompputten. Het maaiveld bij het puttenveld loopt in oostelijke richting af van 40 m+NAP naar 15 m+NAP. De onttrekking vindt plaats in het eerste watervoerende pakket op een diepte van ca. 50 m-mv. Dit pakket bestaat uit gestuwde grove zanden.

De basis van het pakket rond de winning wordt gevormd door de Formatie van Breda. Deze formatie bevindt zich in het intrekgebied van de winning van oost naar west toenemend in diepte op 90 tot 120 m-NAP. Boven de Formatie van Breda is de Formatie van Oosterhout afgezet. Deze formatie is vooral westelijk van de stuwwal aanwezig en bestaat uit kleien en fijne zanden. De grens tussen de Formatie van Breda en Oosterhout is vaak moeilijk aan te geven. Boven de beide formaties is de Formatie van Scheemda afgezet. Deze formatie bestaat uit grove zanden. Tot ongeveer 1 km westelijk van het puttenveld wordt de Formatie van Scheemda afgedekt door een dikke laag Tegelenklei. Ter plaatse van de winning is deze klei echter plaatselijk niet aangetoond. Boven de kleilaag zijn de grofzandige Formaties van Harderwijk, Enschede en Urk afgezet. Waar de Tegelenklei ontbreekt liggen deze pakketten dus op de Formatie van Scheemda. De grofzandige pakketten zijn tijdens het Saalien verstuwd of door het smeltwater van het landijs gedeeltelijk weggespoeld. Aan weerszijden van de stuwwal zijn bekkens gevormd waarin klei van de Formatie van Drente is afgezet. In de stuwwal zelf komt deze klei niet voor. Op de Drenteklei is tijdens het Pleistoceen fijn zand van de Formatie van Twente afgezet. De stuwwal is gevormd uit gestuwd materiaal van de Formaties van Harderwijk, Enschede en Urk. De formaties komen voor in scheefgestelde lagen. Hier en daar komen kleilenzen voor waarop schijngrondwaterspiegels kunnen ontstaan. In figuur 2 is een geologische dwarsdoorsnede van oost naar west weergegeven.

In het hooggelegen intrekgebied komen geen open waterlopen voor. Wel zijn er aan weerszijden van de stuwwal enkele weteringen die vooral 's-winters een drainerende functie hebben. De bovenlopen vallen 's-zomers droog.



Figuur 2. Dwarsdoorsnede pompstation Archemerberg

Oostelijk en noordelijk van de stuwwal stroomt de rivier de Regge. Uit grondwaterstandsmetingen blijkt dat bij de huidige onttrekking ook 's-zomers geen aanvulling vanuit de Regge naar het grondwater plaatsvindt.

3.2 Pompstation Vierlingsbeek

De winning is gelokaliseerd in het oostelijk gedeelte van Noord-Brabant op de rand van de Peel in de gemeente Vierlingsbeek. (figuur 3) Het pompstation is in 1965 in bedrijf gesteld. Er wordt per jaar ongeveer 2,8 miljoen m³ water onttrokken aan het eerste watervoerende pakket op een diepte van 10 tot 27 m-mv. Het betreft een freatische winning. Het puttenveld bestaat momenteel uit 15 putten.

Het puttenveld zelf is in een bosgebied gelegen. Het intrekgebied bestaat uit bossen en landbouwgronden met zowel akkerbouw als grasland. Ook een gedeelte van het dorp Overloon valt binnen het intrekgebied.

Geologisch ligt het pompstation Vierlingsbeek en omgeving in het gebied van de Slenk van Venlo, dat tot het relatief rijzend deel van Zuid-Nederland behoort. Gedurende een groot deel van het Tertiair waren mariene condities overheersend en werden afzettingen gevormd die behoren tot de Formatie van Breda. Deze formatie bestaat uit glauconiet houdende fijne en grove zanden en (zandige) kleien.

Geleidelijk verplaatste de kustlijn zich in die tijd naar het noordwesten waardoor eerst kustnabije en later fluviatiele afzettingen gevormd werden. Deze afzettingen behoren tot de Kiezeloölietformatie. Het zijn overwegend grove zanden met wat grind en plaatselijk kleilaagjes.

Op deze formatie werden in het begin van het kwartaal fluviatiele afzettingen gevormd die echter vanwege het rijzende effect van het gebied veelvuldig door erosie werden weggespoeld. Tijdens de voorlaatste ijstijd werd een grof pakket

The map displays the Peelkampsveld area, bounded by the 'grens beschermingsgebied' (boundary protection area) shown as a thick black line. To the north, the 'Stevensbeek' is visible. The 'waterwingebied' (water management area) is indicated by a hatched pattern. A network of canals and ditches is shown with thin lines. Numerous monitoring points are marked: 'minifilterput' (minifilter well) as solid circles, 'waarnemingsput' (monitoring well) as solid squares, and 'nitraatput' (nitrate well) as solid triangles. A specific area is labeled 'pompput 11' (pump well 11). A scale bar at the bottom right indicates distances of 0, 0.5, and 10 km. A north arrow is located in the upper left corner. The legend in the bottom left corner defines the symbols used.

Legenda

- waterwingebied
- grens beschermingsgebied
- minifilterput
- waarnemingsput
- nitraatput

5231 19 30

maassedimenten afgezet. Dit is de Formatie van Veghel die in dit gebied nog grotendeels aanwezig is.

In de laatste ijstijd bleef het gebied buiten de invloedsfeer van de Maas en werd door sneeuwmeltwater en wind voornamelijk zand afgezet. Dit is de formatie van Nuenen.

In figuur 4 is een geologische dwarsdoorsnede van zuid naar noord gegeven (Pool, 1986).

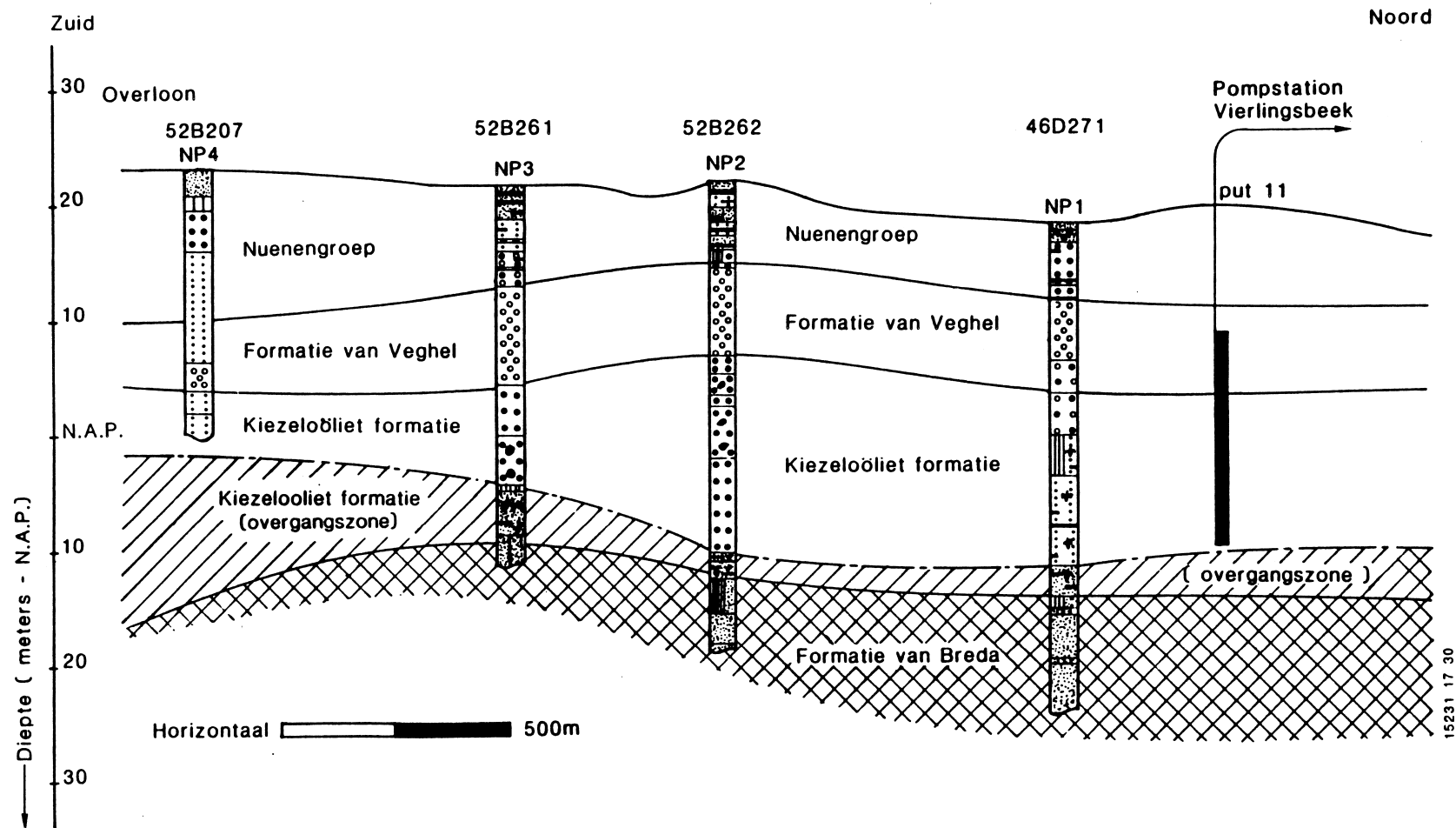
Binnen het berekende intrekgebied lopen twee beken die in dit verband van belang zijn:

- De Lactariabeek aan de westzijde van het intrekgebied.
- Een afwateringsbeek die geen naam heeft. Deze loopt ongeveer 500 m ten zuiden van het pompstation, evenwijdig aan het puttenveld.

De Lactariabeek blijkt in natte perioden (met name in het voorjaar) een drainerende functie te hebben. Het waterniveau in de andere beek is het hele jaar door hoger dan de grondwaterstand ter plaatse. Uit metingen van de grondwaterstand blijkt niet dat hier water infiltreert. Het is niet ondenkbaar dat de bodem hier door slibdeeltjes verstopt is geraakt.

4 UITGEVOERDE BEREKENINGEN

Voor beide pompstations is voor de berekening van de stroming gebruik gemaakt van een twee-dimensionale schematisatie van de werkelijkheid. Eerst zijn de gemeten potentialen nagerekend om het hydrologisch systeem in de vingers te krijgen. Hiervoor is het computerprogramma MODFLOW gebruikt (MacDonalds and Harbaugh, 1984), een programma dat uitblinkt in overzichtelijkheid, werkbaarheid en uitzonderlijk goed beschreven is. Nadat er voldoende overeenstemming was tussen de berekende potentialen en de gemeten waarden, werd de berekening gekoppeld aan het stromingsprogramma BOUFLO (Boukes, 1989). Dit programma berekent stroombanen en verblijftijden op basis van de stromingsbalansen die per element door MODFLOW worden berekend.



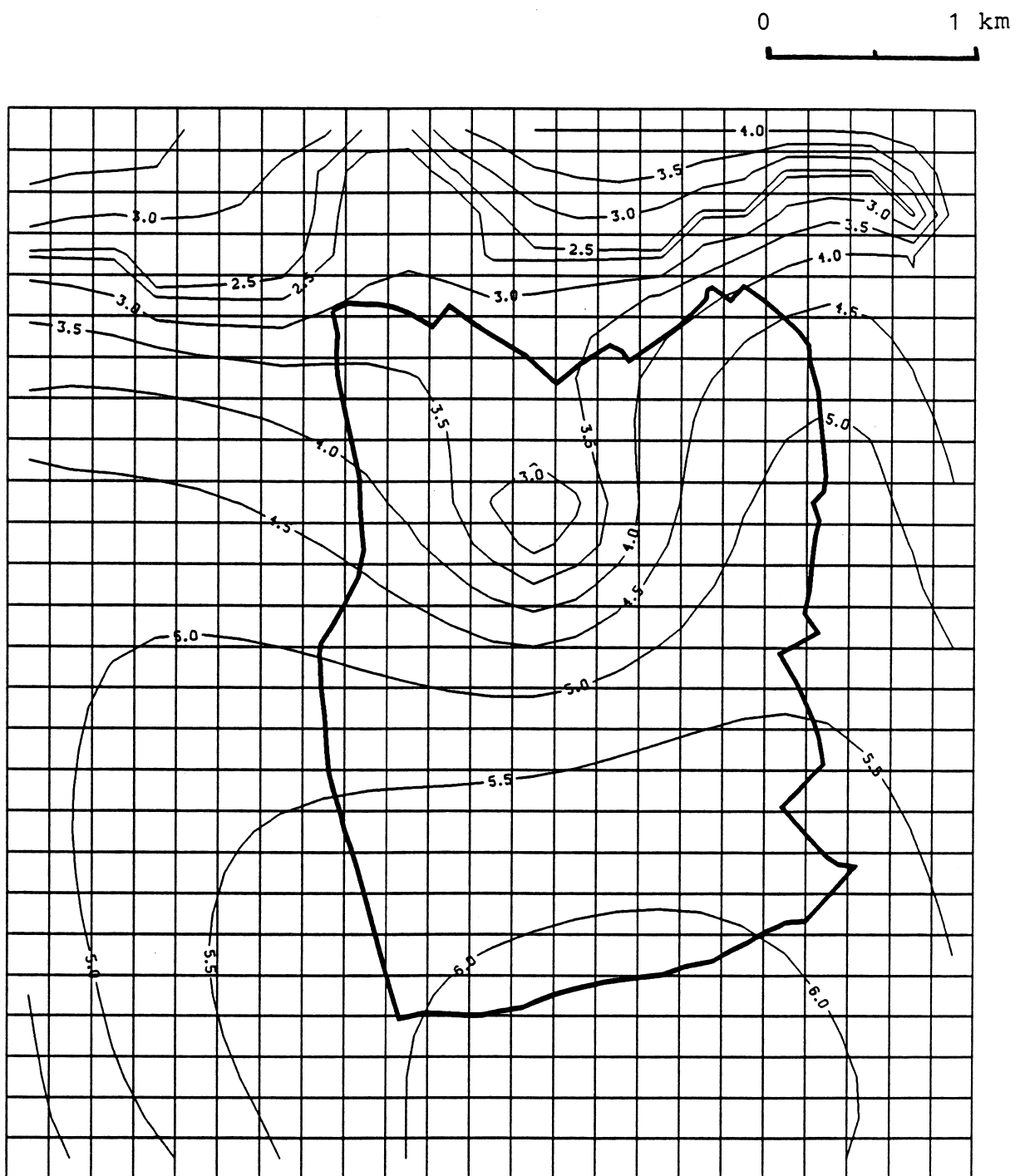
Figuur 4. Geologische dwarsdoorsnede pompstation Vierlingsbeek.

De verblijftijden in de onverzadigde zone zijn niet in de berekening betrokken. De berekeningen hebben dan ook slechts betrekking op de verblijftijden in het bepompte (freatische) pakket. Bovendien brengt een twee-dimensionale schematisatie met zich mee dat ook een verticale verblijftijd in de verzadigde zone niet in de berekening wordt meegenomen. Met name op korte afstand van het puttenveld heeft het water tijd nodig om zich vanaf de grondwaterspiegel naar de bovenkant van het onttrekkingsfilter te verplaatsen. Zo heeft de WOB voor het pompstation Vierlingsbeek berekend dat er als gevolg van stroming in de onverzadigde zone, en verticale verplaatsing geen water wordt onttrokken jonger dan tien jaar. De eerste driedimensionale stromingsberekeningen die het KIWA voor dit pompstation heeft uitgevoerd, wijzen op een iets kortere leeftijd. Hier wordt bij de in dit rapport beschreven berekeningen geen rekening mee gehouden.

Het aldus berekende verblijftijdenbeeld is geïnterpreteerd en vergeleken met de door de provincie vastgestelde beschermingszones, die in beide gevallen gebaseerd is op berekeningen naar de 25-jaarsverblijftijdzone.

4.1 Archemerberg

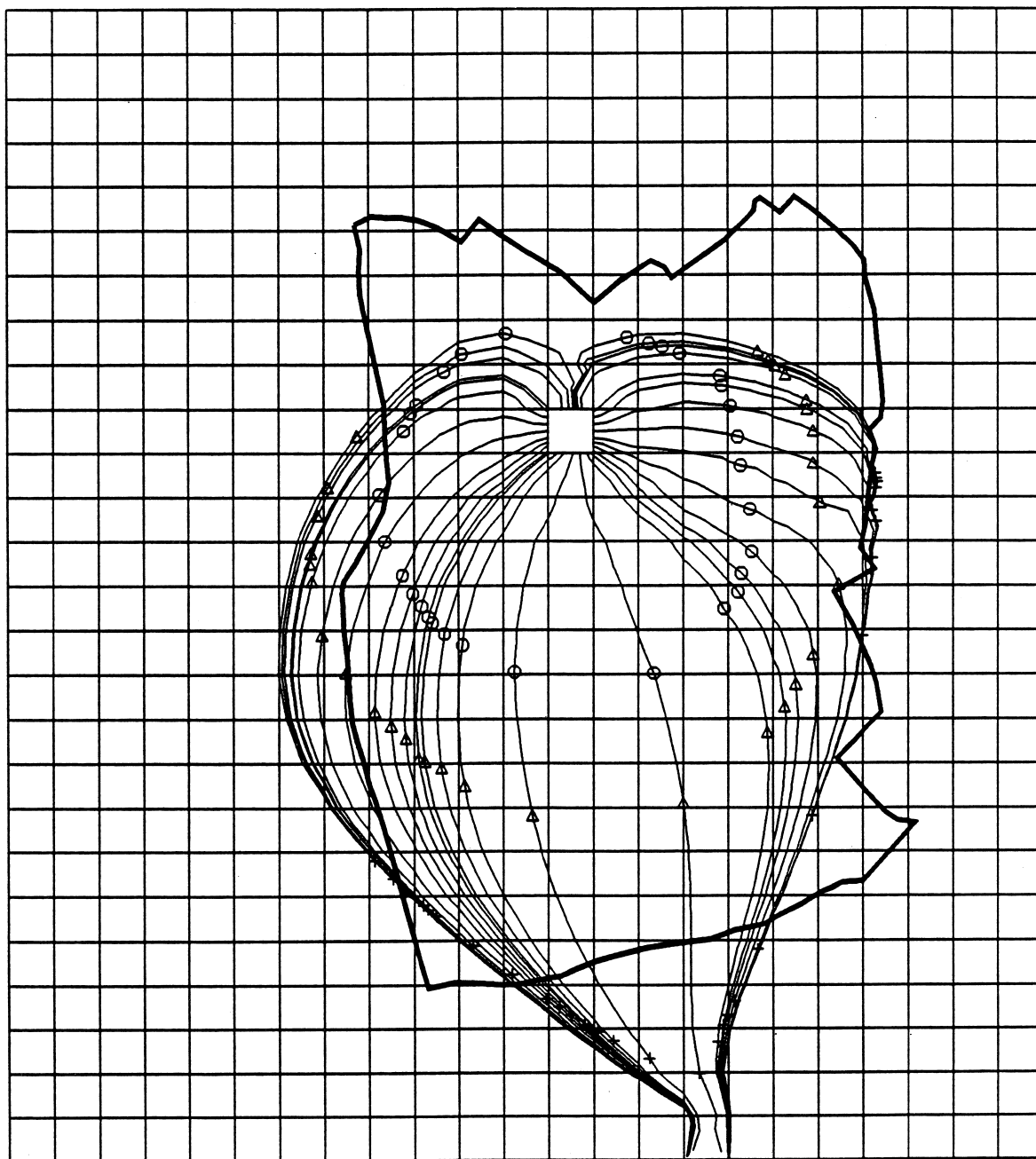
Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van een recent door de WMO geijkt model. De onttrekking bedraagt 2,8 miljoen m³/jaar, verdeeld over een aantal putten. De voeding als gevolg van de neerslag is bepaald op 400 mm/jaar. Op basis van deze gegevens worden de potentialen berekend zoals weergegeven in figuur 5. Het stromingsbeeld op basis van deze berekeningen is weergegeven in figuur 6. Wanneer voor de porositeit van het watervoerend pakket de waarde 0,30 wordt aangehouden kan een leeftijdsverdeling van het onttrokken water worden berekend. De respons-kurve van het onttrokken water is weergegeven in figuur 7. Het blijkt dat 30 procent van het onttrokken water korter dan 10 jaar in de verzadigde zone verblijft, 59 procent korter dan 25 jaar, en 90 procent korter dan 75 jaar (figuur 8).



Figuur 5. Potentiaalbeeld en beschermingsgebied pompstation Archemerberg.

