

32/446(95)2^{ex}

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**Watertransport door afdekkende kleilagen boven een aantal
waterwinningen in Gelderland**

K. Oostindie
D.J. Groot Obbink
J.J.B. Bronswijk

Rapport 95

STARING CENTRUM, Wageningen, 1990

- 3 FEB. 1994



18n 589115 *

REFERAAT

K. Oostindie, D.J. Groot Obbink, J.J.B. Bronswijk, 1989. Watertransport door afdekkende kleilagen boven een aantal waterwinningen in Gelderland. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 95, 135 blz., 9 fig., 8 aanhangsels.

In het algemeen gaat er van kleilagen een beschermende werking uit tegen verontreinigen van waterwinningen. Deze beschermende werking is in hoofdzaak afhankelijk van de dikte van de kleilaag. Door zwel- en krimpprocessen en preferente stroming kan water soms toch zeer snel het watervoerend pakket bereiken. Voor tien waterwingebieden in het Gelderse rivierengebied is de bodemkundige situatie geïnventariseerd en in kaart gebracht. Voor vier van deze winningen zijn de verblijftijden in de afdekkende kleilaag berekend met het computermodel FLOCR. In Beuningen en Druten komen plaatselijk zeer korte verblijftijden voor (enkele dagen). In Kolff en Velddriel zijn de verblijftijden over het algemeen veel langer (soms meer dan tien jaar).

Trefwoorden: waterwinning, verblijftijd, computermodel, preferente stroming, zwel- en krimpprocessen.

ISSN 0924-3070

Copyright 1989

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370 - 19100; telefax: 08370 - 24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu, en de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

Project nr. 3304

003cis/09.90

INHOUD

| | Blz |
|---|-----|
| SAMENVATTING | 9 |
| 1 INLEIDING | 11 |
| 2 ACHTERGROND VAN HET ONDERZOEK | 13 |
| 3 OPZET VAN HET ONDERZOEK | 15 |
| 4 AANVULLEND BODEMKUNDIG ONDERZOEK VAN DE TIEN WINNINGEN | 17 |
| 4.1 Inleiding | 17 |
| 4.2 Werkwijze | 17 |
| 4.2.1 Veldwerk | 17 |
| 4.2.2 Literatuurstudie | 19 |
| 4.3 Resultaten | 19 |
| 5 SELECTIE VAN VIER WINNINGEN | 21 |
| 6 VERBLIJFTIJDEN VAN WATER IN DE AFDEKKENDE KLEILAAG | 23 |
| 6.1 Inleiding | 23 |
| 6.2 Principe computermodel FLOCR | 23 |
| 6.3 Berekening van verblijftijden in de afdekkende kleilaag | 23 |
| 6.4 Werkwijze | 26 |
| 6.4.1 Schematisatie van de winningen en verzameling van de invoergegevens | 26 |
| 6.4.2 Presentatie van resultaten | 27 |
| 6.5 Resultaten | 28 |
| 6.5.1 Beuningen | 28 |
| 6.5.2 Druten | 29 |
| 6.5.3 Kolff | 29 |
| 6.5.4 Velddriel | 29 |
| 7 BETROUWBAARHEID VAN DE BEREKENINGEN | 35 |
| 8 CONCLUSIES | 39 |
| LITERATUUR | 41 |
| AANHANGSELS | |
| 1 Resultaten bodemkundig onderzoek van de 10 waterwinningen in het Gelderse Rivierengebied | 43 |
| 2 Zanddiepten behorende bij de vier geselecteerde winningen | 87 |
| 3 Stijghoogten in het eerste watervoerende pakket bij de vier geselecteerde winningen | 93 |
| 4 Modelinvoerparameters per legenda-eenheid behorende bij de vier geselecteerde winningen | 97 |

| | | |
|---|---|-----|
| 5 | Waterbalansen en verdelingen van de verblijftijden per legenda-eenheid van het waterwingebied Beuningen | 99 |
| 6 | Waterbalansen en verdelingen van verblijftijden per legenda-eenheid van het waterwingebied Druten | 107 |
| 7 | Waterbalansen en verdelingen van verblijftijden per legenda-eenheid van het waterwingebied Kolff | 111 |
| 8 | Waterbalansen en verdelingen van verblijftijden per legenda-eenheid van het waterwingebied Velddriel | 123 |

TABELLEN

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Globale inschatting van verblijftijden van water in de afdekkende kleilaag boven 10 waterwinningen in Gelderland, gebaseerd op geologische en bodemkundig/hydrologische gegevens in volgorde van korte tot lange verblijftijd | 21 |
| 2 | Herkomst van de basisgegevens welke gebruikt worden voor modelsimulaties | 27 |
| 3 | Classificatie van hoeveelheden water (mm) dat een bepaalde verblijftijd heeft in de afdekkende kleilaag alvorens het de pleistocene zandondergrond bereikt | 28 |
| 4 | Berekende en werkelijke grondwatertrappen in de vier geselecteerde winningen | 35 |
| 5 | Overzicht van de profielen met de grondwatertrap en de plaats van voorkomen | 97 |
| 6 | Model invoerparameters per legenda-eenheid behorende bij de vier geselecteerde winningen | 98 |

FIGUREN

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Transport van water door de afdekkende kleilaag naar de zandondergrond | 13 |
| 2 | De ligging van de tien waterwinningen waarop deze studie betrekking heeft | 18 |
| 3 | Principe van het model FLOCR (Bronswijk, 1988) waarmee de vochthuishouding van zwellende en krimpende gronden kan worden gesimuleerd | 24 |
| 4 | Voorbeeld van een verblijftijdenindeling, waarin de klassebovengrenzen zijn aangegeven. De klassebreedte bedraagt 25 dagen. De dikte van de afdekkende kleilaag is 180 cm. De opengewerkte balk is de matrix-infiltratie en de dichte balken hebben betrekking op de infiltratie via de scheuren | 28 |
| 5 | Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het waterwingebied Beuningen | 30 |
| 6 | Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het waterwingebied Druten | 31 |

| | |
|---|----|
| 7 Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het waterwingebied Kolff | 32 |
| 8 Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het waterwingebied Velddriel | 33 |
| 9 Resultaten van een gevoeligheidsanalyse. De lijnen A, B, C en D hebben betrekking op de overeenkomstige punten uit de tekst | 36 |

SAMENVATTING

In het Gelderse rivierengebied liggen een aantal waterwinningen waar een holocene kleilaag de pleistocene zandondergrond, waaruit water wordt gewonnen, afdekt. De provincie Gelderland wil nader onderzoeken of de bescherming van tien van deze winningen voldoende is gewaarborgd. Hiertoe is een onderzoeksopdracht aan het Staring Centrum verstrekt. Het doel van het onderzoek was aan te geven wat de bodemgesteldheid en de profielopbouw rond de tien waterwingebieden is. Daarnaast moest voor een aantal winningen de verblijftijd van het water in de afdekkende kleilaag worden berekend.

Het onderzoek is in een aantal fasen uitgevoerd. Eerst zijn de tien waterwinningen met behulp van bodemkaarten 1 : 50 000 nader verkend en zijn er profielbeschrijvingen gemaakt. In de tweede fase zijn vier winningen geselecteerd waarvoor het transport van water nader is gekwantificeerd. In de derde fase van het onderzoek zijn de invoergegevens verzameld, waarna in fase vier de verblijftijden van water in de holocene bovengrond werden berekend met het computermodel FLOCR. Dit model is speciaal ontwikkeld om watertransport door kleigronden te simuleren, met speciale aandacht voor het optreden van preferente stroming.

De geselecteerde winningen voor modelberekeningen zijn Beuningen, Druten, Kolff en Velddriel. Pompstation Beuningen is nog niet in bedrijf, de andere drie wel. Met uitzondering van de diep ontwaterde profielen werden voor de waterwingebieden Beuningen en Druten korte tot zeer korte verblijftijden van het water in de afdekkende kleilaag berekend. Indien pompstation Beuningen water gaat winnen, dan zullen de verblijftijden in de diep ontwaterde gebieden ook relatief kort worden. Het dunne kleipakket is de hoofdoorzaak van de korte verblijftijden in de bovengrond. De waterwingebieden Kolff en Velddriel hebben een dik kleidek, voor deze gebieden zijn dan ook lange tot zeer lange verblijftijden berekend. In Velddriel komen zeer plaatselijk zandopduikingen voor die op de huidige kaartschaal niet aangegeven kunnen worden, maar waar plaatselijk zeer snel watertransport van bodemoppervlak naar zandondergrond plaats kan vinden.

1 INLEIDING

In het kader van de Verordening grondwaterbeschermingsgebieden Gelderland (VgG) zijn de openbare grondwaterwinningen in de provincie ingedeeld in diverse klassen. Een van de klassen omvat 10 winningen in het rivierengebied. Het betreft winningen waarbij water wordt gewonnen uit de pleistocene zandondergrond. Boven de winningen komen één of meerdere holocene kleilagen voor. Deze kleilagen beschermen de waterwinning in meer of mindere mate voor verontreiniging. Daarom heerst in deze gebieden een versoepelde VgG regelgeving. De provincie Gelderland wil nader uitzoeken of de bescherming van deze winningen voldoende gewaarborgd is en heeft hiertoe een onderzoeksopdracht aan het Staring Centrum verstrekt. Doel van het onderzoek was om aan te geven wat de bodemgesteldheid en profielopbouw rond de winningen is en wat globaal de kwetsbaarheid van de 10 winningen is. Vervolgens zou voor een aantal winningen het transport van water van bodemoppervlak naar de zandondergrond nader gekwantificeerd moeten worden door middel van een modelstudie.

2 ACHTERGROND VAN HET ONDERZOEK

Een verzadigde kleilaag heeft een zeer lage verzadigde hydraulische doorlatendheid. Als gevolg hiervan is de verblijftijd van water in zo'n kleilaag lang. Daarnaast is de adsorptiecapaciteit van kleilagen hoog. Als gevolg hiervan vormen verzadigde kleilagen een natuurlijke bescherming van een drinkwaterwinning tegen verontreiniging. Hoe langer de verblijftijd van water in de kleilaag is, des te beter is de bescherming van een drinkwaterwinning onder de kleilaag. In onverzadigde toestand krimpen kleigronden echter waardoor scheuren ontstaan. Door deze krimp-scheuren kunnen water en opgeloste stoffen snel naar het grondwater worden getransporteerd, zonder dat processen als adsorptie hebben kunnen optreden. Dit proces wordt wel preferente stroming of kortsluiting genoemd (Bouma, 1984). Zodra water en stoffen via preferente stroming het grondwater hebben bereikt kunnen twee mogelijke situaties worden onderscheiden (fig. 1):

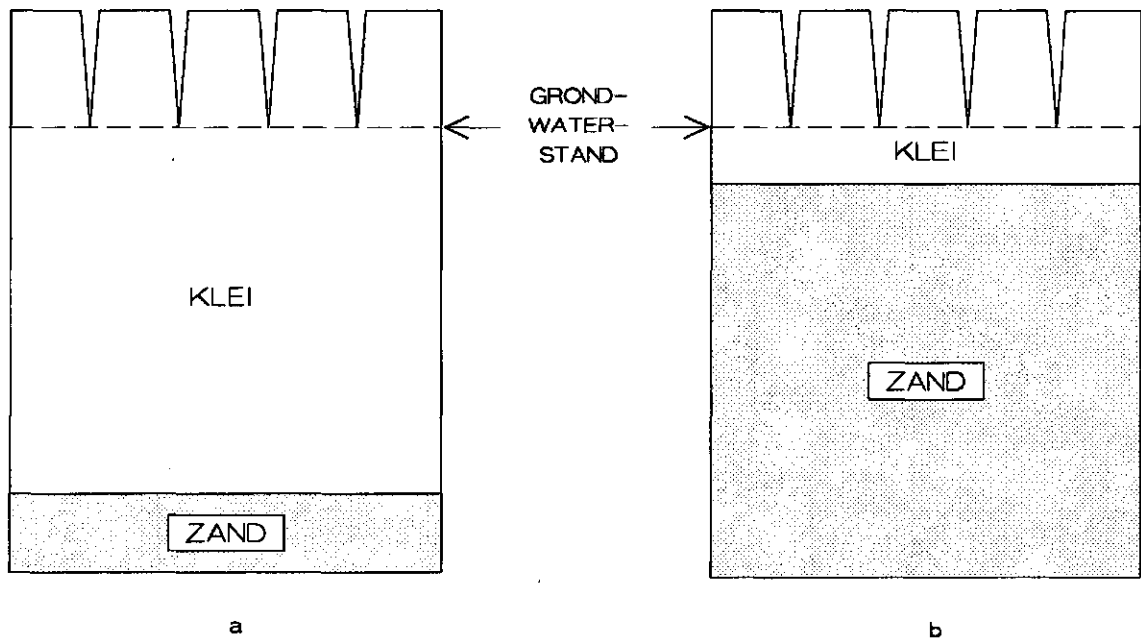


Fig. 1 Transport van water door een afdekkende kleilaag naar de zand-ondergrond. A: Onder de grondwaterstand is een dikke kleilaag aanwezig waardoor er weinig gevaar is voor verontreiniging van de zandondergrond. B: Onder de grondwaterspiegel is slechts een dunne kleilaag aanwezig en dus is er kans op verontreiniging van de zandondergrond.

- Onder de grondwaterspiegel is nog sprake van een dikke laag verzadigde, slecht doorlatende, zware klei. In dat geval bestaat er weinig gevaar voor verontreiniging van een drinkwaterwinning onder deze kleilaag (fig. 1a).
- Onder de zware kleilaag komt op geringe diepte een beter doorlatende laag voor (bijv. pleistoceen zand) waaruit

drinkwater wordt gewonnen. In dat geval kan de grondwaterstand dalen tot vlak boven, of zelfs in de beter doorlatende laag en bestaat er een reële kans op verontreiniging van de winning (fig. 1b).

De 10 drinkwaterwinningen in het Gelderse rivierengebied zijn schematisch opgebouwd uit een holocene kleilaag die de beter doorlatende pleistocene zandondergrond afdekt zoals in fig. 1. Uit de zandondergrond wordt drinkwater gewonnen. Soms wordt water gewonnen uit het eerste watervoerende pakket, soms ook uit diepere pakketten. Op grond van het bovenstaande bepaalt een aantal factoren de hoeveelheid water die door de holocene kleilaag naar de pleistocene zandondergrond stroomt, en de verblijftijd van dit water in de holocene kleilaag:

1. Het neerslagoverschot.
Bij een groot neerslagoverschot, zal veel water naar de ondergrond worden getransporteerd.
2. De ontwatering.
Bij een betere ontwatering zal enerzijds meer water naar het oppervlaktewater afstromen en minder water naar de ondergrond. Daartegenover staat dat een betere ontwatering resulteert in diepere grondwaterstanden wat tot gevolg heeft dat krimp-scheuren tot dieper in de bodem zullen doordringen. Dit resulteert weer in kortere verblijftijden in de kleilaag.
3. De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.
In het geval van lage stijghoogtes zal meer water door de kleilaag naar de zandondergrond stromen en zullen ook de verblijftijden korter zijn.
4. Het krimpvermogen van de kleilaag.
Hoe sterker de grond krimpt, hoe meer water via de scheuren zeer snel naar de ondergrond zal stromen;
5. De dikte van de kleilaag.
Hoe dikker de kleilaag, hoe langer de verblijftijd.

Om al deze factoren kwantitatief in berekeningen van verblijftijden op te nemen is het gebruik van een computer-model onmisbaar.

3 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Het uitgevoerde onderzoek bestond uit een aantal fasen:

1. Een beschrijving van alle 10 waterwinningen. Hierbij werd met behulp van bestaande bodemkaarten 1 : 50 000 en aanvullend veldwerk het gebied rond de winning gedetailleerd verkend. Van representatieve profielen zijn beschrijvingen gemaakt. Speciale aandacht ging uit naar de diepte van de pleistocene ondergrond en de grondwatertrap.
2. Selectie van 3-5 winningen voor het kwantificeren van transport van water van het bodemoppervlak naar de zandondergrond met behulp van een modelstudie. Criteria voor deze selectie waren:
 - belang van de winning;
 - representativiteit voor andere winningen;
 - beschikbaarheid van voldoende veldgegevens.
3. Verzameling van benodigde invoergegevens voor modelberekeningen voor de geselecteerde winningen. (Neerslag, potentiële verdamping, bodemfysische eigenschappen, diepte pleistocene zandondergrond, drainage-intensiteit, grondwaterstanden, stijghoogte eerste watervoerende pakket). Deze gegevens zijn deels in het veld gemeten en deels uit bestaande literatuur afkomstig.
4. Berekening van de hoeveelheid water die door de afdek-kende kleilaag naar de zandondergrond stroomt en de verblijftijden van dat water in de afdekkende kleilaag.

4 AANVULLEND BODEMKUNDIG ONDERZOEK VAN DE TIEN WATERWINNINGEN

4.1 Inleiding

De tien waterwinningen in het riviereengebied die onder een kleipakket liggen en waarop deze studie betrekking heeft zijn: Beuningen, Culemborg, Druten, Fikkersdries, Immerloo, Kolff, Lent, Velddriel, Verschuier en Zoelen. De ligging van deze 10 waterwinningen is weergegeven in Fig. 2.

4.2 Werkwijze

Om een inzicht te verkrijgen in de geohydrologische en bodemkundige opbouw van de kleigronden boven het eerste watervoerende pakket, werd binnen het beschermingsgebied van elke winning, op basis van de bodemkaart van Nederland, 1 : 50 000, een nader onderzoek naar aard en omvang van het afdekkende kleidek uitgevoerd.

De benodigde gegevens werden verkregen door:

- veldwerk;
- literatuurstudie aan de hand van geologische- en bodemkaarten en rapporten;
- verwerken van verstrekte boorresultaten door de Rijks Geologische Dienst (RGD) en de Waterleiding Maatschappij Gelderland (WVG).

4.2.1 Veldwerk

Op de door de opdrachtgever beschikbaar gestelde kaarten met een schaal van 1 : 25 000, werden van elk beschermingsgebied rondom een drinkwaterpompstation, de aanwezige bodemkundige gegevens aangebracht.

Tijdens het veldonderzoek werd per kaarteenheden aan de hand van een aantal grondboringen tot maximaal vier meter diepte, waar mogelijk een nadere detaillering van de bodemgesteldheid op kaart aangebracht. Dit betroffen onder andere de elementen in het landschap, bijvoorbeeld zandkopjes. tevens werd van de onderscheiden bodemhorizonten de horizontale verzadigde doorlatendheid geschat. Per kaarteenheden werden de Gt-klassen, waar nodig, aangepast aan de huidige, landbouwkundig-hydrologische situatie. Hierbij werden plaatselijk nadere detailleringen binnen de Gt-klassen aangebracht. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zijn geschat aan de hand van profiel- en veldkenmerken. Voorts werd aandacht geschonken aan bijzondere terreinkenmerken, in de vorm van wegen en waterlopen, spoorlijnen en bouwwerken, die de beschermende werking van het kleipakket beïnvloeden.

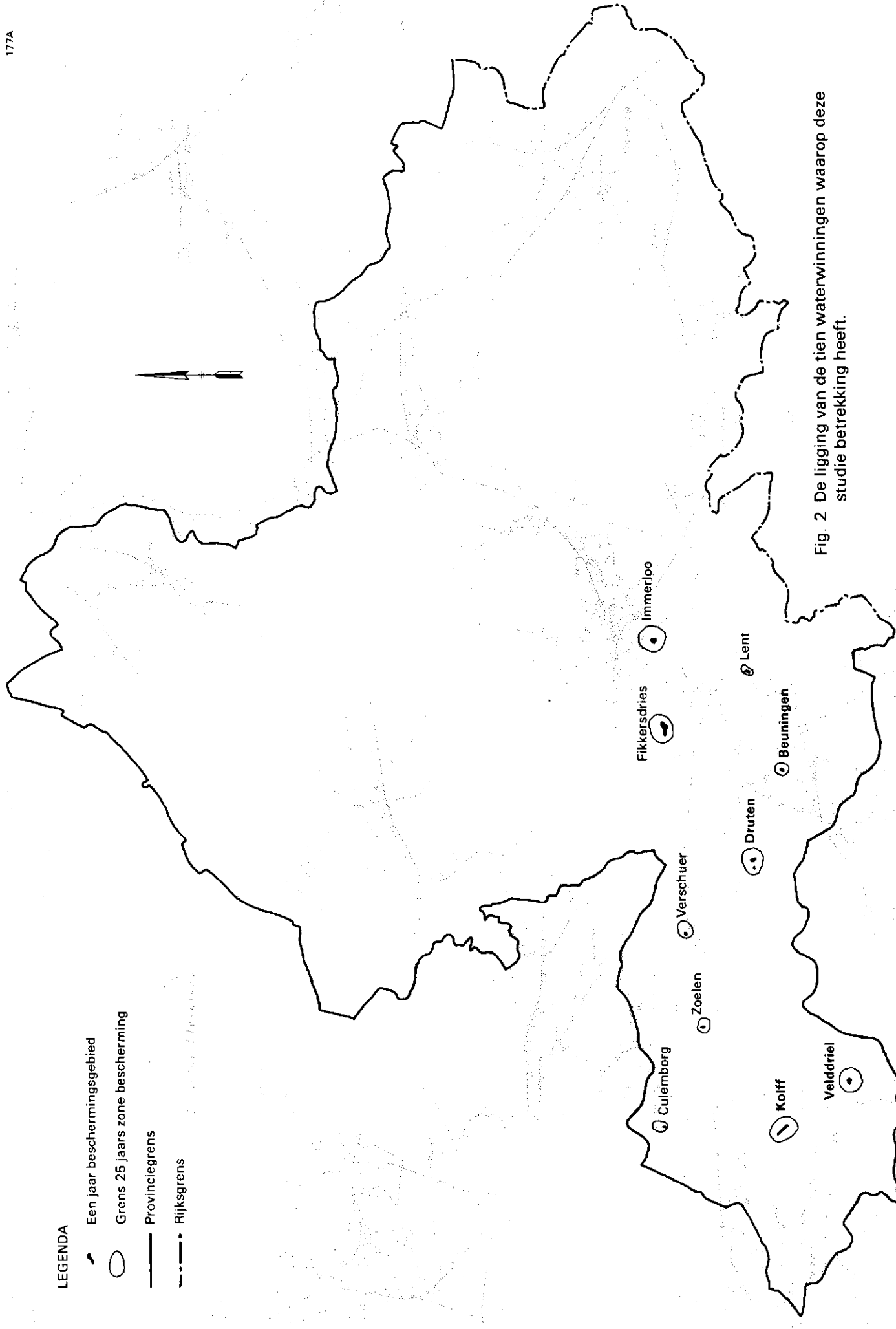


Fig. 2 De ligging van de tien waterwinningen waarop deze studie betrekking heeft.

4.2.2 Literatuurstudie

Voor het vaststellen van de geohydrologische opbouw per kaarteenheden werd gebruik gemaakt van boorgegevens (handboringen tot max. tien meter diepte) en enkele diepboringen tot max. 50 meter diepte, verstrekt door de RGD, district Midden-Oost te Lochem en diepboorgegevens tot max. 300 meter diepte, verstrekt door de WMG te Velp. De geohydrologische opbouw werd per kaarteenheden vastgesteld; in een aantal gevallen resulteerde een vrijwel identieke profielopbouw van max. twee kaarteenheden ook in een geohydrologische profielbeschrijving. De beschrijvingen reiken tot de top van de aangetroffen zandondergrond (eerste watervoerend pakket).

Van de volgende literatuur is gebruik gemaakt: Berendsen (1986), Bles (1973), Mulder et al. (1979), RGD (1984), Scholten et al. (1990) en van een aantal bladen van de bodemkaart van Nederland (Stiboka).

4.3 Resultaten

De in het vorenstaande genoemde gegevens en wijze van verwerken hebben voor elk beschermingsgebied geleid tot een bodem- en Gt-kaart, schaal 1 : 50 000 en een geohydrologische profielbeschrijving per kaarteenheden of per combinatie van max. twee kaarteenheden. Deze gegevens staan in aanhangsel 1.

5 SELECTIE VAN 4 WINNINGEN

Op grond van de uitgevoerde kartering is een globale schatting van de kwetsbaarheid van de verschillende waterwinningen gemaakt (tabel 1). Op basis hiervan is besloten een viertal waterwinningen te selecteren. Het betreft twee locaties waarbij een dik afdekkend kleipakket boven de winning voorkomt (Kolff en Velddriel) en twee ondiepe winningen met een relatief dun kleipakket (Druten en Beuningen). In Beuningen wordt nog geen water gewonnen. In de andere drie gebieden wel.

Tabel 1 Globale inschatting van verblijftijden van water in de afdekkende kleilaag boven 10 waterwinningen in Gelderland, gebaseerd op geologische en bodemkundig/hydrologische gegevens in volgorde van korte tot lange verblijftijd.

| Winning | Toelichting | Geschatte verblijftijd in afdekkende kleilaag |
|--------------|--|---|
| Druten | ondiepe winning, dun kleidek | zeer kort |
| Beuningen | ondiepe winning, dun kleidek, plaatselijk ondiepe rivierduin afzettingen | zeer kort |
| Immerloo | dun kleidek, diepe winning, goed doorlatende ondergrond | zeer kort |
| Lent | dun kleidek, rivierinvloed | zeer kort |
| Culemborg | dun kleidek | zeer kort |
| Fikkersdries | matig dik kleidek, diepe winning, kleilaag met zandtussenlagen in ondergrond | kort |
| Verschuer | matig dik kleidek | kort |
| Zoelen | dik kleidek, diepe winning, misschien problemen in zavelgebieden | kort |
| Kolff | dik kleidek, ondiepe winning | lang |
| Velddriel | dik kleidek, diepe winning | lang |

6 VERBLIJFTIJDEN VAN WATER IN DE AFDEKKENDE KLEILAAG

6.1 Inleiding

Bij het berekenen van het transport van water door de bodem wordt veelvuldig gebruik gemaakt van computer-modellen. Voor verschillende situaties moeten vaak verschillende modellen worden toegepast. Het computermodel FLOCR is speciaal ontwikkeld om watertransport door zwellende en krimpende kleigronden te berekenen. Dit model is gebruikt om in de vier geselecteerde winningen de verblijftijd van water in de afdekkende kleilaag te berekenen. De principes van het model worden kort besproken in par. 6.2. De berekeningmethode van de verblijftijden wordt uiteengezet in par. 6.3. Par. 6.4 behandelt de gevolgde werkwijze. In par. 6.5 tenslotte worden de resultaten gepresenteerd.

6.2 Principe computermodel FLOCR

Het computermodel FLOCR berekent onverzadigd vertikaal transport van water door de bodem. Het model houdt rekening met zwel- en krimpprocessen in kleigronden. Zo berekent het model bijvoorbeeld scheurvolumes, zakkingen van het maaiveld en ook preferent transport van water door krimpscheuren. De bodem wordt daartoe verdeeld in twee fasen: bodemmatrix en krimpscheuren. Neerslag wordt verdeeld over matrix en scheuren. Het gedeelte dat infiltreert in de matrix stroomt zeer langzaam naar de ondergrond. Het deel dat infiltreert in de scheuren bereikt snel de bodem van de scheuren, in het algemeen de grondwaterstand of een zandlaag. Het principe van het model is schematisch weergegeven in fig. 3. Het model geeft voor elke 1/5 dag de resultaten van de simulatie. Zowel het water in de matrix als in de scheuren bereikt na verloop van tijd het grondwater. In de verzadigde zone onder de grondwaterspiegel wordt het water deels getransporteerd naar het ontwateringsstelsel (drains, greppels, sloten e.d.) en deels naar de diepere ondergrond, bijvoorbeeld het watervoerende pakket waaruit drinkwater gewonnen wordt. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van het model wordt verwezen naar Bronswijk (1988).

6.3 Berekening van verblijftijden in de afdekkende kleilaag

Voordat het water in de zandondergrond terecht komt heeft het een bepaalde verblijftijd in de afdekkende kleilaag. De verblijftijd in de kleilaag is belangrijk omdat door bodemchemische processen als adsorptie, afbraak, en der-

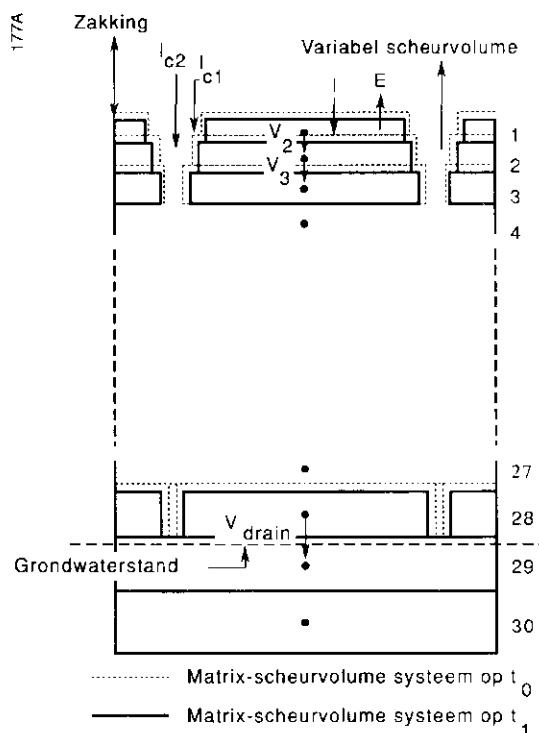


Fig. 3 Principe van het model FLOCR (Bronswijk, 1988) waarmee de vochthuishouding van zwellende en krimpende gronden kan worden gesimuleerd.

- I = infiltratie van neerslag in bodemmatrix ($m \cdot s^{-1}$)
 I_{c1} = intensiteit groter is dan maximum infiltratiecapaciteit van bodemmatrix ($m \cdot s^{-1}$)
 I_{c2} = infiltratie in scheuren als gevolg van neerslag die rechtstreeks in scheuren valt ($m \cdot s^{-1}$)
 E = evapotranspiratie ($m \cdot s^{-1}$)
 V = watertransport tussen knooppunten van rekenlagen ($m \cdot s^{-1}$)
 V_{drain} = drainafvoer ($m \cdot s^{-1}$)

gelijke de concentratie van stoffen in het bodemvocht vaak in gunstige zin verandert. Hoe langer de verblijftijd in de kleilaag, hoe minder stoffen er uiteindelijk in de zandondergrond en in de waterwinning terecht zullen komen. De verblijftijd in de afdekkende kleilaag varieert tussen nul dagen tot vele jaren. Water dat via diepe krimp-scheuren onmiddellijk in het grondwater in een ondiepe zandlaag terecht komt heeft een verblijftijd van nul dagen. Water dat via de matrix bij het grondwater komt en vervolgens nog door een vijf meter dikke verzadigde kleilaag stroomt voordat de zandondergrond wordt bereikt zal een verblijftijd hebben van tientallen jaren. In het eerste geval zal een waterwinning bijzonder kwetsbaar zijn voor verontreiniging en in het tweede geval nauwelijks kwetsbaar.

In een kleigrond met bodemmatrix, krimpscheuren, onverzadigde zone en verzadigde zone hebben we te maken met diverse "soorten" water die elk hun eigen verblijftijd hebben (zie fig. 3):

1. water dat door de krimpscheuren in de onverzadigde zone naar de grondwaterspiegel stroomt;
2. water dat door de onverzadigde bodemmatrix tussen de scheuren naar de grondwaterspiegel stroomt;
3. water dat onder de grondwaterspiegel door de verzadigde zone naar het eerste watervoerende pakket (de zand-ondergrond) stroomt.

Voor elk van deze categorieën geldt een andere berekening van de verblijftijd. In het geval van transport door krimpscheuren (1) is de verblijftijd in de onverzadigde zone nul dagen (zie par. 6.2).

Het water dat in de onverzadigde bodemmatrix stroomt (2) heeft een langere verblijftijd. Voor de berekening van deze verblijftijd in de onverzadigde bodemmatrix is uitgegaan van de gemiddelde grondwaterstand in het betreffende bodemprofiel. Er is gebruik gemaakt van de benadering zoals onder andere ook door Van Lanen (1984) gebruikt is. Deze geeft een formule voor de verblijftijd van water in de percolatiezone van diep ontwaterde zandgronden:

$$t = \frac{D\theta}{NN} \quad (1)$$

Hierin is: t : verblijftijd (d);
 D : dikte onverzadigde zone (cm);
 θ : vochtgehalte (-);
 NN: langjarig gemiddeld neerslagoverschot (cm/d).

Deze formule levert in het geval van ondiep grondwater slechts een globale schatting, omdat er in de wortelzone voortdurend op- en neerwaartse bewegingen van het water voorkomen tengevolge van afwisselend neerslag en verdamping. De met vergelijking 1 berekende verblijftijd kan worden beschouwd als een minimale verblijftijd. Werkelijke verblijftijden in de onverzadigde zone kunnen worden berekend met een methode gegeven door Van Duynisveld (1984). Het accent van de huidige studie lag echter niet zozeer op het transport door de matrix maar meer op het veel snellere transport door scheuren. Daarnaast is voor inschatting van de kwetsbaarheid van waterwinningen vooral de minimaal te verwachten verblijftijd belangrijk en deze is goed te schatten met vergelijking 1. Het langjarig gemiddeld neerslagoverschot is 220 mm.j^{-1} , hetgeen neerkomt op $0,06 \text{ cm/d}^{-1}$. De dikte van de onverzadigde zone en het vochtgehalte worden door het computermodel berekend.

Bij transport door de verzadigde zone naar het eerste watervoerende pakket (3) is de verblijftijd berekend met behulp van de volgende formule:

$$t = \frac{D\xi}{v} \quad (2)$$

Hierin is: t: verblijftijd (d)
 D: dikte van het verzadigde kleipakket (cm)
 v: waterflux door het verzadigde kleipakket

cm.d⁻¹)
 ξ : porositeit van het kleipakket (-)

Hierin is v de met de wet van Darcy berekende flux tussen de grondwaterspiegel en de onderkant van de afdekkende kleilaag.

$$v = -K_s \frac{dH}{dz} \quad (3)$$

waarin K_s : verzadigde hydraulische doorlatendheid van de afdekkende kleilaag (cm.d⁻¹);
 dH : $H_g - H_a$ = grondwaterstand - stijghoogte eerste watervoerende pakket (cm);
 dz : dikte verzadigde pakket (afstand tussen grondwaterspiegel en onderkant afdekkende kleilaag (cm)).

In veel gevallen moeten voor een bepaalde hoeveelheid water verschillende berekeningswijzen achter elkaar worden toegepast. Zo komt het bijvoorbeeld vaak voor dat water eerst door de onverzadigde matrix stroomt (verblijftijd berekend volgens vgl.1) en daarna door de verzadigde zone (vgl. 2) alvorens de pleistocene zandondergrond wordt bereikt.

6.4 Werkwijze

6.4.1 Schematisatie van de winningen en verzameling van invoergegevens

Op basis van het in Hoofdstuk 4 beschreven bodemkundig onderzoek werd elke geselecteerde waterwinning opgedeeld in kaartvlakken, waarbij per kaartvlak de volgende eigenschappen gelijk zijn:

- profielopbouw (aanhangsel 1);
- drainage-intensiteit en diepte (aanhangsel 4);
- grondwatertrap (aanhangsel 4);
- begindiepte van de zandondergrond (aanhangsel 2);
- stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (aanhangsel 3).

Vervolgens werden voor elk kaartvlak de benodigde invoergegevens voor het model FLOCR verzameld, waarna per kaartvlak de modelberekeningen zijn uitgevoerd voor respectievelijk een nat-, droog- en gemiddeld jaar. Deze jaren zijn 1973 als gemiddeld, 1974 als nat en 1976 als droog jaar, met als jaarlijkse neerslagsommen respectievelijk 780 mm.jr⁻¹ (1973), 990 mm.jr⁻¹ (1974) en 535 mm.jr⁻¹ (1976).

De basisgegevens welke in het model zijn gebruikt en de herkomst ervan zijn in tabel 2 weergegeven. De invoer-

parameters die voor elk kaartvlak zijn gebruikt in de modelberekeningen zijn samengevat in aanhangsel 4.

Voor het studiegebied Velddriel is geen zanddieptekaart beschikbaar. Voor zover mogelijk is gebruik gemaakt van boorgegevens van het waterleidingbedrijf WMG.

Tabel 2 Herkomst van de basisgegevens welke gebruikt worden voor modelsimulaties.

| Basisgegevens | Herkomst |
|---|---|
| Geologische en bodemkundige/ hydrologische gegevens (o.a. (o.a. GHG en GLG) | RGD Midden-Oost Lochem, WMG Arnhem, aanvullend veldwerk (aanhangsel 1) |
| Bodemfysische eigenschappen | Staringreeks (Wösten et al., 1987) |
| Meteogegevens | KNMI |
| Zanddiepten | RGD Midden-Oost Lochem (aanhangsel 2) |
| Stijghoogten | DGV-TNO (aanhangsel 3) |
| Grondwatertrappen | Bodemkaart van Nederland, aanvullend veldwerk (aanhangsel 1) |

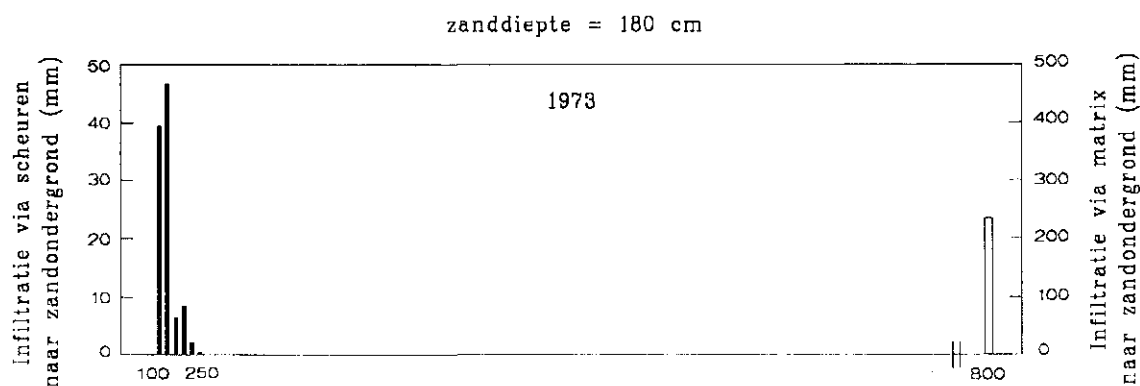
6.4.2 Presentatie van de resultaten

De modelberekeningen zijn uitgevoerd voor elk der kaartvlakken beschreven in par. 6.4.1. Per kaartvlak berekent het computermodel een bepaalde verblijftijdenverdeling. Een voorbeeld van zo'n berekende verdeling is gegeven in Fig. 4. Uit deze figuur is af te lezen dat 39 mm een verblijftijd van 101 tot 125 dagen in de afdekkende kleilaag heeft, 47 mm een verblijftijd van 126 tot 150 dagen, 6 mm een verblijftijd van 151 tot 175 dagen enz. De informatie in deze figuur bestaat uit de hoeveelheid water die in de zandondergrond terecht komt en de verblijftijd die bij die hoeveelheid hoort. Om deze informatie te vertalen naar een topografische kaart is tabel 3 samengesteld.

Met behulp van tabel 3 kan aan een bepaalde verblijftijdenverdeling, zoals bijvoorbeeld in fig. 4, een verblijftijdklasse worden toegekend. De verblijftijdklassen variëren van "zeer kort" tot "zeer lang". Een verblijftijdenverdeling krijgt de verblijftijdklasse "zeer kort" toegewezen indien meer dan 25 mm water een verblijftijd in de afdekkende kleilaag van minder dan 50 dagen heeft. De hoeveelheid water met een langere verblijftijd (klasse 50-400, of > 400 dagen) is dan niet meer van belang. Dit wordt in de tabel aangegeven met een minteken (-). Op deze wijze kan aan elk kaartvlak een verblijftijdklasse worden toegekend en middels kleuren op topografische kaart worden weergegeven. Er ontstaat dan een beeld dat eenvoudig is te interpreteren. Het berekeningsvoorbeeld in fig. 4, waarbij nul mm water

een verblijftijd in de afdekkende kleilaag heeft van minder dan 50 dagen, en 104 mm water een verblijftijd tussen de 51 en 400 dagen, zou resulteren in de classificatie "matig kort".

Opgemerkt dient te worden dat de grenzen in tabel 3 die de indeling in verblijftijdklassen bepalen subjectieve keuzes zijn, om grafische weergave op kaart mogelijk te maken. Een andere opzet van tabel 3 zou leiden tot andere kaarten. De objectieve modelresultaten zijn die zoals weergegeven in de vorm van fig. 4.



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen

Fig. 4 Voorbeeld van een verblijftijdenindeling, waarin de klassebovengrenzen zijn aangeven. De Klassebreedte bedraagt 25 dagen. De dikte van de afdekkende kleilaag is 180 cm. De opengewerkte balk is de matrix-infiltratie en de dichte balken hebben betrekking op de infiltratie via de scheuren.

Tabel 3 Classificatie van hoeveelheid water (mm) dat een bepaalde verblijftijd heeft in de afdekkende kleilaag alvorens het de pleistocene zandondergrond bereikt.

| Classificatie | Verblijftijden in dagen | | |
|---------------|-------------------------|----------|-------|
| | 0 - 50 | 51 - 400 | > 400 |
| zeer kort | > 25 | - | - |
| kort | 10 - 25 | - | - |
| matig kort | 0 - 10 | of > 75 | - |
| lang | 0 | 10 - 75 | - |
| zeer lang | 0 | 0 - 10 | - |

6.5 Resultaten

6.5.1 Beuningen

De waterbalansen en verblijftijden voor het waterwingebied Beuningen staan in aanhangsel 5. Een topografische weergave van de verblijftijd van het water is weergegeven in fig. 5. De grens van het studiegebied is de cirkel om het 25-jaars beschermingsgebied. In dit gebied wordt nog geen water gewonnen, hetgeen resulteert in een relatief ondiepe stijghoogte van het eerste watervoerende pakket. Dit heeft tot gevolg dat het diep ontwaterde kleiprofiel Rn47C met grondwatertrap Vbo zich in een kwelsituatie bevindt. Hierdoor is er geen transport van water naar de zandondergrond. Hetzelfde profiel met grondwatertrap IIIb heeft te maken met wegzijging, doordat dit profiel ondiepe grondwaterstanden heeft.

De profielen KRn2 en KRn8 zijn diep ontwaterd en hebben hierdoor ook te maken met kwel, doch hier ligt de ontwateringsdiepte in het zand, waardoor al het infiltratiewater eerst in het zand terechtkomt alvorens dit water het profiel verlaat.

Zodra waterwinning in Beuningen zal starten, zal de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket dalen, en kunnen kwelsituaties omslaan in wegzijgingssituaties.

6.5.2 Druten

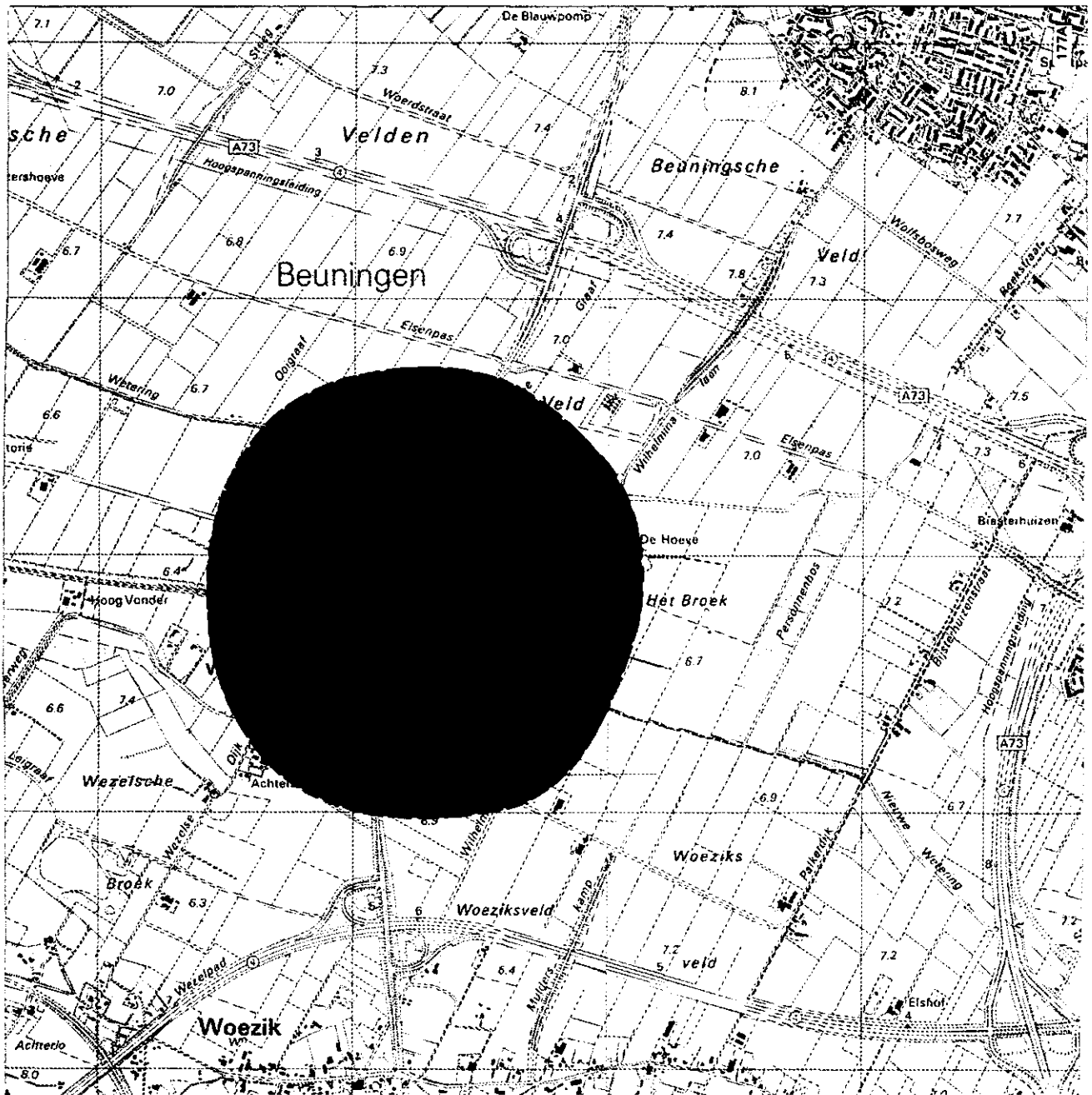
De waterbalansen en verblijftijden voor het waterwingebied Druten staan in aanhangsel 6. Een topografische weergave van de verblijftijd van het water is weergegeven in fig. 6. Het studiegebied betreft de 25-jaars beschermingszone. Door de aanwezigheid van een dun kleipakket en door wegzijging tengevolge van onttrekking van water uit het eerste watervoerende pakket zijn de watertransporten naar de zandondergrond snel tot zeer snel.

6.5.3 Kolff

De waterbalansen en verblijftijden voor het waterwingebied Kolff staan in aanhangsel 7. Een topografische weergave van de verblijftijd van het water is weergegeven in fig. 7. Het studiegebied ligt binnen de 25-jaars beschermingszone. Tengevolge van het dikke kleipakket worden hier zeer lange verblijftijden berekend. Behalve in het zuidelijk gedeelte waar een slenk voorkomt. Hier zijn de transportsnelheden matig snel tot snel.

6.5.4 Velddriel

De waterbalansen en verblijftijden voor het waterwingebied Velddriel staan in bijlage 8. Een topografische weergave van de verblijftijd van het water is weergegeven in fig. 8. Het studiegebied ligt binnen de 25-jaars beschermingszone. Door het dikke kleipakket worden hier zeer lange verblijftijden berekend. In dit waterwingebied komen lokaal ondergrondse zandopduikingen voor, welke niet bij deze kaartschaal zijn aan te geven. Hierdoor kan het transport van water zeer plaatselijk sneller zijn.



PROVINCIE GELDERLAND

DRINKWATERPOMPSTATION BEUNINGEN

GEMEENTE BEUNINGEN

- grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
- ▨ gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf
- - - grens, gebied ontheffingsplicht diepe grondboringen

Fig. 5 Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het waterwingebied Beuningen. Binnen de 25-jaarszone is de betekenis van de kleuren: Rood = zeer kort, Oranje = kort, Geel = matig kort, Groen = lang, Blauw = zeer lang. (zie voor betekenis van de kleuren tabel 3)



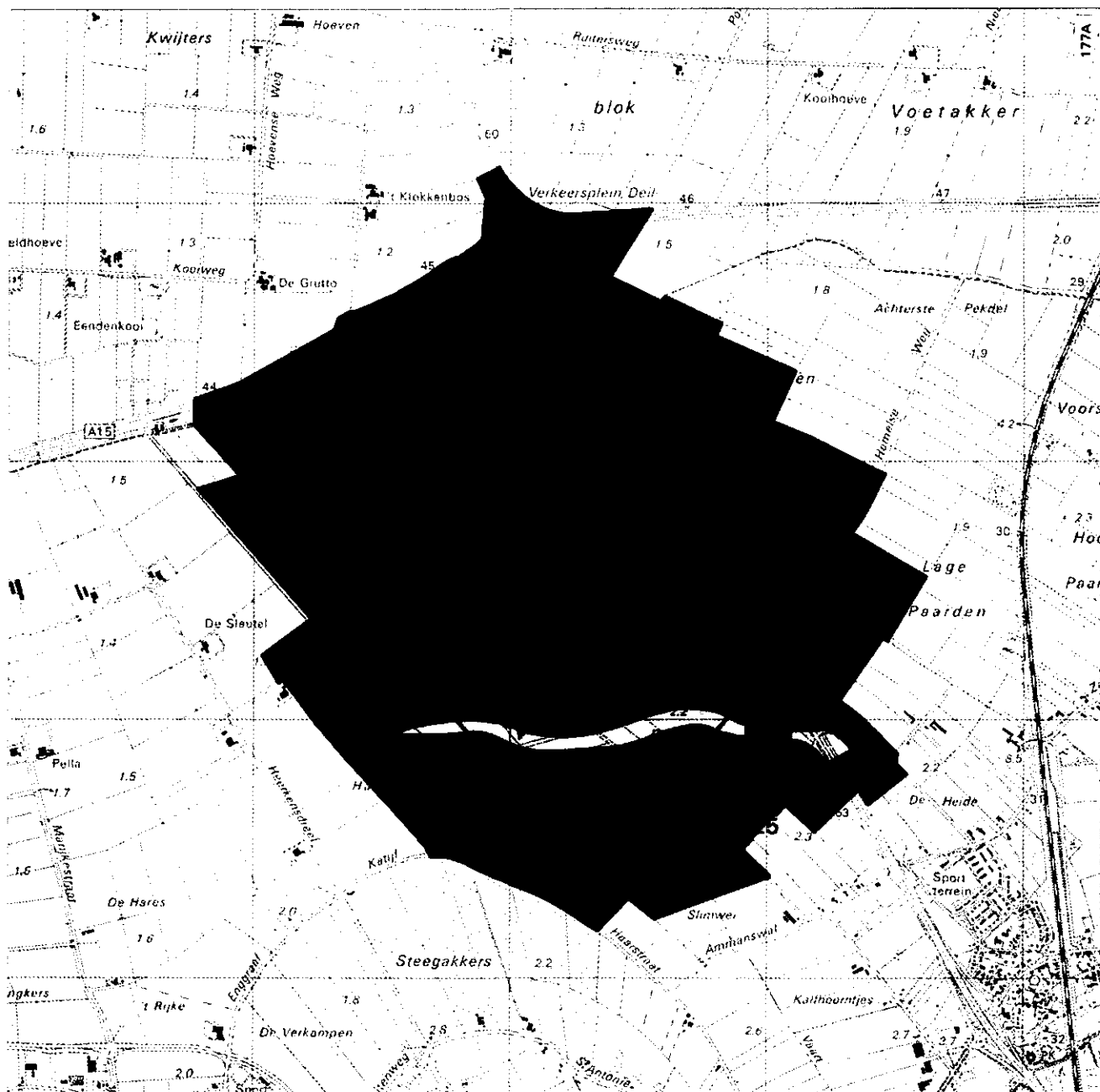
PROVINCIE GELDERLAND

DRINKWATERPOMPSTATION DRUTEN

GEMEENTE DRUTEN

- grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf

Fig. 6 Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het waterwingebied Druten. Binnen de 25-jaarszone is de betekenis van de kleuren: Rood = zeer kort, Oranje = kort, Geel = matig kort, Groen = lang, Blauw = zeer lang (zie voor betekenis van de kleuren tabel 3)



PROVINCIE GELDERLAND

DRINKWATERPOMPSTATION KOLFF GEMEENTE NEERIJNEN



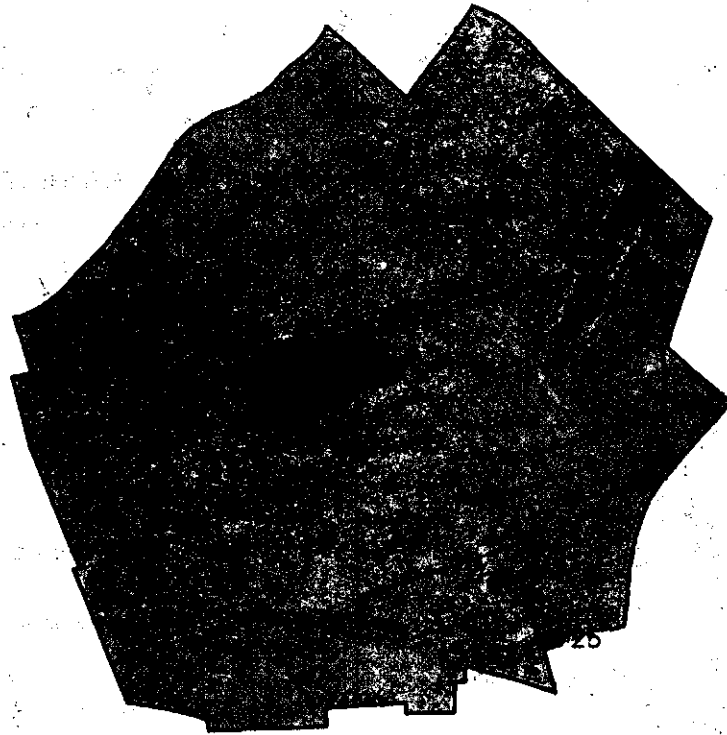
-  grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf

Fig. 7 Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het waterwingebied Kolff. Binnen de 25 jaarszone is de betekenis van de kleuren: Rood = zeer kort, Oranje = kort, Geel = matig kort, Groen = lang, Blauw = zeer lang (zie voor betekenis van de kleuren tabel 3)



PROVINCIE GELDERLAND

DRINKWATERPOMPSTATION VELDDRIEL

GEMEENTE MAASDRIEL

- grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 ■ gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf

Fig. 8 Topografische weergave van de verblijftijd van water voor het water-wingebied Velddriel. Binnen de 25 jaarszone is de betekenis van de kleuren: Rood = zeer kort, Oranje = kort, Geel = matig kort, Groen = lang, Blauw = zeer lang (zie voor betekenis van de kleuren tabel 3). Plaatselijk komen lokaal ondergrondse zand-opduikingen voor die niet op deze kaartschaal zijn weer te geven.

7 BETROUWBAARHEID VAN DE BEREKENINGEN

De betrouwbaarheid van de modelberekeningen hangt af van een aantal factoren zoals de kwaliteit van het model, de kwaliteit van de gebruikte schematisatie van de winningen en de kwaliteit van de invoergegevens voor het model. Soms kunnen modelberekeningen worden gecontroleerd aan de hand van veldmetingen. In het geval van verblijftijden is dat niet mogelijk, omdat dat zeer lange meetperioden zou vergen. In zo'n geval kan voor een inschatting van de kwaliteit van de modelresultaten enkel gebruik worden gemaakt van parameters die wel meetbaar zijn. Gezien de beschikbare tijd voor de hier gepresenteerde studie, kon ook enkel gebruik worden gemaakt van reeds verzamelde meetgegevens. Het lag daarom voor de hand gebruik te maken van grondwaterstanden aangezien dit, vooral in kleigronden, een zeer gevoelige parameters is. Indien de grondwaterstand goed wordt berekend, mag worden aangenomen dat het bodemsysteem goed gemodeleerd is en dat ook de verblijftijden goed worden berekend. Omdat er in de vier geselecteerde winningen slechts weinig landbouwbuizen met freatische grondwaterstanden aanwezig zijn, is geen gebruik gemaakt van tijdreeksen van grondwaterstanden, maar van grondwatertrappen. De vergelijking tussen berekeningen en werkelijkheid is weergegeven in tabel 4. De overeenkomst tussen gemeten en berekende grondwatertrappen is goed te noemen.