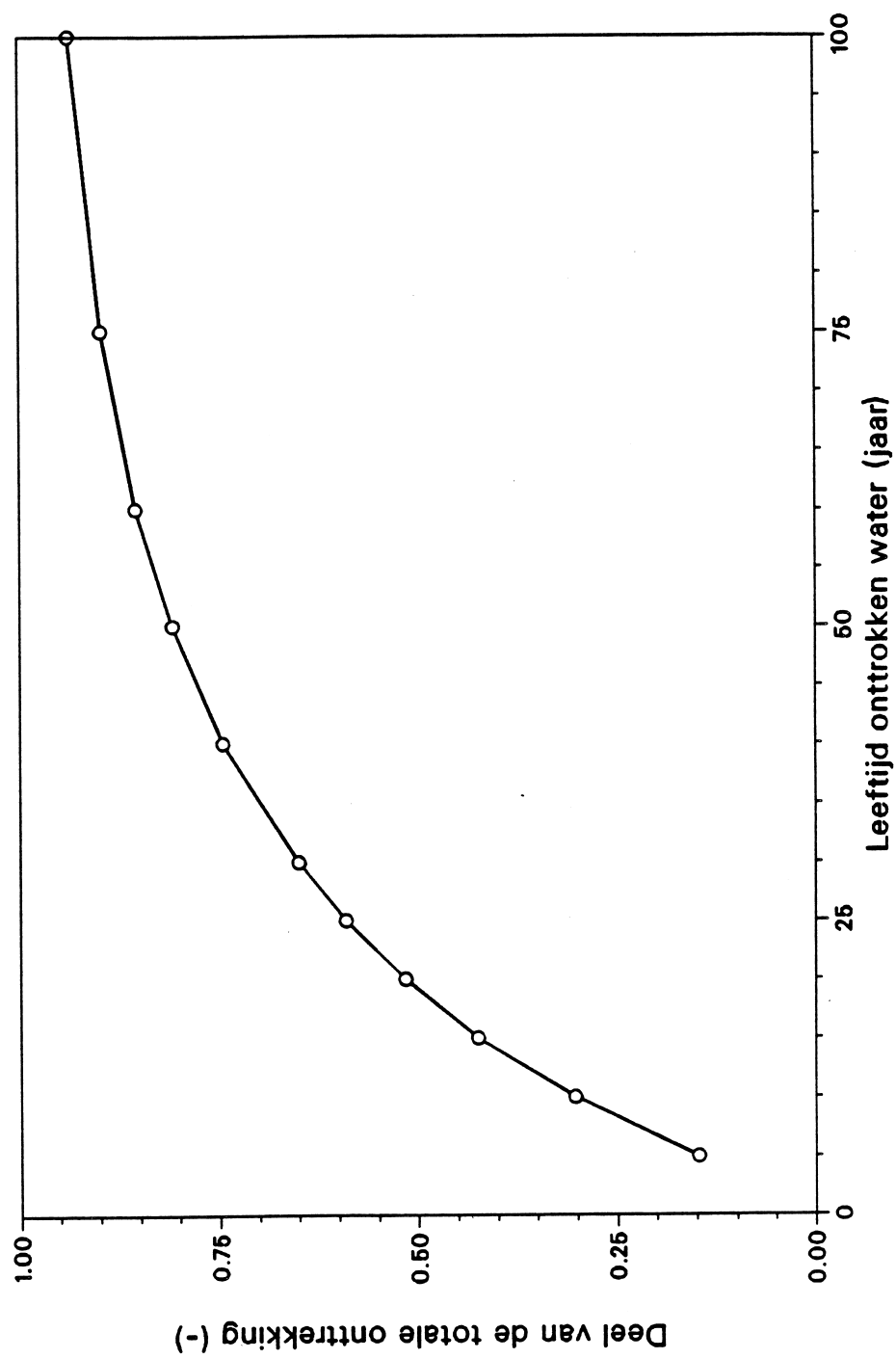
O = 10 jaar verblijftijd
Δ = 25 jaar verblijftijd
+ = 100 jaar verblijftijd

0 1 km

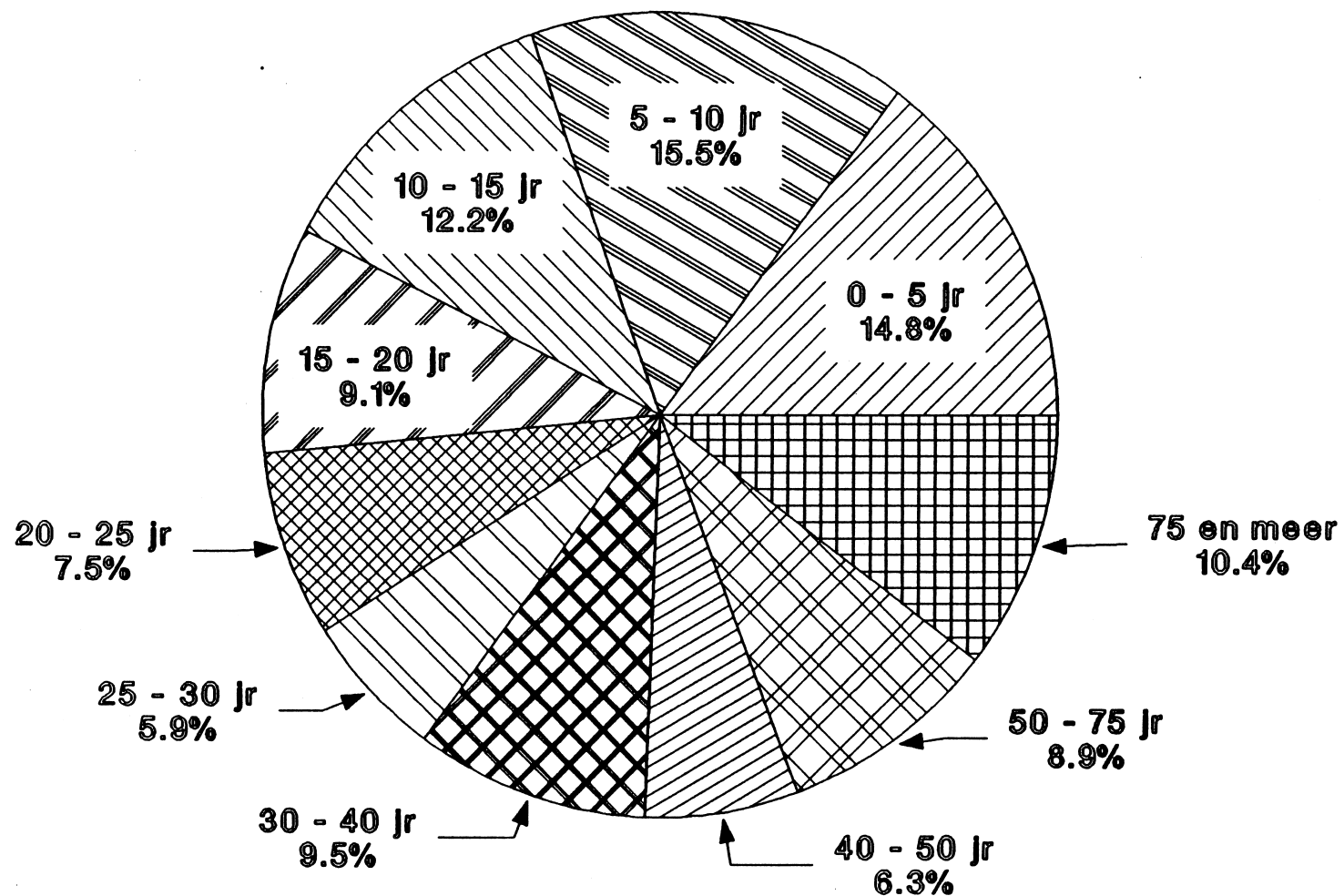


Figuur 6. Stromingsbeeld en beschermingsgebied pompstation Archemerberg.

Figuur 7. Respons-curve Archemerberg



**Figuur 8. Toestroming vanuit Intrekgebied
pompstation Archemerberg**



In het kader van het provinciaal grondwaterplan zal de provincie Overijssel een beschermingsgebied vast stellen. Wanneer we het berekende stromingsbeeld vergelijken met dit beschermingsgebied dan valt in eerste instantie op dat 21 procent van het beschermingsgebied buiten het berekende intrekgebied valt (figuur 9). De rest van het beschermingsgebied omvat 80 procent van het intrekgebied. Overigens is het meerendeel van deze 80 procent bos- en heidegebied. Van het water met een verblijftijd van 25 jaar of korter in de verzadigde zone is zo'n 97 procent binnen het beschermingsgebied geïnfiltrerd.

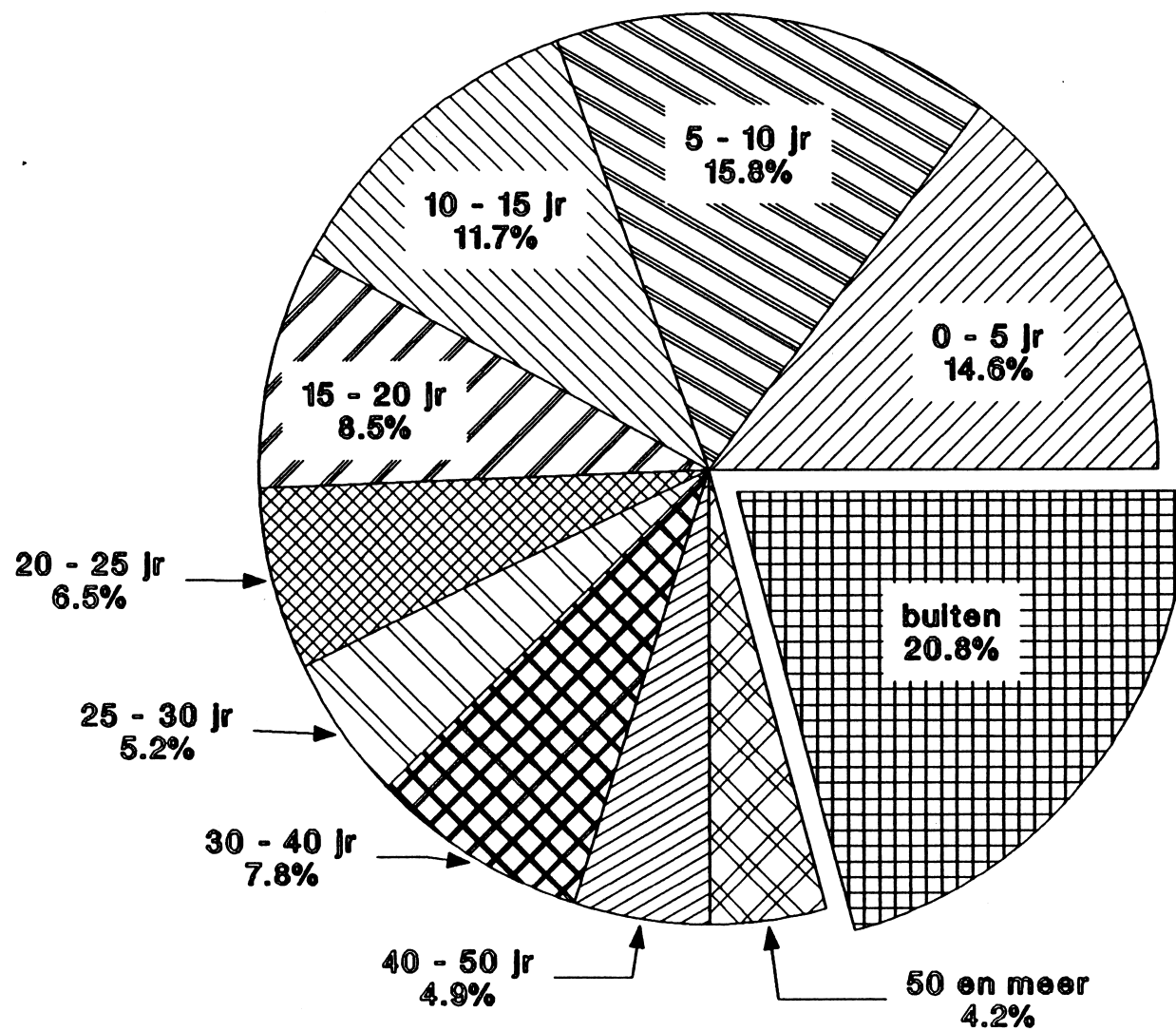
4.2 Vierlingsbeek

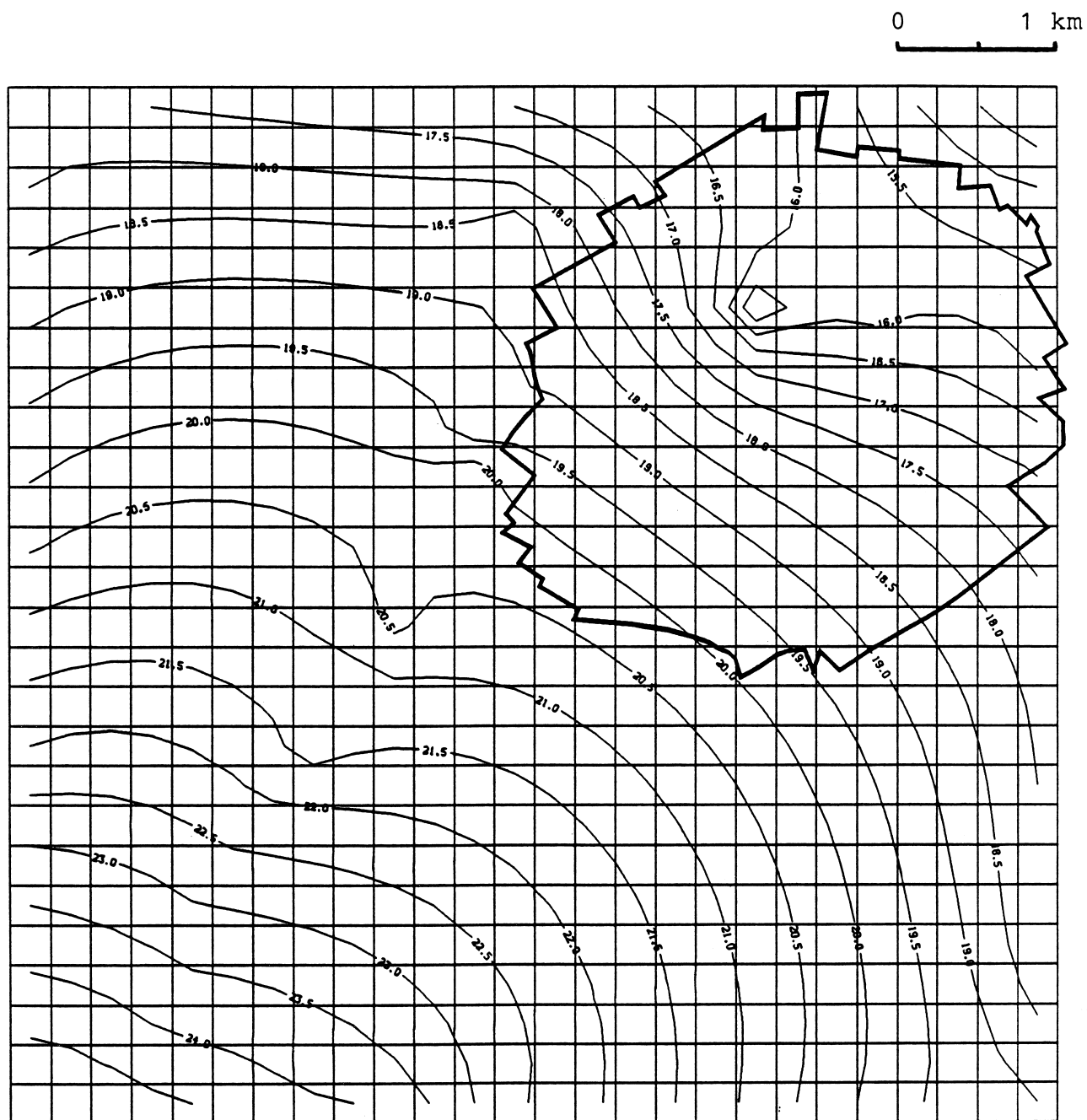
Ook voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van een geijkt model. Omdat er erg veel zaken niet bekend waren op het moment dat dit model is opgesteld (zelfs de K_D -waarde staat nog ter discussie) zal het model niet meer dan een redelijke indruk van de werkelijkheid geven. De gemeten grondwaterstanden beschrijven een voorjaarssituatie. Het berekende beeld (figuur 10) geeft duidelijk aan dat een hoeveelheid water wordt afgevoerd door de Lactariabeek. Deze drainagezone valt overigens juist buiten de beschermingszone. Volgens gegevens van de WOB neemt de drainage in de loop van het groeiseizoen af, en zal in de zomer tot nul gereduceerd zijn.

De onttrekking bedraagt 3 miljoen m^3 /jaar, verdeeld over een achttal putten. De voeding als gevolg van de neerslag is bepaald op 350 mm/jaar, waarvan 50 mm/jaar aan diepere lagen ten goede komt. Voor een twee-dimensionale berekening naar verblijftijden kan de voeding aan het beschouwde pakket derhalve op 300 mm/jaar gesteld worden. Het stromingsbeeld op basis van deze berekeningen is weergegeven in figuur 11. Wanneer voor de porositeit van het watervoerend pakket de waarde 0,30 wordt aangehouden kan een leeftijdsverdeling van het onttrokken water worden berekend.

Deze leeftijdsverdeling dient echter nog omgewerkt te worden naar de situatie met 350 mm/jaar voeding en 50 mm/jaar

**Figuur 9. Toestroming vanuit Beschermingsgebied
pompstation Archemerberg**

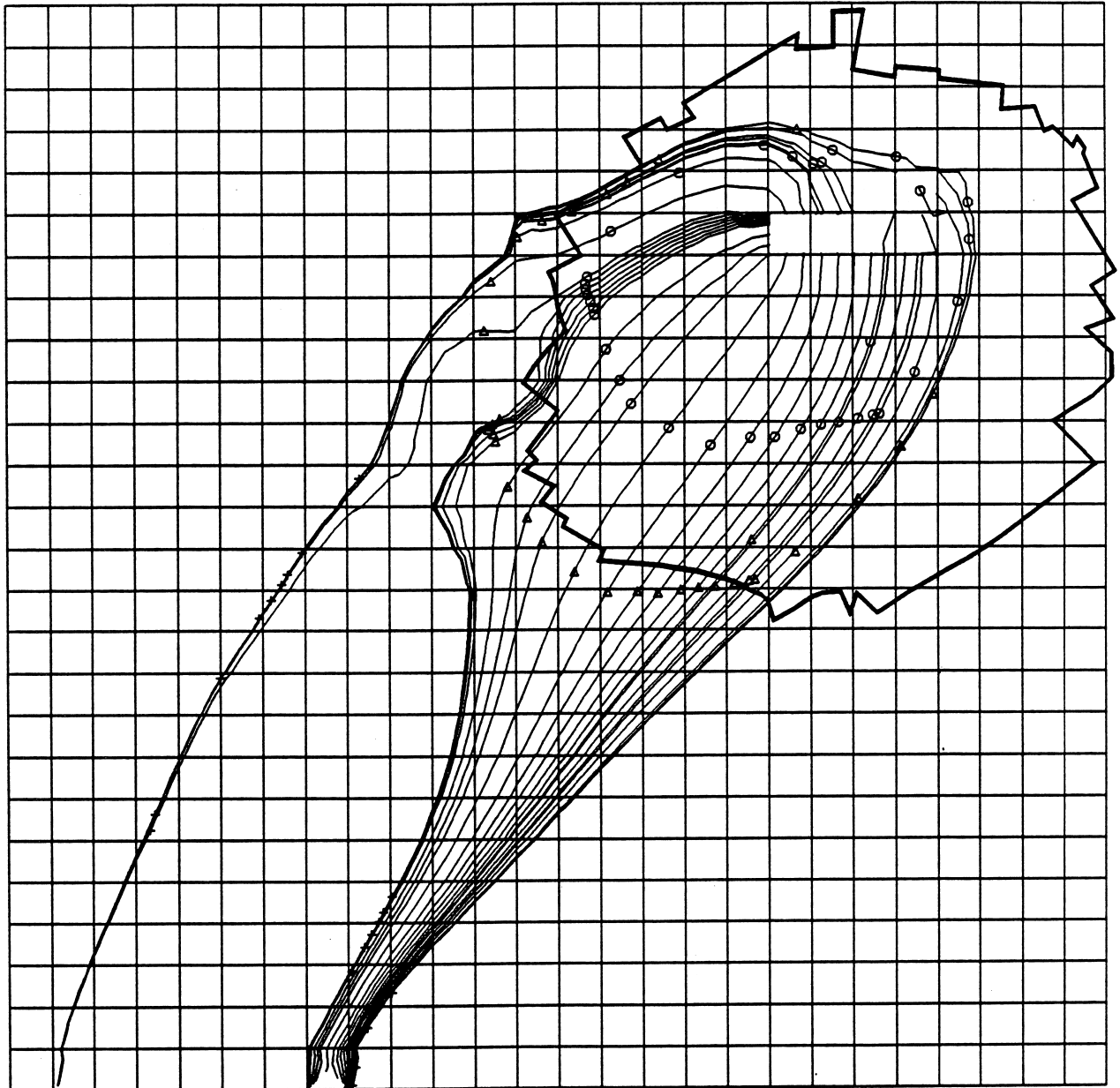




Figuur 10. Potentiaalbeeld en beschermingsgebied pompstation Vierlingsbeek.

○ = 10 jaar verblijftijd
△ = 25 jaar verblijftijd
+ = 100 jaar verblijftijd

0 1 km



Figuur 11. Stromingsbeeld en beschermingsgebied pompstation Vierlingsbeek.

wegzijing. Dit gaat als volgt:

Het stromingsbeeld wordt berekend uitgaande van een voeding van 300 mm/jaar, zodat potentialen en stromingssnelheden bij de gehanteerde 2-dimensionale schematisatie juist berekend worden. Het berekende intrekgebied is dan echter te groot. Voor de omvang van een intrekgebied geldt immers:

$$\text{oppervlakte} = \frac{\text{onttrekking}}{\text{voeding}}$$

(oppervlakte in m², onttrekking in m³/jaar, voeding in m/jaar)

Omdat de oppervlakte nu berekend is met een voeding van 300 mm/jaar, en de voeding 350 mm/jaar bedraagt, is het intrekgebied te groot berekend.

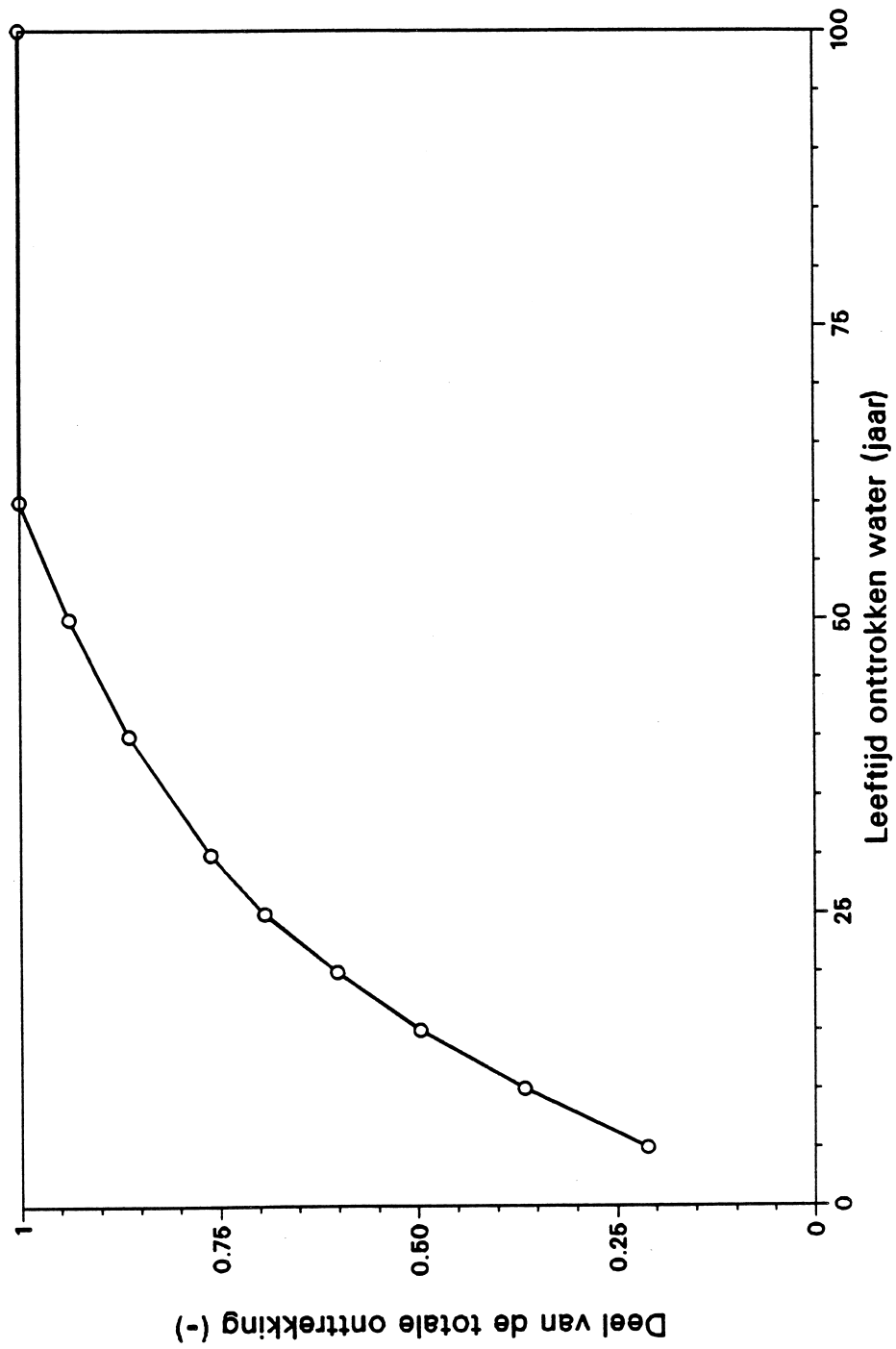
Wanneer we er van uit gaan dat de verticale snelheid op elke plaats even groot is, zal het oudste water zich op de grootste diepte bevinden, en wegzijgen naar diepere lagen. Dat betekent dat het uiteindelijke intrekgebied 300/350-ste deel van het berekende intrekgebied omvat, en wel het deel met de kleinste verblijftijden.