Tabel 4 Berekening en werkelijke grondwatertrappen in de vier geselecteerde winningen

| Gebied | Legenda-eenheid | Gt | Berekend (cm - m.v.) | | Werkelijk (cm - m.v.) | |
|-----------|-----------------|------|----------------------|-----|-----------------------|-----------|
| | | | GHG | GLG | GHG | GLG |
| Beuningen | Rn47C | IIIb | 25 | 109 | 25 - 40 | 80 - 120 |
| | | Vbo | 37 | 126 | 25 - 40 | 120 - 180 |
| | KRn2 | Vbo | 32 | 133 | 25 - 40 | 120 - 180 |
| | | Vio | 51 | 137 | 40 - 80 | 120 - 180 |
| Druten | Rn95A | Vio | 58 | 166 | 40 - 80 | 120 - 180 |
| | Rn47C | IIIb | 25 | 109 | 25 - 40 | 80 - 120 |
| Kolff | Rn44C | IIIa | 8 | 99 | < 25 | 80 - 120 |
| | | IIIb | 25 | 109 | 25 - 40 | 80 - 120 |
| | | Vbo | 37 | 126 | 25 - 40 | 120 - 180 |
| | | Vio | 67 | 130 | 40 - 80 | 120 - 180 |
| | Rn66A | Vio | 53 | 144 | 40 - 80 | 120 - 180 |
| Velddriel | Rn95A | Vbo | 28 | 142 | 25 - 40 | 120 - 180 |
| | | Vio | 63 | 148 | 40 - 80 | 120 - 180 |
| | Rn47C | IIIb | 25 | 109 | 25 - 40 | 80 - 120 |
| | | Vbo | 28 | 121 | 25 - 40 | 120 - 180 |
| | Rn66A | Vbo | 32 | 140 | 25 - 40 | 120 - 180 |
| | | Vio | 48 | 146 | 40 - 80 | 120 - 180 |

Een tweede manier om een uitspraak te doen over de kwaliteit van de modelberekeningen is het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse. Hierbij wordt een invoerparameter in grootte gevarieerd terwijl de overige constant worden gehouden. Gekeken wordt dan wat het effect van deze ene invoerparameter is op een berekende uitvoerparameter. Indien de variatie van de uitvoer ten opzicht van de invoer slechts gering is betekent dit dat een eventuele fout in de waarde van de invoerparameter weinig consequenties heeft voor de kwaliteit van de berekening. De volgende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd (zie fig. 9):

- A. Het effect van variatie in de verzadigde doorlatendheid (K_0) op de berekende infiltratie via scheuren (I_{cr}). De nul-procents waarde van K_0 is 1 cm.d^{-1} en van I_{cr} is dit 104 mm.
- B. Het effect van variatie in de drainintensiteit op de berekende gemiddeld hoogste grondwaterstand. Met hier als nul-procents waarden respectievelijk $0,0025 \text{ (d}^{-1}\text{)}$ en -25 cm .
- C. Het effect van variatie in de drainintensiteit op de berekende gemiddeld laagste grondwaterstand, met als nul-procentswaarden respectievelijk $0,0025 \text{ (d}^{-1}\text{)}$ en -109 cm .
- D. Het effect van variatie in de stijghoogte (H_a) in het eerste watervoerende pakket op de berekende flux naar het diepe grondwater (V_a), met als nul-procentswaarden respectievelijk -89 cm en 219 cm (V_a).

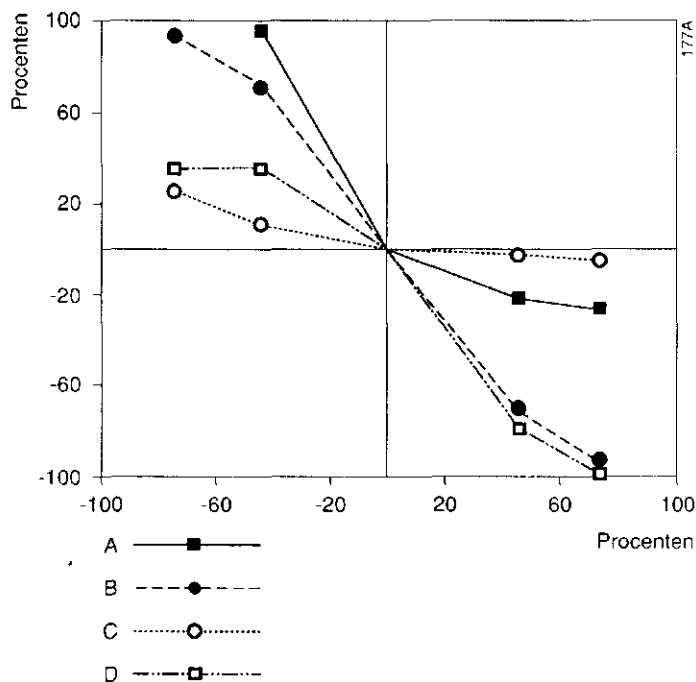


Fig. 9 Resultaten van een gevoeligheidsanalyse. De lijnen A, B, C en D hebben betrekking op de overeenkomstige punten uit de tekst.

De gevoeligheidsanalyse heeft betrekking op legenda-eenheid Rn47C met als Gt IIIb van het waterwingebied Beuningen. Op de horizontale as in fig. 9 is de variatie weergegeven van de invoerparameters in procenten. Op de verticale as staat de procentuele afwijking van de berekende uitvoerparameter. Bij nul procent hoort respectievelijk de juiste waarde die in het computermodel is gebruikt (x-as) en de bijbehorende uitvoer van het model (y-as). In fig. 9 blijkt de infiltratie via de scheuren zeer gevoelig te zijn voor het verkleinen van de verzadigde doorlatendheid (lijn A). Bij een 40% kleinere K_0 wordt 100% meer infiltratie via de scheuren berekend. Het effect van de drainintensiteit op de gemiddeld laagste grondwaterstand (lijn B) is fors voor zowel verhoging als verlaging van de drainintensiteit. Bij een 75% lagere waarde voor de drainintensiteit wordt een GHG berekend die 95% hoger uitkomt dan de oorspronkelijke waarde. Een 75% hogere waarde voor de drainintensiteit heeft tot gevolg een 95% lagere waarde voor de GHG. De gevoeligheid van de gemiddeld laagste grondwaterstand (lijn C) daarentegen is klein. Verhoging van de drainintensiteit heeft nauwelijks effect, terwijl bij een verlaging van 75% de GLG slechts 22% stijgt. De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is duidelijk van invloed op de flux naar de zandondergrond (lijn D) en behoeft verder geen commentaar. Uit de grote gevoeligheid van de gemiddeld hoogste grondwaterstand en de goede overeenkomst tussen berekeningen en metingen van deze parameter (tabel 4), kan geconcludeerd worden dat het drainagesysteem goed beschreven wordt. Met betrekking tot de hoeveelheid water die snel door de scheuren de zandondergrond bereikt (I_{cr}) kan op grond van het bovenstaande geconcludeerd worden dat de berekeningen sterk afhankelijk zijn van de verzadigde doorlatendheid van de bodemmatrix. Indien we aannemen dat de waarde van k_0 een betrouwbaarheid heeft van + en - 50 % betekent dit, dat I_{cr} maximaal 100% hoger kan zijn en maximaal 20% lager dan de berekende waarde.

8 CONCLUSIES

Uit deze studie blijkt dat, ten aanzien van het watertransport door de afdekkende kleilaag boven de zandondergrond in de vier geselecteerde winningen, het volgende geldt:

- Beuningen: snelle tot zeer snelle transporten voor de ondiep ontwaterde profielen en voor de profielen waarbij de ontwatering in de zandondergrond ligt. Indien hier water gewonnen gaat worden, dan kan de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket wellicht dermate worden verlaagd, dat hierdoor de diep ontwaterde profielen ook een relatief snel transport gaan vertonen.
- Druten: snelle en zeer snelle transporten voor die gebieden waar het zand op minder dan twee à drie meter begint. Plaatselijk is er kwel aanwezig.
- Kolff: zeer langzame transportsnelheden door de aanwezigheid van een dik kleipakket. De aanwezigheid van een slenk waarbij het zand op een diepte van een à twee meter voorkomt, vormt hierop een uitzondering.
- Velddriel: Zeer langzame transportsnelheden door de aanwezigheid van een dik kleipakket. De plaatselijk voorkomende kleine zandopduikingen vormen hierop een uitzondering.

Vertaling van de berekende resultaten naar de overige waterwinningen is moeilijk te realiseren, doordat verschillende factoren een rol spelen bij het berekenen van de verblijftijden. Enerzijds zijn factoren zoals ontwatering en stijghoogte van het eerste watervoerende pakket bepalend voor kwel of wegzijging, anderzijds zijn deze factoren mede bepalend voor de hoeveelheid water die in de zandondergrond terechtkomt. Het krimpvermogen van de afdekkende kleilaag is bepalend voor zowel de snelheid van transport, als voor de hoeveelheid water die via de scheuren infiltreert. Bovendien is de dikte van kleilaag van belang voor de verblijftijd. Tenslotte worden enkele van de overige winningen beïnvloed door bebouwing en/of rivieren, wat extrapolatie van de resultaten van de vier winningen onmogelijk maakt. Als gevolg van deze factoren is het moeilijk om op dit moment een meer kwantitatieve inschatting van verblijftijd te geven voor de overige zes winningen.

LITERATUUR

- Berendsen (red.), H.J.A. 1986. Het landschap van de Bommelerwaard. Nederlandse Geografische studies 10, Amsterdam/Utrecht. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht.
- Bles, B.J. en B.H. Steeghs, 1973. De bodem-gesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Avezaath-Ophemert. Stiboka, Wageningen. Rapport 960.
- Bouma, J. 1984. Using soil morphology to develop measurement methods and simulation techniques for water movement in heavy clay soils. ILRI Publication 37: 298-315.
- Bronswijk, J.J.B. 1988. Modelling of water balance, cracking and subsidence of clay soils. J. Hydrol., 97: 199-212.
- Duynisveld, W.H.M. 1984. Entwicklung und Anwendung von simulationsmodellen für den wasserhaushalt und den transport von gelösten stoffen in wasserungesättigten böden. Dissertation, D83 Berlin.
- Lanen, H.A.J. van. 1984. Verblijftijd van water in de onverzadigde zone van zandgronden in gebieden met diepe grondwaterspiegels. H₂O 17: 9-16.
- Mulder, J.R., H.R. Salverda en J.A. van den Hurk, 1979. Ruilverkaveling Over Betuwe-oost. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid. Stiboka, Wageningen. Rapport 1389.
- Rijks Geologische Dienst, 1984. Toelichting bij de Geologische Kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Blad Tiel West (39 W), Tiel Oost (39 O).
- Scholten, A., F. Brouwer, M. Knotters en H.R.J. Vroon, 1990. De bodemgesteldheid van het landinrichtingsgebied Land van Maas en Waal. Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Staring Centrum, Wageningen. Rapport 35.
- Stichting voor Bodemkartering. Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000.
1969: Blad 45 West, 's-Hertogenbosch;
1973: Blad 39 West, Rhenen en Blad 39 Oost, Rhenen;
1975: Blad 40 West, Arnhem.
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks.

AANHANGSEL 1 Resultaten bodemkundig onderzoek van de 10
waterwinningen in het gelderse rivierengebied

LEGENDA-eenheden bodemkaart schaal 1 : 50 000

KALKLOZE ZANDGRONDEN

VAAGGRONDEN

Vorstvaaggronden
Zb30 grof zand

RIVIERKLEIGRONDEN

VAAGGRONDEN

KALKHOUDENDE POLDERVAAGGRONDEN

Rn52A zavel, profielverloop 2
Rn66A zavel en lichte klei, profielverloop 3 of 3 en 4 of 4
Rn16A lichte zavel, profielverloop 5
Rn95A zware zavel en lichte klei, profielverloop 5
Rn46A zware klei, profielverloop 3 of 3 en 4 of 4

KALKLOZE POLDERVAAGGRONDEN

Rn67C zavel en lichte klei, profielverloop 3 of 3 en 4
Rn94C zware zavel en lichte klei, profielverloop 4
Rn47C zware klei, profielverloop 3 of 3 en 4
Rn44C zware klei, profielverloop 4
Rn95C zware zavel en lichte klei, profielverloop 5

KALKHOUDENDE OOIVAAGGRONDEN

Rd10A lichte zavel
Rd90A zware zavel en lichte klei

KALKLOZE OOIVAAGGRONDEN

Rd90C zware zavel en lichte klei

OUDE KLEIGRONDEN

Oude rivierkleigronden

POLDERVAAGGRONDEN

KRn2 zware zavel
KRn8 klei

TOEVOEGINGEN

....w 15 à 40 cm moerig materiaal beginnend tussen 40 en 80 cm
....v moerig materiaal beginnend dieper dan 80 cm en doorgaand tot dieper dan 120 cm
....p pleistoceen zand beginnend tussen 40 en 120 cm

OVERIGE ONDERSCHIEDINGEN



smalle bedding



afgegraven

T oude bewoningsplaats

LEGENDA Grondwatertrappenindeling

| Gemiddeld laagste grondwaterstand (cm - mv.) | Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm - mv.) | | | | | | | |
|--|--|------|------|-------|------|-------|--------|-------|
| | < 20 | < 40 | < 25 | 25-40 | > 40 | 40-80 | 80-140 | > 140 |
| > 50 | Ia | | | | | | | |
| 50- 80 | IIa IIb | | | | | | | |
| 80-120 | IIIa IIIb IV | | | | | | | |
| > 120 | Va Vb VI | | | | | | | |
| > 120 | VII VIII | | | | | | | |

TOEVOEGING

- ...o GLG 120-180 cm - mv.
- ...d GLG > 180 cm - mv.

In beschermingsgebied niet onderscheiden Ia, IIa, IIb en IV.

Ewijk

Beuningen

Velden

Beuningsche

Beuningen

Beuningsche

Rn47C
Vbo

Rn44C
IIIb

IIIb

Zb80
Vbo

Vlo

KRn2
Vbo

Vlo

IIIb

Vlo

Vlo

Rn47C
Vbo
Het Brak

KRn8
Vbo

Woezik

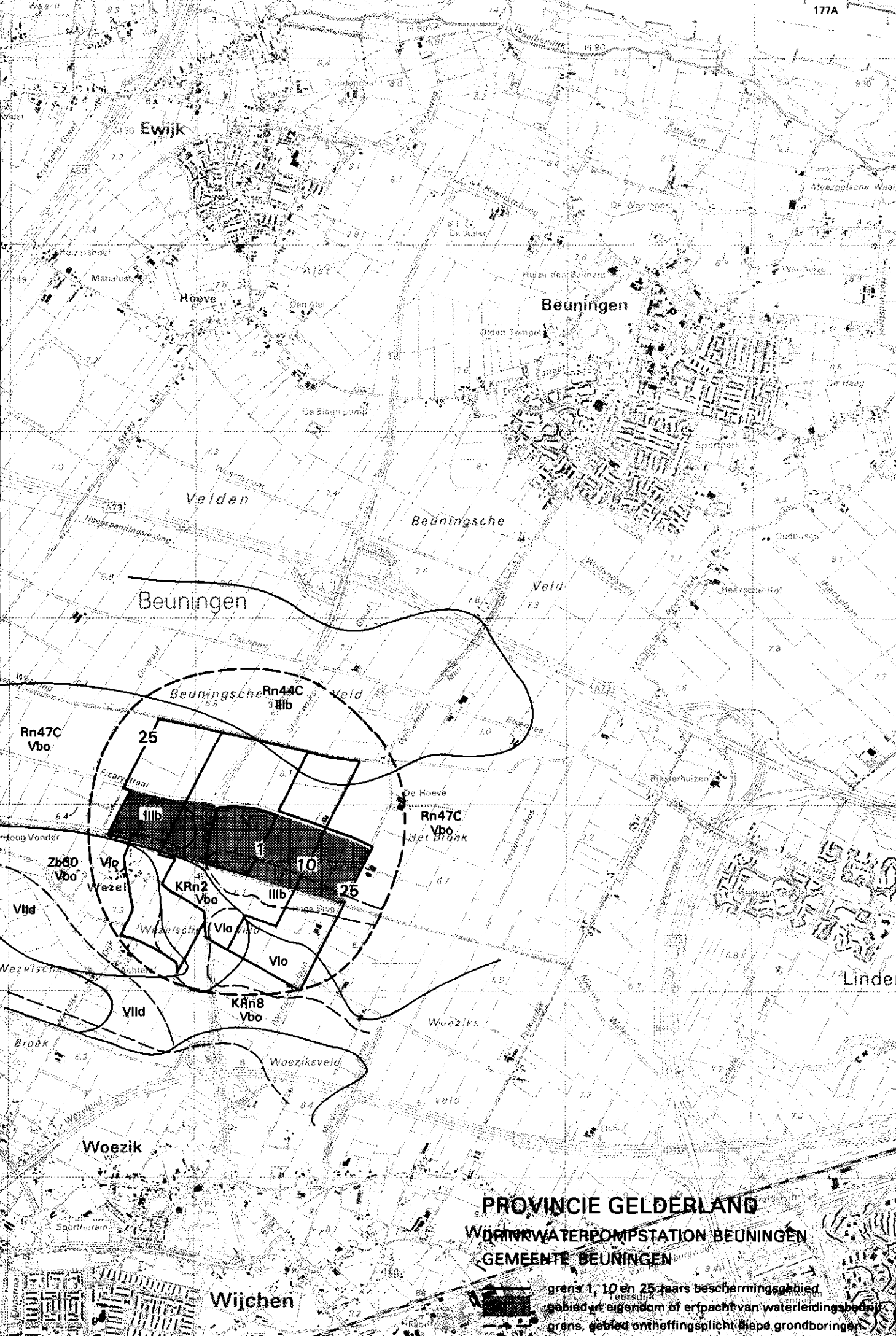
Wijchen

PROVINCIE GELDERLAND

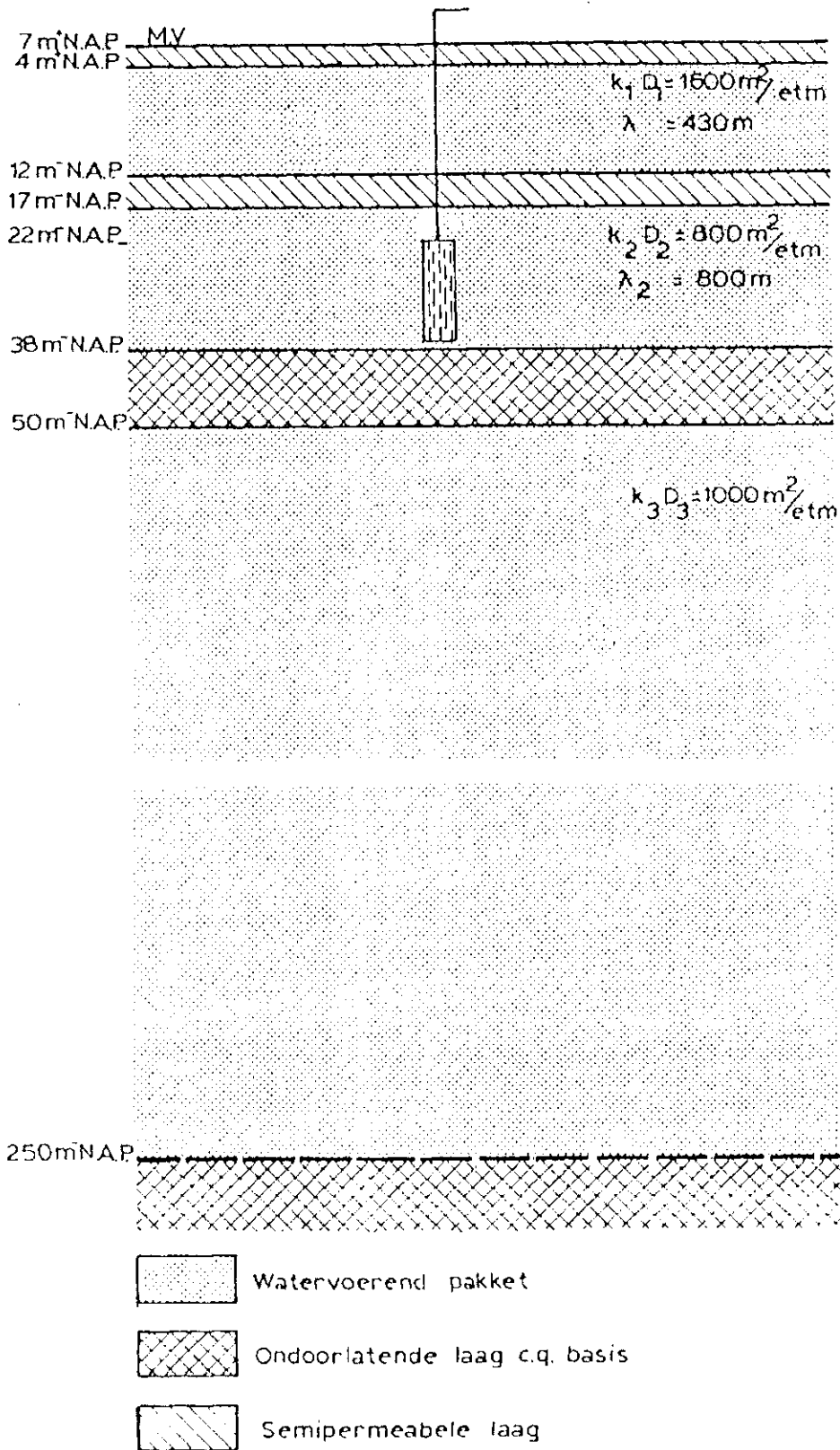
WIRKWAERPOMPSTATION BEUNINGEN

GEMEENTE BEUNINGEN

grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
gebied of eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf
grens, gebied ontheffingsplicht diepe grondboringen



GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ PS. BEUNINGEN



n.b. hier wordt nog geen water gewonnen

Gemeente : Beuningen
 Drinkwaterpompstation : Beuningen
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 39H

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn44C en Rn47C

Grondwatertrap : IIIb ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 20- 35 cm
 GLG (cm-mv.) 110 traject: 105-115 cm
 Vbo ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 20- 40 cm
 GLG (cm-mv.) 140 traject: 130-145 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|--------------------|-------------|-------|------|-----|------------------|---|-----------------|
| 0- 40 | | 40 | | | 35 | matig zware klei, scherp blokkig | Betuwe Formatie |
| 40- 70 | | 60 | | | 45 | zeer zware klei, plastisch | " " |
| 70- 90 | 7 | 65 | | | 15 | matig humeuze, zeer zware klei met "laklaag" compact en bijna gerijpt | " " |
| 90-140 | | 30 | | | 50 | lichte klei, sterk roestig | " " |
| 140-180 | | | 5 | 200 | 250 | leemarm, matig fijn zand | Formatie van |
| 180-250 | | | 5 | 300 | 500 | leemarm, matig grof zand | Kreftenheije |
| 250-400 | | | 5 | 600 | > 800 | leemarm, zeer grof zand | " " |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden KRn2 en KRn8

Grondwatertrap : Vbo ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 20- 40 cm
 GLG (cm-mv.) 140 traject: 130-145 cm
 Vio ; GHG (cm-mv.) 50 traject: 40- 60 cm
 GLG (cm-mv.) 150 traject: 140-160 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|--------------------|-------------|-------|------|-----|------------------|--|---------------------------|
| 0- 30 | | 24 | | | 30 | zandige, zware zavel, kluitiger | Formatie van Kreftenheije |
| 30- 70 | | 30 | | | 50 | zandige, lichte klei, fijnzandig en grofzandig gelaagd | " " |
| 70-130 | | | 5 | 300 | 500 | leemarm, matig grof zand | " " |
| 130-250 | | | 5 | 600 | > 800 | leemarm, zeer grof zand | " " |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Zb30

Grondwatertrap : VIo ; GHG (cm-mv.) 70 traject: 50- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 170 traject: 155-175 cm
 VIId ; GHG (cm-mv.) 130 traject: 120-150 cm
 GLG (cm-mv.) 210 traject: 200-220 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|------------------------------|
| 0- 60 | | | 5 | 300 | 200 | leemarm, matig grof zand | Formatie van Kreftenheije |
| 60-160 | | | 5 | 250 | 500 | leemarm, matig fijn en matig grof zand, gelaagd | " " |
| 160-280 | | 24 | | 170 | 100 | zandige, zware zavel af- wisselend gelaagd door matig fijne zandlenzen | " " |
| 280-500 | | | 5 | 500 | > 800 | leemarm, matig grof zand | " " |

Toelichting:

Binnen de kaarteenheden Rn44C en Rn47C ligt de begindiepte van de matig fijnzandige en zeer grofzandige ondergrond tussen 120 cm en 180 cm - mv.

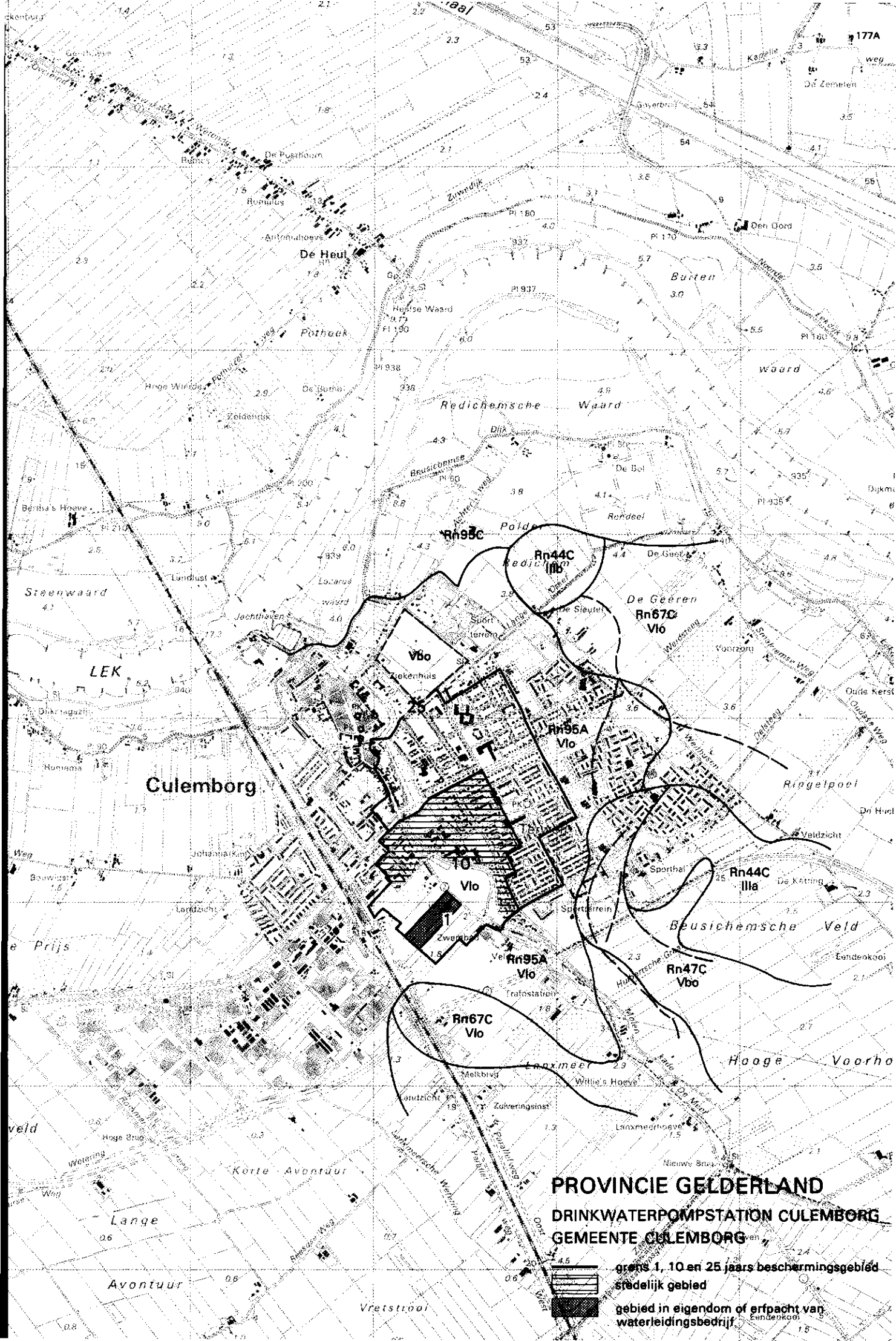
Binnen de kaarteenheden KRn2 en KRn8 begint de matig grofzandige tot zeer grofzandige ondergrond tussen 60 cm en 80 cm - mv.

Eveneens komen plaatselijk kleine opduikingen van rivierduinafzettingen voor.

De gronden binnen kaarteenheid Zb30 zijn rivierduinafzettingen waarin tussen ca. 100 cm en 200 cm diepte, een zandig gelaagde zware zavellaag of een brokkelige, zandige, lichte kleilaag voorkomt.

Volgens een geologische dwarsdoorsnede van de RGD komt tot ca. 30,00 m - mv. grof zand voor (Formatie van Kreftenheije). Daarna volgt van ca. 30,00 m - ca. 60,00 m - mv. de formatie van Tegelen. In deze formatie komt tussen ca. 40,00 m en ca. 50,00 m - mv. een zandige kleilaag voor. Vanaf ca. 60,00 m - mv. volgt fijn en grof zand (Formatie van Oosterhout).

De geohydrologische situatieschets van de WMG geeft een ondoorlatende laag tussen ca. 45,00 m en ca. 57,00 m - mv. aan.



PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION CULEMBORG
GEMEENTE CULEMBORG


 grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied

 stedelijk gebied

 gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf

Culemborg

Rn95C
Rn44C
Rn67C
Rn95A
Rn44C
Rn95A
Rn67C
Rn47C
Rn95A
Rn67C

Gemeente : Culemborg
 Drinkwaterpompstation : Culemborg
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 39A

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn95A

Grondwatertrap : Vbo ; GHG (cm-mv.) 26 traject: 20- 30 cm
 GLG (cm-mv.) 130 traject: 120-140 cm
 VIo ; GHG (cm-mv.) 60 traject: 50- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 160 traject: 155-165 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 60 | | 30 | | | 45 | lichte klei, brokkelig | Westland Formatie |
| 60- 80 | 12 | 45 | | | 15 | humusrijke, matig zware klei, 'laklaag' | of Betuwe Formatie |
| 80-130 | | 20 | | 130 | 30 | zware zavel, zeer fijn- zandig | Westland Formatie |
| 130-200 | | 14 | | 130 | 80 | kleiig, zeer fijn zand, met huneuze kleibrokjes | " " |
| 200-260 | | 30 | | | 200 | lichte klei, brokkelig, zgn. 'korte klei' | " " |
| 260-450 | | | 15 | 200 | 350 | zwak lemig, matig fijn zand met iets fijn grind- bijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn47C

Grondwatertrap : Vbo ; GHG (cm-mv.) 26 traject: 20- 35 cm
 GLG (cm-mv.) 140 traject: 135-145 cm

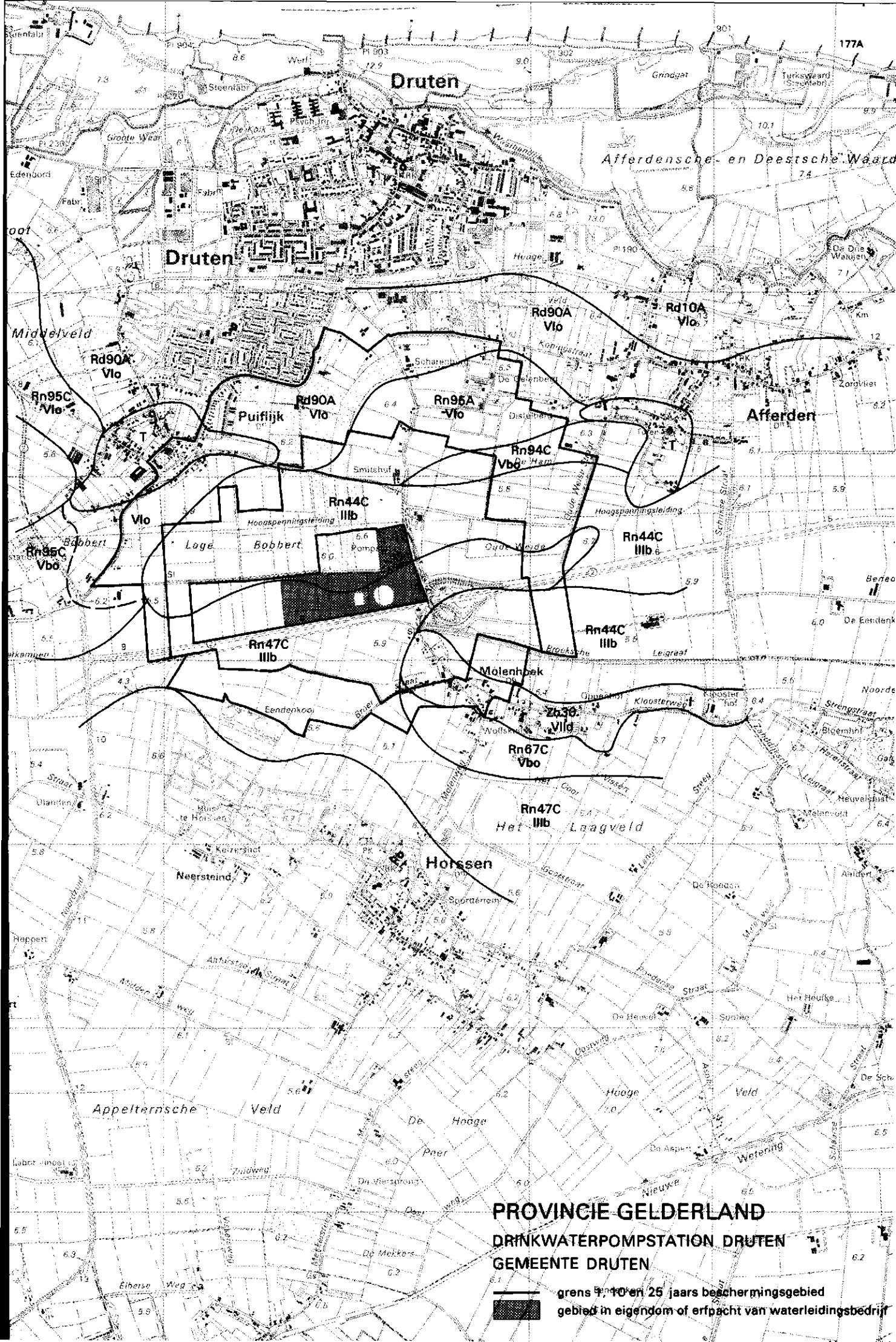
| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 40 | | 30 | | | 30 | lichte klei, zandig | Westland Formatie |
| 40-100 | | 45 | | | 50 | matig zware klei, scheurend | " " |
| 100-180 | | 20 | | 130 | 40 | zware zavel, zandig gelaagd, met enkele plan- tenresten | " " |
| 180-250 | | 14 | | 170 | 80 | kleiig, matig fijn zand met veen- en kleibrokjes | " " |
| 250-400 | | | 5 | 300 | > 800 | leemarm, matig grof zand met fijngrindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Toelichting:

Binnen kaarteenheid Rn95A ligt de begindiepte van de leemarme, matig
 fijnzandige en matig grofzandige ondergrond tussen 1,30 m en 3,50 m -
 mv.

Binnen kaarteenheid Rn47C komen plaatselijk vanaf ca. 1,50 m - mv., zowel 20-40 cm dikke veenlagen, als venige kleilagen voor. De invloed van de geulafzettingen blijkt uit de heterogene profielopbouw. De begindiepte van de matig grofzandige ondergrond ligt tussen 2,00 m en 3,00 m - mv.

Volgens een geologische dwarsdoorsnede (RGD), komt onder de holocene klei-afzettingen vanaf ca. 2,50 m - mv. - ca. 60,00 m - mv. grof zand voor dat achtereenvolgens tot de Formaties van Kreftenheije, Urk en Sterksel behoort.



PROVINCIE GELDERLAND

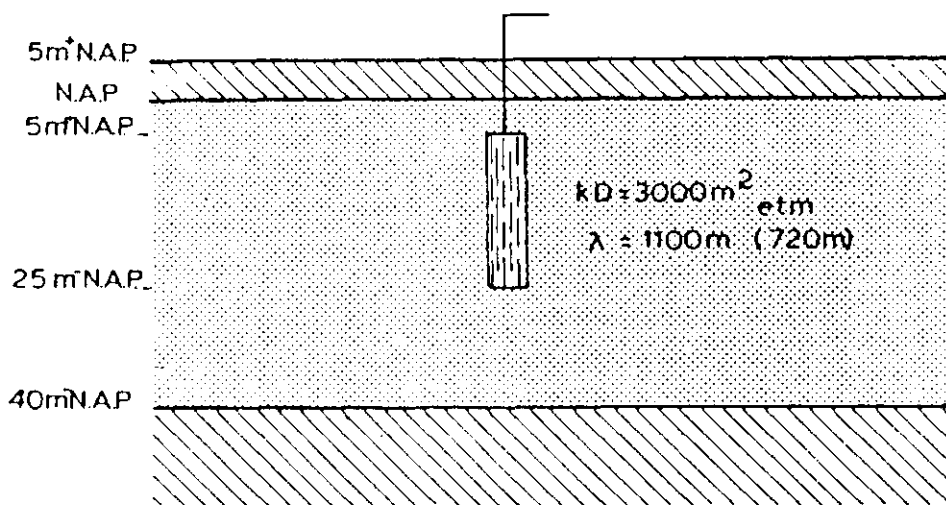
DRINKWATERPOMPSTATION DRUTEN


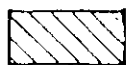
GEMEENTE DRUTEN



grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf

GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ P.S. DRUTEN



-  Watervoerend pakket
-  Semipermeabele laag

Gemeente : Druten
 Drinkwaterpompstation : Druten
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 39G/H

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rd90A en Rn95A

Grondwatertrap : VIo ; GHG (cm-mv.) 65 traject: 50- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 160 traject: 150-170 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|-----------------|
| 0- 50 | | 30 | | | 35 | lichte klei, fijnzandbij- menging | Betuwe Formatie |
| 50-140 | | 20 | | | 45 | zware zavel, zandig ge- laagd | " " |
| 140-200 | | 10 | | 180 | 80 | kleilig, matig fijn zand, soms gelaagd door matig grof zand met fijngrind- bijmenging | " " |
| 200-300 | | | 5 | 250 | 500 | leemarm, matig grof zand | Formatie van |
| 300-450 | | | 5 | 600 | > 800 | leemarm, zeer grof zand | Kreftenheije |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn44C en Rn47C

Grondwatertrap : IIIb ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 20- 35 cm
 GLG (cm-mv.) 110 traject: 100-115 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|-----------------|
| 0- 30 | | 45 | | | 30 | matig zware klei, scherp blikkig | Betuwe Formatie |
| 30- 80 | | 60 | | | 40 | zeer zware klei, plastisch | " " |
| 80- 90 | 10 | 65 | | | 5 | zeer humeuze, zeer zware klei "laklaag" | " " |
| 90-150 | | 30 | | | 25 | zandigee, lichte klei, bijna gerijpt | " " |
| 150-180 | | 10 | 30 | 180 | 50 | sterk lemig, matig fijn zand met kleibrokjes | " " |
| 180-250 | | | 5 | 300 | 50 | leemarm, matig grof zand | Formatie van |
| 250-450 | | | 5 | 600 | > 800 | leemarm, zeer grof zand | Kreftenheije |

Toelichting:

Binnen kaarteenheid Rd90A komen strooksgewijs vanaf 80 à 100 cm diepte, zware kleilagen van 20-50 cm dikte voor.

De begindiepte van de matig grofzandige en zeer grofzandige ondergrond ligt tussen 1,00 m en 4,50 m - mv.

Binnen kaarteenheid Rn95A komen verspreid gelegen opduikingen van matig grof zand aan de oppervlakte voor (rivierduinkopjes).

De begindiepte van de matig grofzandige en zeer grofzandige ondergrond ligt tussen 1,00 m - en 2,50 m - mv.

Binnen kaartenheid Rn44C komen enkele verspreid gelegen zandopduikingen voor met een 20-50 cm dik, zandig kleidek (rivierduinafzetting met een kleidek); begin zanddiepte tussen 20 en 50 cm - mv.

Ten noorden van Molenhoek komt tussen 40 en 80 cm diepte een 15-40 cm dikke, moerige laag (venige klei) voor (toevoeging W).

De begindiepte van de matig grofzandige en zeer grofzandige ondergrond ligt tussen 1,50 en 3,50 m - mv.

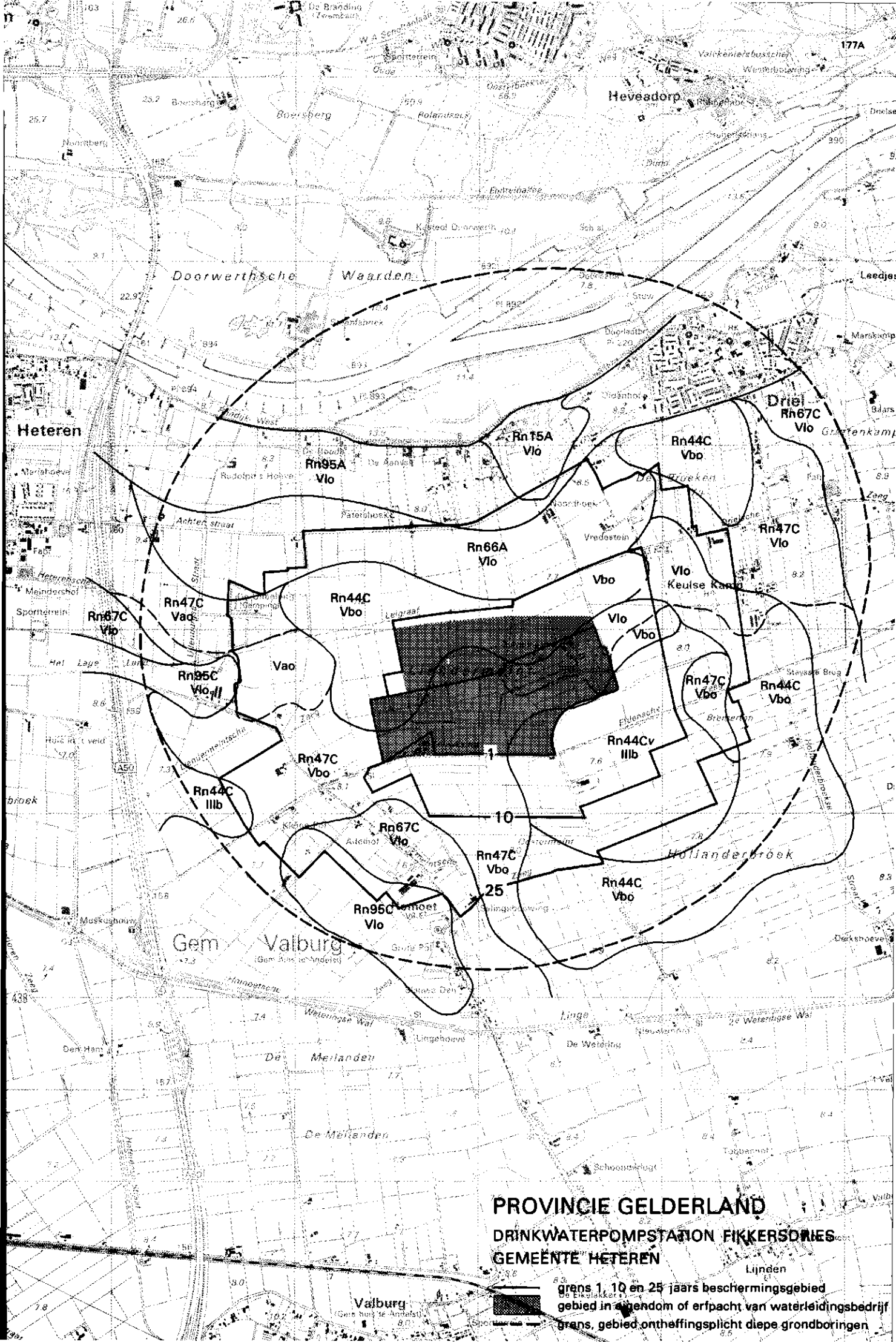
Binnen kaartenheid Rn47C komt plaatselijk in geulvormige laagten van 100 à 120 cm - mv. brokkelige "korte klei" voor. Eveneens kan men in deze laagten tussen 50 en 90 cm - mv. een grofzandige laag aantrffen. De overgang naar de rivierduinafzettingen (kaartenheid Zb30) wordt gekenmerkt door een matig grofzandige ondergrond, die tussen 60 en 90 cm - mv. begint. Ook komt er plaatselijk vanaf 60 à 70 cm - mv. leemarm, matig grof zand voor, die via een slappe kleilaag op 100 à 120 cm - mv. in de leemarme, zeer grofzandige ondergrond overgaat.

Er komen binnen deze kaartenheid verspreid gelegen opduikingen van leemarm, matig grof zand aan de oppervlakte voor (rivierduinkopjes).

De begindiepte van de matig grofzandige en zeer grofzandige ondergrond ligt tussen 1,00 m en 2,00 m - mv.

Volgens een geologische dwarsdoorsnede (RGD) reikt het grof zand tot > 100 m diepte - mv.

Het betreffen de achtereenvolgende Formaties van Kreftenheije, Tegelen en Oosterhout.



PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION FIKKERSDRIES
GEMEENTE HETEREN

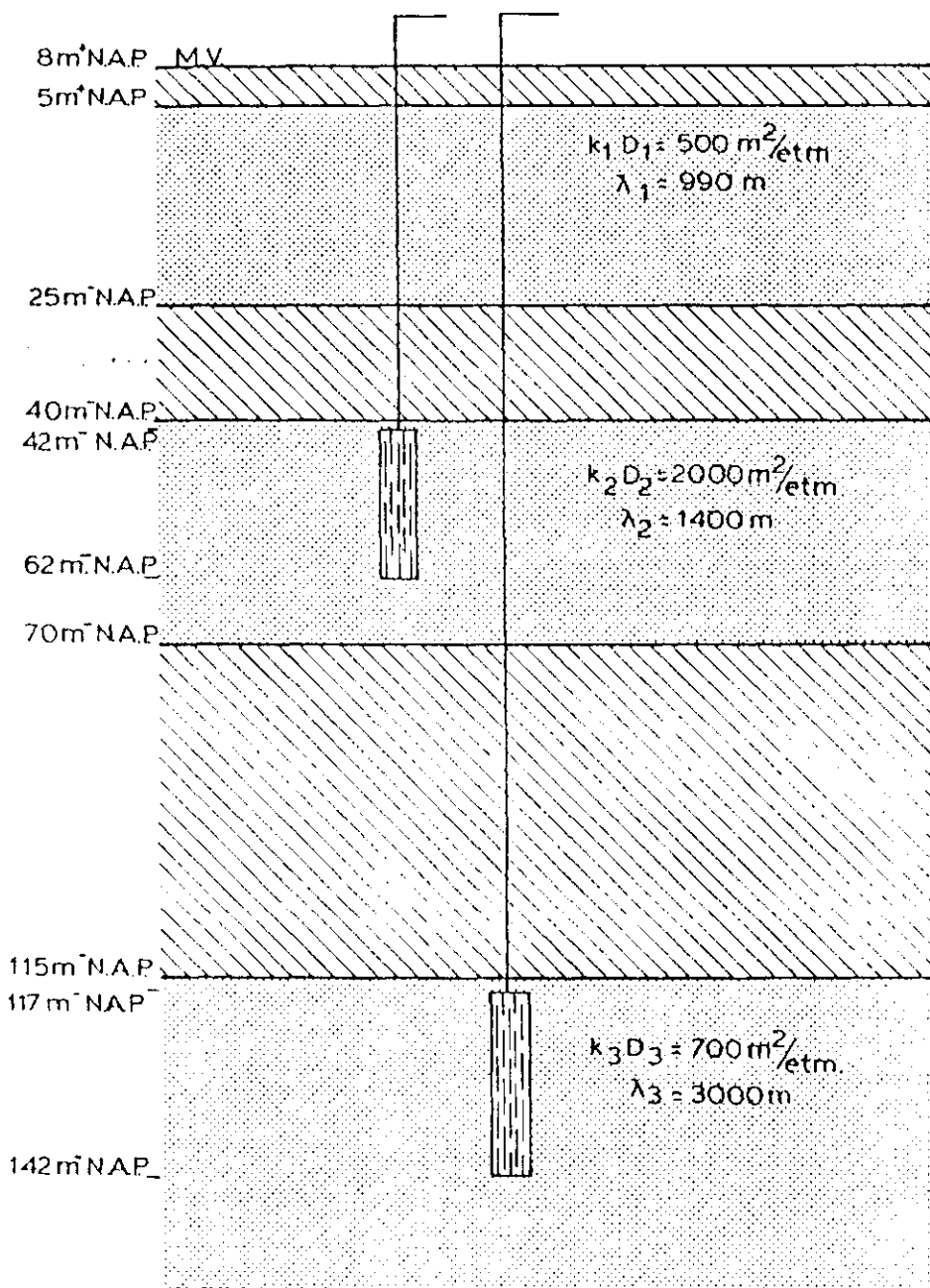
grans 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 gebied in afdendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf
 grans, gebied ontheffingsplicht diepe grondboringen


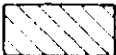


Valburg
 (Gemeente te Andelst)

Lijnden

GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ P.S. FIKKERSDRIES



-  Watervoerend pakket
-  Semipermeabele laag

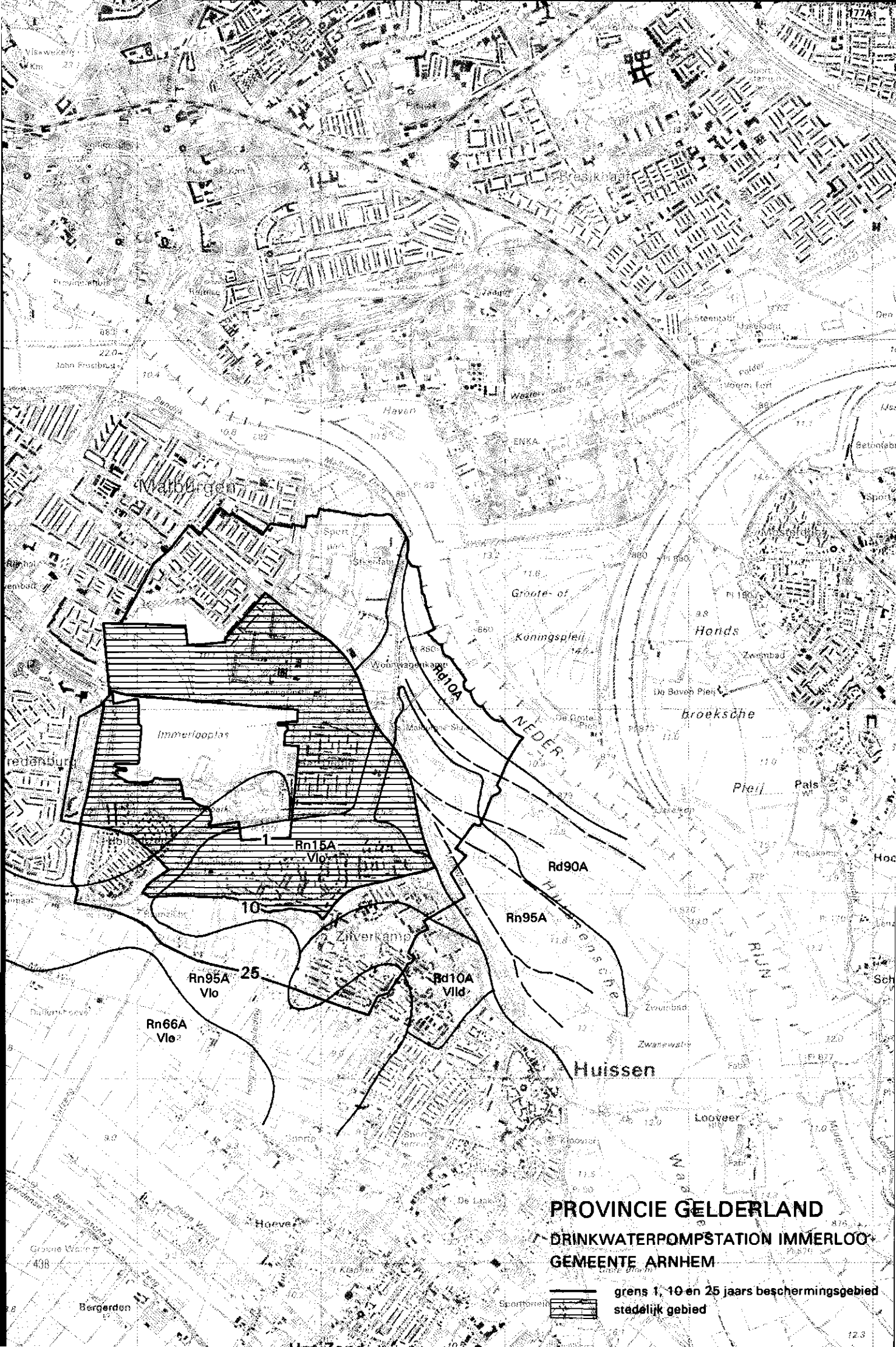
Gemeente : Heteren
 Drinkwaterpompstation : Fikkersdries
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 40A

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn95A
 Grondwatertrap : VIo ; GHG (cm-mv.) 60 traject: 50- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 160 traject: 150-170 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|------------------------------|
| 0- 50 | | 22 | | | 30 | zware zavel met fijnzandige en grofzandige bijmenging | Betuwe Formatie |
| 50-100 | | 28 | | | 50 | lichteklei, scherp blokig en fijnzandige bijmenging | " " |
| 100-170 | | 14 | | | 30 | lichte zavel, afwisselend zeer fijnzandig gelaagd | " " |
| 170-250 | | 20 | | | 40 | zware zavel met fijnzandige en grofzandige bijmenging, sterk roestig | Formatie van Kreftenheije |
| 250-350 | | 10 | | 180 | 80 | kleilig, matig fijn zand met fijngrindbijmenging | " |
| 350-550 | | | 5 | 600 | > 800 | leemarm, matig grof en zeer grof zand met fijngrindbijmenging | " |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn66A en Rn67C
 Grondwatertrap : VIo ; GHG (cm-mv.) 55 traject: 45- 65 cm
 GLG (cm-mv.) 160 traject: 150-170 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|-----------------|
| 0- 60 | | 30 | | | 40 | lichte klei, scherp blokig | Betuwe Formatie |
| 60-110 | | 55 | | | 30 | zeer zware klei, plastisch | " " |
| 110-120 | 12 | 45 | | | 15 | humusrijke, matig zware klei met zgn. laklagen | " " |
| 120-170 | | 38 | | | 50 | matig zware klei, scheurend | " " |
| 170-250 | | 20 | | | 70 | zware zavel met zandige bijmenging | " " |
| 250-350 | | 14 | | 140 | 50 | lichte zavel, zeer fijnzandig | " " |
| 350-500 | | | 5 | 300 | 500 | leemarm, matig grof zand | " " |



PROVINCIE GELDERLAND

**DRINKWATERPOMPSTATION IMMERLOOP
GEMEENTE ARNHEM**

**grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
stedelijk gebied**



Gemeente : Arnhem
 Drinkwaterpompstation : Immerloo
 Waterleidingbedrijf : GEWAB
 Kaartblad : 40B

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn15A en Rd10A

Grondwatertrap : VIId; GHG (cm-mv.) 70 traject: 60- 80 cm
 GLG (cm-mv.) 190 traject: 170-200 cm
 VIId; GHG (cm-mv.) 100 traject: 90-120 cm
 GLG (cm-mv.) 200 traject: 190-220 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 50 | | 16 | | | 45 | lichte zavel, fijnzandig | Betuwe Formatie |
| 50-120 | | 22 | | | 55 | zware zavel, scherp blok- kig | " " |
| 120-150 | | 10 | | 160 | 40 | kleiig, matig fijn zand, gelaagd | " " |
| 150-250 | | | 5 | 300 | 500 | leemarm, matig grof zand | " " |
| 250-400 | | | 5 | 500 | > 800 | leemarm, zeer grof zand met fijn grindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn95A

Grondwatertrap : VIo ; GHG (cm-mv.) 60 traject: 50- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 160 traject: 150-165 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 60 | | 28 | | | 45 | lichte klei, brokkelig | Betuwe Formatie |
| 60-120 | | 38 | | | 30 | matig zware klei, plæs- tisch | " " |
| 120-300 | | 10 | | 300 | 500 | kleiig, matig grof zand afwisselend fijnzandig gelaagd, vermengd met kleibrokjes | " " |
| 300-450 | | | 5 | 800 | > 800 | leemarm, zeer grof zand | Formatie van Kreftenheije |

Toelichting:

Binnen de kaarteenheden Rn15A en Rd10A ligt de begindiepte van de
 grofzandige ondergrond tussen 0,80 - 2,50 m - mv.

Binnen kaarteenheden Rn95A ligt deze tussen 1,00 en 2,50 m - mv.

Gemeente : Arnhem
 Drinkwaterpompstation : Immerloo
 Waterleidingbedrijf : GEWAB
 Kaartblad : 40B

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn15A en Rn95A

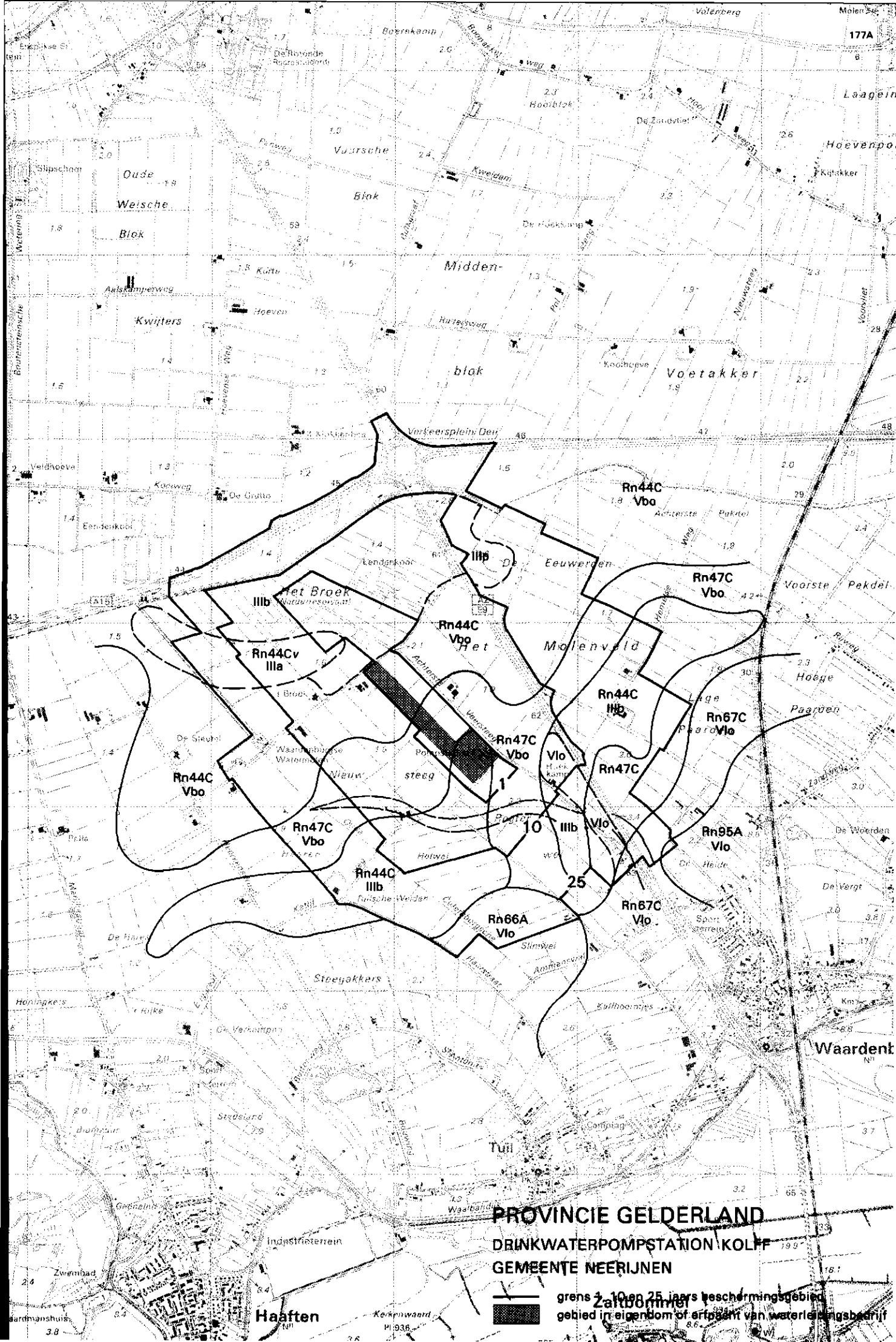
| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|------|---------------------|--|------------------------------|
| 000- 150 | | 20 | | | 0,70 | fijnzandige, lichte tot zware zavel, brokkelig | Betuwe Formatie |
| 150- 250 | | 30 | | | 0,50 | lichte klei, plastisch, plaatselijk weinig gelaagd | " " |
| 250-1000 | | | 5 | 600 | >10,00 | leemarm, zeer grof zand met fijn grindbijmenging, afgewisseld met kleilaag- jes en houtresten | Formatie van Kreftenheije |
| 1000-1250 | | | 5 | 800 | >10,00 | leemarm, zeer grof zand met grindbijmenging, af- gewisseld met klei- en veenlaagjes | " " |
| 1250-1600 | | | 5 | 250 | 5,00 | leemarm, matig fijn en matig grof zand, afgewis- seld met fijn grind-, klei- en veenlaagjes | " " |
| 1600-2500 | | | 5 | 800 | >10,00 | leemarm, zeer grof zand met grindbijmenging | " " |
| 2500-4000 | | | - | 1000 | >10,000 | zeer grof zand en grind | Formatie van Drente |

Toelichting:



Het drinkwaterpompstation Immerloo is gelegen op een oeverwal. Het afdekkende zavel tot lichte kleipakket heeft een dikte van 1,00 - 2,50 m.