In concreto komt dit omwerken er op neer dat de berekende percentages met 350/300 vermenigvuldigd worden, en dat het water dat ouder is dan de leeftijd waarvoor nu 100 procent wordt berekend doorzigt naar diepere lagen. De uiteindelijke respons-kurve van het onttrokken water (voorjaarssituatie) is weergegeven in figuur 12.

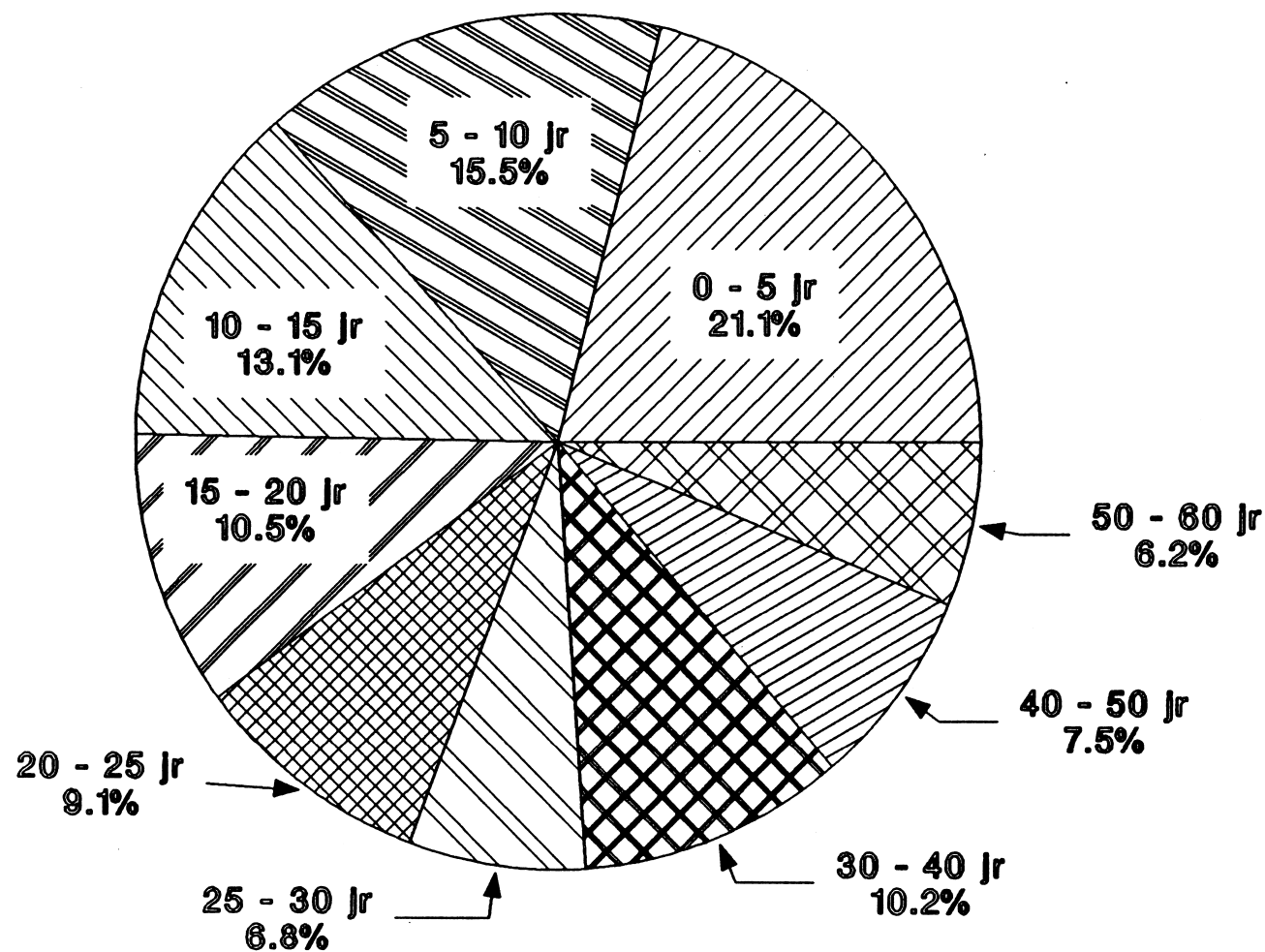
Het blijkt dat in de voorjaarssituatie 37 procent van het onttrokken water korter dan 10 jaar in de verzadigde zone verblijft en 70 procent korter dan 25 jaar. Op het pompstation wordt geen water onttrokken ouder dan 60 jaar (figuur 13).

Wanneer we het berekende stromingsbeeld vergelijken met het hier geldende beschermingsgebied dan blijkt dat 39 procent van het beschermingsgebied buiten het berekende intrekgebied valt. De rest van het beschermingsgebied omvat 64 procent van het intrekgebied (figuur 14). Van het water met een verblijftijd

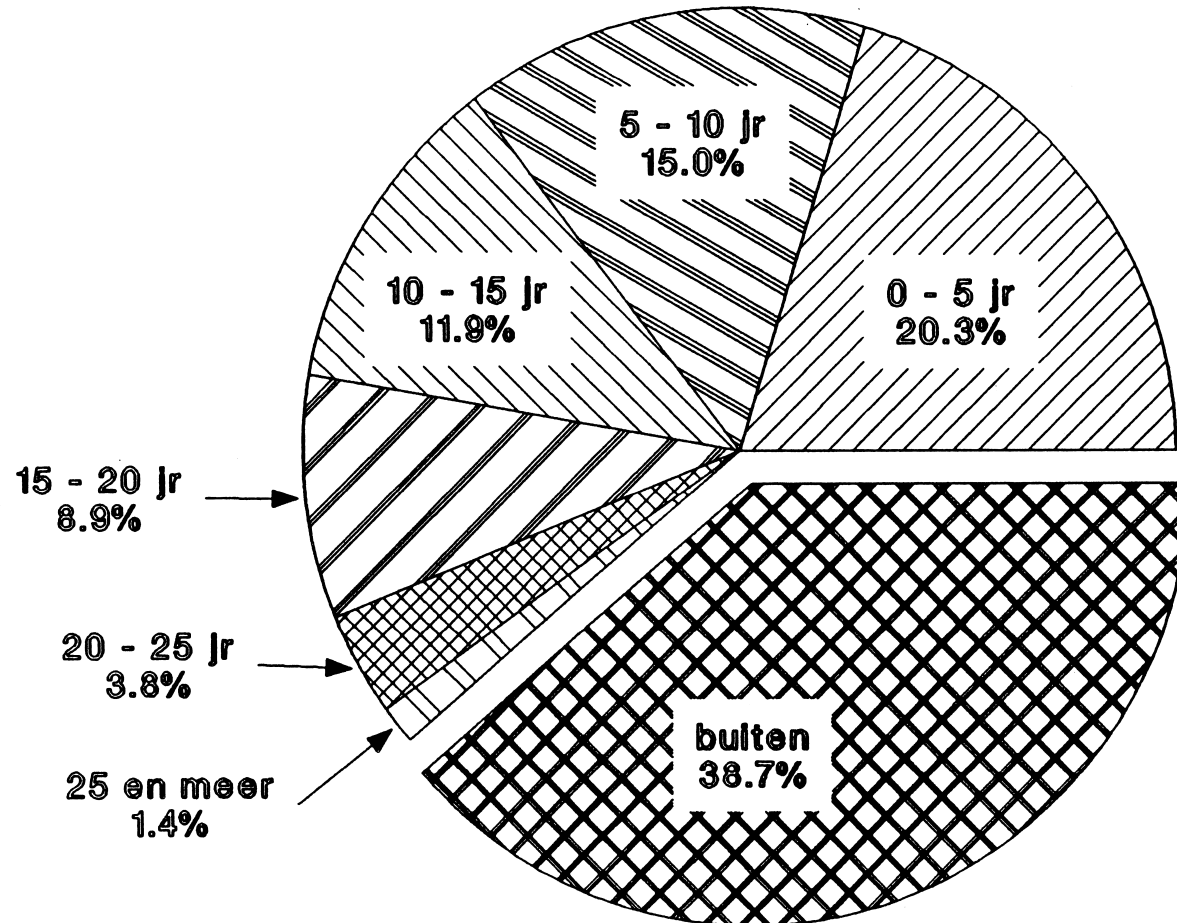
Figuur 12. Respons-kurve Vierlingsbeek



**Figuur 13. Toestroming vanuit Intrekgebied
pompstation Vierlingsbeek**



**Figuur 14. Toestroming vanuit Beschermingsgebied
pompstation Vierlingsbeek**



van 25 jaar of korter in de verzadigde zone is 89 procent binnen het beschermingsgebied geïnfiltreerd. Van het water met een langere verblijftijd is 5 procent binnen het beschermingsgebied geïnfiltreerd.

Nu geldt met name bij Vierlingsbeek dat het hydrologische inzicht het gevolg is van grondig geologisch en geochemisch onderzoek. Toen in 1983 het KIWA begon aan het onderzoek in Vierlingsbeek, gingen we uit van een watervoerend pakket met een ondoorlatende basis, een K_D -waarde van 1000 m²/dag, en een voeding van 225 mm/jaar (Verheijen, 1985). Om aan te geven hoe gevoelig de verblijftijdsberekening voor dergelijke variaties is, is in figuur 15 de responskurve nog eens vergeleken met de responskurve zoals die bij de oude schematisatie wordt berekend. De verschillen zijn aanzienlijk, waar bij de nieuwste schematisatie geen water wordt opgepompt ouder dan 60 jaar, omvat in de oude schematisatie de 60-jaarslijn ca. 70 procent van het onttrokken water. De overlap van beide intrekgebieden omvat 65 procent van het "oude" intrekgebied. Overigens is de hoeveelheid gegevens die ten tijde van de oude schematisatie bekend was representatiever voor de meeste pompstations in Nederland dan de nieuwe schematisatie.

5 EVALUATIE VAN DE BEREKENINGEN

Bij de hier gepresenteerde berekeningen blijkt dat de 25-jaars-verblijftijdszones overeen komen met 60 en 70 procent van het onttrokken water. Wanneer het beschermingsgebied direkt aan deze verblijftijdszones gekoppeld wordt, betekent dat in deze twee situaties dat zo'n 30 tot 40 procent van het intrekgebied niet beschermd zou zijn.

In de praktijk worden de grenzen van beschermingszones zo vastgesteld dat ze samen vallen met perceelsgrenzen. Bovendien wordt vaak enigszins rekening gehouden met onzekerheden in de berekening. In het geval Archemerberg leidt dit er toe dat 80 procent van het intrekgebied beschermd wordt. Bij Vierlingsbeek

is dit percentage 64 procent, waarschijnlijk omdat bij deze berekening andere waarden zijn gehanteerd voor met name de doorlatendheid en de nuttige neerslag.

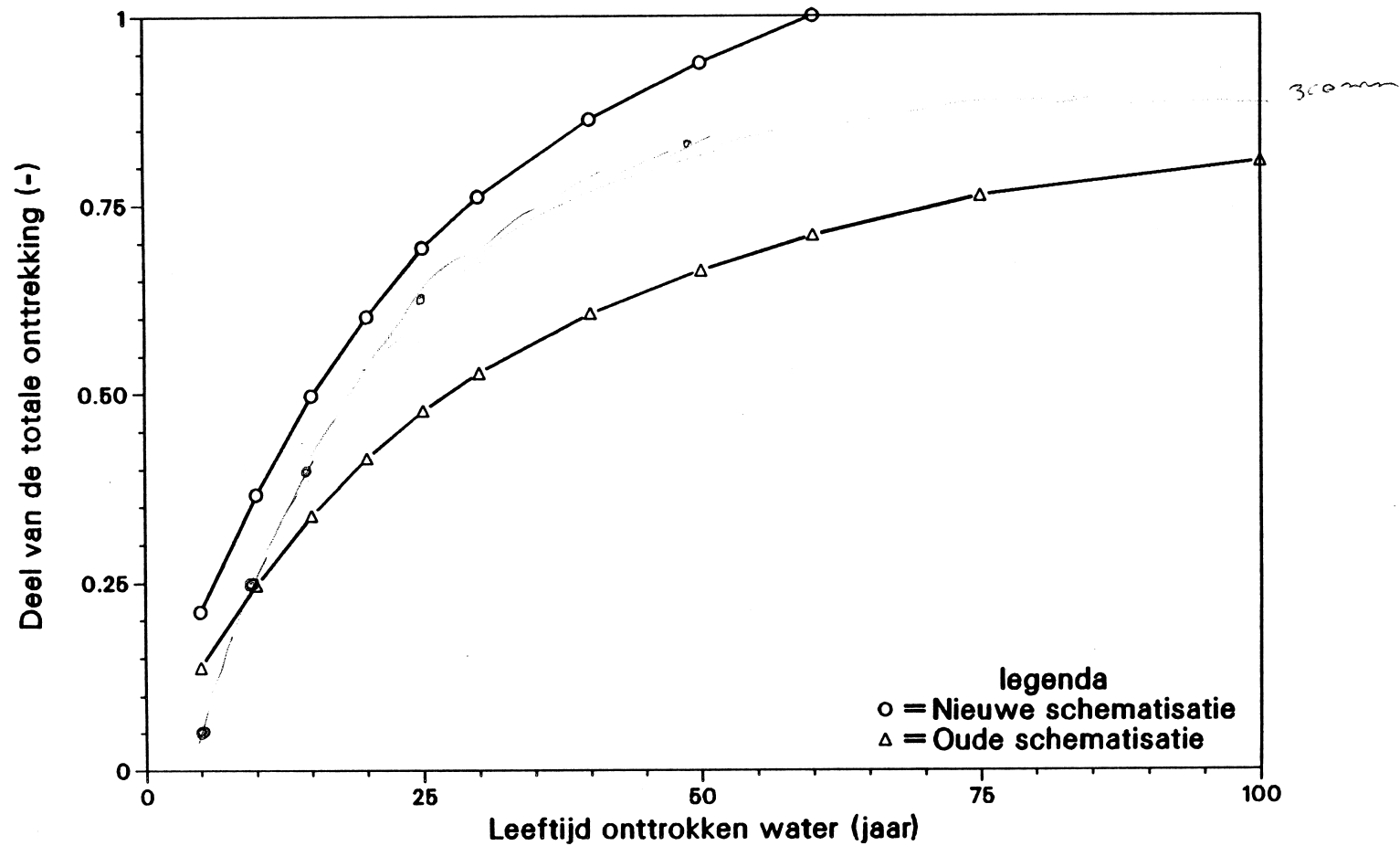
Bovendien blijkt dat aanzienlijke oppervlakten beschermd worden die buiten het intrekgebied vallen. In het geval Archemerberg bedraagt dit aandeel 21 procent van de beschermingszone, bij Vierlingsbeek zelfs 39 procent. Het is echter niet zonder meer zo dat deze gebieden ten onrechte beschermd worden. Ten eerste is ook bij deze berekeningen naar het intrekgebied gebruik gemaakt van een schematisatie die volgens de laatste inzichten juist is. Een schematisatie blijft echter een benadering van de werkelijkheid die in ons geval ook nog eens moeilijk controleerbaar is. Het is daarom ook niet op voorhand duidelijk dat deze schematisatie echt beter is dan de berekeningen die aan de beschermingszones ten grondslag liggen. Bovendien is een intrekgebied geen stationair gegeven, maar een van dag tot dag wisselend gebied, afhankelijk van neerslag, oppervlaktewater en onttrekking. Het zal daarom niet mogelijk zijn om een intrekgebied volledig korrekt te bepalen.

Dit laatste betekent derhalve dat de tot dusver uitgevoerde berekeningen slechts opgevat kunnen worden als een vergelijking van de beschermingszones met de meest recente hydrologische gegevens.

Hoe groot de verschillen kunnen zijn wanneer de hydrologische parameters niet helemaal juist worden bepaald blijkt uit figuur 15. De effectiviteit van beschermende maatregelen wordt blijkbaar niet alleen bepaald door de keuze om verblijftijdszones te beschermen, dan wel een bepaald deel van het intrekgebied, maar ook door de juistheid van de parameters, het inzicht in het hydrologisch systeem en de wijze waarop de rekenmethoden dit systeem beschrijven.

Haaks op dit inzicht staat het streven om de berekeningen naar de omvang en ligging van beschermingszones ook in praktijksituaties vast te stellen met "zo eenvoudig mogelijke formules". Omdat elke niet strikt noodzakelijke schematisatie onnodig afbreuk doet aan de effectiviteit van een beschermingsgebied moet vermeden worden dat er al te gemakkelijk

Figuur 15. Respons-kurven Vierlingsbeek



voor standaardoplossingen wordt gekozen. Ook het feit dat er in veel situaties de gegevens ontbreken of van onvoldoende kwaliteit zijn om complexere methoden toe te passen is een oneigenlijk argument om eenvoudige methoden te verdedigen. Dit euvel is te verhelpen door het uitvoeren metingen, pomp- en slootproeven. De prioriteitstelling tussen het veilig stellen het grondwater als grondstof voor de drinkwatervoorziening en het minimaliseren van het aantal metingen valt echter nog eens in het voordeel van de laatste doelstelling uit.

Juist in de komende tijd van evaluatie van de eerste generatie beschermingsgebieden dient veel aandacht geschonken te worden aan studies naar de effectiviteit van beschermingszones onder praktijkomstandigheden. Dat vraagt van de overheid een beleid dat gebaseerd is op deskundigheid, en het stimuleren van onderzoek. Het vraagt van waterleidingbedrijven visie om zich te richten op de ontwikkeling van de kwaliteit van het te onttrekken grondwater op langere termijn. En het vraagt van onderzoeksinstellingen de bereidheid om de kennis te delen met bedrijven en overheid, en om het onderzoek niet te richten op wetenschappelijke verfijningen, maar op het doelgericht bepalen van de effectiviteit van het huidige en toekomstige beleid.

Kortom, meten en het verbreiden van kennis is een veel doelmatiger methode om te komen tot een effectieve bescherming dan het opnieuw genoeg nemen met ontbrekende gegevens.

6 HOE NU VERDER?

De meest effectieve bescherming van waterwingebieden is bescherming van het hele intrekgebied. Nog afgezien van de vraag of dit ook de meest efficiënte wijze van bescherming is, dient nadrukkelijk gesteld te worden dat het op dit moment voor verreweg de meeste pompstations niet mogelijk is het intrekgebied vast te stellen. Zelfs met de nodige aanvullende metingen zal het nooit mogelijk zijn om een dynamisch systeem volledig te beschrijven. De hier gepresenteerde berekeningen lijken er op te wijzen dat voor freatische winningen het gebied

waar 60 à 70 procent van het onttrokken water infiltreert vrij aardig te bepalen is, maar dat pogingen om een hoger percentage te bepalen erg afhankelijk worden van de kwaliteit van metingen en inzichten in het hydrologisch systeem.

Ditzelfde geldt voor een 25-jaarsbeschermingszone: wanneer deze buiten het 60 à 70 procent-gebied komt, mogen vraagtekens gezet worden bij de mate van nauwkeurigheid. Nog afgezien van het feit dat de 25-jaarszone de ene keer het hele intrekgebied omvat, en in andere situaties slechts een minieme fraktie, en dan geen bescherming biedt tegen diffuse verontreinigingsbronnen, betekent het bovengestelde dat de 25-jaarsbeschermingszone beslist geen 25 jaar probleemloos water winnen garandeert.

Bescherming op basis van een deel van het intrekgebied speelt beter in op hydrologische mogelijkheden, en maakt dat de bescherming van de winningen tegen diffuse verontreinigingen op alle winningen op ongeveer hetzelfde niveau komt te liggen.

7 LITERATUUR

- Boukes, H., BOUFLO, een stromingsprogramma aan de hand van balansen, H2O (23) 1989, nr. 3, pg. 74 - 77.
- Hettinga, F.A.M., Beschrijving van de winningen, hoofdstuk 2 uit KIWA Mededeling 99: Landbouw en Drinkwatervoorziening, KIWA, 1987.
- Geologische Kaart van Nederland, Emmen Oost, Rijks Geologische Dienst, 1979.
- IWACO, Winplaatsonderzoek Archemerberg, N.V. Waterleiding-maatschappij "Overijssel", 1981.

- MacDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model, U.S. Geological Survey, 1984.
- Pool M.A., Onderzoek naar FeS en FeS₂ voorkomens in het (1e) watervoerende pakket van het onttrekkingsgebied bij het pompstation Vierlingsbeek, Rapport nr BP 10559, Rijks Geologische Dienst, 1986.
- Verheijen, L.A.H.M., Ontwikkeling van de nitraatconcentratie van het grondwater in de omgeving van het pompstation Vierlingsbeek (WOB), KIWA, SWE-84.015, 1985.

**Mogelijkheden en beperkingen van het computer-
programma FLOPZN voor berekening van stroom-
banen en verblijftijden van een grondwaterwinning
in een meerlagen systeem**

**Ir. J.H.C. Mülschlegel
RIVM Bilthoven**

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Bilthoven

Rapportnummer 728474001

Mogelijkheden en beperkingen
van het computerprogramma
FLOPZN bij bepaling van het
intrekgebied van een
grondwaterwinning in een
meerlagensysteem

J.H.C.Mülschlegel

7 oktober 1988

Dit deelonderzoek is uitgevoerd op verzoek van de Werkgroep Grondwater van de Technische Commissie Bodembescherming in het kader van het Raamproject Bescherming van het RIVM.

Inhoud

<u>Hfdst.</u>	<u>Titel.</u>	<u>Blz.</u>
	Samenvatting	2
1	INLEIDING	3
2	METHODIEK	5
3	BEREKENINGEN	7
3.1	Programmatuur	7
3.2	Gegevens	9
3.3	Resultaten	17
4	CONCLUSIES	21
5	LITERATUUR	22
	Bijlagen	24

Samenvatting

Op verzoek van de Werkgroep Grondwater van de Technische Commissie Bodembescherming is een technische bijdrage geleverd in het kader van haar discussie met betrekking tot aangepaste of nieuwe grondslagen voor bepaling van beschermingsgebieden rond grondwaterwinningen ten behoeve van de openbare watervoorziening.

Deze bijdrage omvat de bepaling van stroombanen, verblijftijden en het intrekgebied voor een grondwaterwinning in een zogeheten meerlagensysteem met behulp van het computerprogramma FLOPZN.