Als gevolg van de stroomverleggingen van de Rijn ligt hieronder een complex van zandige kleilagen, fijne en grofzandige lagen waarmee de geulen opgevuld zijn. Deze afzettingen behoren tot de Formatie van Kreftenheije. Volgens gegevens van de Rijks Geologische Dienst varieert de dikte van dit grofzandige pakket van 5 - 25 m.

Onder de Formatie van Kreftenheije volgen ter plaatse zeer grofzandige, grindrijke en met stenen vermengde afzettingen, die tot de Formatie van Drente behoren. Laatstgenoemde afzettingen reiken tot ca. 40,00 m - mv. In de jaren 1968/1970 zijn de kleigronden rondom dit pompstation t.b.v. de woningbouw bouwrijp gemaakt (opgespoten met zand uit de Immerlooplas). Deze profielbeschrijving heeft betrekking op dat deel van het beschermingsgebied, waarvan bodemkundige gegevens ontbreken.



PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION KOLFF
GEMEENTE NEERIJNEN

 grens 1-10 en 25 jaars beschermingsgebied
 gebied in eigendom of erfpacht van waterschapsbedrijf

Haften

Waardent

177A

Laagein

Hoevenpo

Katskker

Voorriet

28

48

20

29

24

42

23

30

30

30

30

30

30

30

30

30

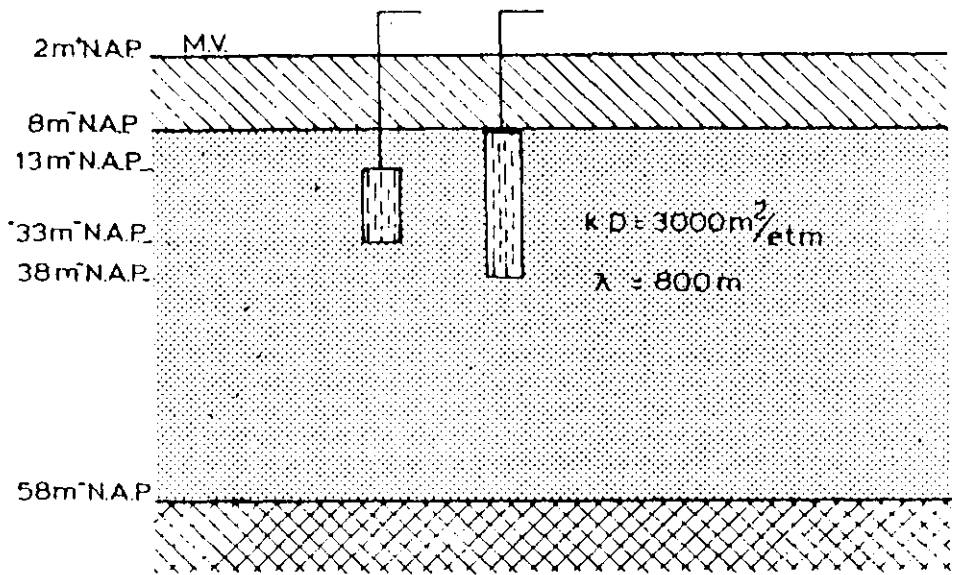
30



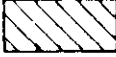
30

30

30

GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ P.S. KOLFF



-  Watervoerend pakket
-  Ondoorlatende basis
-  Semipermeabele laag

Toelichting:

Binnen de kaarteenheden Rn44C en Rn47C komen plaatselijk tussen 1,50 m en 4,00 m - mv. 30-50 cm dikke, venige klei en/of kleiige veenlagen voor. Eveneens komt er plaatselijk tussen 1,50 m en 3,00 m - mv. brokkelige, lichte klei, zgn. 'korte klei' voor.

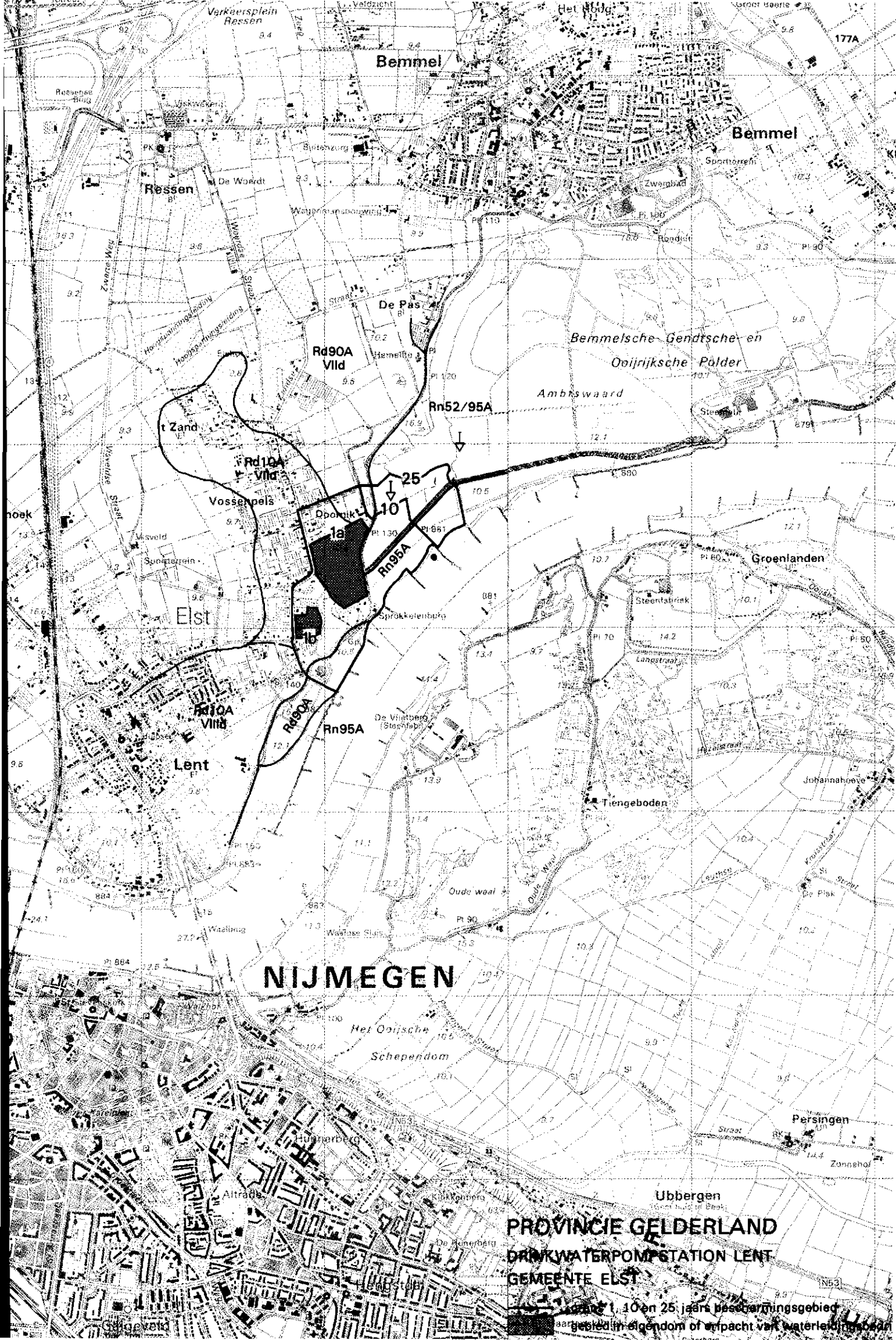
In het zuidelijke deel van het beschermingsgebied komen vanaf Rijksweg A2, in westelijke richting, geulafzettingen voor. Hierin worden zandige klei-afzettingen met veen-, riet- en houtresten aangetroffen. Dit materiaal gaat tussen 1,80 m en 3,20 m - mv. over in kleiig, zeer fijn zand.

Binnen kaarteenheden Rn44Cv met Gt IIIa, komt veen en kleiig veen (toev. v) vanaf 1,00 m - mv. tot ca. 2,00 m - mv. voor.

Binnen de kaarteenheden Rn44C en Rn47C ligt de begindiepte van de matig grofzandige ondergrond tussen 5,80 m en 7,20 m - mv.

Binnen de kaarteenheden Rn66A en Rn67C ligt de begindiepte van de matig fijn tot matig grofzandige ondergrond tussen 6,50 m en 8,00 m - mv.

Volgens een geologische dwarsdoorsnede (RGD), komt onder de holocene kleilaag tot ca. 55,00 m - mv. grof zand voor, behorend tot de Formaties van Kreftenheije en Sterksel. Daarna volgen klei-afzettingen (Formatie van Kedichem).

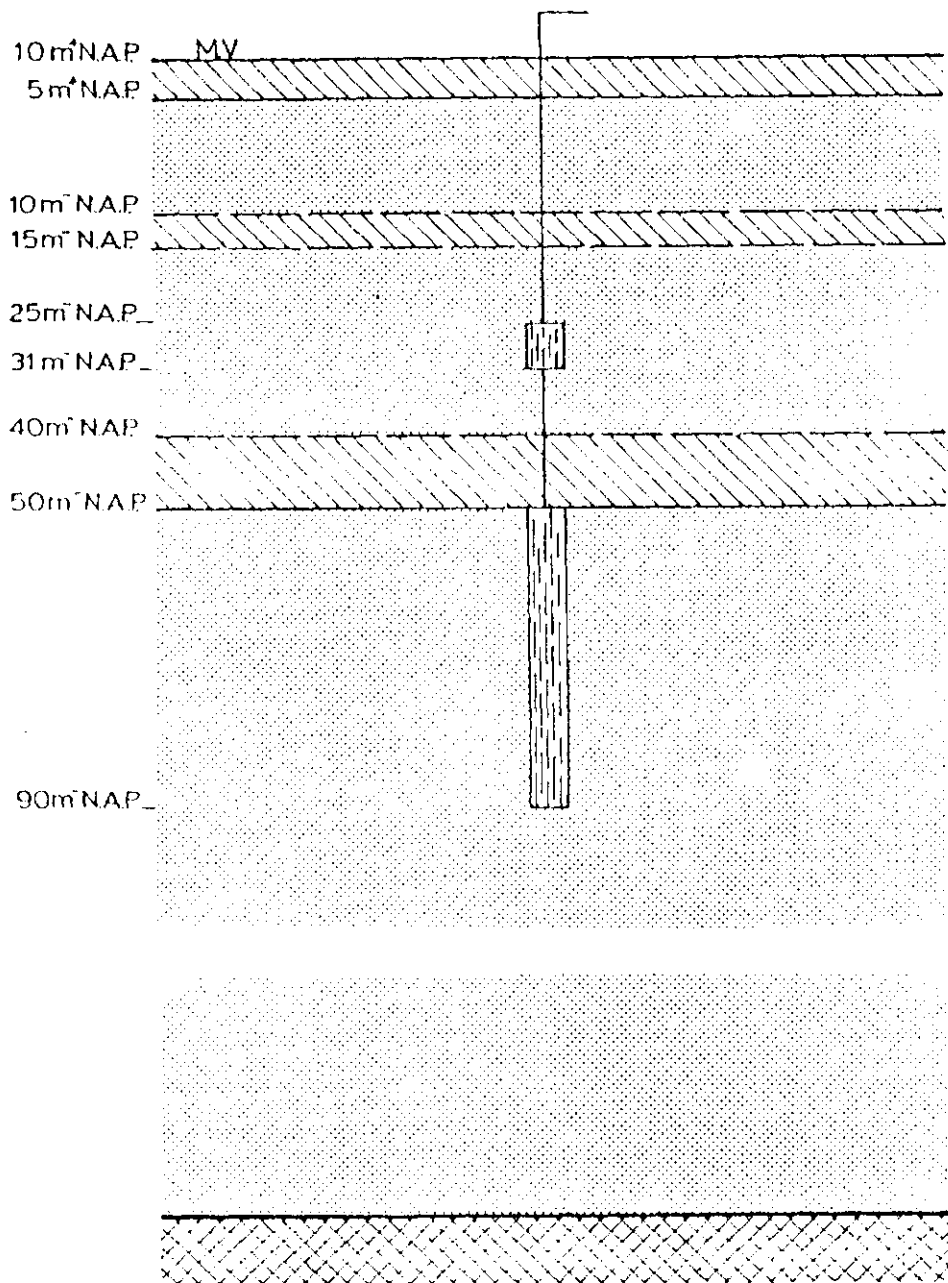




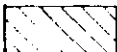
NIJMEGEN

PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION LENT
GEMEENTE ELST

10 en 25 jaars gebied in eigendom of verpacht van waterleidingbedrijf

GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ PS.LENT



-  Watervoerend pakket
-  Ondoorlatende basis
-  Semipermeabele laag

Gemeente : Elst
 Drinkwaterpompstation : Lent
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 40C

Geohydrologische opbouw: associatie kaarteenheden: Rn52/95A
 Grondwatertrap : Vao ; GHG (cm-mv.) 20 traject: 0- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 160 traject: 140-200 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 40 | | 22 | | | 40 | zware zavel, zandige bij- menging; brokkelig | Betuwe Formatie |
| 40- 70 | | | 16 | 180 | 70 | zwak lemig, matig fijn zand; gelaagd door klei- ige bandjes | " " |
| 70-130 | | 30 | | | 50 | lichte klei, sterk roestig, zandige bijmenging | " " |
| 130-180 | | 10 | | 200 | 70 | kleilig, matig fijn zand | " " |
| 180-400 | | | 5 | 500 | > 800 | leewarm, zeer grof zand met fijngrindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rd10A en Rd90A
 Grondwatertrap : VIIId ; GHG (cm-mv.) 110 traject: 100-130 cm
 GLG (cm-mv.) 240 traject: 220-250 cm
 VIIId; GHG (cm-mv.) 140 traject: 120-150 cm
 GLG (cm-mv.) 320 traject: 300-340 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|-----------------|
| 0- 70 | | 16 | | 120 | 40 | lichte zavel, zeer fijn- zandig | Betuwe Formatie |
| 70-120 | | 24 | | | 65 | Zware zavel, homogeen, brokkelig | " " |
| 120-170 | | 10 | | 160 | 50 | kleilig, matig fijn zand met kleibrokjes | " " |
| 170-200 | | 20 | | | 30 | zware zavel, fijnzandig gelaagd, sterk roestig | " " |
| 200-250 | | | 16 | 200 | 150 | zwak lemig, matig fijn zand met kleibrokjes | " " |
| 250-320 | | | 5 | 300 | 500 | leemarm, matig grof zand | Formatie van |
| 320-450 | | | 5 | 500 | > 800 | leemarm, zeer grof zand met fijngrindbijmenging | Kreftenheije |

Toelichting:

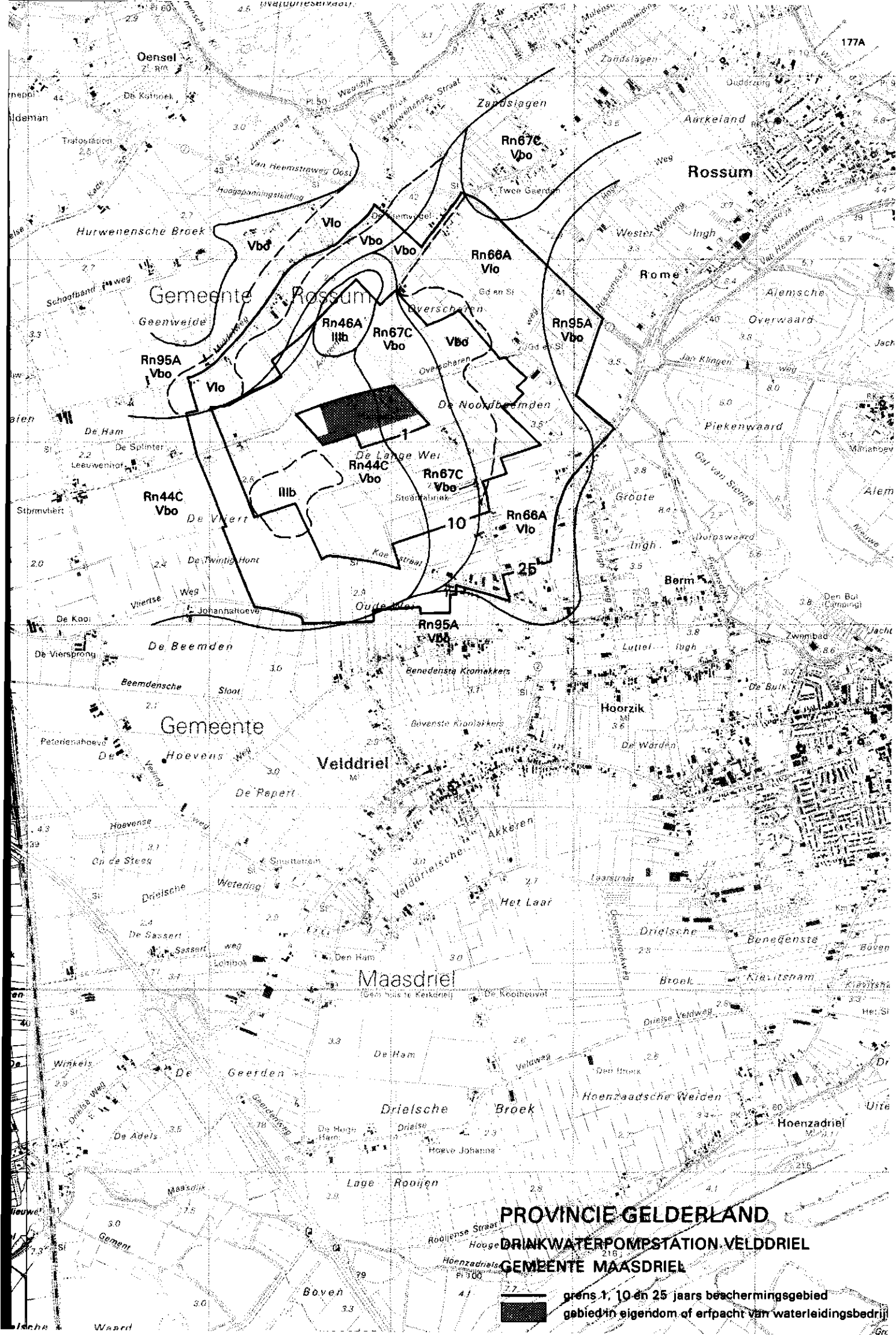
De kaarteenheden Rn52/95A vormen een associatie. Het zijn gronden die t.b.v. de baksteenindustrie zijn afgegraven en een teruggestorte, heterogene bovengrond hebben die uit zware zavel tot lichte klei bestaat met een zandige bijmenging.

Het zijn kwelgevoelige gronden, die bij hoge rivierwaterstanden, drassig zijn. De grondwaterfluctuatie is dan ook aanzienlijk.

De begindiepte van de matig fijnzandige en grofzandige ondergrond ligt tussen 1,30 m en 1,80 m - mv.

Binnen de kaarteenheden Rd10A en Rd90A ligt de begindiepte van de matig fijnzandige en grofzandige ondergrond tussen 1,70 en 2,70 m - mv.

Onder de holocene klei-afzetting komt vanaf ca. 2,00 m - mv. grof zand voor (Formatie van Kreftenheije). Volgens een boorbeschrijving van de WMG komt er vanaf ca. 56,00 m - ca. 61,00 m - mv. een zandige kleilaag voor (Formatie van Tegelen).



Gemeente Rossum

Rn95A Vbo

Rn44C Vbo

Rn67C Vbo

Rn66A Vlo

Rn44C Vbo

Rn95A Vbo

Gemeente Velddriel

Velddriel

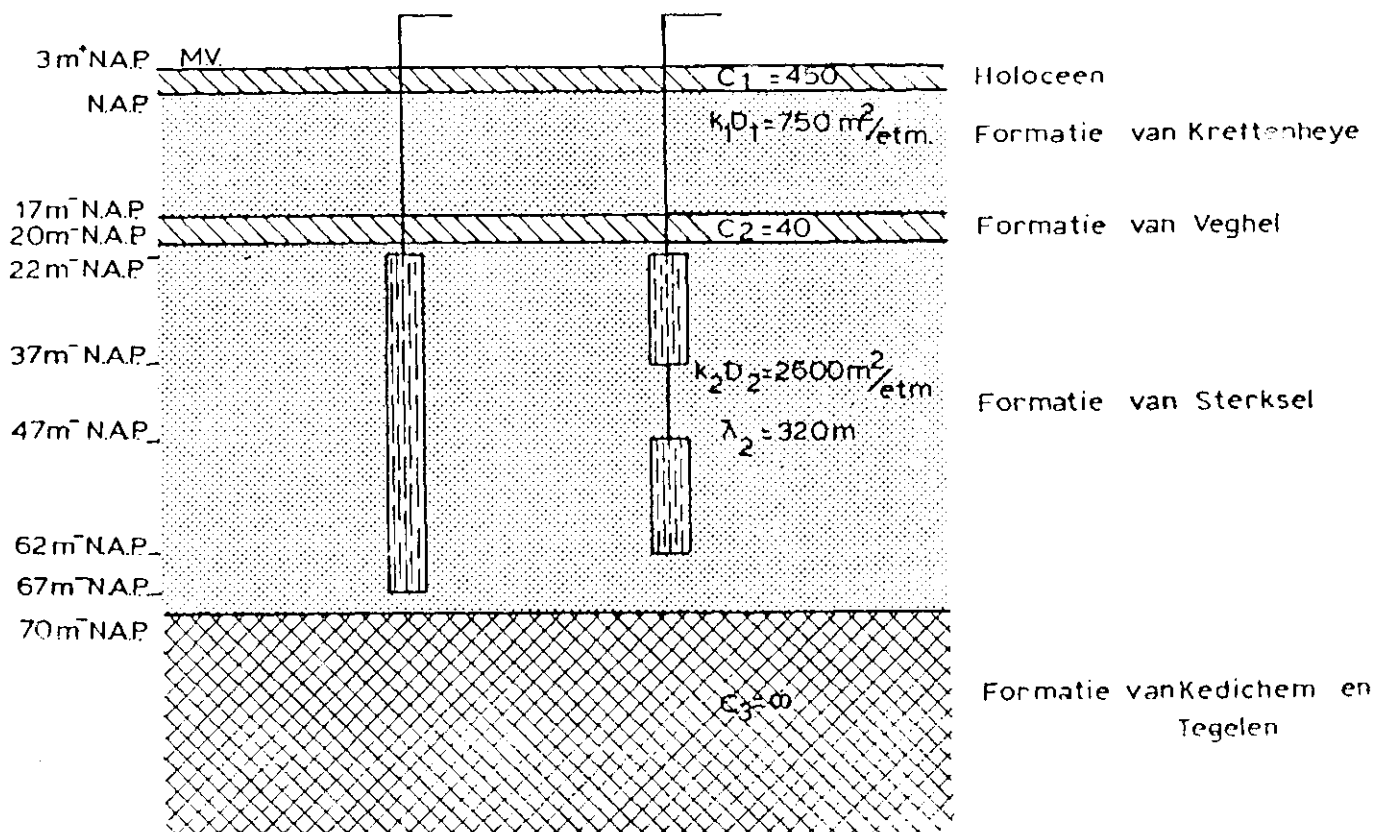
Maasdriel

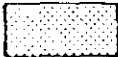


PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION VELDDRIEL
GEMEENTE MAASDRIEL

grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf



GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ PS VELDDRIEL



-  Watervoerend pakket
-  Ondoorlatende basis
-  Semipermeabele laag

Gemeente : Maasdriel
 Drinkwaterpompstation : Velddriel
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 45A/45B

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn95A

Grondwatertrap : Vbo ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 25-140 cm
 GLG (cm-mv.) 140 traject: 135-150 cm
 VIo ; GHG (cm-mv.) 65 traject: 55- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 165 traject: 160-170 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|------------------------------|
| 0- 80 | | 22 | | | 60 | zware zavel, kruimelig tot blokkig | Westland Formatie |
| 80-130 | | 40 | | | 40 | matig zware klei, plas- tisch | " " |
| 130-180 | | 28 | | | 55 | lichte klei, scheurend | " " |
| 180-350 | | 20 | | | 40 | zandige, zware zavel | " " |
| 350-420 | | 10 | | 140 | 40 | kleiig, zeer fijn zand | " " |
| 420-650 | | 20 | | | 60 | zandige zware zavel met houtresten | " " |
| 650-750 | | | 16 | 200 | 350 | zwak lemig, matig fijn zand | Formatie van Kreftenheije |
| 750-950 | | | 5 | 800 | >1000 | leemarm, zeer grof zand met fijngrindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn44C en Rn46A

Grondwatertrap : IIIb ; GHG (cm-mv.) 25 traject: 20- 30 cm
 GLG (cm-mv.) 115 traject: 110-120 cm
 Vbo ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 25- 35 cm
 GLG (cm-mv.) 135 traject: 130-140 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|------------------------------|
| 0- 60 | | 40 | | | 45 | matig zware klei, scherp blokkig | Westland Formatie |
| 60-200 | | 55 | | | 30 | zeer zware klei, compact | " " |
| 200-400 | | 40 | | | 40 | matig zware klei, afgewis- seld door zand- en veen- lagen | " " |
| 400-550 | | | 20 | 180 | 70 | sterk lemig, matig fijn zand met kleibrokjes en houtresten | " " |
| 550-600 | 80 | | | | 200 | bosveen | " " |
| 600-750 | | | 5 | 800 | >1000 | leemarm, zeer grof zand met fijngrindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Gemeente : Maasdriel
 Drinkwaterpompstation : Velddriel
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 45A/45B

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn66A en Rn67C

Grondwatertrap : Vbo ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 25- 40 cm
 GLG (cm-mv.) 140 traject: 135-145 cm
 Vlo ; GHG (cm-mv.) 50 traject: 40- 60 cm
 GLG (cm-mv.) 150 traject: 145-155 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|------------------------------|
| 0- 40 | | 28 | | | 50 | lichte klei, brokkelig | Westland Formatie |
| 40-120 | | 48 | | | 40 | matig zware klei, scherp blokkig | " " |
| 120-220 | | 40 | | | 10 | matig zware klei met ijzerconcreties, compact | " " |
| 220-300 | | 30 | | | 50 | zandige, lichte klei | " " |
| 300-550 | | 20 | | | 60 | fijnzandig gelaagde, zware zavel met veenresten | " " |
| 550-800 | | 30 | | | 50 | zandige, lichte klei | " " |
| 800-900 | | | 5 | 350 | 500 | leemarm, matig grof zand | Formatie van Kreftenheije |

Toelichting:

Binnen kaarteenheden Rn95A ligt de begindiepte van de matig fijnzandige en grofzandige ondergrond tussen 3,50 m en 6,50 m - mv.

Binnen de kaarteenheden Rn44C en Rn46A ligt de begindiepte van de matig fijnzandige en grofzandige ondergrond tussen 4,00 m en 6,00 m - mv.

Binnen de kaarteenheden Rn66A en Rn67C ligt de begindiepte van de matig fijnzandige en grofzandige ondergrond tussen 5,50 m en 8,50 m - mv.

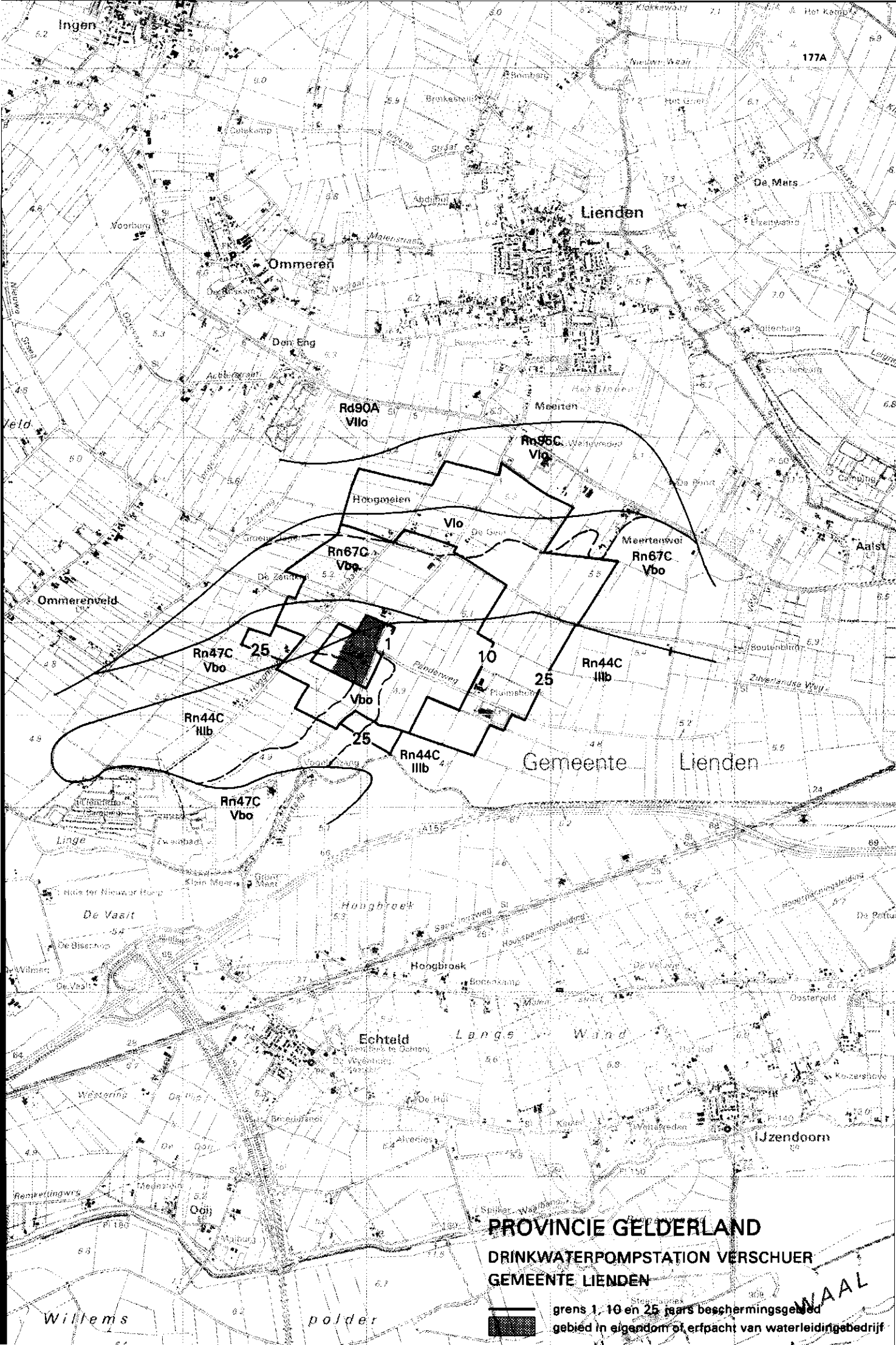
Uit een geografische studie door Berendsen (red.) (1986) blijkt het volgende:

In het noordoosten van de Bommelerwaard en binnen het beschermingsgebied van het drinkwaterpompstation Velddriel, varieert de diepteligging van de top van rivierduinafzettingen (Formatie van Kreftenheije) en van overige pleistocene, fluvioperiglaciale afzettingen (Formatie van Twete), van 3,00-6,00 m - mv. Deze afzettingen bestaan uit leemarm, matig fijn zand tot zeer grof zand.

Dit komt overeen met het in de profielbeschrijving tussen 3,50 m en 6,00 m - mv. vermelde, matig fijn zand en zeer grof zand binnen de kaarteenheden Rn95A en Rn44C/Rn46A.

Ook de zandige, lichte klei en de fijnzandig gelaagde zavel, die binnen de kaarteenheden Rn66A en Rn67C, tussen ca. 2,00 en 5,00 m - mv. worden vermeld, komen overeen met de door Berendsen et al. genoemde crevasse afzettingen.

De variatie in profielopbouw tussen 2,00 en 6,00 m - mv. heeft tot gevolg dat er plaatselijk, op kleine schaal, zandopduikingen tot bijna aan het maaiveld reiken.



177A

Lienden

Ommeren

Rd90A
Vlla

Rn95C
Vlo

Hoogmaien

Vlo

Rn67C
Vbo

Rn67C
Vbo

Rn47C
Vbo

Vbo

10

25

Rn44C
IIIb

Rn44C
IIIb

Rn44C
IIIb

Gemeente Lienden

Rn47C
Vbo

PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION VERSCHUER
GEMEENTE LIENDEN

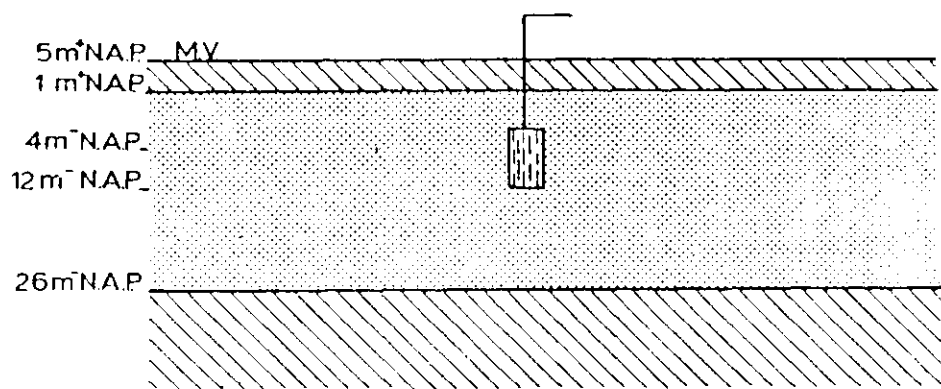
 grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingbedrijf

WAAL

Willems

polder

GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ P.S. v. VERSCHUER



Watervoerend pakket



Semipermeabele laag

Gemeente : Lienden
 Drinkwaterpompstation : Verschuer
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 39G

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn95C

Grondwatertrap : V10 ; GHG (cm-mv.) 60 traject: 50- 70 cm
 GLG (cm-mv.) 160 traject: 150-165 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 40 | | 30 | | | 30 | lichte klei, scherp blok- kig | Betuwe Formatie |
| 40- 90 | | 45 | | | 40 | matig zware klei, compact | " " |
| 90-130 | | 20 | | | 25 | zware zavel, bijna gerijpt | " " |
| 130-180 | | 30 | | | 120 | lichte klei, brokkelige "korte klei" | " " |
| 180-300 | | 20 | | | 80 | zware zavel, afwisselend gelaagd door matig fijnzan- dige bandjes | " " |
| 300-500 | 6 | 38 | | | 40 | matig zware klei, gelaagd door humeuze en venige bandjes | " " |
| 500-570 | | 26 | | | 40 | zandige, lichte klei, ge- laagd | " " |
| 570-620 | | | 8 | 200 | 200 | leemarm, matig fijn zand met iets fijn grind | Formatie van Kreftenheije |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn67C

Grondwatertrap : Vbo ; GHG (cm-mv.) 35 traject: 25- 40 cm
 GLG (cm-mv.) 140 traject: 135-145 cm
 V10 ; GHG (cm-mv.) 50 traject: 40- 60 cm
 GLG (cm-mv.) 150 traject: 140-155 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 50 | | 30 | | | 35 | lichte klei, scherp blok- kig | Betuwe Formatie |
| 50-100 | | 55 | | | 30 | zeer zware klei, plastisch | " " |
| 100-220 | | 40 | | | 50 | matig zware klei met ijzerconcreties | " " |
| 220-300 | | 20 | | | 30 | zware zavel, afwisselend gelaagd door matig fijn zand | " " |
| 300-480 | | 55 | | | 15 | zeer zware klei, compact en stug | " " |
| 480-550 | | | 8 | 250 | 200 | leemarm, matig fijn zand en matig grof zand | Formatie van Kreftenheije |

Gemeente : Lienden
 Drinkwaterpompstation : Verschuer
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 39G

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn44C en Rn47C

Grondwatertrap : IIIb ; GHG (cm-mv.) 25 traject: 20- 35 cm
 GLG (cm-mv.) 110 traject: 110-115 cm
 Vbo ; GHG (cm-mv.) 35 traject: 25- 40 cm
 GLG (cm-mv.) 135 traject: 130-140 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|------------------------------|
| 0- 40 | | 46 | | | 35 | matig zware klei, scherp blokkig | Betuwe Formatie |
| 40- 70 | | 60 | | | 30 | zeer zware klei, massief | " " |
| 70- 90 | 14 | 55 | | | 10 | humusrijke, zeer zware klei, "laklaag" | " " |
| 90-140 | | 40 | | | 55 | matig zware klei, bijna gerijpt, scheurend | " " |
| 140-180 | | 20 | | | 30 | zandige, zware zavel | " " |
| 180-250 | 70 | 20 | | | 25 | kleiig veen | " " |
| 250-300 | 40 | 45 | | | 20 | venige klei | " " |
| 300-340 | | 20 | | | 30 | zandige, zware zavel | " " |
| 340-400 | | | 15 | 200 | 60 | zwak lemig, matig fijn zand | Formatie van Kreftenheije |
| 400-480 | | | 6 | 300 | 550 | leemarm, matig grof zand met fijngrindbijnmenging | " " |

Toelichting:

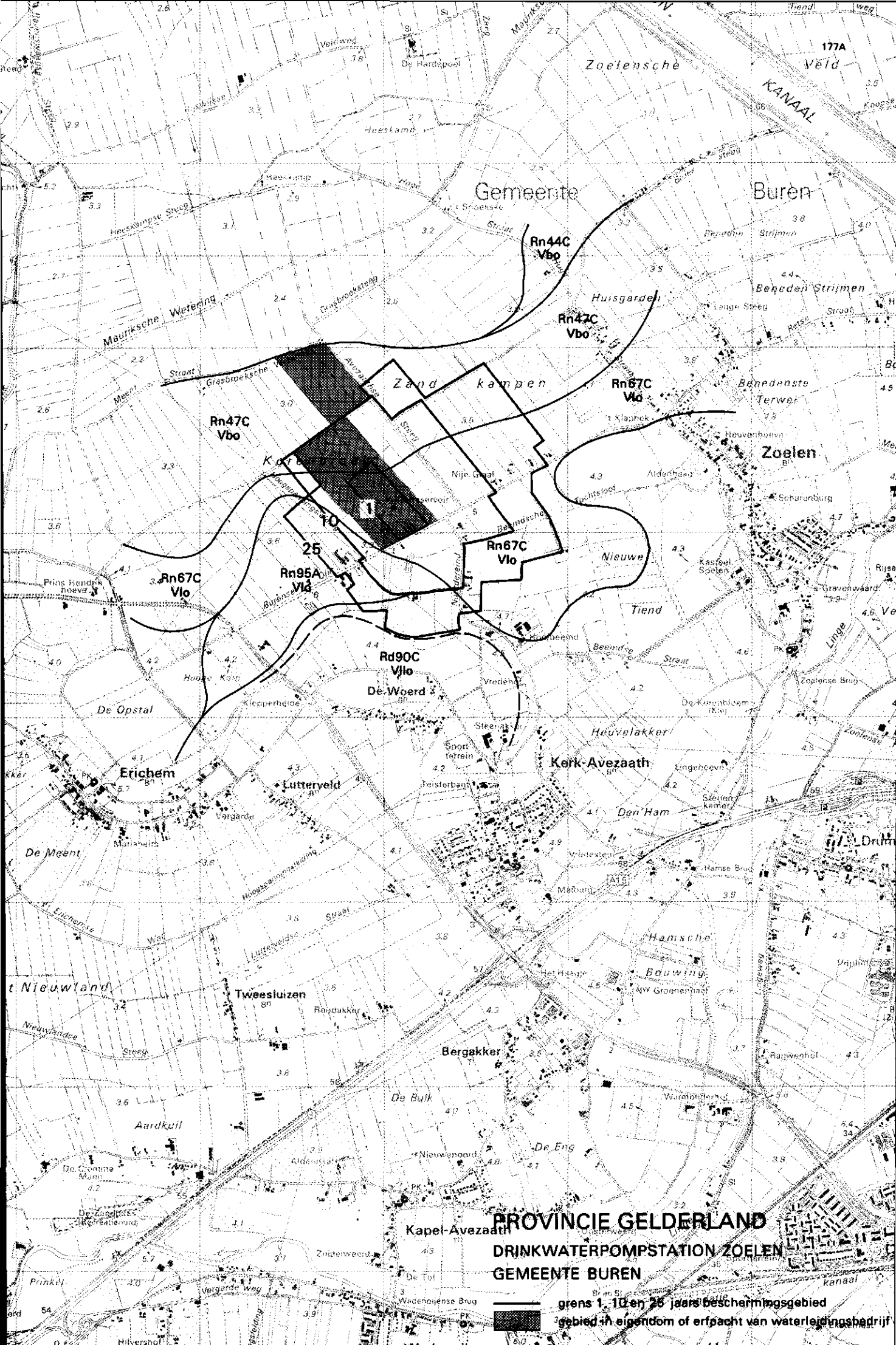
In het westelijke deel van kaarteenheden Rn95C ligt de begindiepte van de matig fijnzandige en matig grofzandige ondergrond tussen 0,90 m en 1,50 m - mv. In het overige deel van deze kaarteenheden ligt deze tussen 4,50 m en 6,50 m - mv.

In het westelijke deel van kaarteenheden Rn67C ligt de begindiepte van de matig fijnzandige tot matig grofzandige ondergrond tussen 0,90 m en 1,40 m - mv.

In het overige deel van deze kaarteenheden komt de matig grofzandige ondergrond vanaf 5,50 m - mv. voor.

Binnen de kaarteenheden Rn44C en Rn47C ligt de begindiepte van de matig fijnzandige en matig grofzandige ondergrond tussen 2,50 m en 4,50 m - mv.

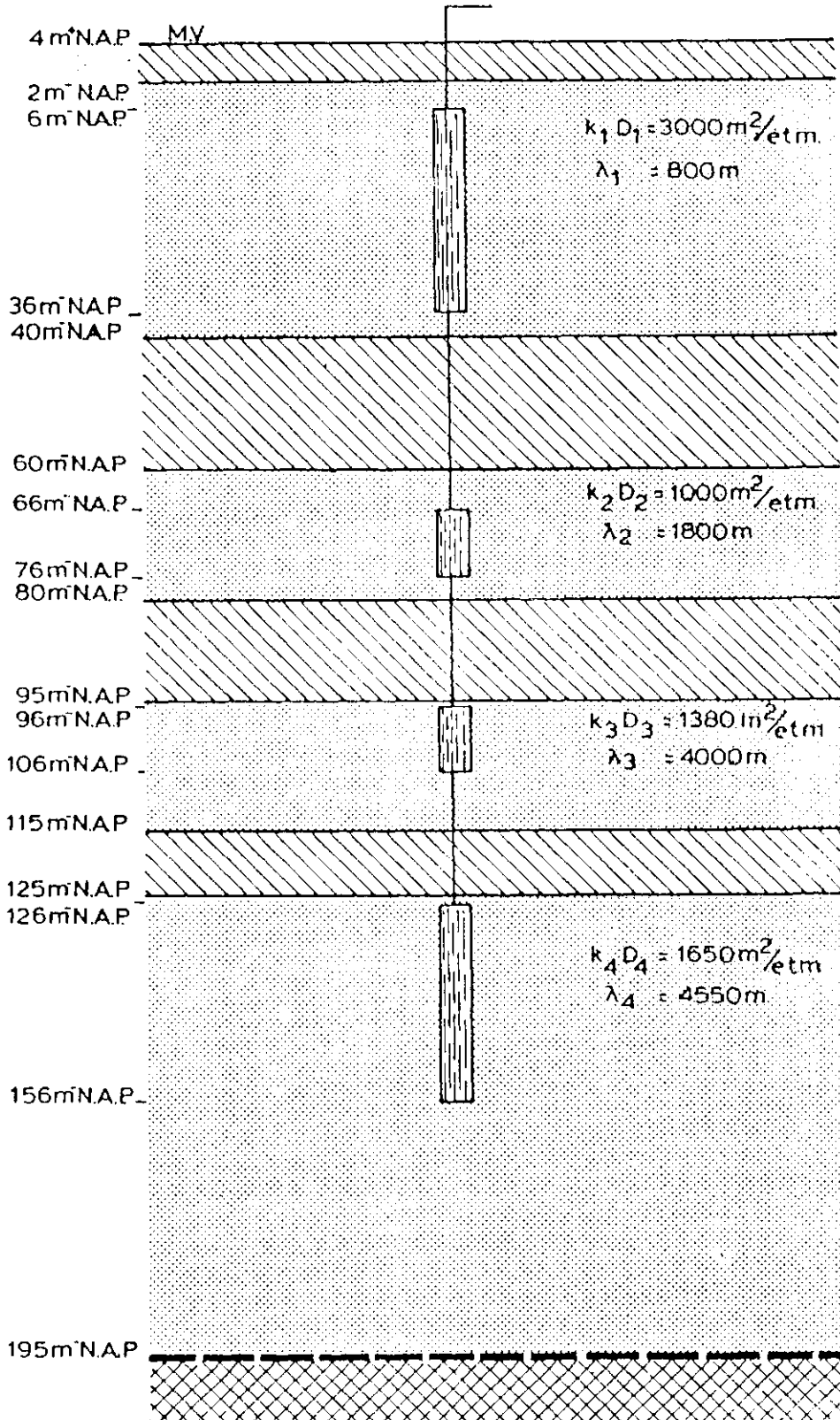
Volgens een geologische dwarsdoorsnede (RGD) komt vanaf ca. 25,00 m - mv. de formatie van Kedichem voor, waarin vanaf ca. 40,00 m - 50,00 m - mv. een zandige kleilaag voorkomt.






PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION ZOELEN
GEMEENTE BUREN

— grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
■ gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingbedrijf

GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE BIJ PS. ZOELÉN



-  Watervoerend pakket
-  Ondoorlatende basis
-  Semipermeabele laag

Gemeente : Buren
 Drinkwaterpompstation : Zoelen
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 39B

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn47C
 Grondwatertrap : Vbo ; GHG (cm-mv.) 30 traject: 25- 35 cm
 GLG (cm-mv.) 165 traject: 160-170 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|--|---|
| 0- 40 | | 40 | | | 35 | matig zware klei, scherp blokkig | Westland Formatie of Betuwe Formatie |
| 40-110 | | 55 | | | 30 | zeer zware klei, plastisch | " " |
| 110-170 | | 40 | | | 55 | matig zware klei, scheurend | " " |
| 170-260 | | 20 | | | 30 | fijnzandige, zware zavel | " " |
| 260-340 | 30 | 45 | | | 20 | venige klei, soms met hout- resten | " " |
| 340-480 | | 30 | | | 50 | lichte klei, fijn zand, grofzandig gelaagd met plantenresten | " " |
| 480-520 | | | 6 | 300 | 500 | leemarm, matig grof zand met fijngrindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Geohydrologische opbouw: kaarteenheid Rn67C
 Grondwatertrap : V10 ; GHG (cm-mv.) 50 traject: 45- 60 cm
 GLG (cm-mv.) 170 traject: 160-180 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|---|
| 0- 40 | | 28 | | | 35 | lichte klei, scherp blok- kig | Westland Formatie of Betuwe Formatie |
| 40-110 | | 40 | | | 45 | matig zware klei, scherp blokkig, scheurend | " " |
| 110-180 | | 20 | | | 30 | fijnzandig gelaagde, zware zavel | " " |
| 180-250 | | 30 | | | 60 | lichte klei, met hout- en plantenresten, brokkelig | " " |
| 250-320 | | 10 | | 170 | 80 | kleilig, matig fijn zand | " " |
| 320-500 | | | 5 | 250 | 500 | leemarm, matig grof zand met fijngrindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Gemeente : Buren
 Drinkwaterpomstation : Zoelen
 Waterleidingbedrijf : WMG
 Kaartblad : 39B

Geohydrologische opbouw: kaarteenheden Rn95A en Rd90C

Grondwatertrap : VIo ; GHG (cm-mv.) 55 traject: 50- 65 cm
 GLG (cm-mv.) 170 traject: 165-180 cm
 VIIo ; GHG (cm-mv.) 90 traject: 85-100 cm
 GLG (cm-mv.) 180 traject: 175-185 cm

| Diepte in cm - mv. | Org. stof % | Lutum | Leem | M50 | K-factor cm/etm. | Omschrijving | Stratigrafie |
|-----------------------|-------------------|-------|------|-----|---------------------|---|------------------------------|
| 0- 60 | | 32 | | | 45 | lichte klei, brokkelig | Westland Formatie |
| 60-120 | | 24 | | | 50 | zware zavel, fijnzandig gelaagd | of Betuwe Formatie |
| 120-180 | | 40 | | | 40 | matig zware klei, plas- tisch | " " |
| 180-240 | | 20 | | | 30 | zware zavel, zandig | " " |
| 240-360 | | 14 | | 170 | 50 | kleilig, matig fijn zand, vermengd met kleibrokjes | " " |
| 360-480 | | 20 | | 140 | 50 | zeer fijnzandige, zware zavel met plantenresten | " " |
| 480-550 | | | 5 | 300 | 500 | leemarm, matig grof zand met fijngrindbijmenging | Formatie van Kreftenheije |

Toelichting:

Binnen kaarteenheden Rn47C ligt de begindiepte van de matig grofzandige ondergrond tussen 4,50 m en 5,00 m - mv.

Binnen kaarteenheden Rn67C, ten zuiden van de Burense Dijk, ligt de begindiepte van de matig grofzandige ondergrond tussen 1,00 m en 2,30 m - mv.

Ten noorden van de Burense Dijk, ligt de begindiepte van de matig grofzandige ondergrond tussen 2,70 m en 5,00 m - mv.

Binnen de kaarteenheden Rn95A en Rd90C is in het zuidwestelijke deel van het beschermingsgebied de invloed van een smalle bedding aanwezig.

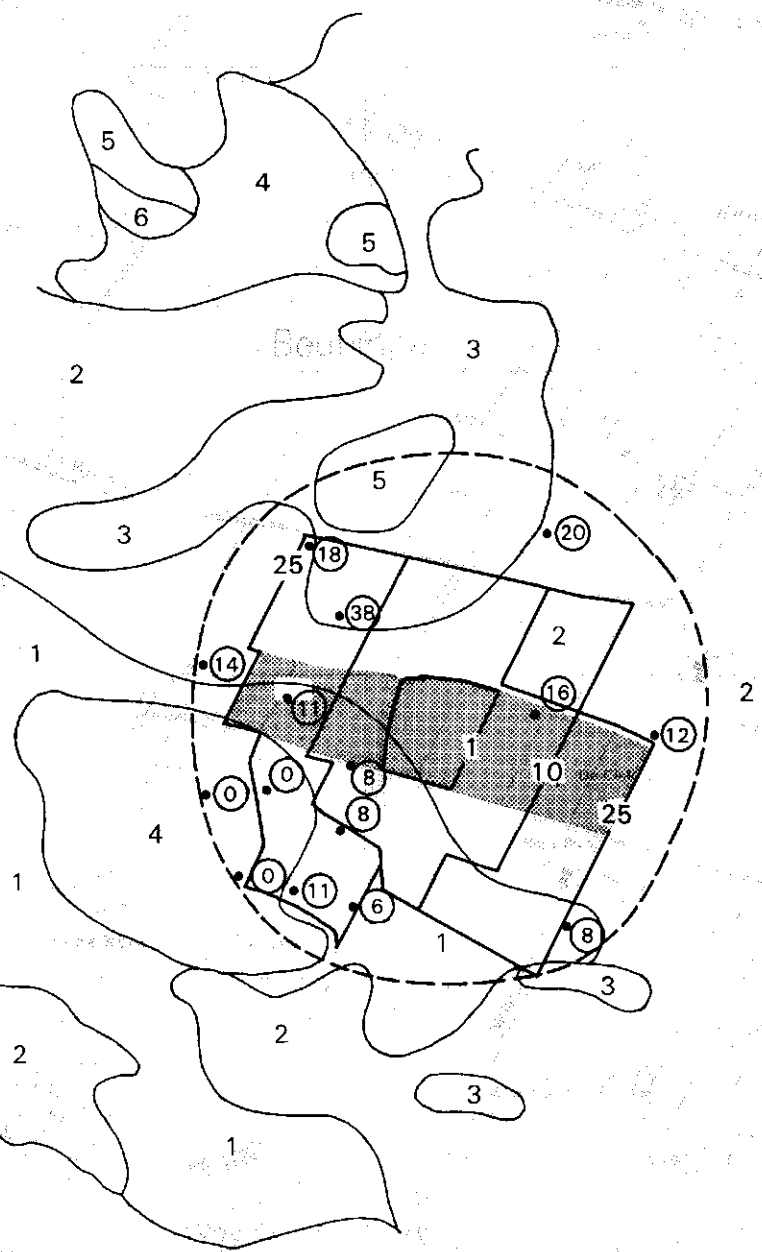
Zandige geulafzettingen, zoals venig, matig fijn zand en kleilig, matig fijn zand, komen vanaf 1,40 m - mv. voor.

Elders komt binnen deze kaarteenheden de leemarme, matig grofzandige ondergrond tussen 4,50 m en 5,00 m - mv. voor.

AANHANGSEL 2 Zanddiepten behorende bij de vier
geselecteerde winningen




Legenda behorende bij de zanddieptekaarten:

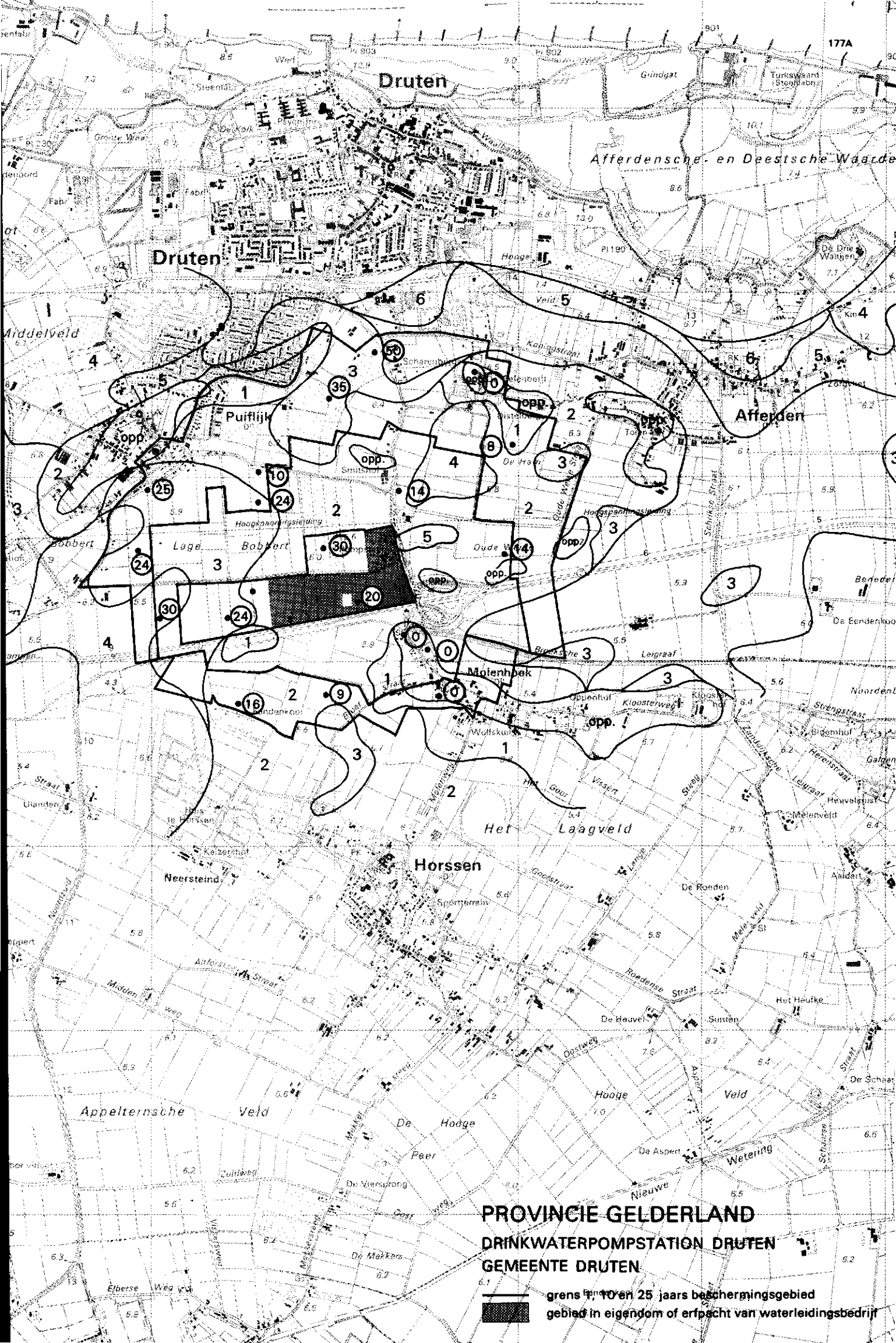
- De bovenkant van het zand staat middels vlakverdelingen aangegeven in m - m.v., waarbij altijd naar boven is afgerond.
- Stippen zijn boringen waarbij de diepte van het zand in een cirkel erbij wordt aangegeven (dm).
- Van Velddriel was geen zanddiepte kaart beschikbaar, hiervan zijn alleen de boorgegevens op kaart aangebracht. In dit gebied komen lokaal ondergrondse zandopduikingen voor.