Er is een gevoeligheidsanalyse toegepast voor de waarden van bodemparameters, het debiet van de winning, het stijghoogteverschil over een slechtdoorlatende laag en het verhang van het grondwater in de diverse watervoerende pakketten onder ongestoorde omstandigheden.

Uit de resultaten van de berekeningen valt op te maken, dat het intrekgebied van het beschouwde systeem zeer groot is. In veel gevallen zal dan niet meer aan de gestelde uitgangspunten worden voldaan, zodat het af te raden is het programma FLOPZN te gebruiken bij de bepaling van een intrekgebied van een diepe winning in een meerlagensysteem.

Ook valt aan de resultaten te ontleen, dat de omvang van het intrekgebied in belangrijke mate wordt bepaald door de winningsdiepte binnen het geohydrologisch systeem, het debiet van de winning en het verhang van de natuurlijke grondwaterstroming.

Eén van de indirecte resultaten van de berekeningen is een zogeheten responscurve. Een dergelijke curve geeft snel een indruk van het karakter van een winplaats met betrekking tot de tijden die grondwaterdeeltjes in de verzadigde zone onderweg zijn. De winningsdiepte blijkt doorslaggevend te zijn voor de verdeling van de reistijden van de grondwaterdeeltjes.

1. INLEIDING

Om de kwaliteit van grondwater als milieucomponent zo goed mogelijk te kunnen waarborgen is het onder meer van belang de stroombanen en verblijftijden van het grondwater te kennen, of anders gezegd waar komt het grondwater dat op een winplaats wordt gewonnen vandaan en hoe lang is het onderweg nadat het in het verzadigd grondwatersysteem is opgenomen.

Uit een inventarisatie van activiteiten in de intrekgebieden volgt informatie inzake (potentiële) bedreigingen voor de grondwaterkwaliteit. Deze gegevens, tezamen met het inzicht in stroomlijnen en verblijftijden, vormen bouwstenen voor het beschermingsbeleid in Nederland.

Meer in concreto worden beide typen informatie reeds gebruikt bij het praktisch beschermingsbeleid mbt. de grondwaterwinning door de openbare watervoorziening.

De beschermingszones van de grondwaterwinplaatsen voor de openbare drinkwatervoorziening worden tot op heden veelal bepaald volgens de "Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming van waterwingebieden", opgesteld door de Commissie Bescherming Waterwingebieden (literatuur 1). Volgens deze richtlijnen worden de beschermingszones bepaald uit de reistijden van waterdeeltjes tot aan de filters van de grondwaterwinningsmiddelen. Hierbij wordt alleen de twee-dimensionale horizontale grondwaterstroming in het watervoerende pakket als gevolg van de onttrekking in beschouwing genomen. Daarnaast wordt veelal rekening gehouden met een horizontaal gerichte snelheidscomponent van de natuurlijke grondwaterstroming. Een beschermingszone wordt vervolgens bepaald door de verzameling van punten met een bepaalde reistijd tot aan de pompfilters te projékteren op een horizontaal vlak c.q. het maaiveld.

Op grond van de Wet bodembescherming dienen de provincies voor 1 januari 1989 een grondwaterbeschermingsplan op te stellen. Het

uitgangspunt van deze wetgeving is het handhaven van de multifunctionaliteit van de bodem, dat wil zeggen een algemeen beschermingsniveau van bodem en grondwater. In specifieke gevallen, waaronder grondwater ten behoeve van de openbare watervoorziening, kan een aanvullende bescherming nodig zijn. In het genoemde provinciale plan dienen die gebieden te worden aangegeven waarbinnen het grondwater een bijzondere bescherming behoeft.

In opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) is in 1986 het raamproject Bescherming van Waterwingebieden geformuleerd en aangevangen. Dit project heeft als doel het scheppen van een technisch wetenschappelijk kader voor het initiëren, coördineren, volgen en evalueren van onderzoek dat van belang is voor de bescherming van waterwingebieden. Het deelproject Stroombanen en Verblijftijden (projectnummer 728520) -een onderdeel van het raamproject- heeft tot doel berekeningsmethoden te ontwikkelen voor de onderbouwing van het beschermingsbeleid.

Vanuit die optiek is door het Laboratorium voor Bodem- en Grondwateronderzoek van het RIVM een technische bijdrage geleverd aan de werkzaamheden van de Werkgroep Grondwater van de Technische Commissie Bodembescherming. Deze bijdrage bestond uit het berekenen van stroombanen en verblijftijden en de bepaling van het intrekgebied van een gefingeerde winplaats in een geohydrologisch systeem met meerdere watervoerende pakketten.

Daarbij is de nodige aandacht besteed aan de gevoeligheid van resultaten voor de waarden van bodemparameters, ed.

Daarnaast wordt inzicht gegeven in de verblijftijd van het grondwater in de bodem voordat het wordt opgepompt op de winplaats.

2. METHODIEK

Eind 1985 heeft de Technische Commissie Bodembescherming (TCB; toen nog Voorlopige Technische Commissie-VTCB) het rapport "Advies berekeningsgrondslag grondwaterbeschermingsgebieden" uitgebracht (literatuur 2).

De commissie stelt voor om in de op te stellen provinciale beschermingsplannen uit te gaan van een zonering gebaseerd op verblijftijdcategorieën. Tevens is het wenselijk om rekening te houden met de verticale snelheidscomponent van de natuurlijke grondwaterstroming en de verblijftijd in als relevant te kenmerken slechtdoorlatende lagen.

De betreffende (klei)lagen moeten binnen het beschouwde gebied rond de winplaats aaneengesloten aanwezig zijn.

Van deze benadering zijn enkele recente toepassingen te noemen. Het RIVM heeft bijvoorbeeld in de periode 1987-1988, in opdracht van het provinciaal bestuur, voor een groot aantal winplaatsen in de provincie Noord-Brabant en enkele winplaatsen in België, gelegen nabij de rijksgrens, verblijftijdberekeningen uitgevoerd (literatuur 3 en 4). Op grond van de berekeningsresultaten daarvan heeft het provinciaal bestuur, beschermingszones vasd.

Voor de lange termijn beveelt de TCB aan de bescherming van grondwater te bewerkstelligen door middel van een op intrekgebieden gerichte benadering, waarbij wordt uitgegaan van de bescherming van een nader te bepalen gedeelte van het onttrokken grondwater.

Daarbij is het intrekgebied gedefinieerd als globaal dat deel van de bodem, dat wordt omsloten door de buitenste stroomlijnen die nog juist door de winningsmiddelen worden ingevangen.

Om een indruk te krijgen van de praktische bruikbaarheid van deze aanbeveling van de commissie is gekozen voor de volgende praktische, rekenmatige benadering.

Als de k -waarde (doorlatendheid) constant is over de gehele lengte van het pompfilter levert elke eenheid van lengte van het pompfilter

een gelijke bijdrage aan het totale debiet dat wordt opgepompt.

In deze studie is het pompfilter verdeeld in vijf trajecten van gelijke lengte, die dus elk 20% van het totale debiet leveren. Door aan de onder en bovenzijde van deze vijf trajecten

Bij de onderhavige vraagstelling is het vooralsnog om rekentechnische redenen gebruikelijk de stroombanen te laten vertrekken vanaf het pompfilter, dat wil zeggen tegen de werkelijke stroomrichting in te rekenen. Uiteindelijk zullen de stroomlijnen alle het maaiveld bereiken, het niveau waar ze in werkelijkheid hun reis naar de winningsmiddelen beginnen.

Door nu aan de onder en bovenzijde van elk van de vijf filtertrajecten stroombanen te laten vertrekken kunnen de uiterste locaties worden bepaald van grondwaterdeeltjes die vanaf maaiveld uiteindelijk het betreffende filtertraject bereiken.

Om isolijnen te kunnen bepalen is een voldoende aantal snijpunten nodig van stroombanen, die op één bepaald niveau op het filter zijn gestart, met het z-vlak waarin het intrekgebied wordt bepaald.

Een isolijn is in deze studie bepaald door tussen punten, waarvan x en y bekend zijn, een driehoekig netwerk te genereren, zodanig dat die punten de knooppunten van het netwerk vormen. De gezochte isolijnen zijn bepaald door middel van lineaire interpolatie in dit netwerk.

Vanuit de tussen twee isolijnen gelegen zone van het intrekgebied is nu 20% van het debiet van de winning afkomstig.

3. BEREKENINGEN

3.1. Programmatuur

Voor de bodemopbouw ter plaatse van de gefingeerde winplaats is uitgegaan van een meerlagensysteem. Bij voor de berekeningen van de stroombanen en de verblijftijden gebruik gemaakt van het door het RIVM ontwikkelde computerprogramma FLOPZN (zie literatuur 6). Met het programma FLOPZN kunnen stroombanen en verblijftijden worden bepaald voor een stationaire situatie inakket met semin semi-spanningswater. De rekentechniek van dit programma is in principe dezelfde als die welke ten grondslag ligt aan de reeds langer bestaande FLOP-programma's. Een beschrijving van die techniek is te vinden in literatuur 5. In literatuur 6 zijn mathematische grondslagen van FLOPZN nader beschreven.

Voor wat betreft de rekenmogelijkheden wijkt FLOPZN in zoverre af van oudere versies van FLOP, dat met dit programma stroombanen en verblijftijden kunnen worden berekend in maximaal 10 watervoerende pakketten met semi-spanningswater, onderling gescheiden door semipermeabele lagen. Elk watervoerend pakket kan op zijn beurt zijn onderverdeeld in een aantal (maximaal 10) sublagen met afwijkende doorlatendheidscoëfficiënten. In elk pakket kunnen onttrekkingen worden geplaatst door middel van volkomen pompfilters, hetgeen wil zeggen dat de pompfilters worden geacht te zijn gesteld over de gehele dikte van het watervoerende pakket. Het debiet wordt in het geval van een uit verschillende sublagen bestaand watervoerend pakket verdeeld naar rato van de doorlatendheidscoëfficiënten van de afzonderlijke lagen. Elke watervoerende (sub-)laag is zowel in horizontale als in verticale zin homogeen van opbouw. Het stromingsbeeld is stationair. In semipermeabele lagen treedt alleen verticale stroming op.

Een andere essentiële uitbreiding van FLOPZN ten opzichte van oudere

FLOP-programmatuur is, dat ook de verticale snelheidscomponent in de berekeningen wordt betrokken. Hiervoor is gebruik gemaakt van het gestelde in literatuur 7 en 8 en van een door Bruggeman (interne RID notitie, 1976) ontwikkelde benaderende oplossing. De methode gaat er vanuit dat de Dupuit-Forchheimer aanname blijft gelden, dat wil zeggen dat overal in de z-richting in het watervoerende pakket de stijghoogte gelijk is en de verticale stroming niet beïnvloed wordt door weerstand. De horizontale stromingscomponent in een watervoerendpakket is, in de verticaal gezien, dan ook constant. De grootte van de verticale snelheidscomponent v volgt dan uit de continuïteitsoverwegingen. Voor een pakket met een constante dikte D en een voedingsflux q op een diepte z geldt dan:

$$v = (q * z) / D$$

Daarbij is de voeding q de som van de voeding door de slechtdoorlatende laag tengevolge van de natuurlijke afstroming en tengevolge van een eventueel aanwezige grondwaterwinning.

Tenslotte wijkt ook de wijze waarop de natuurlijke grondwaterstroming wordt meegenomen af van wat in de oudere FLOP programma's gebruikelijk was. In FLOPZN dienen namelijk bovenstrooms en benedenstrooms van het gebied, waar inzicht in stroombanen en verblijftijden gewenst is, in alle te modelleren watervoerende pakketten stijghoogten te worden opgegeven.

Deze referentiestijghoogten zijn "randvoorwaarden" (niet te verwarren met de randvoorwaarden van een numeriek model) op basis waarvan de regionale grondwaterstroming wordt berekend. Lijnen door de punten waarin de referentiestijghoogten zijn opgegeven, loodrecht op de richting van de natuurlijke grondwaterstroming, begrenzen het "rekengebied". Buiten de aldus begrensde strook kunnen de gebruikte functies, waarmee het natuurlijke stromingspatroon tussen de referentiestijghoogten wordt berekend, niet worden beheerst, waardoor ze ongecontroleerde waarden kunnen gaan opleveren. Als gevolg hiervan is het stromingspatroon buiten dit gebied niet juist. Deze randvoorwaarden hebben evenwel geen betrekking op de verlagingen van de potentiaal ten gevolge van een onttrekking. Voor dat geval liggen de (echte) randvoorwaarden op oneindig.

De natuurlijke grondwaterstroming moet in alle pakketten dezelfde richting hebben; de gradiënten mogen echter wel verschillend zijn.

Aan de bovenkant van het model moet een peil worden opgegeven dat lineair in de richting van de natuurlijke grondwaterstroming mag verlopen.

Omdat ook FLOPZN volgens het superpositiebeginsel werkt moeten voor deze referentiestijghoogten/-peilen waarden worden gebruikt die zouden voorkomen in de situatie zonder de door te rekenen onttrekking, de zogenoemde nulsituatie. Het door de te beschouwen winning veroorzaakte snelheidsveld en het snelheidsveld van de natuurlijke grondwaterstroming worden op elkaar gesuperponeerd tot één stromingssituatie met zowel horizontale als verticale snelheidscomponenten in watervoerende pakketten en alleen verticale componenten in semipermeabele lagen.

3.2. Gegevens

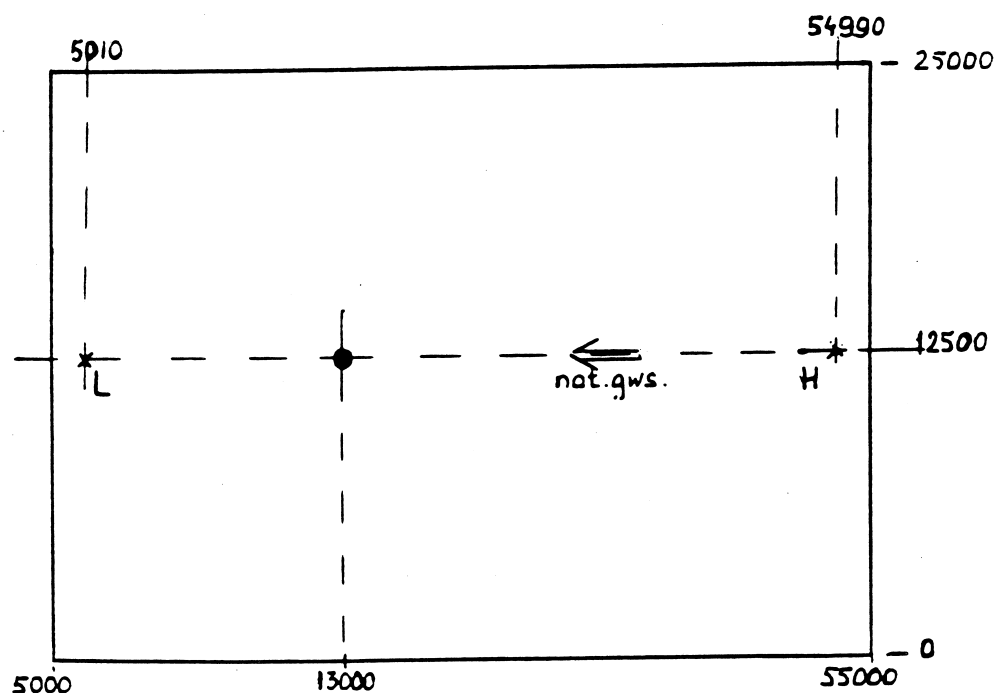
Het studiegebied is aangegeven in figuur 1. Het gebied is 50000 meter lang en 25000 meter breed gekozen.

De richting van de natuurlijke grondwaterstroming is eveneens in die figuur aangegeven.

Tevens is de locatie van de gefingeerde grondwaterwinning aangegeven, evenals de bovenstrooms (H) en benedenstrooms (L) van de winning gekozen referentie punten, die nabij de gebiedsgrenzen (in x-richting) zijn gelegen.

De gekozen ondergrond bestaat uit een systeem van watervoerende pakketten en semi-permeabele lagen. Uitgangspunt daarbij is geweest dat sprake moet zijn van een meerlagensysteem. Als eenvoudigste systeem is daarom aangehouden een zogenoemd twee-lagen systeem.

De gebruikte gegevens voor de berekeningen zijn als volgt gekozen. Onderscheid is gemaakt in varianten voor de waarden van de bodemparameters.



Figuur 1. studiegebied

Gebruik is hierbij gemaakt van kennis opgedaan bij de in de afgelopen jaren door het RIVM en derden uitgevoerde regionaal geohydrologische studies in de provincie Noord-Brabant.

De geohydrologische schematisatie van de ondergrond is aangegeven in figuren 2 en 3.

Bij de figuren 2 en 3 moet het volgende worden opgemerkt.

Indien wordt uitgegaan van een ondoorlatende basis van het geohydrologisch systeem zal, omdat in het programma onder de laagst gelegen c-laag een stijghoogte nul wordt aangehouden, de c-waarde zeer groot moeten worden gekozen. De dikte van deze laag kan een willekeurige, niet zeer kleine waarde hebben.

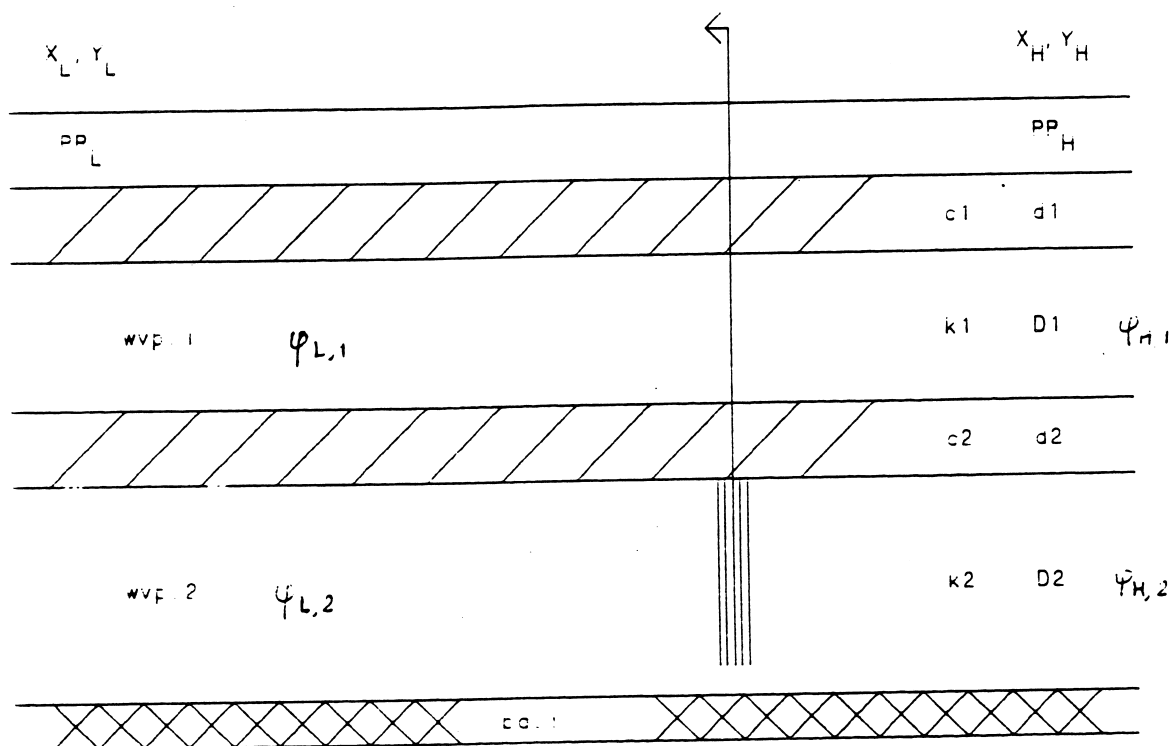
In de c-waarde van de aan de bovenzijde van het systeem aangehouden semi-permeabele laag is de zogeheten drainageweerstand opgenomen. De dikte van deze bovenste laag is in principe willekeurig te kiezen indien slechts tot aan de onderzijde van deze laag wordt gerekend.

Enkele voor alle berekeningen gehanteerde waarden en uitgangspunten zijn niet in de schema's aangegeven. Dit betreft de waarden voor de weerstand (c-basis) en de dikte (d-basis) van de basis van het hydrologische systeem, de dikte van de afdekkende slecht doorlatende laag en de effectieve porositeiten van zowel de watervoerende pakketten als de semipermeabele lagen. De gehanteerde waarden zijn respectievelijk $c(\text{basis})=10$ miljard dagen, $d(\text{basis})=10$ meter, $d=0,2$ meter, $n_z=0,3$ en $n_k=0,25$.

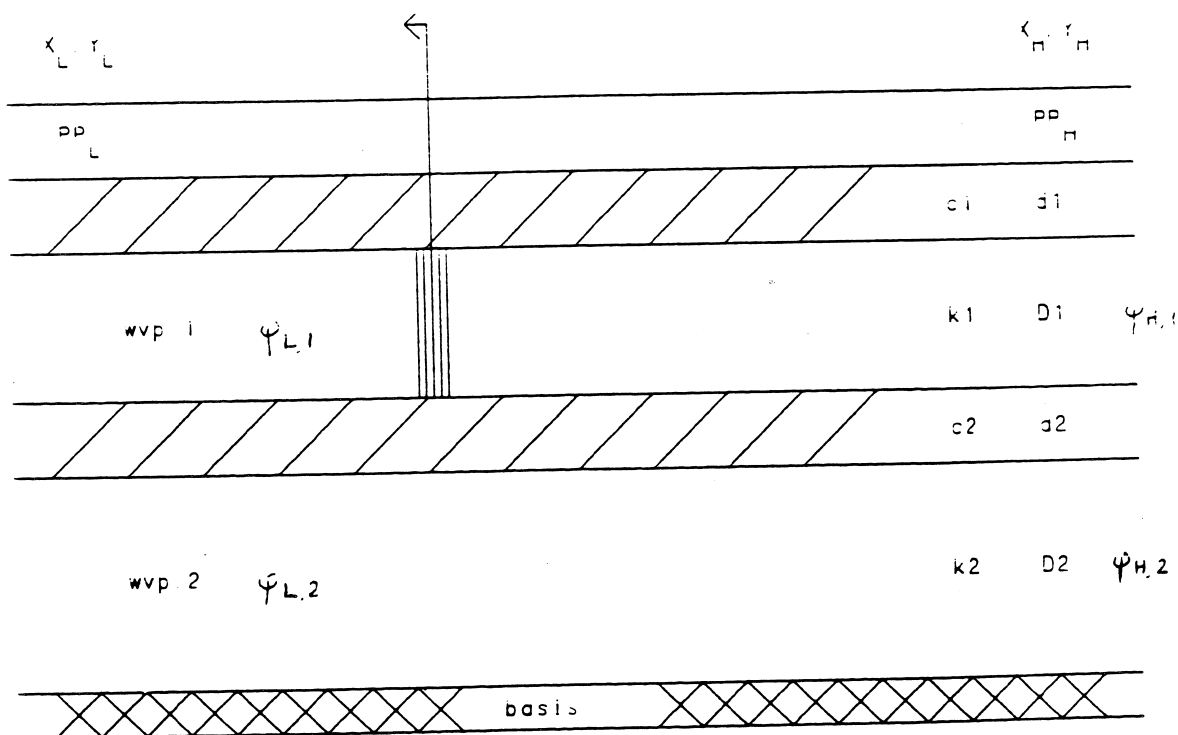
De beschouwde grondwaterwinning vindt plaats door middel van één pompput in het diepste van de twee watervoerende pakketten (scenario A). Bij de berekeningen is onderscheid gemaakt in onttrekkingshoeveelheden van 2.5 , 5 en 10 miljoen m³/jaar.

Naast scenario A (figuur 2) is ook aandacht besteed aan een scenario B (figuur 3). In dat scenario is het winningsfilter in het bovenste van de twee watervoerende pakketten gesitueerd.

Aangenomen is dat binnen het invloedsgebied van de gekozen winning geen watergangen voorkomen die als voedende grens fungeren. De aanwezige waterlopen zijn via de drainageweerstand verwerkt in de waarde van c_1 .



Figuur 2: schema voor winplaats met winning in w.v.p. 2 (scenario A)



Figuur 3: schema voor winplaats met winning in w.v.p. 1 (scenario B)

Tabel 1. : Legenda bij figuren 2 en 3

Randvoorwaarden stijghoogten - "Hoog niveau"

pp_H = constant peil [m]

ϕ_{Hn} = stijghoogte in wvp n [m]

Randvoorwaarden stijghoogten - "Laag niveau"

pp_L = constant peil [m]

ϕ_{Ln} = stijghoogte in wvp n [m]

Lokatie randvoorwaarden - "Hoog niveau"

x_H = x-coördinaat

y_H = y-coördinaat

Lokatie randvoorwaarden - "Laag niveau"

x_L = x-coördinaat

y_L = y-coördinaat

c_m = weerstand semipermeabele laag m [d]

d_m = dikte semipermeabele laag m [m]

k_n = doorlatendheidscoëfficiënt wvp n [m/d]

D_n = dikte wvp n [m]

 = pompfilter

wvp = watervoerend pakket

n = nummer wvp (vanaf maaiveld gerekend)

m = nummer slechtdoorlatende laag (vanaf maaiveld gerekend)

Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de resultaten voor verschillende waarden van de parameters is een groot aantal berekeningen uitgevoerd.

In de eerste plaats is daarbij onderscheid gemaakt in de van waarden van bodemparameters (c en k). Drie typeringen zijn daarbij gehanteerd, te weten groep alternatieven I met gemiddelde, groep alternatieven II met minimum en groep alternatieven III met maximum parameterwaarden. De typering van waarden geldt binnen één alternatief voor alle bodemparameters tegelijk.

In de tweede plaats is onderscheid gemaakt in de omvang van het debiet. In beschouwing zijn genomen debieten van 2.5 , 5 en 10 miljoen m³/jaar, respectievelijk globaal 6800 , 13700 en 27400 m³/dag.

Voor het verhang van de natuurlijke grondwaterstroming zijn twee waarden aangenomen, te weten globaal 1/2000 en 1/4000.

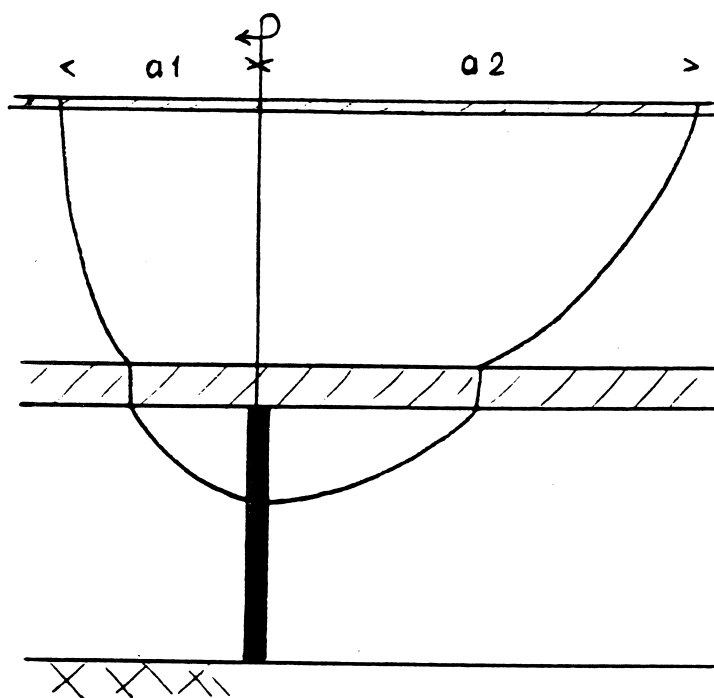
Het stijghoogteverschil over een slechtdoorlatende laag is aan te duiden met $dphi$. Voor $dphi$, het stijghoogteverschil over een slechtdoorlatende laag, zijn een viertal waarden beschouwd, namelijk 0.0 , 0.5 , 1.0 en $-0.5(\text{in punt L})/0.5(\text{in punt H})$ meter. In punt H, respectievelijk punt L zijn de waarden over de daar aanwezige lagen met weerstanden c_1 en c_2 in het algemeen gelijk genomen. Alleen in geval $dphi = -0.5$ werd aangehouden is voor $dphi$ over de tweede laag de waarde 0.5 gehanteerd.

In tabel 2 zijn de combinaties van parameterwaarden samengevat waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd.

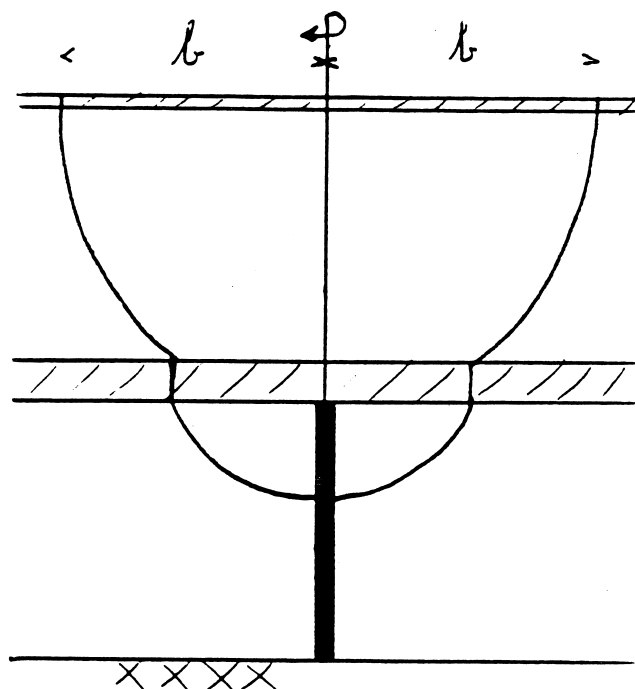
Gekozen werd voor vijf startdieptes op het filter. In concreto zijn dan bij scenario A de startpunten gelegen op 0.01 , 15 , 30 , 45 , 60 en 74.99 meter beneden de bovenkant van het tweede watervoerende pakket. Bij scenario B zijn ze gelegen op 0.01 , 12 , 24 , 36 , 48 en 59.99 meter van de bovenkant van het eerste watervoerende pakket.

Tabel 2. Beschouwde combinaties van parameterwaarden

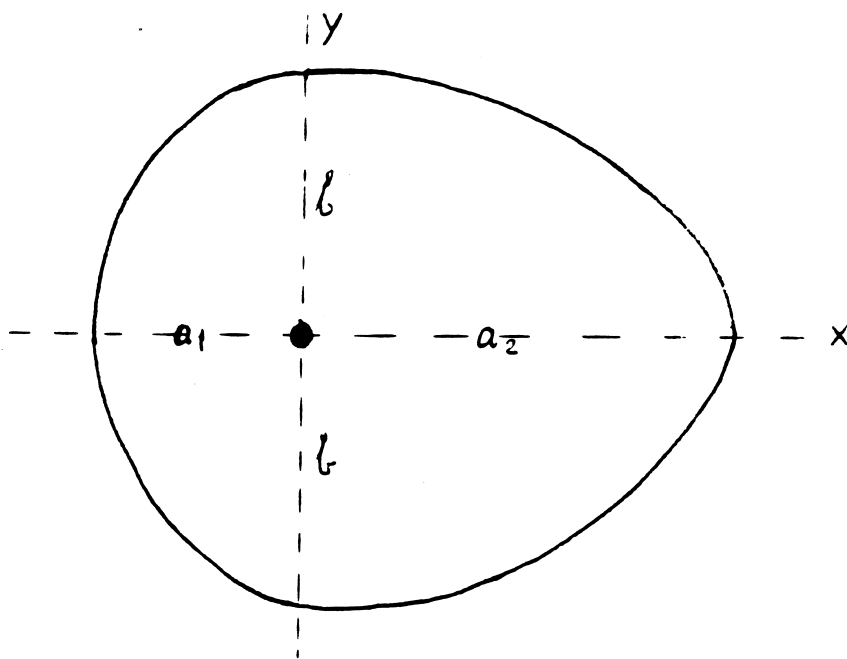
alternatief	parameter						
	debiet	c1	kD1	c2	kD2	dphi	verhang
	(*1000)						(*0.0001)
	[m3/d]	[d]	[m2/d]	[d]	[m2/d]	[m]	[-]
-scenario A							
I	6.8	500	1200	2500	3750	0.	5.
Ia	6.8	500	1200	2500	3750	.5	5.
Iaa	6.8	500	1200	2500	3750	.5	2.5
Iaaa	13.7	500	1200	2500	3750	.5	2.5
Iaaaa	27.4	500	1200	2500	3750	.5	2.5
Ib	6.8	500	1200	2500	3750	1.	5.
II	6.8	500	1080	1500	3000	0.	5.
IIb	6.8	500	1080	1500	3000	1.	5.
III	6.8	10000	2040	4000	5025	0.	5.
IIIa	6.8	10000	2040	4000	5025	.5	5.
IIIaa	6.8	10000	2040	4000	5025	.5	5.
IIIb	6.8	10000	2040	4000	5025	1.	5.
Vaaaa	27.4	500	1200	2500	3750	.5/- .5	2.5
-scenario B							
IVaaaa	27.4	500	1200	2500	3750	.5	2.5
IVb	6.8	500	1200	2500	3750	1.	5.
-overig							
VIaaaa	27.4	500	1200	2500	3750	.5	2.5
VIIb	6.8	500	1080	1500	3000	1.	5.
VIIIaaaa	27.4	500	1200	2500	3750	.5	2.5



XZ-vlak



YZ-vlak



XY-vlak

Figuur 4. Schematische weergave berekening zone

3.3. Resultaten

Om op relatief eenvoudige wijze inzicht te verkrijgen in de gevoeligheid van de resultaten in relatie tot parameterwaarden is gekozen voor een vergelijking van een drietal afmetingen die globaal een kenmerk zijn voor de omvang van een intrekgebied.

In figuur 4 zijn deze aangeduid met a_1 , a_2 en b .

De uit de berekeningsresultaten afgeleide waarden voor deze drie afmetingen zijn per alternatief en per startdiepte weergegeven op bijlagen 1 t/m 18.

Uit een vergelijking van de op bijlagen 1 t/m 14 en 17 t/m 18 gegeven afmetingen, die alleen betrekking hebben op scenario A, blijkt:

- dat er geen mogelijkheid is om resultaten te verkrijgen bij toepassing van FLOPZN voor de alternatieven met code II, dat wil zeggen indien voor de bodemparameters kleine waarden worden aangehouden, bijvoorbeeld $c_1=200$ [d] en $kD_1=500 \text{ á } 1000$ [m²/d], ofschoon dergelijke waarden in de praktijk reeel zijn.
Als gevolg hiervan is een gevoeligheidsanalyse beperkt.
- afmeting b tamelijk ongevoelig te zijn voor verschillende waarden van d_{phi} . Bij sterk toenemende waarden voor d_{phi} zal b slechts gering toenemen.
- dat de drie afmetingen in het algemeen iets minder gevoelig zijn in het geval de parameters relatief grote waarden hebben, dwz. alternatieven met code III.
- zowel afmeting a_1 als b tamelijk gevoelig te zijn voor verschillende waarden van het verhang. Voor b is globaal een omgekeerd evenredig verband te onderkennen, dwz. bij kleiner verhang een grotere b -waarde.
- dat afmeting b globaal toeneemt met 50-60% bij verdubbeling van het debiet.
- zowel afmeting a_2 als b in omvang niet altijd toe te nemen bij grotere waarden voor de startdiepte.

Bij afmeting al zijn nogal eens negatieve waarden aangegeven. Dit betekent dat de stroomlijn aan de andere zijde van het winningsmiddel de bovenzijde van het eerste watervoerende pakket bereikt. De kans op positieve waarden van al neemt toe bij grotere omvang van de winning van grondwater.

- bij kleine waarden voor dphi de kans groter dat de bepaalde stroomlijnen, binnen het beschouwde studiegebied, de bovenzijde van het eerste watervoerende pakket bereiken, hetgeen betekent dat in het bijzonder voor a2 geen exacte waarden zijn te geven. Deze kans neemt toe bij grotere waarden voor de bodemconstanten k en c.
- het zeer weinig verschil voor de afmetingen te maken (zie alternatieven Iaaaa en Vaaaa) of in het referentiepunt "benedenstrooms" een dphi over de afdekkende slecht doorlatende laag aanwezig is van +0.5 of -0.5 meter.

Er is niet naar gestreefd inzicht te verkrijgen in de gevoeligheid van de resultaten voor diverse parameterwaarden binnen scenario B. De op bijlagen 15 en 16 weergegeven waarden zijn evenwel wel vergeleken met overeenkomstige alternatieven binnen scenario A. Daaruit blijkt dat een groter aantal stroombanen binnen een kleinere afstand tot de putlocatie aan maaiveld komt. Voor de diepste startniveau's op het putfilter zijn echter de afstanden, evenals bij scenario A, aanzienlijk. Ook valt op dat de onderlinge verschillen tussen de afmetingen al, a2 en b in het algemeen veel minder zijn in geval van de beschouwde alternatieven van scenario B.

Indien bij toepassing van FLOPZN wordt uitgegaan van een (in de praktijk) globaal lineair verlopend isohypsenbeeld dan blijkt de keuze van de locaties van de referentiepunten in belangrijke mate het resultaat te beïnvloeden.

Dit is te concluderen uit de resultaten van berekeningen van nog een aantal alternatieven (scenario "overig"). Daarbij is in het bijzonder de aandacht gericht op de invloed van de gekozen locatie van het bovenstrooms van de winning gelegen referentiepunt "H".

Op bijlagen 19 t/m 21 zijn de snijpunten van de stroomlijnen met het maaiveld, bepaald volgens de in hoofdstuk 2 beschreven methodiek, in

een xy-vlak aangegeven voor alternatieven Iaaaa, VIaaaa en VIIIAaaa. Uit een vergelijking van de figuren op die bijlagen blijkt duidelijk dat er een belangrijke invloed is van de locatiekeuze van dat punt "H", mogelijk in samenhang met de aangehouden waarden voor het zogenoemde polderpeil en de stijghoogten in de watervoerende pakketten in de natuurlijke situatie. Deze grootheden bepalen, tezamen met die van het benedenstrooms gelegen referentiepunt "L", het door het rekenprogramma bepaalde stromingsbeeld voor die situatie.

Het rekenprogramma FLOPZN berekent, zoals in paragraaf 3.1 werd vermeld, in de watervoerende pakketten een snelheidsveld tussen beide referentiepunten. Het verloop daarvan is in het algemeen niet lineair.

Het gevolg is dat bij gelijkblijvend verhang en een andere locatie van punt H, cq. een andere afstand tussen beide referentiepunten, steeds andere snelheidsvelden in de watervoerende pakketten zullen worden berekend.

Zoals blijkt uit vergelijking van de resultaten voor de afmetingen al en b bij de alternatieven Iaaaa en VIaaaa zijn ze weinig gevoelig, echter afmeting a2 is in belangrijke mate gevoelig hiervoor. Dat deze conclusie niet éénduidig is blijkt indien ook de resultaten van alternatief VIIIAaaa in beschouwing worden genomen. Daarin is de locatie van het "bovenstrooms" gelegen referentiepunt nog meer verschoven in de richting van het winningsmiddel dan bij alternatief VIaaaa. Voor a2 is een vergelijking niet goed mogelijk, b en in het bijzonder al blijken evenwel gevoelig te zijn.

De resultaten duiden erop dat steeds sprake is van een berekende waterscheiding nabij het punt "H" met als gevolg dat de stroomlijnen die zich in die omgeving nog op relatief grote diepte bevinden over een slechts kleine afstand alsnog het maaiveld bereiken.

Op grond van de figuren op bijlagen 19 t/m 21 moet worden geconcludeerd dat het gebruik van dezelfde waarden voor verhang, dphi, k-waarden, D-waarden, c-waarden en d-waarden dus geen waarborg is voor een eenduidige oplossing.

Eén van de afgeleide resultaten van de uitgevoerde berekeningen is

de responscurve. Deze curve geeft grafisch weer welk cumulatief deel van de in een bepaalde periode opgetreden grondwateraanvulling binnen het intrekgebied, op bepaalde tijdstippen de winningsmiddelen heeft bereikt of geeft op cumulatieve wijze weer wat de verblijftijd is van het onttrokken water.

De curve geeft snel een indruk van het karakter van een winplaats met betrekking tot de tijden die grondwaterdeeltjes in de verzadigde zône onderweg zijn.

Op bijlage 22 is voor alternatieven Iaaaa, IVaaaa, VIaaaa en VIIIaaaa het cumulatief aantal/percentage stroomlijnen aangegeven dat het maaiveld binnen een bepaalde tijdperiode bereikt. Daaruit blijkt duidelijk het grote verschil in respons tussen de alternatieven.

4. CONCLUSIES

- Uit de resultaten van de berekeningen valt op te maken dat voor het beschouwde meerlagensysteem het intrekgebied zeer groot is, zoals kon worden verwacht. De keuze van parameterwaarden speelt hierbij uiteraard een belangrijk rol.

Ook valt aan de resultaten te ontleen dat de omvang van het intrekgebied in belangrijke mate wordt beïnvloed door het debiet van de winning en het verhang van de natuurlijke grondwaterstroming.

- Het studiegebied heeft een zodanige omvang dat het uitgangspunt van homogene lagen en de daarmee samenhangende constante parameterwaarden over het gehele beschouwde gebied voor een praktijk situatie in het algemeen niet realistisch is.
- In algemene zin kan worden gesteld dat het programma FLOPZN bij uitstek geschikt is voor de berekening van lokale stroombanen, bijvoorbeeld ter plaatse en in de naaste omgeving van een winplaats. Bij beschouwing van een intrekgebied van een winning in een meerlagensysteem, waarbij de winningsmiddelen niet zijn geplaatst in het bovenste watervoerende pakket, is veelal sprake van een (sub-)regionaal systeem. Naast de inhomogeniteit van de bodem die dan een belangrijke rol kan spelen, blijkt de tbv. de berekeningen gekozen locatie van het bovenstrooms gelegen referentiepunt een zeer belangrijke invloed te hebben op de berekeningsresultaten. Daarbij zijn tevens de in dat punt op te geven waarden voor de stijghoogten en in het bijzonder het zogenaamde polderpeil in relatie tot de waarden ervan in het benedenstrooms gelegen punt van belang. In het algemeen zal het programma FLOPZN dus niet goed bruikbaar zijn voor de bepaling van intrekgebieden voor een dergelijk type winning. In geval de winning plaats heeft in het ondiepe pakket van een tweelagensysteem met semi-spanningswater zal het programma in vele gevallen wel bruikbaar zijn.

5. LITERATUUR

1. Commissie Bescherming Waterwingebieden CBW
Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming van
waterwingebieden
RID/VEWIN, december 1980
2. Voorlopige Technische Commissie Bodembescherming (VTCB)
Advies berekeningsgrondslag grondwaterbeschermingsgebieden.
VTCB A85/01, november 1985
3. Verblijftijdzones rond grondwaterwinningen in de provincie Noord-
Brabant.
RIVM-rapport 728520002
Beugelink, G.P., J.H.C.Mülschlegel, M.J.H.Pastoors en J.G.W.Verlouw
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, augustus 1987
4. Berekening verblijftijdzones voor vier Belgische grondwaterwinningen
nabij de rijksgrens.
RIVM-rapport 728520008
Mülschlegel, J.H.C.
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, april 1988
5. Numerical analyses of the streamfunction in plane groundwater flow
Akker, C. van den
Proefschrift Technische Hogeschool Delft, juni 1982
6. Computer Program FLOPZN; Pathlines in a Quasi-Three-Dimensional
Groundwater Flow in a System of Layered Homogeneous Aquifers
RIVM rapport 728520005
Veling, E.J.M.
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, 1988
7. Three-Dimensional Streamlines in Dupuit-Forchheimer Models

Strack, O.D.L.