PROVINCIE GELDERLAND

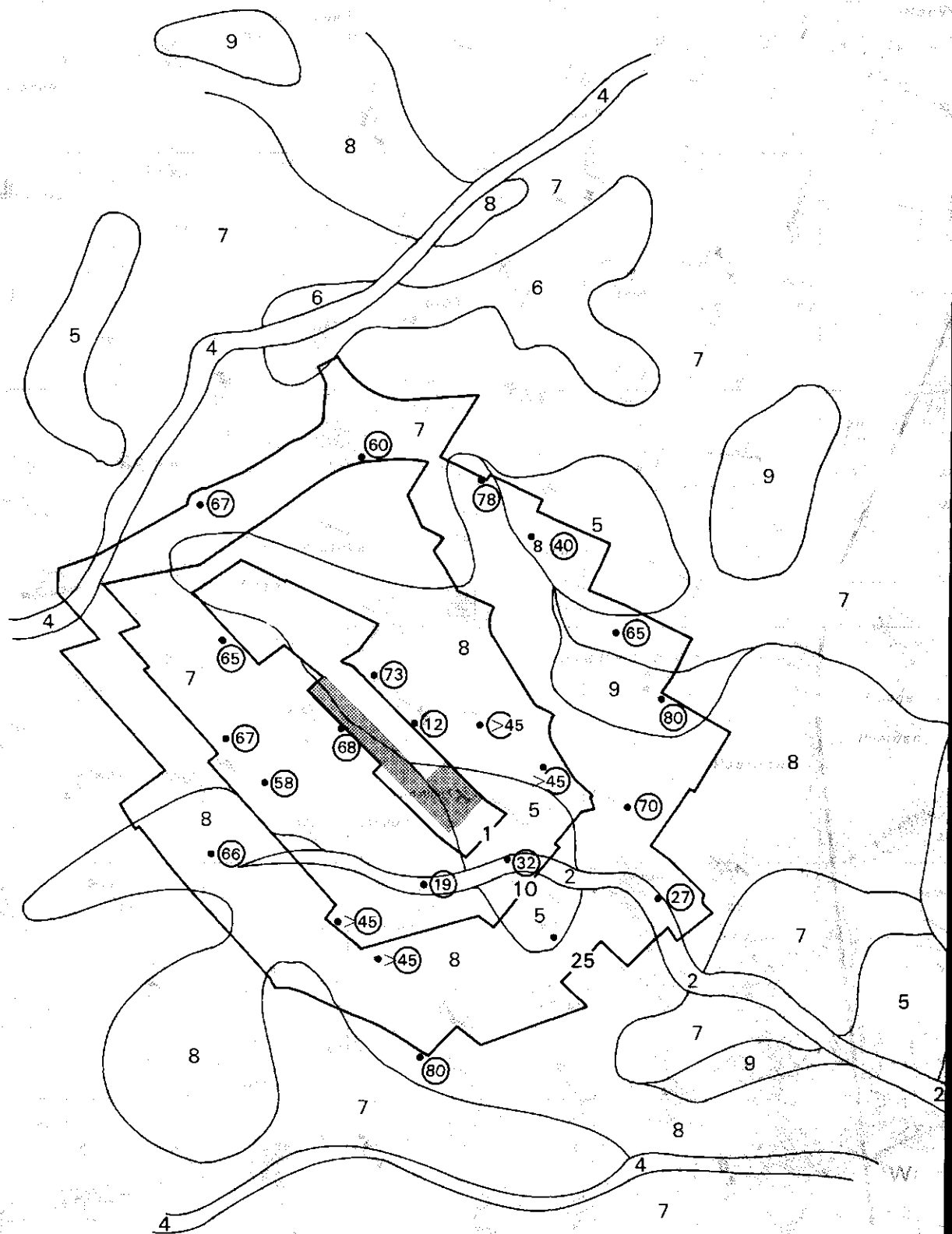
DRINKWATERPOMPSTATION BEUNINGEN
GEMEENTE BEUNINGEN

-  grens 1, 10 en 25-jaars beschermingsgebied
-  gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf
-  grens, gebied ontheffingsplicht diepe grondboringen



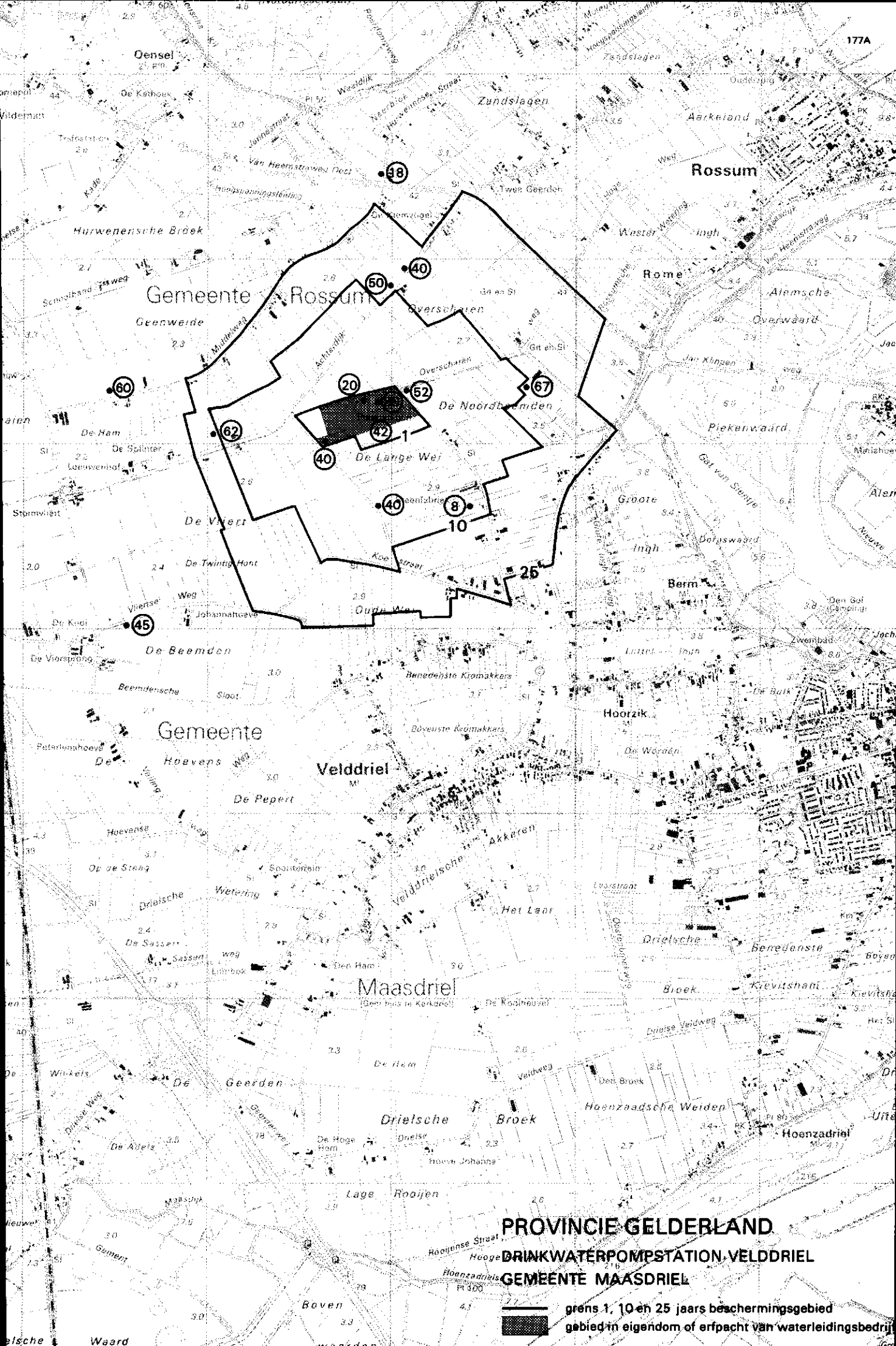
PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION DRUTEN
GEMEENTE DRUTEN

 grens 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf



PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION KOLFF
GEMEENTE NEERIJNEN

— grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 [shaded area] gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsb



Gemeente Rossum

Gemeente Hoevens

Velddriel

Maasdriel
(Binnen toe te komen)

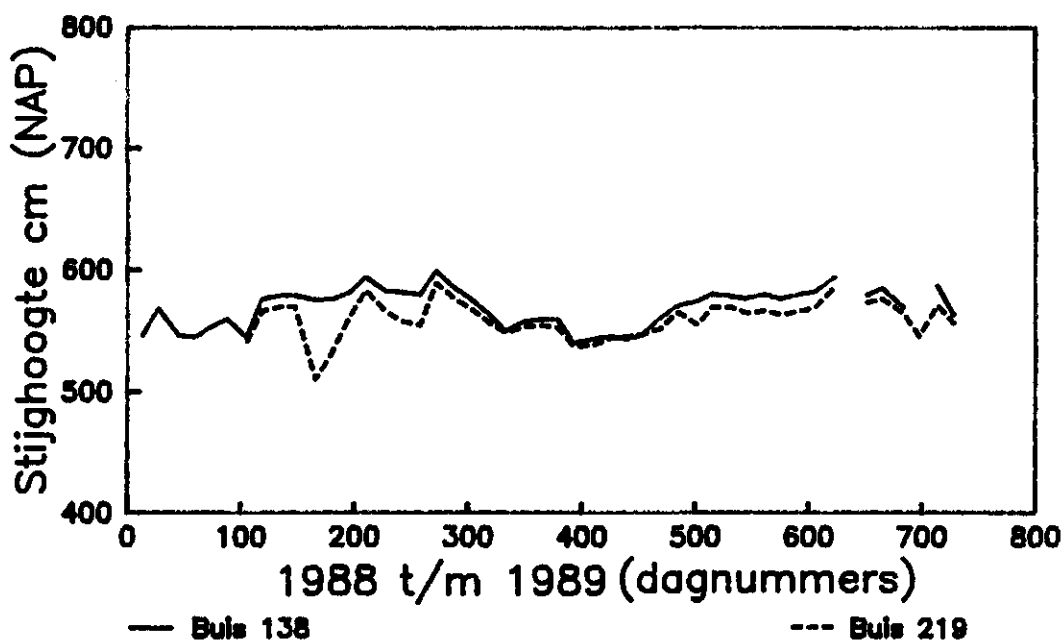
PROVINCIE GELDERLAND
DRINKWATERPOMPSTATION VELDDRIEL
GEMEENTE MAASDRIEL



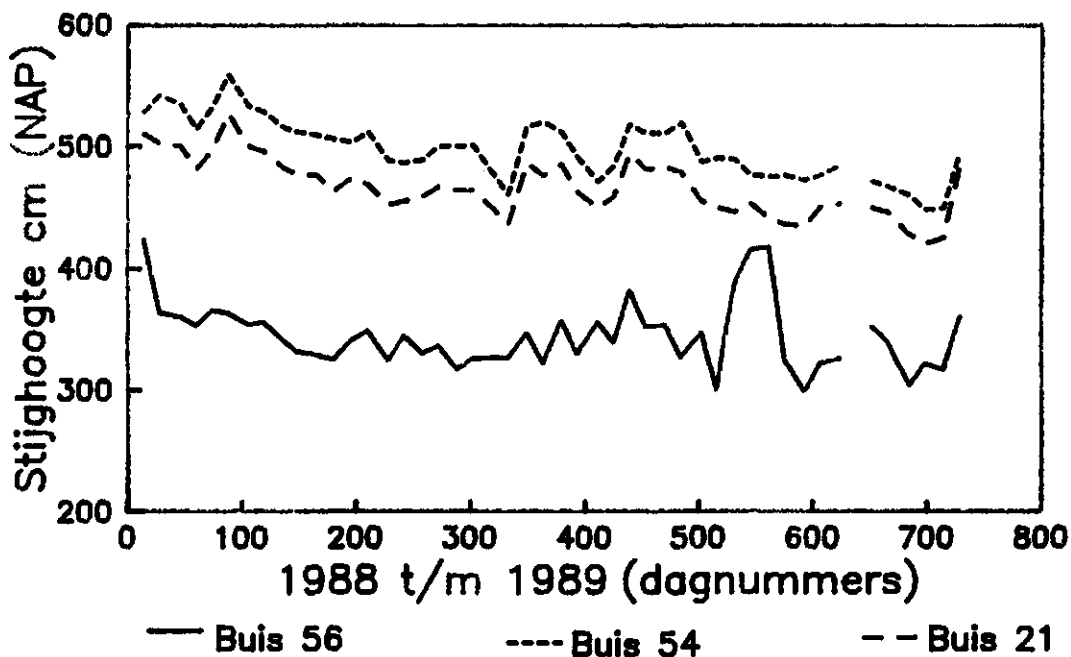
grens 1, 10 en 25 jaars beschermingsgebied
 gebied in eigendom of erfpacht van waterleidingsbedrijf

AANHANGSEL 3 Stijghoogten in het eerste watervoerende
pakket bij de vier geselecteerde winningen

Stijghoogten, Beuningen 1-ste watervoerend pakket

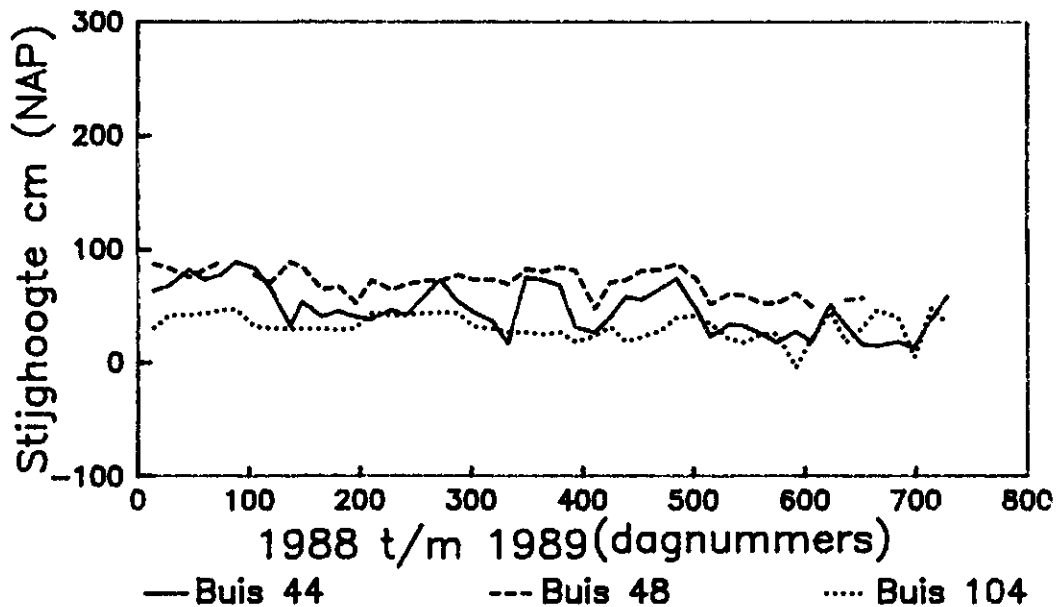


Stijghoogten, Druten 1-ste watervoerend pakket

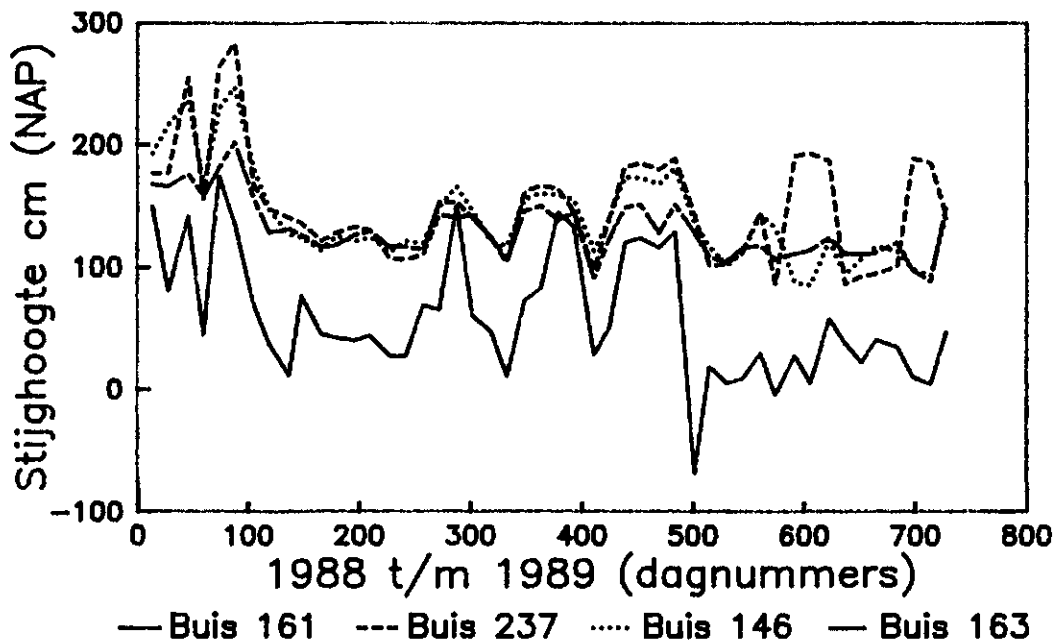


DGV-TNO buizen van kaartblad 39H

Stijghoogten, Kolff 1-ste watervoerend pakket



Stijghoogten, Velddriel 1-ste watervoerend pakket



DGV-TNO buizen van de kaartbladen 39C en 45A

AANHANGSEL 4 Model invoerparameters per legenda-eenheid
behorende bij de vier geselecteerde winningen

Algemeen

De profielen van de vier geselecteerde waterwingebieden hebben als bovengrond een lichte klei, een matig zware klei of een zware zavel. De verzadigde doorlatendheid van de matrix van deze bovengronden is gebaseerd op de Staringreeks (Wösten et al., 1987), deze waarden bedragen voor lichte klei 2 cm.d^{-1} , voor matig zware klei 1 cm.d^{-1} en voor zware zavel 6 cm.d^{-1} . De verzadigde doorlatendheid van de ondergrond is in alle gevallen 1 cm.d^{-1} . Voor de waterretentiekarakteristieken en de doorlatendheidscurven zijn de volgende profielen uit de Staringreeks gebruikt: B10, B11, O1, O3, O5, O10, O11, O12 en O13. In tabel 5 is een overzicht gegeven welke legenda-eenheden in elk der vier studiegebieden voorkomen (*). Bovendien is hierbij de grondwatertrap vermeld.

Tabel 5 Overzicht van de profielen met de grondwatertrap en de plaats van voorkomen.

| Bodem- profiel | Grondwater- trap | Studiegebied | | | |
|---------------------------|----------------------------|--------------|--------|-------------|-----------|
| | | Beuningen | Druten | Kolff | Velddriel |
| Rn95A/ Rd90A | Vbo Vlo | | * | | * |
| Rn44C/ Rn47C/ Rn46A | IIIa IIIb Vbo Vlo | * * | * * | * * * | * * |
| KRn2/ KRn8 | Vbo Vlo | * * | | | |
| 2b30 | Vlo VIIo | * * | | | |
| Rn66A/ Rn67C | Vbo Vlo | | | * | * |

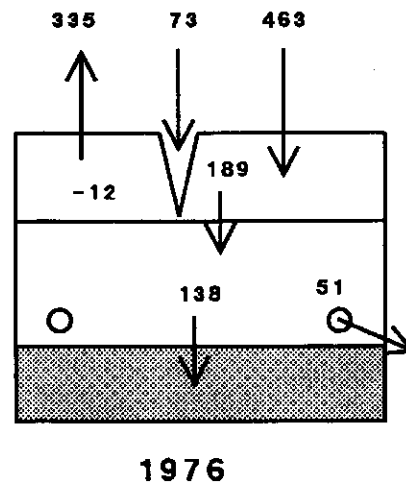
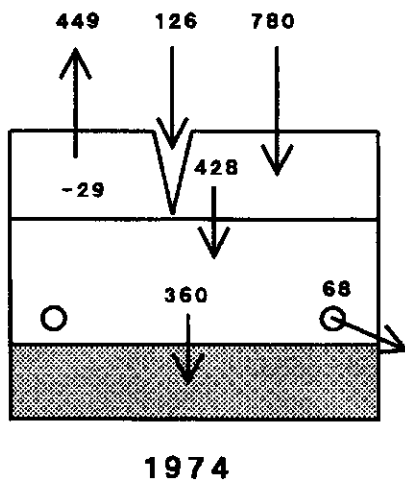
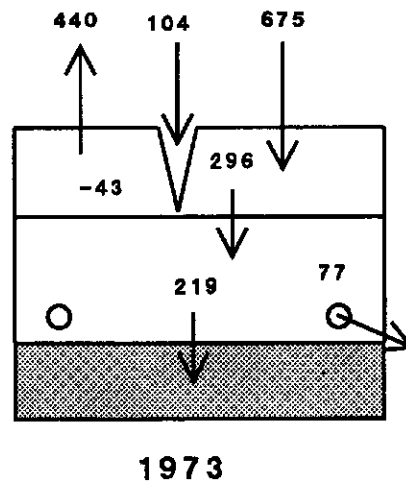
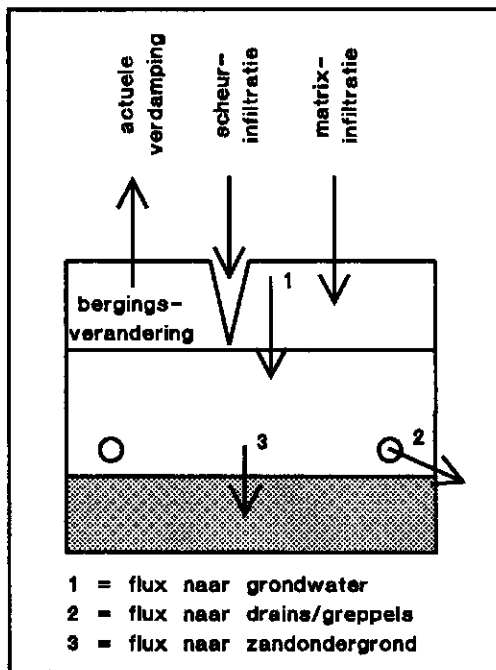
In bovenstaande tabel zijn de profielen groepsgewijs weer-gegeven. De profielen uit eenzelfde groep zijn onderling vergelijkbaar en hebben eenzelfde profielopbouw. De tweede kolom geeft de grondwatertrappen weer die bij eenzelfde groep profielen hoort.

Tabel 6 Model invoerparameters per legenda-eenheid behorende bij de vier geselecteerde winningen.

| Gebied | Legenda- eenheid | Gt | Berekend | | Drain- inten- siteit (d ⁻¹) | K _o (cm.d ⁻¹) | K(h), h(θ) volgens Staring- reeks (Wösten et al.) | | |
|-----------|---------------------|------|-----------|-----------|--|---|--|--------------------------|------------------|
| | | | cm - m.v. | cm - m.v. | | | | gem. stijg- hoogte | drain- diepte |
| | | | GHG | GLG | | | | | |
| Beuningen | Rn47C | IIIb | 25 | 109 | 89 | 115 | 0.0025 | 1. | B11,013,011,01 |
| | | Vbo | 37 | 126 | 89 | 135 | 0.0022 | 1. | B11,013,011,01 |
| | KRn2 | Vbo | 32 | 133 | 89 | 135 | 0.0014 | 6. | 010,011,05 |
| | | Vio | 51 | 137 | 89 | 135 | 0.0022 | 6. | 010,011,05 |
| Druten | Rn95A | Vio | 58 | 166 | 115 | 95 | 0.0085 | 2. | B10,013,011,01 |
| | Rn47C | IIIb | 25 | 109 | 115 | 115 | 0.0025 | 1. | B11,013,011,01 |
| Kolff | Rn44C | IIIa | 8 | 99 | 148 | 115 | 0.0013 | 1. | B11,013,011 |
| | | IIIb | 25 | 109 | 148 | 115 | 0.0025 | 1. | B11,013,011 |
| | | Vbo | 37 | 126 | 148 | 135 | 0.0022 | 1. | B11,013,011 |
| | | Vio | 67 | 130 | 148 | 135 | 0.0041 | 1. | B11,013,011 |
| | Rn66A | Vio | 53 | 144 | 148 | 135 | 0.0030 | 6. | 010,012 |
| Velddriel | Rn95A | Vbo | 28 | 142 | 140 | 85 | 0.0042 | 6. | 010,012,011 |
| | | Vio | 63 | 148 | 140 | 125 | 0.0041 | 6. | 010,012,011 |
| | Rn47C | IIIb | 25 | 109 | 140 | 115 | 0.0025 | 1. | B11,013,011 |
| | | Vbo | 28 | 121 | 140 | 135 | 0.0018 | 1. | B11,013,011 |
| | Rn66A | Vbo | 32 | 140 | 140 | 125 | 0.0025 | 2. | B10,012 |
| | | Vio | 48 | 146 | 140 | 135 | 0.0030 | 2. | B10,012 |

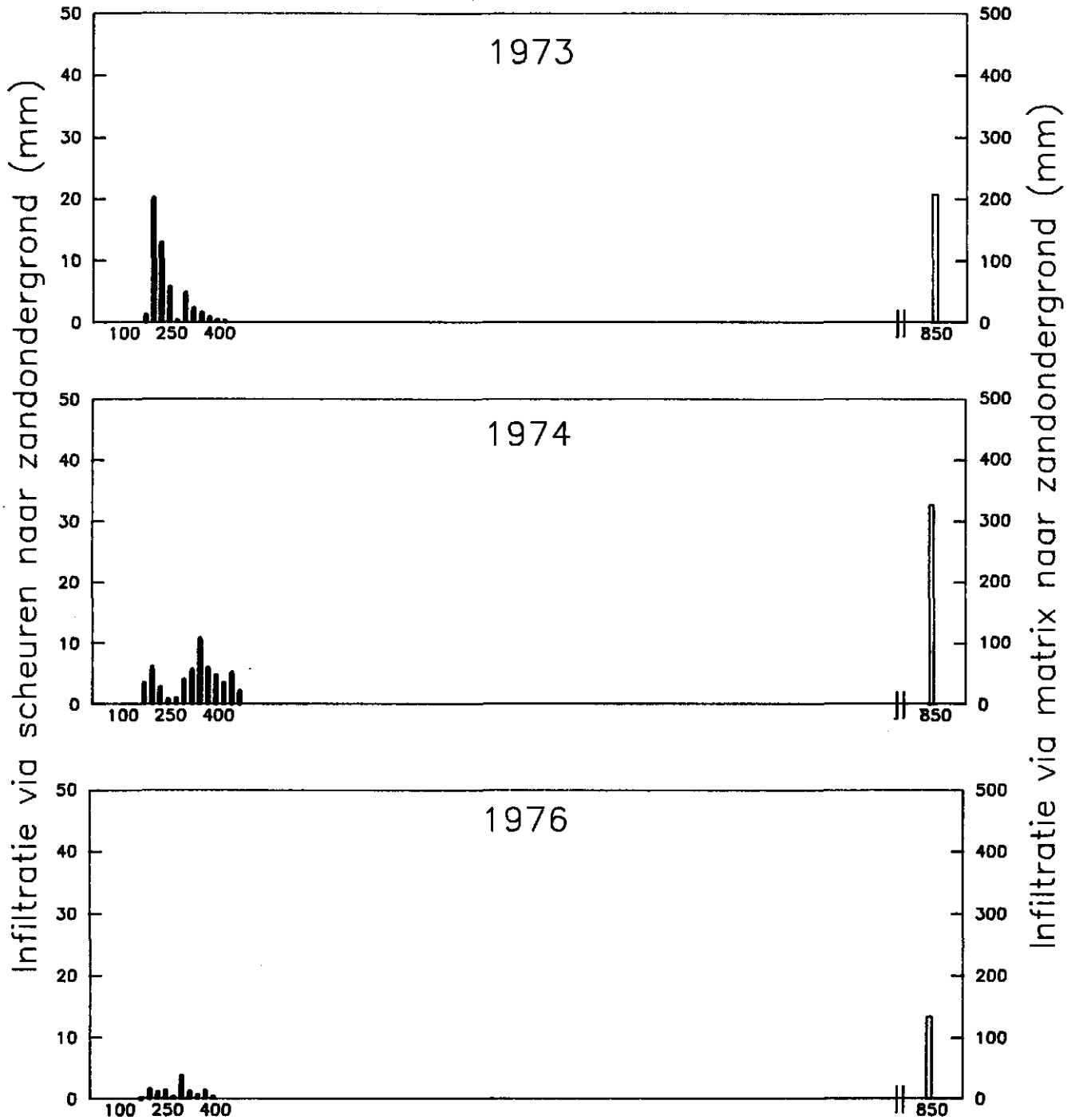
AANHANGSEL 5 Waterbalansen en verdelingen van
verblijftijden per legenda-eenheid van het
waterwingebied Beuningen