Water Resources Research 20:812-822

8. Verblijftijden en intrekgebieden bij de winning van grondwater uit pakketten met semi-spanningswater

Akker, C.v.d., R.v.Weenen

H2O 19:66-70

alternatief I	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	(- >>>)	(>>>)	(25)
15.	-7619	(>>>)	(765)
30.	-8154	(>>>)	(765)
45.	-7791	(>>>)	(765)
60.	-7904	(>>>)	(765)
74.99	(singularity)	(>>>)	(765)

nb. >>> = reikt tot buiten studiegebied

() = gelegen voorbij een van de lijnen door de referentiepunten

alternatief Ia	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-11346	25868	25
15.	-3841	39601	735
30.	-3731	41117	735
45.	-3746	41869	735
60.	-3533	(>>>)	(735)
74.99	(singularity)	(>>>)	(735)

nb. >>> = reikt tot buiten studiegebied

() = gelegen voorbij een van de lijnen door de referentiepunten

alternatief Iaa	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-1637	1849	27
15.	-488	35176	1156
30.	-400	38462	1270
45.	-392	39984	1270
60.	-382	40905	1270
74.99	-385	41464	1270

alternatief Iaaa	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-675	823	31
15.	388	10367	1617
30.	606	37294	2113
45.	677	39604	2115
60.	702	40787	2155
74.99	700	41464	2155

alternatief Iaaaa	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-285	404	35
15.	1021	3989	1897
30.	1514	32432	2889
45.	1740	38694	3424
60.	1883	40572	3424
74.99	1949	41466	3424

alternatief Ib	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-5085	5778	24
15.	-2588	37016	700
30.	-2681	39030	708
45.	-2706	40208	708
60.	-2686	40954	708
74.99	(singularity)	41464	708

alternatief II	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-2751	3262	20
15.	-1066	>>>	(845)
30.	-976	>>>	(873)
45.	-961	>>>	(873)
60.	-965	>>>	(873)
74.99	(singularity)	>>>	(873)

nb. >>> = reikt tot buiten studiegebied

() = gelegen voorbij een van de lijnen door de referentiepunten

alternatief IIb	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-2140	2523	20
15.	-847	37213	797
30.	-809	38948	838
45.	-821	39953	838
60.	-820	40596	838
74.99	(singularity)	41086	838

alternatief III		afstand tot putlocatie		
startdiepte		a1 [m]	a2 [m]	b [m]
0.01	??	(>>>)	(>>>)	(37)
15.		(->>>)	(>>>)	(627)
30.		(->>>)	(>>>)	(627)
45.		(->>>)	(>>>)	(627)
60.		(->>>)	(>>>)	(627)
74.99		(singularity)	(>>>)	(627)

nb. >>> = reikt tot buiten studiegebied

() = gelegen voorbij een van de lijnen door de referentiepunten

alternatief IIIa	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-40244	40704	35
15.	-39172	43205	(586)
30.	-39414	42503	(586)
45.	-39385	42503	(586)
60.	-39250	42503	(586)
74.99	395	42503	(586)

nb. >>> = reikt tot buiten studiegebied

() = gelegen voorbij een van de lijnen door de referentiepunten

alternatief IIIaa		afstand tot putlocatie	
startdiepte	a1	a2	b
	[m]	[m]	[m]
0.01	-21457	22736	39
15.	-15134	38926	1039
30.	-15510	(>>>)	(1043)
45.	-15280	(>>>)	(1044)
60.	-15066	(>>>)	(1043)
74.99	(singularity)	(>>>)	(1043)

nb. >>> = reikt tot buiten studiegebied

() = gelegen voorbij een van de lijnen door de referentiepunten

alternatief IIIb	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-29064	29507	32
15.	-27551	40197	549
30.	-27618	42059	(549)
45.	-27866	42795	(549)
60.	-27902	42304	(549)
74.99	(singularity)	42304	(549)

nb. >>> = reikt tot buiten studiegebied

() = gelegen voorbij een van de lijnen door de referentiepunten

alternatief Vaaaa		afstand tot putlocatie	
startdiepte	a1	a2	b
	[m]	[m]	[m]
0.01	-325	451	35
15.	1012	4460	1969
30.	1527	35425	3003
45.	1763	39259	3413
60.	1905	40829	3413
74.99	1884	41620	3413

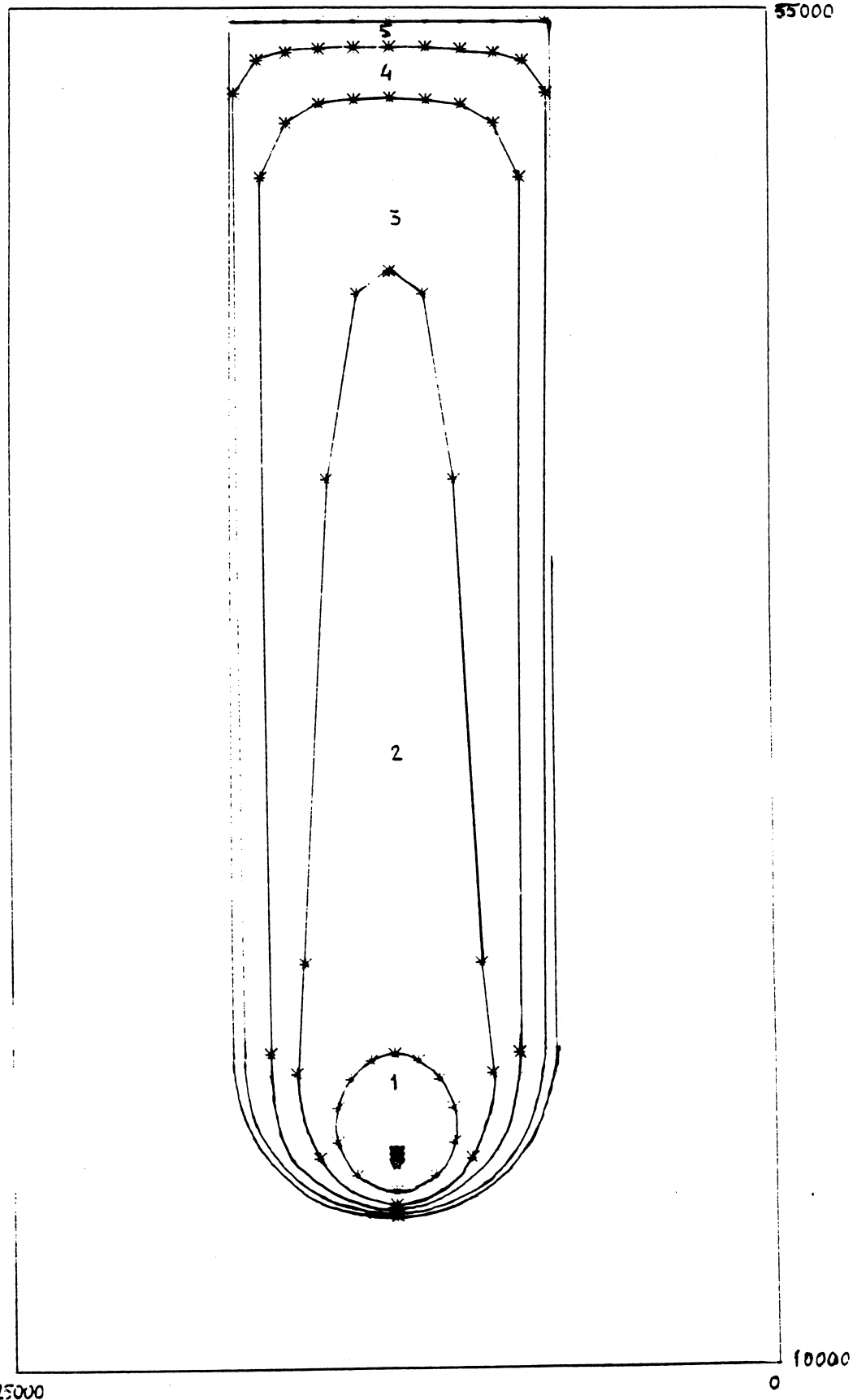
alternatief VIaaaa		afstand tot putlocatie	
startdiepte	a1	a2	b
	[m]	[m]	[m]
0.01	-279	392	35
15.	1043	3876	1902
30.	1545	13070	2904
45.	1788	18626	2478
60.	1928	20511	3494
74.99	1999	21415	3501

alternatief IVaaaa		afstand tot putlocatie	
startdiepte	a1	a2	b
	[m]	[m]	[m]
0.01	6	6	6
12.	445	460	452
24.	800	864	830
36.	1225	1480	1332
48.	1762	4235	2181
59.99	-40737	40516	42

alternatief IVb	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-6	6	6
12.	-393	502	437
24.	-616	1102	755
36.	-782	3868	1023
48.	-872	33466	1061
59.99	-37881	37613	18

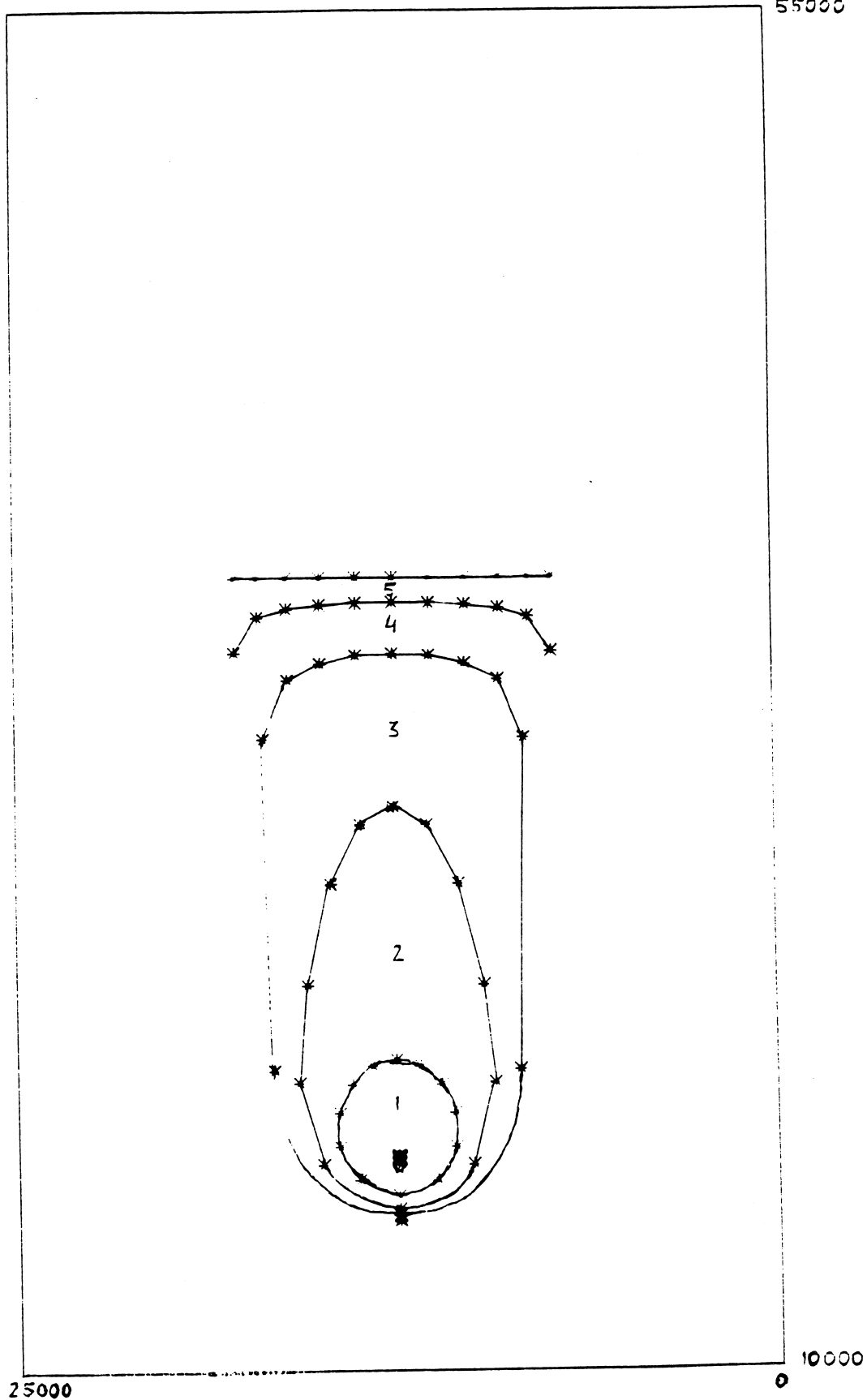
alternatief VIIb	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	-926	1084	21
15.	-94	34131	1040
30.	-22	37111	1224
45.	31	38426	1224
60.	35	39291	1224
74.99	6	39917	1224

alternatief VIIIaaaa	afstand tot putlocatie		
	a1	a2	b
startdiepte	[m]	[m]	[m]
0.01	102	-3	46
15.	2337	(8206)	3284
30.	3524	(8206)	(4306)
45.	4372	(8206)	(4306)
60.	4925	(8206)	(4306)
74.99	5228	(8206)	(4306)

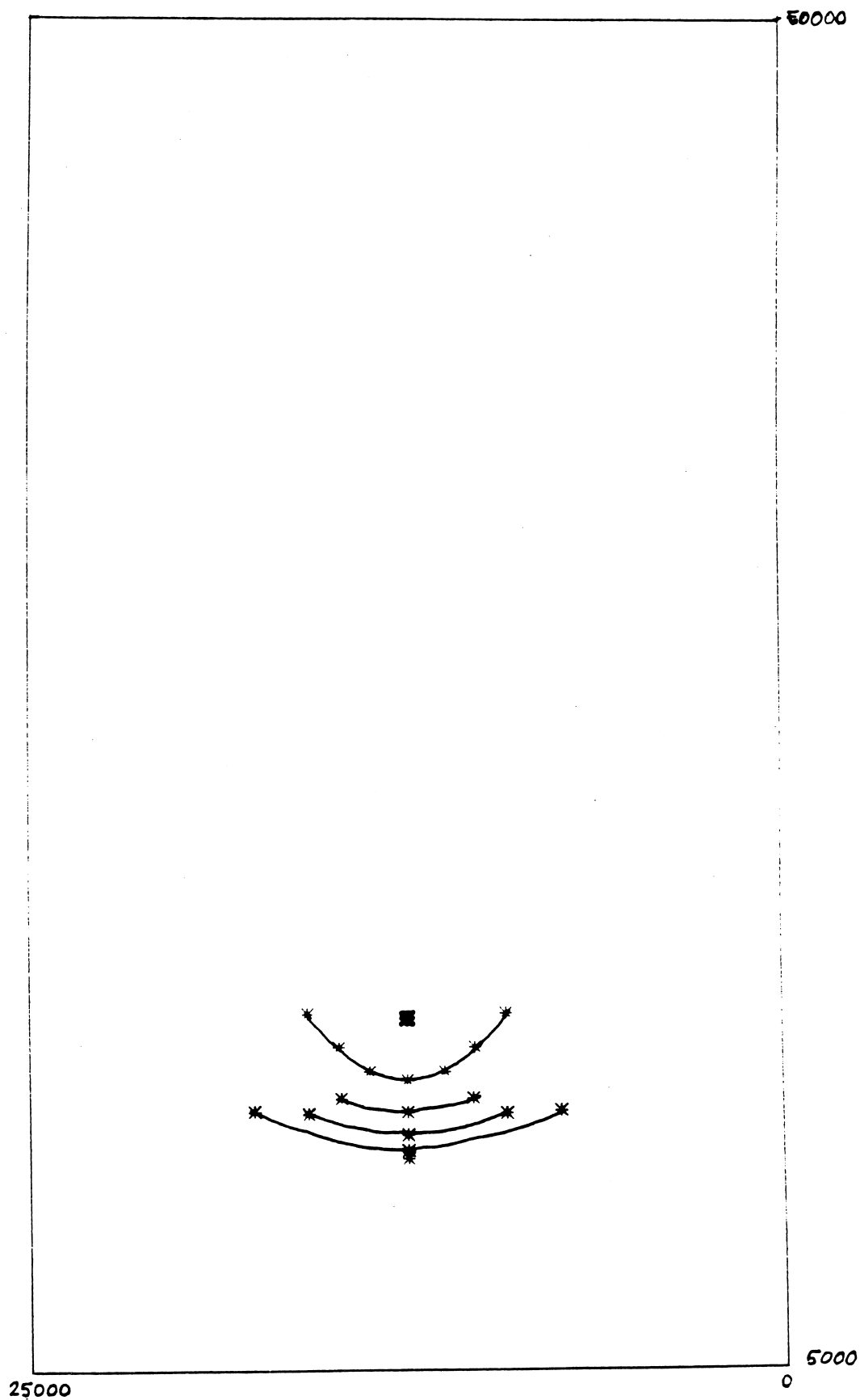


RIVM 1988		Titel : INTREK-DEELGEBIEDEN MET 20% VAN DEBIET			
LABORATORIUM VOOR BODEM EN GRONDWATERONDERZOEK		alternatief 1aaaa			
Cet.	Schaal	Project:	Platte 19	Form.	Tek. nr.
nvt.	1:200000			A4	nvt.

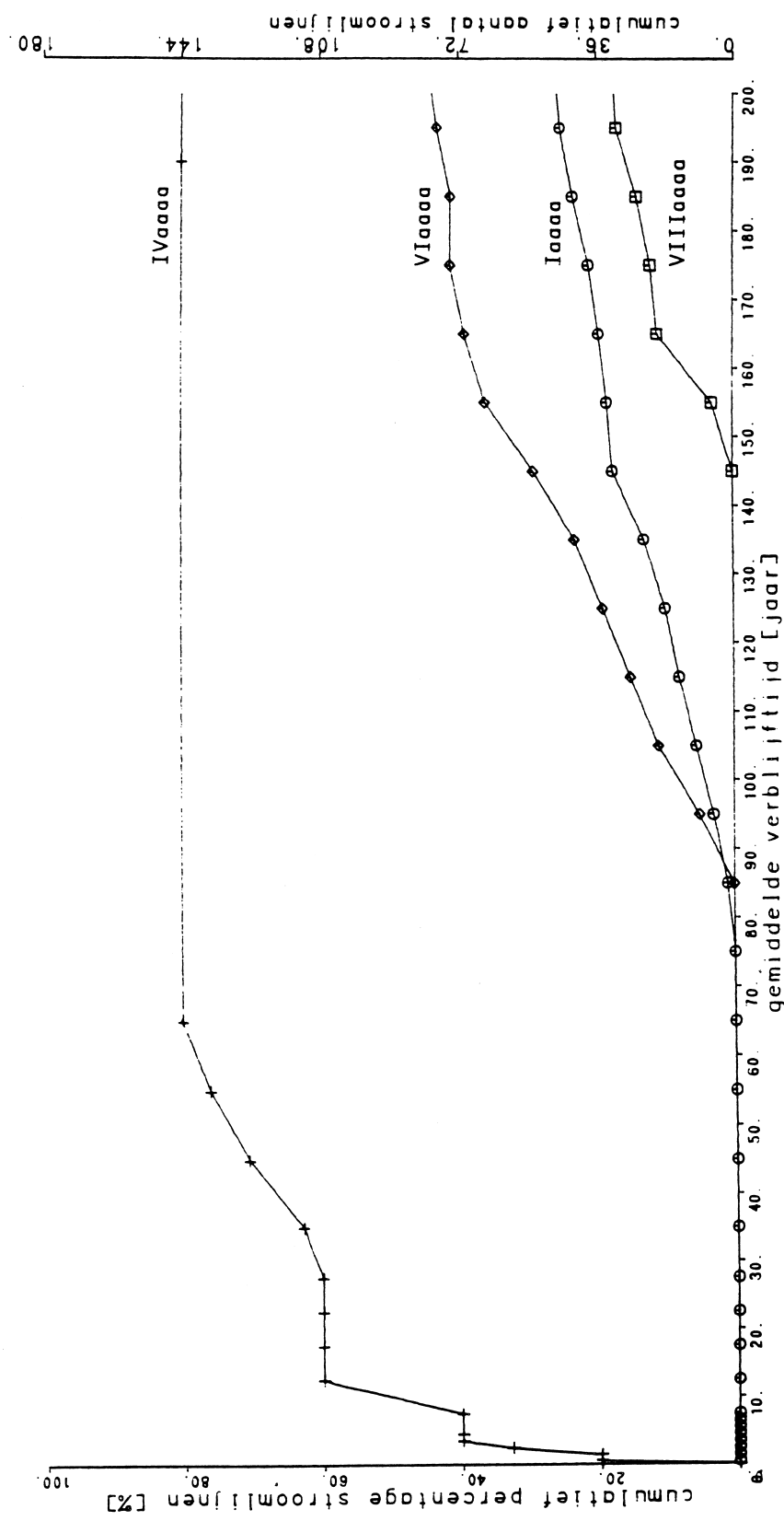
55000



RIVM 1988		Titel INTREK-DEELGEBIEDEN MET 20% VAN DEBIET			
LABORATORIUM VOOR BODEM EN GRONDWATERONDERZOEK		alternatief VI aaaa			
Cet.	Schaal	Project.	Beilage 20	Form.	Tek. nr.
nvt.	1:200000			A4	nvt.



RIVM 1988		Titel .INTREK-DEELGEBIEDEN MET 20% VAN DEBIET			
LABORATORIUM VOOR BODEM EN GRONDWATERONDERZOEK		alternatief VIII <i>anna</i>			
Cet.	Schaal	Project:	Bijlage 2I	Form.	Tek.nr.
nvt.	1:200000			A4	nvt.



responscurve Iaaaa, IVaaaa, VIaaaa, VIIaaaa

**Verdeling van verblijftijden in het stroomgebied
van de Drentse Aa**

**Ir. P. Grashoff, C. van Belois
Waterloopkundig Laboratorium Delft**

Technische commissie bodembescherming, Postbus 450, 2260 MB
Leidschendam, tel. (070) 209367 toestel 3417.

BEPALING RESPONSKARAKTERISTIEK VAN HET STROOMGEBIED VAN DE DRENTSE AA

1. Inleiding	3
2. Gegevens van het Drentse Aa gebied.	4
2.1 Gebiedsschematisatie	4
2.2 Aannamen voor enkele gebiedsparameters	8
3. Berekeningsmethode	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Bespreking formules	10
3.3 Schematisering van het optreden van kwel en wegzijging. . .	15
3.4 Onzekerheden in de berekeningsuitkomsten.	16
4. Resultaten en conclusies	18
Literatuurreferenties.	21

lijst van figuren:

Figuur 1. Het stroomgebied van de Drentse Aa	5
Figuur 2. Indeling stroomgebied in deelgebieden	6
Figuur 3. Schematische indeling in deelgebieden	7
Figuur 4. Waterstromen in dwarsdoorsnede	9
Figuur 5. Definities van waterstromen bij afleiding	11
Figuur 6. Schematisering ondergrond	15
Figuur 7. Responskarakteristiek Drentse Aa stroomgebied	19
Figuur 8. Frequentiekarakteristiek Drentse Aa stroomgebied	19
Figuur 9. Percentage van het debiet dat door de "25 jaarszone" beschermd wordt.	20

lijst van tabellen

Tabel 1. Gegevens van de deelgebieden	4
Tabel 2. Waterbalans stroomgebied	7
Tabel 3. Gegevens van de deelgebieden over maaiveld niveau en beekpeil	8
Tabel 4. Gegevens over kwel en wegzijging in de deelgebieden	16

Samenvatting

Voor het stroomgebied van de Drentse Aa is een frequentiekarakteristiek afgeleid. Het onderzoek richt zich op de verblijftijden in de bodem, omdat de verblijftijden in het oppervlaktewater veel korter zijn.

De gebruikte methode is het analytisch bepalen van de verblijftijden-verdeling door het integreren van analytische uitdrukkingen voor de potentialen in een tweedimensionale verticale doorsnede. Het stroomgebied is daarbij ingedeeld in deelgebieden. Per deelgebied wordt een maatgevende doorsnede gebruikt. Door de verblijftijden te sommeren over de deelgebieden wordt de karakteristiek van het stroomgebied bepaald.

In de gebruikte doornede van elk deelgebied is rekening gehouden met kwel- en wegzijging, met het voorkomen van keileemlagen en met de variërende dikte van de onverzadigde zone. De waterbalanstermen (nuttige neerslag, afspoeling, wegzijging, kwel en grondwateronttrekkingen) zijn ontleend aan berekeningen met het agrohydrologische model Demgen.

De resulterende frequentie- en responskarakteristiek zijn weergegeven in respectievelijk figuur 7 en figuur 8. In de karakteristieken is duidelijk het effect van kwel (20% van totale debiet), afspoeling (8% van totale debiet) en de aanwezigheid van keileemlagen waar te nemen.

Door het aanwijzen van een "25 jaarszone" rond de beekdalen in het gebied wordt slechts 40 tot 50% van het, bij De Punt, onttrokken watervolume beschermd. Het deel van het totale debiet dat binnen de 25 jaarszone valt varieert sterk per deelgebied. Om verontreinigingen van het oppervlaktewater in het stroomgebied te verminderen zijn op korte termijn maatregelen die de vracht uit afspoeling beperken het meest effectief.

1. Inleiding

Het doel van dit onderzoek is een voorbeeld te geven van de berekening van de (geo)hydrologische karakteristiek van een stroomgebied. Onder de (geo)hydrologische karakteristiek wordt verstaan de procentuele verdeling van de verblijftijd van de volumestroom water die uit het gebied wordt afgevoerd. De verblijftijd wordt gedefinieerd als de tijd die een waterdeeltje nodig heeft om vanaf het maaiveld naar het oppervlaktewater te stromen.

De opgestelde karakteristiek is gebaseerd op beschikbare informatie van het stroomgebied van de Drentse Aa. De karakteristiek is bepaald met behulp van analytische methoden. Gezien de complexiteit van het stroomgebied is een vergaande schematisering noodzakelijk gebleken. Voor een meer nauwkeurige bepaling is onderzoek met numerieke grond- en oppervlaktewatermodellen mogelijk. De hiervoor benodigde inspanning in tijd en geld is groter dan in dit kader beschikbaar is geweest.

In hoofdstuk 2. wordt ingegaan op de schematisering van het stroomgebied van de Drentse Aa en enkele daarbij gedane aannamen. In hoofdstuk 3. worden de gebruikte berekeningsmethode en de daarbij gedane schematiseringen besproken.

In het vierde hoofdstuk worden de resultaten besproken en worden conclusies getrokken. Het onderzoek is uitgevoerd door ir. C.H. van Belois en ir. P.S. Grashoff van het Waterloopkundig Laboratorium te Delft.

2. Gegevens van het Drentse Aa gebied.

2.1 Gebiedsschematisatie

Het beheersgebied van het waterschap de Drentse Aa beslaat een totale oppervlakte van 29.840 ha [5]. Het omvat het bekenstelsel van de Drentse Aa, waartoe naast de Drentse Aa ook het Deurzerdiep, het Anreperdiep het Amerdiep, het Rolderdiep, het Anderenssediep, het Gasterse diep, het Anloer diepje en het Zeegser loopje behoren. Het stroomgebied watert op twee punten af op het Noord Willemskanaal: nabij Loon vanuit het Deurzerdiep en nabij De Punt via de Drentse Aa (zie figuur 1).

Het gebied dat afwatert op de Drentse Aa beslaat ongeveer 25.000 ha. Bij Loon bevindt zich een overlaat waarmee bij hoge debieten in het Deurzerdiep een deel van het debiet afgeleid kan worden naar het Noord Willemskanaal. Aangenomen is dat het drinkwaterpompstation nabij De Punt op de beneden-stroomse grens van het stroomgebied ligt.

Het stroomgebied is op basis van geohydrologische kenmerken opgedeeld in deelgebieden. De lokatie van die deelgebieden is aangegeven in figuur 2. De deelgebieden zijn geschematiseerd tot als in figuur 3 is getekend. Per deelgebied wordt een dwarsdoorsnede aangehouden. De gegevens van de deelgebieden staan in tabel 1.

Tabel 1. Gegevens van de deelgebieden.

gebied	Algemene gegevens			Keileem gegevens	
	oppervlak [ha]	lengte [m]	Breedte [m]	begin leem in [m] t.o.v. de waterloop	dikte [m]
1 West	190	1000	1900	-	-
1 Oost	750	2500	3000	750	1
2 West	925	1000	9250	-	-
2 Oost	250	1500	1667	600	1
3 West	3540	1500	23600	-	-
3 Oost	2100	3200	6562	-	-
4 West	2070	2800	7393	750	2
4 Oost	940	1200	7833	250	2
5 West	4420	4000	11050	500	2
5 Oost	2630	3000	8767	500	2
6 West	2670	2800	9536	1250	2
6 Oost	4380	5000	8760	2500	2

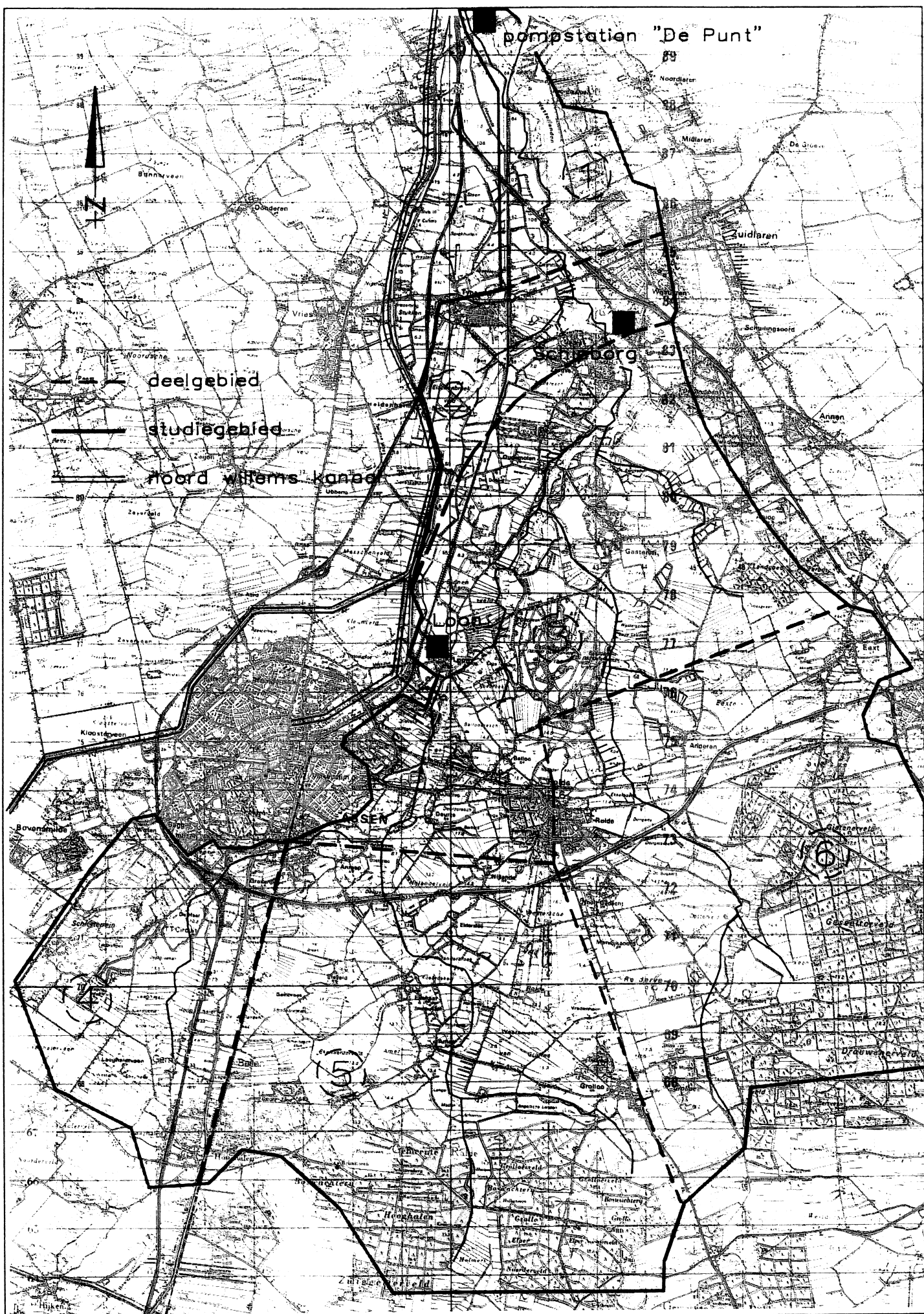
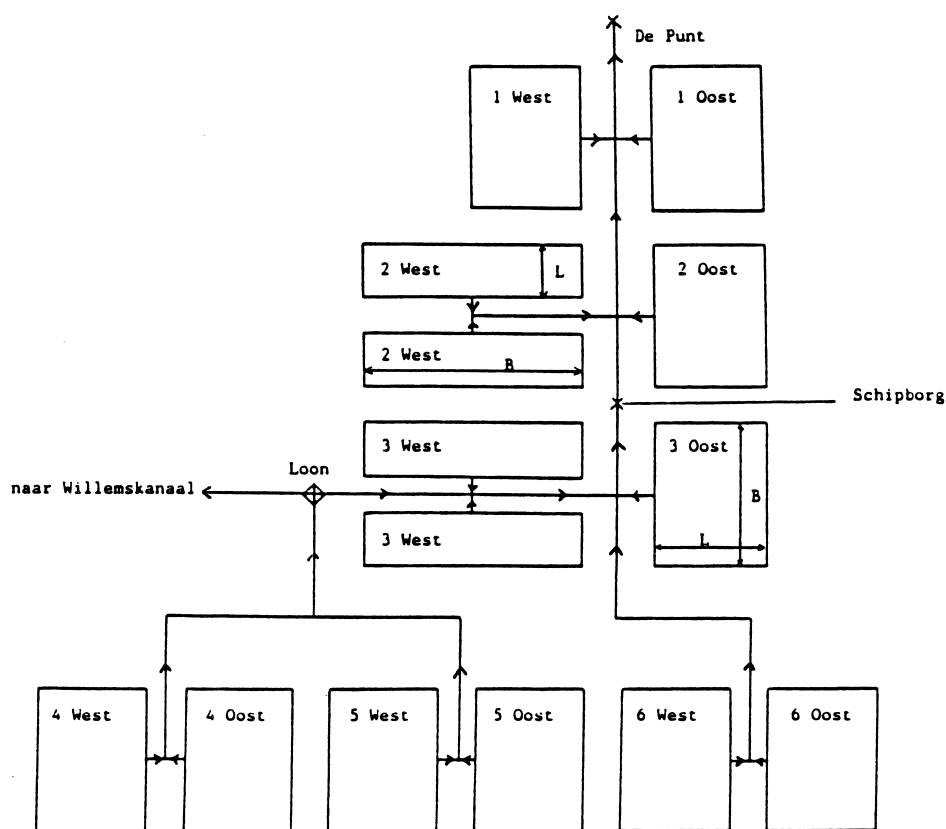


Fig. 2 Indeling stroomgebied in deelgebieden (schaal 1:100000)

figuur 3 Schematisatie van het gebied tot deelgebieden.



Uit een studie van het Waterloopkundig Laboratorium [8] is een waterbalans voor het stroomgebied afgeleid. Deze staat vermeld in tabel 2. De post oppervlakkige afspoeling is afgeleid uit berekeningen met het agrohydrologische model DEMGEN. De verblijftijd van over het oppervlak afspoelend water is gering, hooguit in de orde van enkele dagen.

Tabel 2. Langjarig gemiddelde waterbalans van het Drentse Aa gebied.

	in mm		uit mm
Neerslag	781	Actuele verdamping	352
		Afvoer Loon	101
		Afvoer Schipborg	235
		Onttrekkingen	26
		Wegzijging	67
	-----		-----
	781		781
		waarvan oppervlakkige afspoeling	25

2.2 Aannamen voor enkele gebiedsparameters

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op een aantal aannamen die gedaan zijn ten aanzien van:

- de diepte van het beekpeil ten opzichte van het maaiveld,
- de dikte van de onverzadigde zone,
- de stroming in de freatische laag boven klei- of leemlagen,
- de porositeit van de in het gebied voorkomende gronden.

Per deelgebied is de ligging van het maaiveld ten opzichte van NAP als konstant geschematiseerd. In werkelijkheid verloopt dit echter van een minimumwaarde nabij de beek tot een maximum op de waterscheiding aan de andere rand van het gebied. In de literatuur wordt opgegeven dat de ligging van het beekpeil ten opzichte van het maaiveld in het Drentse Aa gebied varieert van 0,5 tot 0,8 m onder maaiveld (MV) [2]. In de berekening wordt in de lage deelgebieden (nummers 1,2 en 3) het beekpeil op 0,5 onder het minimum maaiveldniveau aangehouden en in de hoge deelgebieden (nummers 4,5 en 6) op 0,8 m onder het minimum maaiveldniveau. Dit minimum maaiveldniveau is afgeleid uit de hoogtelijnen op de topografische kaart [3]. De waarden voor de diepte van het beekpeil staan vermeld in tabel 3.

Tabel 3. Gegevens maaiveld niveau en beekpeil.

gebied	gemiddelde maaiveldhoogte m + NAP	gemiddeld beekpeil m + NAP
1 West	3	0,5
1 Oost	4,5	0,5
2 West	6	3,5
2 Oost	9	5,5
3 West	10	6,5
3 Oost	15	9,5
4 West	11	9,2
4 Oost	11	9,2
5 West	13	10,2
5 Oost	14	10,2
6 West	15,5	13,2
6 Oost	15,5	12,2

Uit de isohypsenkaart voor het freatisch grondwater [2] en uit de hoogtekaart van het gebied [7] volgt een globale gemiddelde grondwaterstand per gebied. Deze ligt in alle gebieden op 1,5 tot 3 meter onder maaiveld. Voor de bepaling van de dikte van de doorstroomde laag is uitgegaan van een gemiddelde grondwaterstand van 1,5 meter onder maaiveld. Voor de dikte van de onverzadigde zone is deze aanname echter te grof omdat daarmee de verblijftijd van het water in de onverzadigde zone in de gronden op geringe afstand van de waterloop wordt overschat. Daarom is bij de berekening van de verblijftijd in de onverzadigde zone uitgegaan van een lineair verloop van de dikte van de zone. De maximale dikte aan de rand van het stroomgebied

is gesteld op 2 meter. De minimale dikte is, afhankelijk van het beekpeil 0,5 of 0,8 meter.

In het stroomgebied van de Drentse Aa komen buiten de beekdalen plaatselijk keileemlagen voor. In tabel 1. is aangegeven in welke deelgebieden keileem voorkomt en wat de gemiddelde dikte van de laag is. De keileem komt over het algemeen voor op een diepte van omstreeks 2 meter onder maaiveld. De stroming door de freatische watervoerende laag boven de keileemlagen blijkt in alle gebieden een verwaarloosbare invloed te hebben doordat de keileemlagen zo dicht onder het maaiveld liggen.

Voor de porositeit van de in het gebied voorkomende gronden is aangehouden voor fijn, leemarm of zwak lemig zand 0,35 en voor zandig leem of leem 0,45 (afgeleid uit [9]).

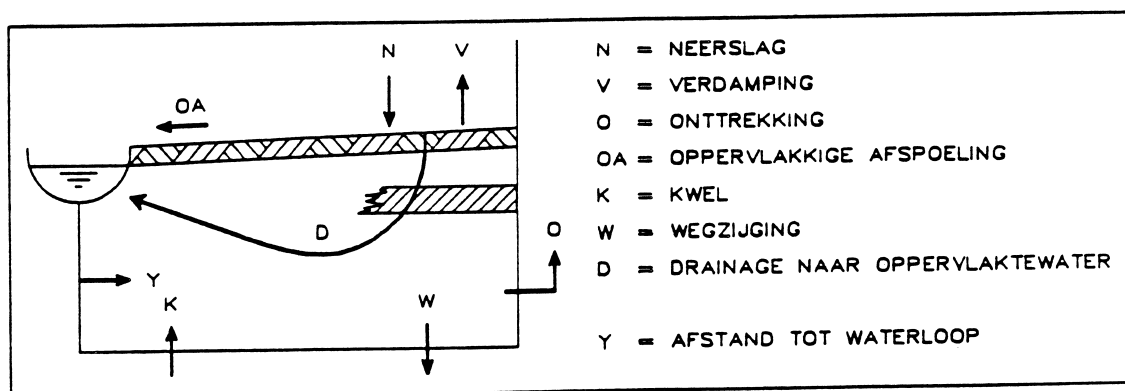
3. Berekeningsmethode

3.1 Inleiding

Het doel van de berekening is het bepalen van de (geo)hydrologische karakteristiek van een stroomgebied. De verblijftijden worden hierbij bepaald met analytische formules die gelden voor een verticale dwarsdoorsnede van de bodem. Daartoe is de bodem in het beschouwde stroomgebied van de Drentse Aa geschematiseerd. Het gehele gebied is ingedeeld in deelgebieden met een representatief gestelde dwarsdoorsnede.

Aangenomen is dat de grondwaterstroming in elk deelgebied loodrecht op de stroming van de beek plaatsvindt en dat de verschillende lagen in de dwarsdoorsnede van de bodem homogeen zijn. In figuur 4 wordt aangegeven hoe de waterstromen gedefinieerd zijn.

Figuur 4. De waterstromen in een dwarsdoorsnede



In de stroming van het grondwater (D) zijn 4 trajekten te onderscheiden:

- stroming door onverzadigde zone,
- stroming door weerstandbiedende keileemlaag,
- stroming door homogeen watervoerend pakket,
- stroming door weerstandslaag in beekbedding.

Per traject dient voor een waterdeeltje de reistijd bepaald te worden, waarna door sommatie over de 4 trajekten de totale verblijftijd in de bodem bekend kan worden.

Onderstaand wordt een kort overzicht van de bij de berekening gedane aannamen gegeven.

1. Een verticale twee-dimensionale doorsnede is representatief voor een (deel van een) stroomgebied;
2. Door sommatie van de karakteristieken van de deelgebieden kan een karakteristiek voor het stroomgebied worden bepaald;
3. Per doorsnede zijn de waterbalanst termen zoals die volgen uit gebiedsberekeningen met Demgen;
4. Per doorsnede zijn de geohydrologische eigenschappen homogeen en isotroop;
5. De invloed van keileemlagen op geringe diepte onder maaiveld is niet verwaarloosbaar voor de verblijftijden bepaling;
6. De afvoer van nuttige neerslag naar het oppervlaktewater vindt plaats in het bovenste deel van het (de) watervoerende pakket(ten). In dit deel komen geen scheidende lagen van betekenis voor.
7. Dichtheidsverschillen en samendrukbaarheid van het water en het korrelskelet zijn verwaarloosbaar.

In paragraaf 3.2 wordt ingegaan op de gebruikte analytische formules voor de berekening van de verblijftijd in de bodem. In paragraaf 3.3 worden de gedane schematiseringen wanneer kwel of wegzijging optreedt besproken, waarna in paragraaf 3.4 ingegaan wordt op de onzekerheden in de berekeningsresultaten.

3.2 Bespreking formules

Verblijftijd in de onverzadigde zone

De stroming in de onverzadigde zone is sterk afhankelijk van het bodemtype, van het bodemgebruik, van de diepte, van de grondwaterstand en van de klimatologische omstandigheden. Van Lanen [1] beschrijft een methode voor de berekening van de verblijftijd uitgaande van een konstant vochtgehalte in de onverzadigde zone (wat voor diepe grondwaterstanden een redelijke aanname is). In deze studie wordt ervan uitgegaan dat deze formule ook voor relatief ondiepe grondwaterstanden redelijke resultaten geeft. De formule luidt:

$$T_o = \frac{D_o * (a + b \log NN)}{NN} \quad (1)$$

T_o = verblijftijd in onverzadigde zone [dag]
 D_o = dikte onverzadigde zone in [m]
 NN = langjarig gemiddeld neerslagoverschot in [m/dag]
 a, b , konstanten
 Volgens Van Lanen [1] $a = 0,3000$ voor matig fijn zand
 $b = 0,0380$ voor matig fijn zand

Verblijftijd in klei- en leemlagen

Voor het berekenen van de verblijftijd in een horizontale klei- of leem laag bij verticale stroming kan onderstaande formule afgeleid worden:

$$T = \frac{P * D}{N} \quad (2)$$

T = Verblijftijd in klei/leem laag [jaren]
 P = Porositeit klei/leem
 D = Dikte klei/leem laag [m]
 N = Natuurlijke aanvulling van het grondwater [m/jaar]

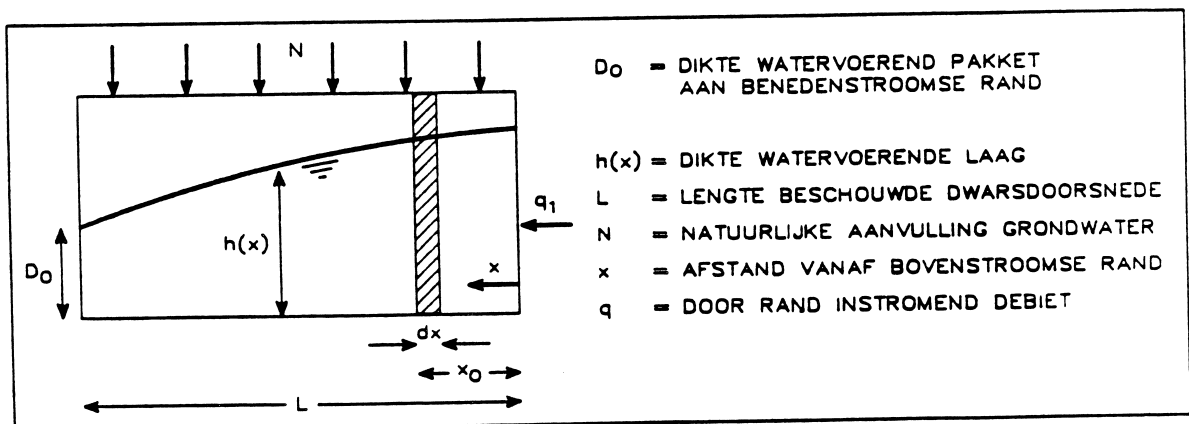
In grote delen van het stroomgebied komen dergelijke lagen, veelal van keileem, voor op ongeveer 2 m onder maaiveld en in variërende laagdikten. Opvallend is dat de leemlagen in de beekdalen ontbreken. Uit een keileem-verspreidingskaart [2] is een afstand tussen begin keileemlaag en waterloop afgeleid. De gevonden waarden staan in tabel 1.

In enkele beekdalen komt een weerstandbiedende laag in de beekbedding voor. De verblijftijd in deze laag blijkt, door het grote doorstromende debiet, slechts enkele dagen te bedragen wat verwaarloosbaar is ten opzichten van de verblijftijd in de andere lagen.

Verblijftijd in een homogeen watervoerend pakket

Voor de verblijftijd van een waterdeeltje in een homogeen watervoerend pakket is een formule afgeleid waarin rekening gehouden wordt met een variabele dikte van de verzadigde zone.

Figuur 5 Bij afleiding gehanteerde definities van de waterstromen.



De uitgangsformules zijn:

$$\text{stroming Darcy: } q = -K * h(x) * \frac{dh}{dx} \quad (3)$$

$$\text{continuïteit: } q(x) = q_1 + N * x \quad (4)$$

Kombinatie van (3) en (4) levert na integreren:

$$h^2 = -\frac{1}{K} * (Nx^2 + 2.q_1x - KC_2) \quad (5)$$

C_2 is daarin een integratie konstante die bepaalde wordt uit de randvoorwaarde voor $x = L$. De dikte van het watervoerend pakket bij de uitstroming in de beek wordt gesteld op D_0 .

$$\Rightarrow \begin{matrix} x = L \\ h = D_0 \end{matrix} \Rightarrow C_2 = D_0^2 + \frac{N}{K} L^2 + \frac{2.q_1}{K} L \quad (6)$$

$$h(x) = \left\{ \left(\frac{1}{K} \right) * ((- (q_1 + Nx) * x) - (q_1 * x) + (K * C_2)) \right\}^{1/2} \quad (7)$$

Substitutie van $q_1 + N * x$ door Y ($dY = N * dx$) levert na enig omschrijven:

$$h(x) = \left\{ \left(\frac{q_1^2 + K * C_2 * N}{K * N} \right) - \left(\frac{1}{K * N} * Y^2 \right) \right\}^{1/2} \quad (8)$$

De snelheid van een waterdeeltje in het pakket wordt beschreven door:

$$v = \frac{q}{p \cdot h(x)} = \frac{q_1 + N * x}{p * \left(-\frac{N * x^2}{K} - \frac{2 * q_1 * x}{K} + C_2 \right)^{1/2}} = \frac{dx}{dt} \quad (9)$$

Invullen van (8) en de = substitutievariable Y in (9) levert de volgende differentiaalvergelijking:

$$dt = \frac{P}{N} * \frac{\left\{ \frac{q_1^2 + K * C_2 * N}{K * N} - \frac{Y^2}{K * N} \right\}^{1/2}}{Y} * dY \quad (10)$$

Dit is om te schrijven tot een standaard integraal van Carmichael and Smith [10].

$$\int_{t=x_0}^{t=L} dt = \frac{P}{N} * \frac{1}{(K*N)^{1/2}} * \int_{x=x_0}^{x=L} \frac{(a_0^2 - Y^2)^{1/2}}{Y} dY \quad (11)$$

met $a_0 = (q_1^2 + K * C_2 * N)^{1/2}$

Voor de grenzen volgt met $Y = q_1 + N * x$

$$x = x_0 : Y_0 = q_1 + N * x_0$$

$$x = L : Y_1 = q_1 + N * L$$

De oplossing van de integraal is:

$$T(x_0 \rightarrow L) = \frac{P}{(K*N)^{1/2}} * \left[(a_0^2 - y^2)^{1/2} - \ln \left(\frac{a_0 + (a_0^2 - y^2)^{1/2}}{Y} \right) \right]_{q_1+N*x_0}^{q_1+N*L} \quad (12)$$

Na invulling van de grenswaarden en van de eerder afgeleide waarde van C_2 volgt de formule:

$$T(x_0 \rightarrow L) = \frac{P}{(K * N^3)^{1/2}} * \{ (K * N * D_0^2)^{1/2} - \\ (K * N * D_0^2 + N^2 * (L^2 - x_0^2))^{1/2} + \\ 2 * q_1 * N * (L - x_0) \}^{1/2} + \\ a * \text{LN} \left(\frac{(q_1 + N * L)}{(q_1 + N * x_0)} \right) * \\ \frac{(K * N * D_0^2 + N^2 * (L^2 - x_0^2) + 2 * q_1 * N * (L - x_0))^{1/2}}{(q_1 + N * x_0) * (a + (K * N * D_0^2)^{1/2})} \quad (13)$$

met $a = (q_1^2 + K * C_2 * N)^{1/2}$

Als de dikte als konstant wordt aangehouden gaat deze formule over in de meer bekende vorm:

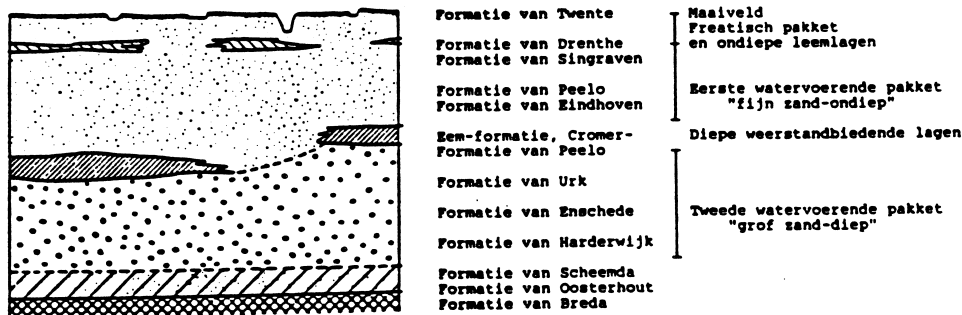
$$T(x_0 \rightarrow L) = \frac{P * D}{N} * \text{LN} \left(\frac{q_1 + N * L}{q_1 + N * x_0} \right) \quad (14)$$

Gebruikte symbolen:

$T(x_0 \rightarrow L)$	: verblijftijd van een deeltje dat op x_0 in het systeem komt	[jaar]
P	: porositeit watervoerend pakket	[-]
D_0	: dikte watervoerend pakket aan benedenstroomse rand	[m]
N	: natuurlijke aanvulling van het grondwater	[m/jaar]
K	: doorlatendheid pakket	[m/jaar]
q_1	: instromend debiet door bovenstroomse rand	[m ² /jaar]

In figuur 6 (uit [3]) is een schets gegeven van de opbouw van de bodem in het Drenthe. In deze studie is uitsluitend gekeken naar de afstroming door eerste watervoerende pakket. De diepe weerstandbiedende lagen of de grens tussen het eerste en tweede watervoerende pakket zijn als ondergrens van het beschouwde watervoerende pakket genomen. Deze grens ligt op een diepte van 30 tot 80 meter onder maaiveld.

Figuur 6. Opbouw van de ondergrond in Drenthe



3.3 Schematisering van het optreden van kwel en wegzijging.

In de berekening is het optreden van kwel of wegzijging meegenomen. Uit de literatuur [4] en [5] is afgeleid waar zich kwel- en wegzijgingsgebieden bevinden.

Aangenomen wordt dat de kwel over het gebied waar het optreedt konstant is. Dit is in dit geval een redelijke aanname omdat zowel het stijghoogteverschil als de weerstand tegen verticale stroming in de gebieden relatief weinig variatie vertonen. Het optreden van kwel heeft tot gevolg dat de netto aanvulling van het grondwater (N in de formules) toeneemt waardoor de stroomsnelheden toenemen en de verblijftijden kleiner worden. Uit de literatuur [4] en [5] is een schatting voor de grootte van de kwel afgeleid. De waarden voor de grootte van het kwelgebied en de kwelstroom zijn afgestemd op de waterbalans van het gebied.

Het optreden van wegzijging betekent dat een deel van de in het gebied gevallen neerslag niet afstroomt naar de beken maar naar het diepere grondwater. In de wegzijgingsgebieden wordt aangenomen dat alle natuurlijke aanvulling van het grondwater wegzijgt. Het oppervlak van het wegzijgingsgebied is geschat uit de kwel en wegzijgingskaart [4] en afgestemd op de waterbalans van het gebied. De aangenomen waarden en gebieden staan in tabel 4. Aangenomen is dat een deel van het wegzijgende debiet afstroomt door het eerste watervoerende pakket maar niet in het gebied in het oppervlaktewater terecht komt. Dit debiet vergroot de doorspoeling van dit pakket en verkleint daarmee de verblijftijd. Aangenomen is dat 20% van het wegzijgingsdebiet op deze wijze afstroomt. De berekeningsresultaten verschillen weinig als het percentage tussen de 10% en 40% ligt.

tabel 4. Gebruikte gegevens voor kwel en wegzijging. In de stroomrichting staat K voor Kwel en W voor Wegzijging.

gebied	stroom- richting	amplitude [mm/d]	oppervlak [ha]	lengte van de zone [m]
1 West	K	0,9	95	500
1 Oost	K	0,9	150	500
	W	1,03	370	1230
2 West	K	0,5	810	880
2 Oost	W	1,03	150	900
3 West	K	0,9	2420	1020
3 Oost	K	0,9	160	250
	W	1,03	1000	1525
4 West	K	0,5	625	840
	W	1,03	480	650
4 Oost	K	0,5	625	800
5 West	K	0,4	4420	4000
5 Oost	K	0,5	219	250
	W	1,03	1790	2040
6 West	K	0,9	313	330
	W	1,03	1900	1990
6 Oost	K	0,9	113	360
	W	1,03	4067	4640

3.4 Onzekerheden in de berekeningsuitkomsten.

De grondgedachte achter een wiskundig model van een waterhuishoudkundig systeem is dat toestand en gedrag van het systeem beschreven kunnen worden door een of meer wiskundige vergelijkingen. In combinatie met geschikte randvoorwaarden (bijvoorbeeld het beekpeil) en door het invullen van (gebieds)waarden voor de systeemp parameters kunnen de vergelijkingen opgelost worden waarmee de toestand of het gedrag van het systeem beschreven is.

In verschillende fasen van deze berekening treden onnauwkeurigheden in de beschrijving van de werkelijkheid op. De eerste bron van onnauwkeurigheid schuilt in de mate waarin de vergelijkingen het systeem beschrijven.

Bij de hier gehanteerde berekeningsmethode wordt een stroomgebied geschematiseerd tot een aantal verticale dwarsdoorsneden van de bodem. De gehanteerde vergelijkingen gelden voor zo'n dwarsdoorsnede. Onzeker is in hoeverre deze schematisatie van de werkelijkheid leidt tot onnauwkeurigheden in de responskarakteristiek. Daarnaast wordt in de gehanteerde berekeningsmethode uitgegaan van een stationaire stromingstoestand. In werkelijkheid vertonen zowel het neerslagoverschot als de afvoer een instationair gedrag. Onzeker is in hoeverre dit leidt tot onnauwkeurigheden in de gewenste responskarakteristiek.

Een tweede bron van onnauwkeurigheid schuilt in de manier waarop de vergelijkingen worden opgelost. De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van een spreadsheet programma, waarbij de verblijftijd berekend wordt voor een aantal discrete x-waarden (x = afstand tot waterloop). de gebruikte stapgrootte bepaalt de nauwkeurigheid van de uitkomsten.

Een derde bron van onzekerheid betreft de in te voeren (homogene) systeemparameters. Deze zijn niet altijd in het betreffende gebied gemeten en/of de nauwkeurigheid van de meting is beperkt. Voorts speelt hierbij een rol het optreden van variabiliteit en discontinuïteiten in de bodem.

De eerste twee bronnen van onnauwkeurigheid kunnen verminderd worden door gebruik te maken van een andere berekenings methode. Zo kan bijvoorbeeld het toepassen van een (in)stationair, 2 of 3 dimensionaal, grondwaterstromingsmodel worden overwogen. Daarbij neemt invloed van de derde bron van onnauwkeurigheid, de invoerparameters, relatief toe. Het is dan nodig om de modellen te ijken op gemeten grondwaterstanden en afvoeren. Het verminderen van de onnauwkeurigheden leidt tot een aanzienlijke toename van de benodigde inspanning en financiële middelen.

4. Resultaten en conclusies

Voor de afvoerpunten van het Drentse Aa stroomgebied, Loon en De Punt, zijn een frequentie- en een responskarakteristiek berekend. De resultaten staan in de figuren 7 en 8.

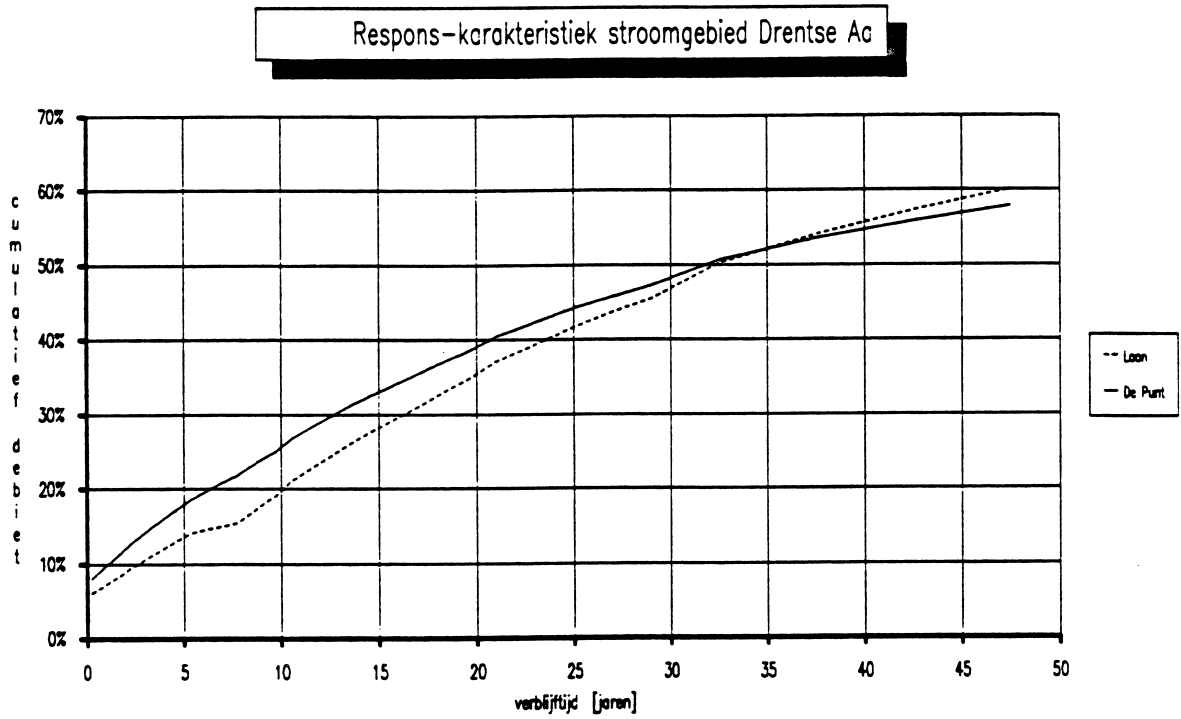
Het blijkt dat ongeveer 8% van de afvoer veroorzaakt wordt door oppervlakkige afspoeling. Uit de responskarakteristiek is ook het aandeel van kwel in de afvoer duidelijk af te lezen. Voor de afvoer van Loon geldt dat van de totale afvoer (22.5 miljoen m³/jaar) circa 22% afkomstig is uit kwel.

Tussen de karakteristiek van Loon en De Punt blijken duidelijke verschillen te zitten. In de Punt heeft een groter deel van de afvoer een kleinere verblijftijd dan bij Loon. Bij De Punt heeft 25% van het debiet een verblijftijd van minder dan 10 jaar tegen 20% bij Loon. Dit verschil wordt veroorzaakt door de aard van de gebieden die afwateren op Loon en De Punt. In de karakteristiek van Loon is duidelijk het effect te zien van de keileemlagen die in het zuiden van het Drentse Aa stroomgebied veel voorkomen. De aanwezigheid van deze keileemlagen openbaart zich als een "dal" in de frequentiekarakteristiek. In de karakteristiek van De Punt is dit effect veel minder zichtbaar omdat de afvoer uit de lage gebieden in het noorden van het stroomgebied een kortere verblijftijd heeft door een goede doorlatendheid en een grote dikte van de watervoerende laag.

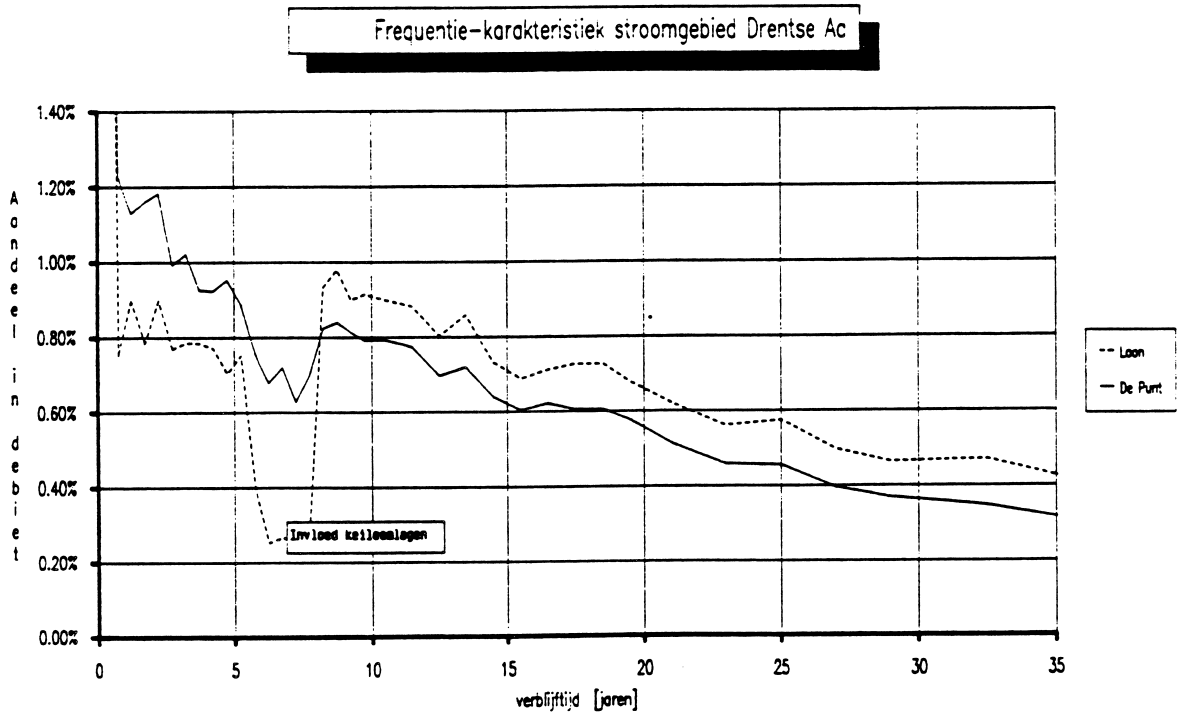
Gekonkludeerd kan worden dat het mogelijk is om met analytische formules de frequentiekarakteristiek van een stroomgebied te bepalen. Voor het uitwerken van een grondwaterbeschermingsbeleid ten behoeve van oppervlaktewaterwinningen zoals bij De Punt spelen de volgende factoren een rol:

- Voor 100% bescherming dient feitelijk het gehele intrekgebied, dus stroomgebied, beschermd te worden. Praktisch gesproken kan dit alleen via het algemene beschermingsbeleid.
- Door het aanwijzen van een "25 jaarszone" rond de beekdalen wordt slechts 40 - 50% van het onttrokken watervolume beschermd. In verschillende delen van het stroomgebied kan dit aanzienlijk variëren. Indicatief is in figuur 9 voor de deelgebieden aangegeven welk deel van het totale debiet binnen de 25 jaarszone valt.
- Op korte termijn zijn maatregelen die stofvrachten via afspoeling beperken het meest effectief. Mogelijk kan dit via een bijzonder beschermingsbeleid voor de directe omgeving van de beekdalen gerealiseerd worden.

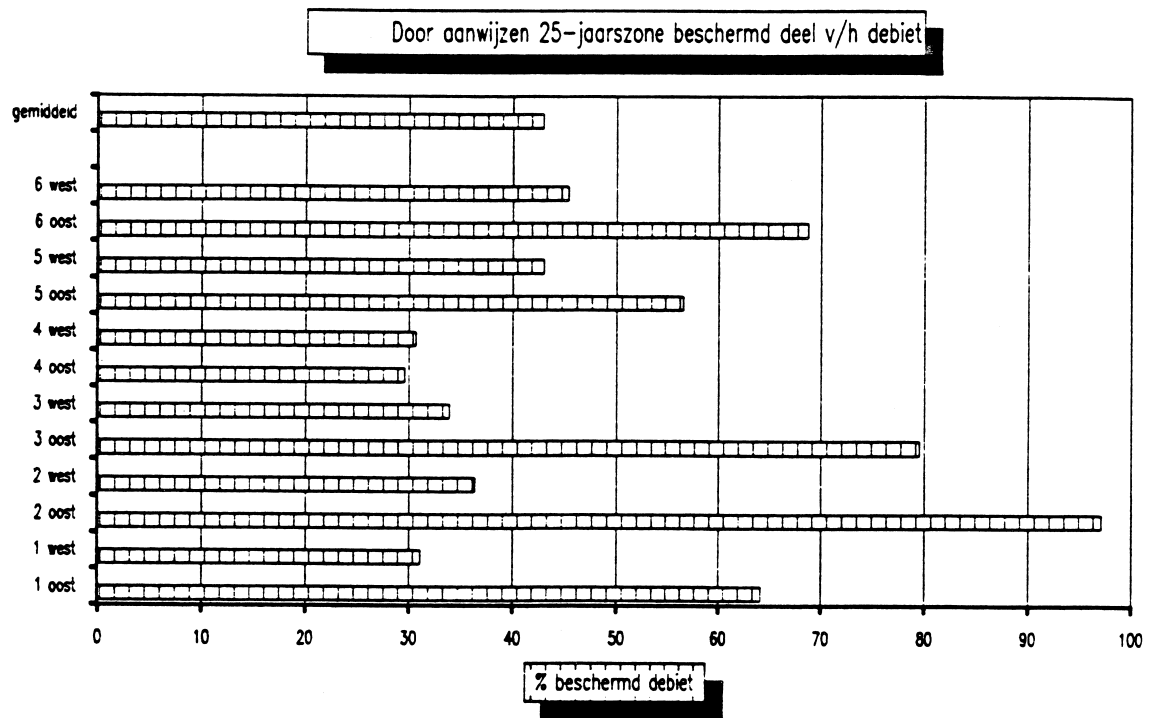
Figuur 7. Frequentiekaracteristiek van het stroomgebied van de Drentse Aa



Figuur 8. Responskarakteristiek van het stroomgebied van de Drentse Aa



Figuur 9. Percentage van debiet dat door 25 jaarszone beschermd wordt



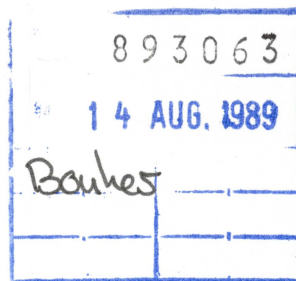
Literatuurreferenties.

- [1] Van Lanen Verblijftijd van water in de onverzadigde zone van
zandgronden in gebieden met diepe grondwaterspiegels;
H20, 1984, nr. 1
- [2] Technische werkgroep grondwaterplan Drenthe;
rapport van de T.W.G. Drenthe (2), 1985
- [3] Topografische Atlas van Nederland
- [4] Werkgroep tus-10-plan;
"Water voor Drenthe"; november 1987
- [5] Waterloopkundig Laboratorium;
Debietmeting meetplan Waterschap Drentse Aa;
rapport Q555; augustus 1987
- [6] Prof. dr. ir. J.C. van Dam;
Geohydrologie; Collegediktaat f15B;
Technische Universiteit Delft, 1985
- [7] Werkgroep regionaal geohydrologisch onderzoek;
Regionaal Geohydrologisch onderzoek in de provincie
Drenthe; 1969-1975
- [8] Waterloopkundig Laboratorium;
Onderzoek naar de verbetering van de modellering in DEMGEN
van de basisdrainage op de hoge gronden; verslag eerste
fase van het onderzoek;
rapport nr. T67-11; september 1987
- [9] Elsevier Agricultural Compendium
- [10] Carmichael and Smith, Mathematical Tables and Formulas

**Verdeling van verblijftijden in het stroomgebied
van de Drentse Aa**

**Ir. P. Grashoff, C. van Belois
Waterloopkundig Laboratorium Delft**

Technische commissie bodembescherming, Postbus 450, 2260 MB
Leidschendam, tel. (070) 209367 toestel 3417.



De voorzitter en leden van de werkgroep
Grondwaterbescherming

Uw kenmerk:

Ons kenmerk:

S/89-64

Datum:

7 augustus 1989

Uw brief van:

Betreft: "Rapport Grondwaterbescherming"

Het doet mij genoegen u een exemplaar te kunnen toezenden van het "Rapport Grondwaterbescherming". Het rapport vormt mede de basis voor de verdere werkzaamheden van de commissie op het gebied van de grondwaterbescherming. Ik mag u danken voor de door u geleverde bijdragen.

Hoogachtend,
de voorzitter van de
Technische commissie bodembescherming,



ir. H. Haverkate.