**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Beuningen, Legenda-eenheid Rn47C, Gt IIIb

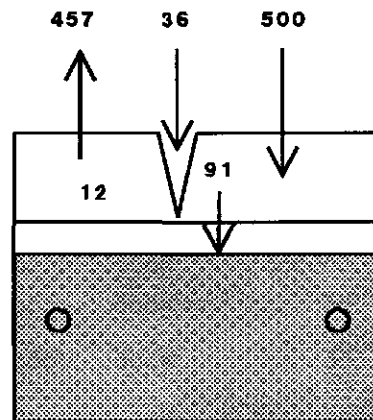
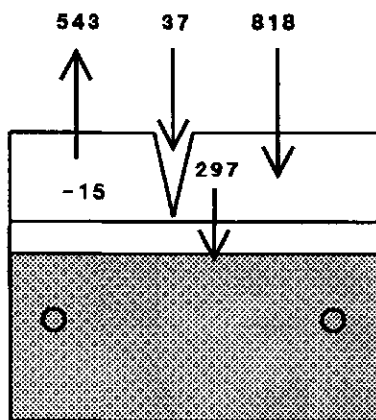
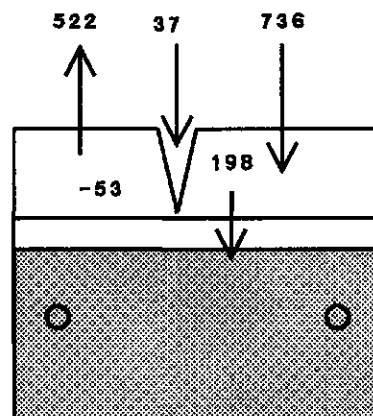
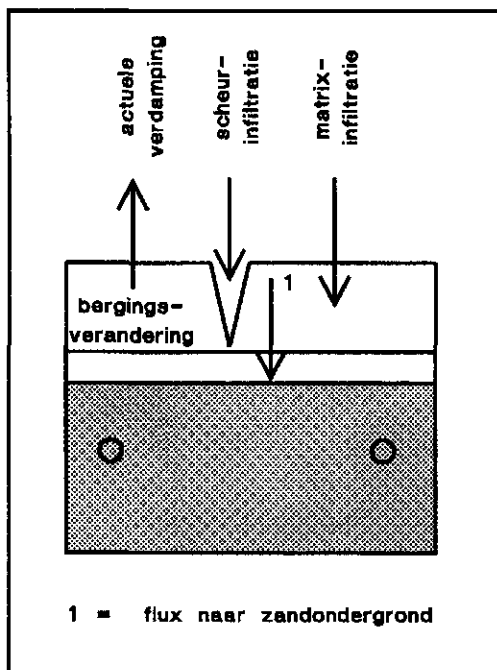
Beuningen, Legenda- eenheid Rn47C, Gt IIIb
zanddiepte = 140 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

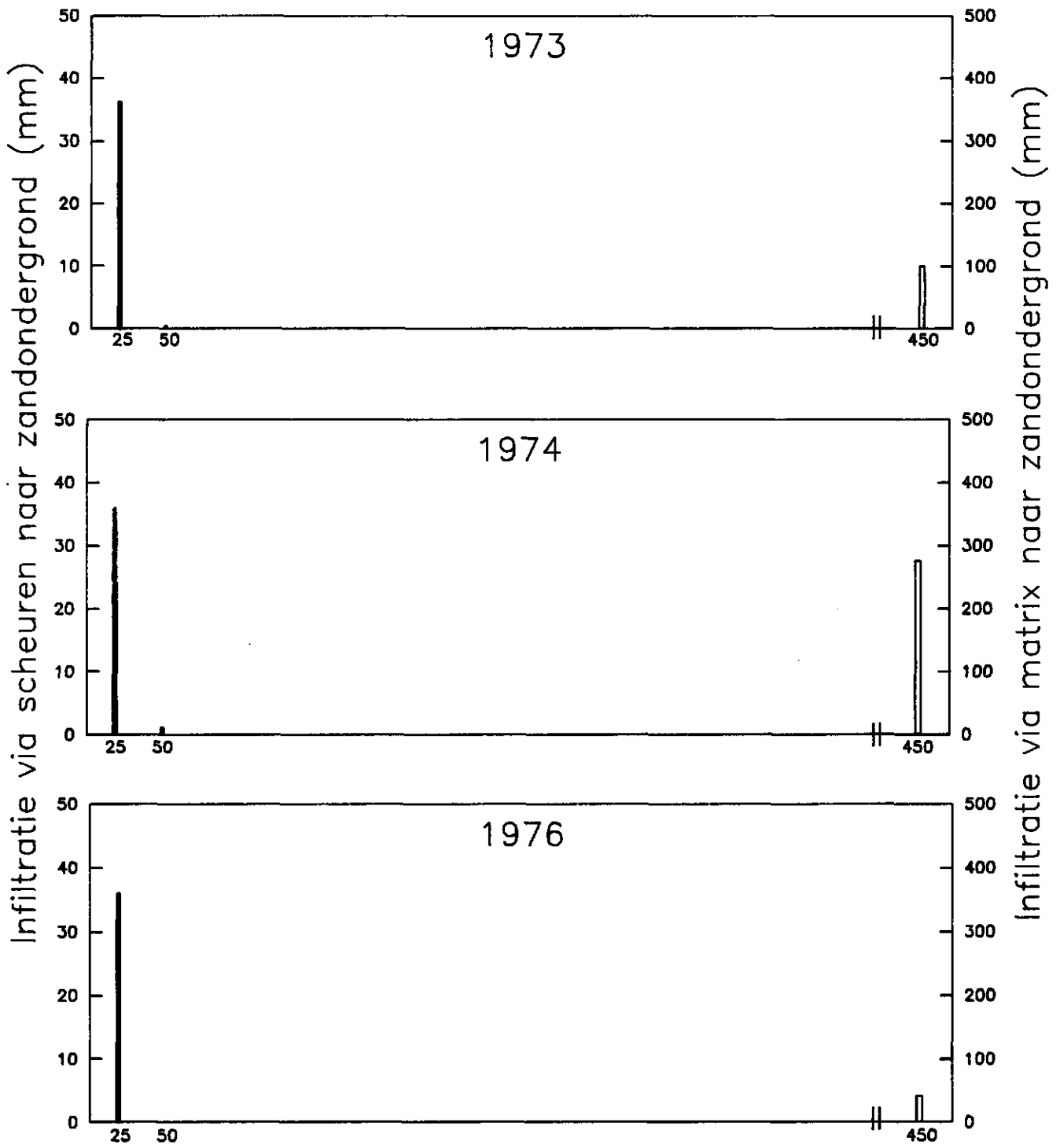
■ Via Scheuren □ Via Matrix

**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Beuningen, Legenda-eenheid KRn2, Gt Vbo

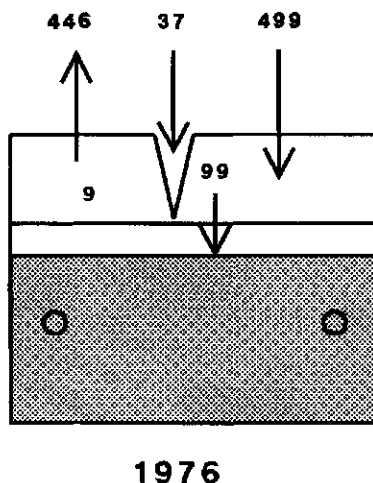
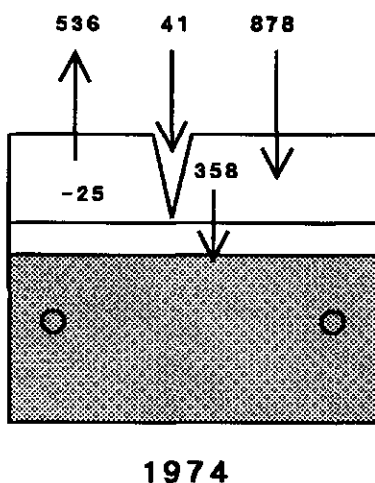
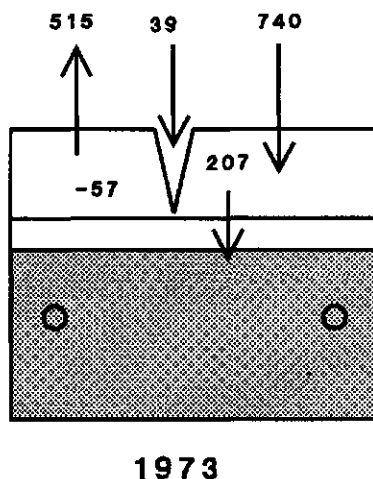
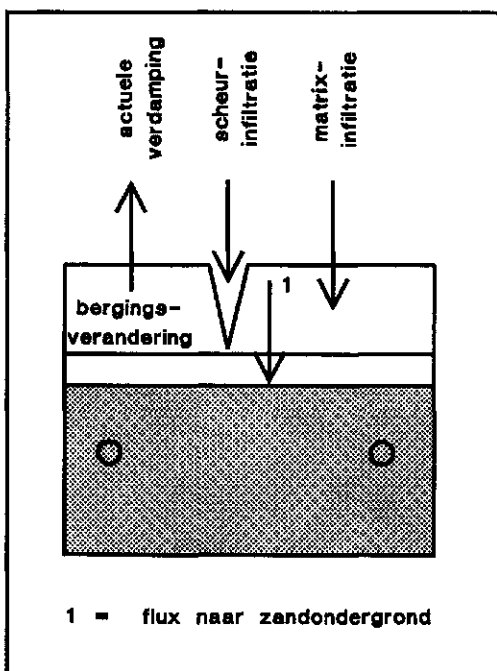
Beuningen, Legenda- eenheid KRn2, Gt Vbo
 zanddiepte = 80 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

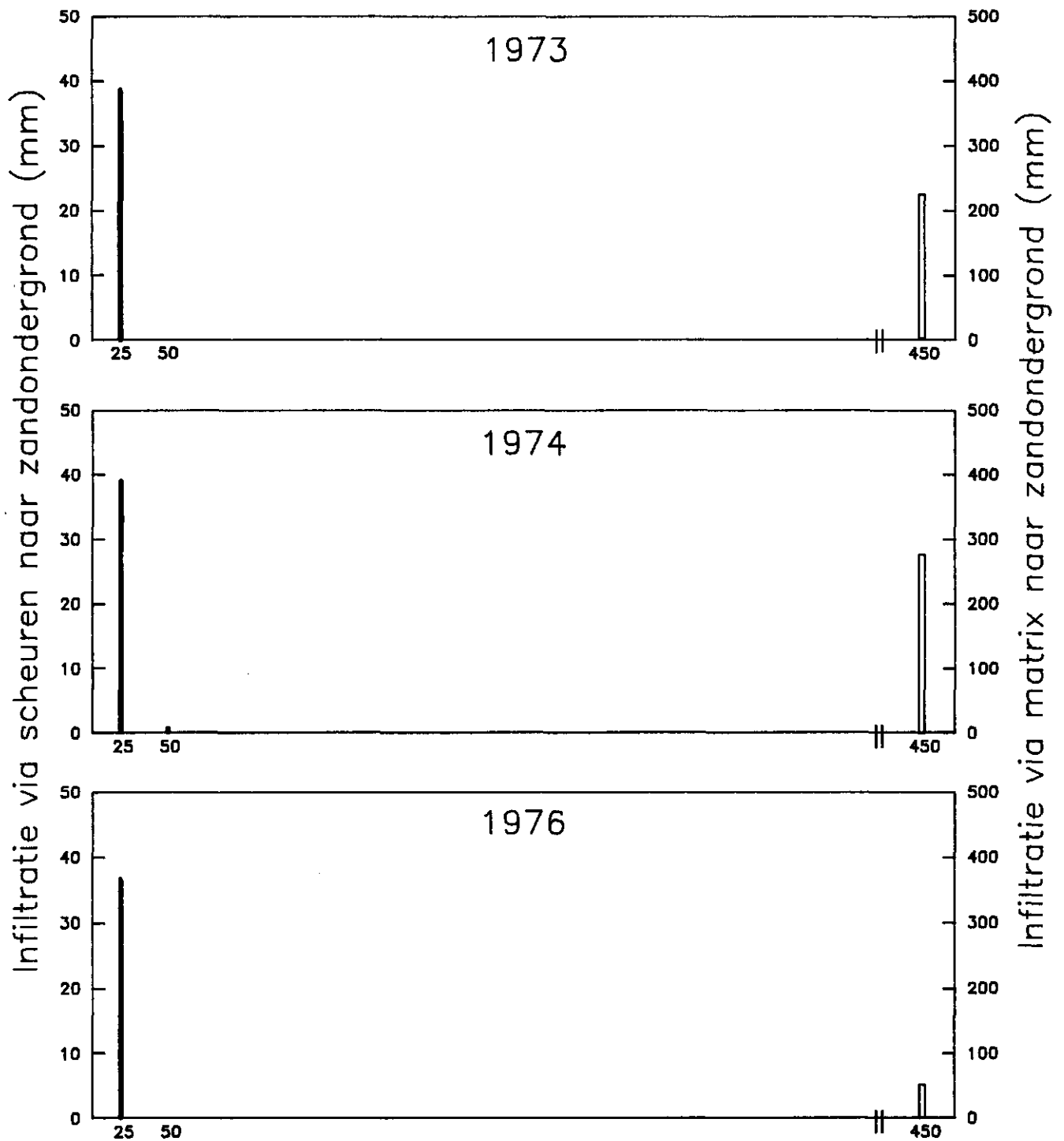
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Beuningen, Legenda-eenheid KRn2, Gt Vlo

Beuningen, Legenda-eenheid KRn2, Gt Vlo

zanddiepte = 80 cm

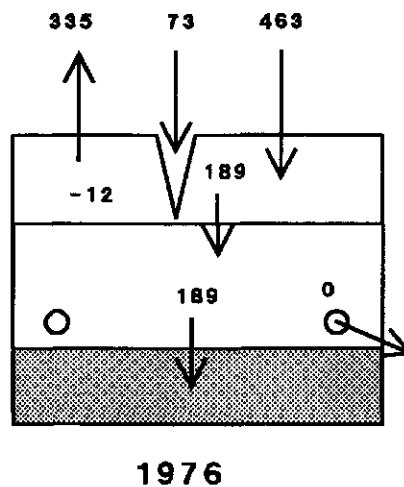
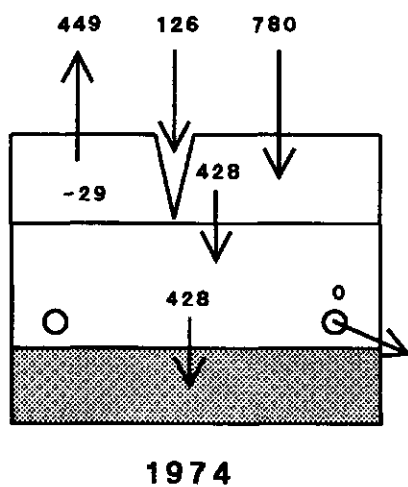
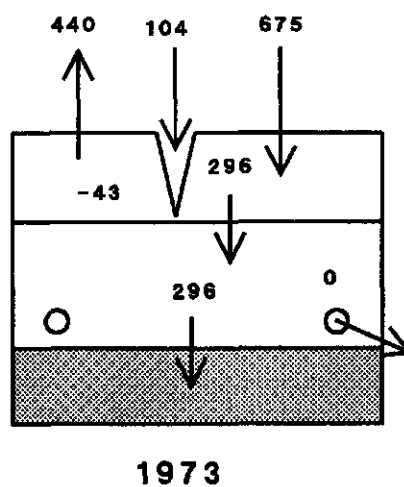
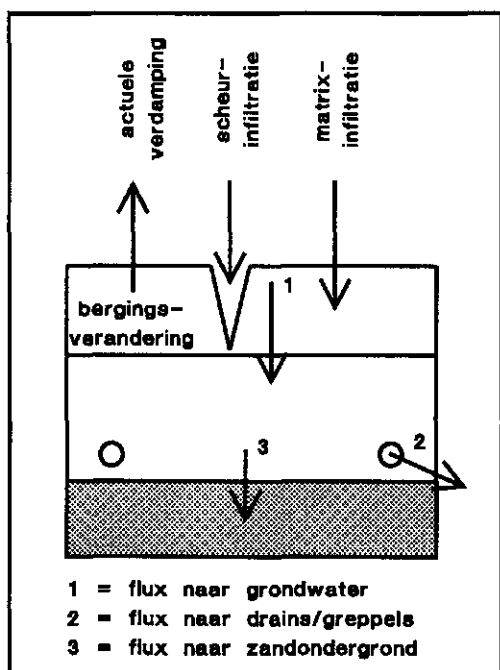


Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

AANHANGSEL 6 Waterbalansen en verdelingen van
verblijftijden per legenda-eenheid van het
waterwingebied Druten

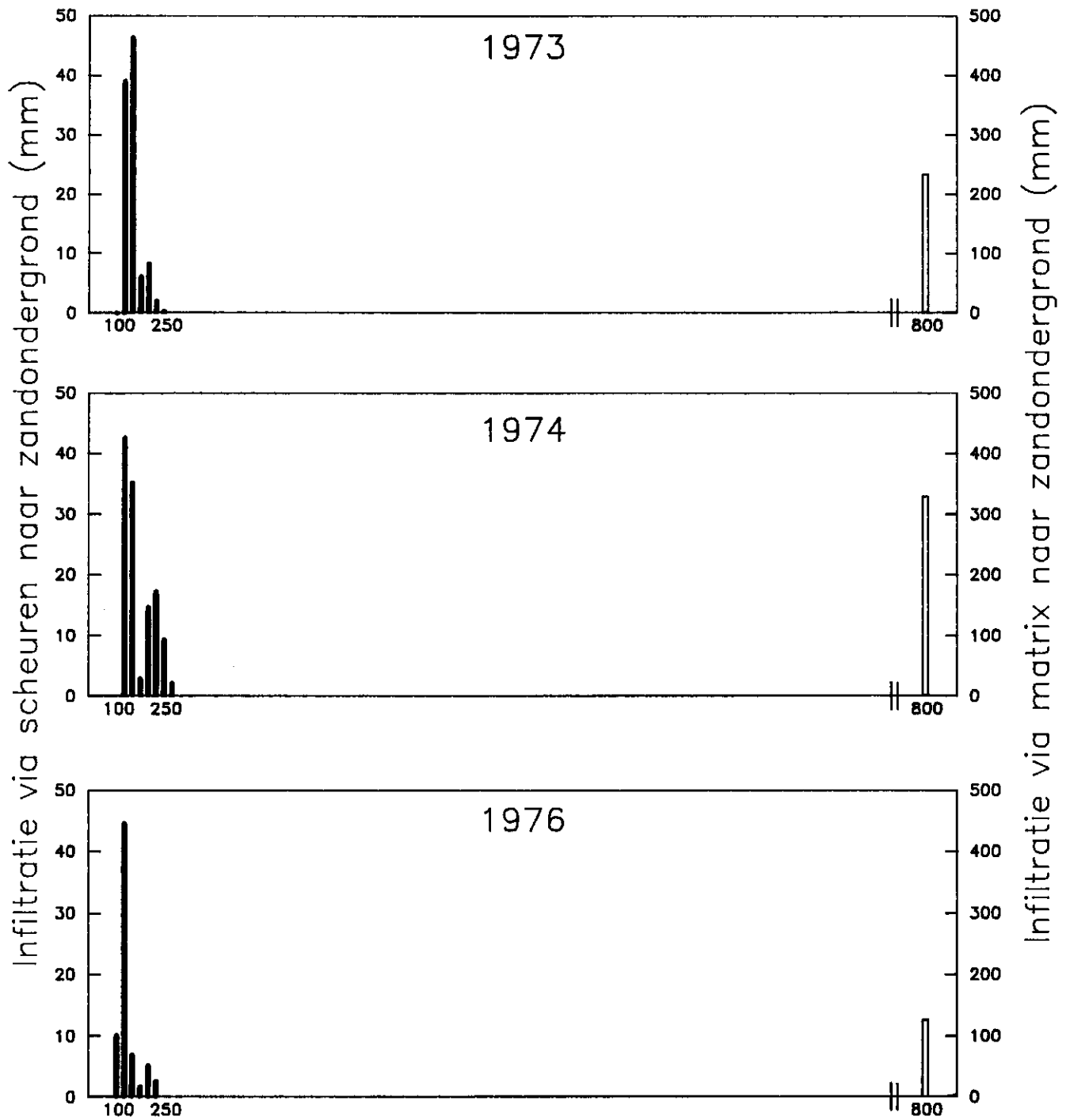
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Druten, Legenda-eenheid Rn47C, Gt IIIb

Druten, Legenda- eenheid Rn47C, Gt IIIb

zanddiepte = 180 cm

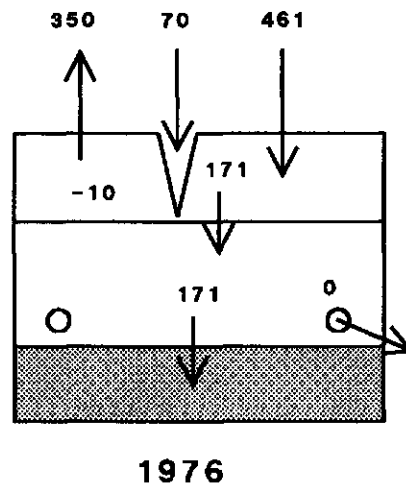
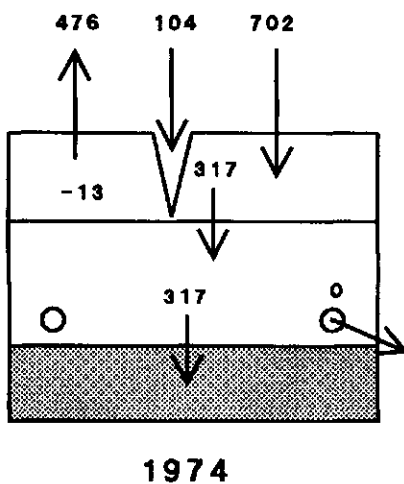
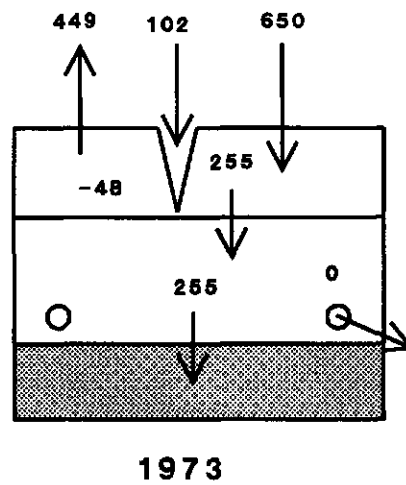
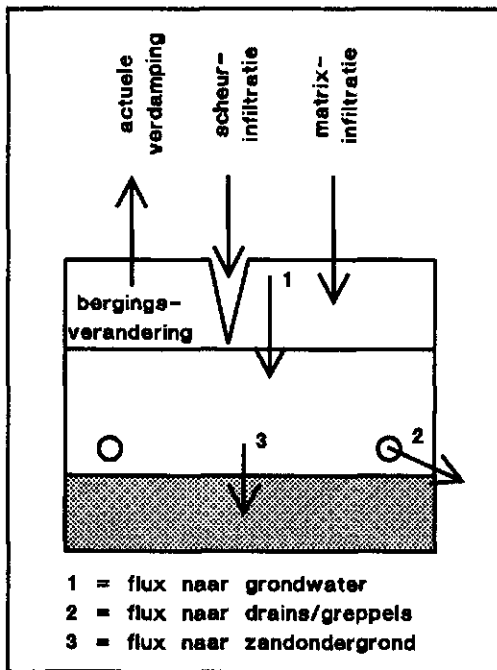


Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

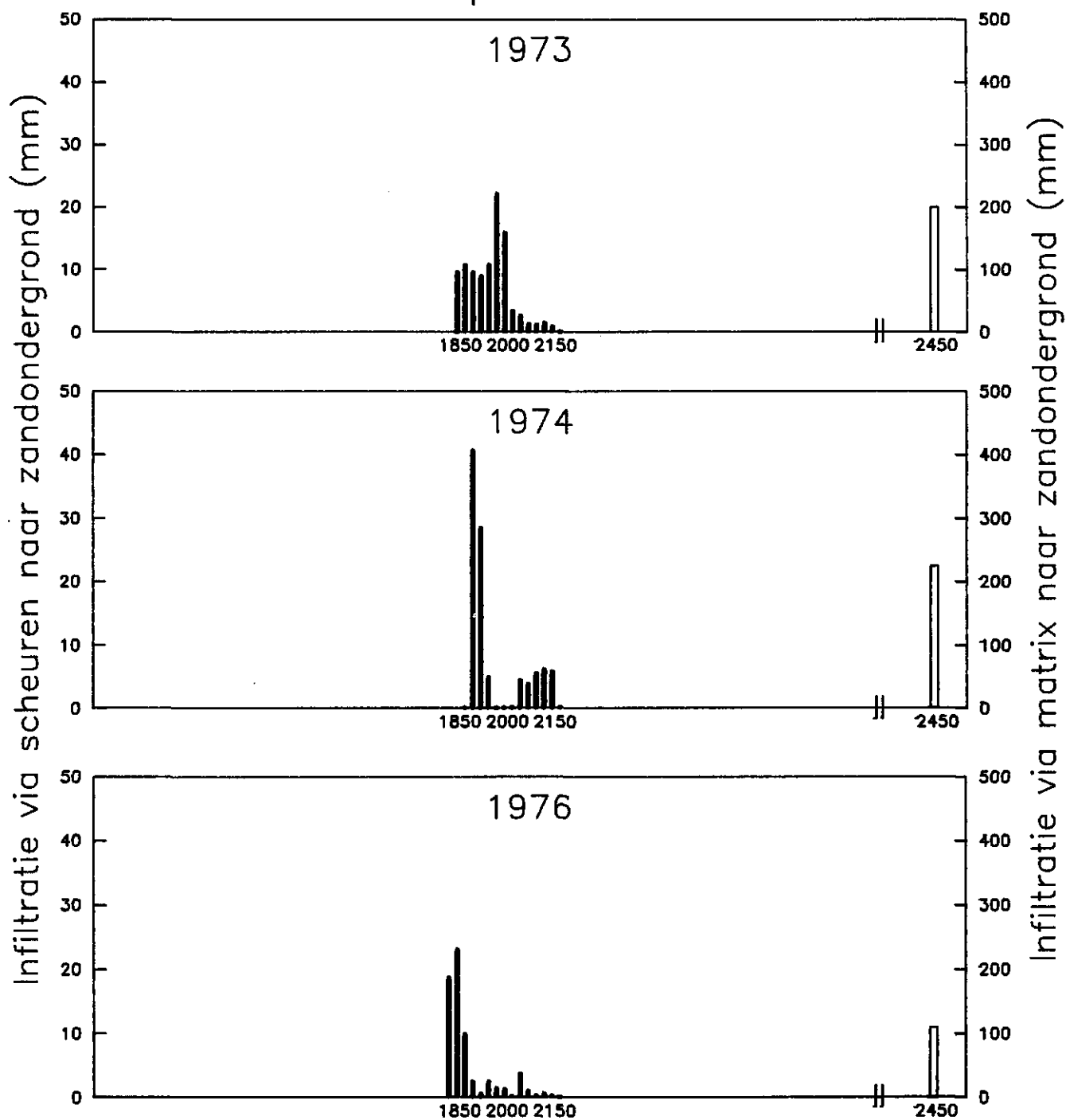
AANHANGSEL 7 Waterbalansen en verdelingen van
verblijftijden per legenda-eenheid van het
waterwingebied Kolff

**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Kolff, Legenda-eenheid Rn44C, Gt IIIa

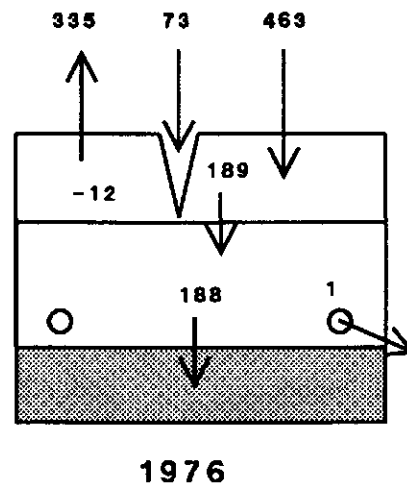
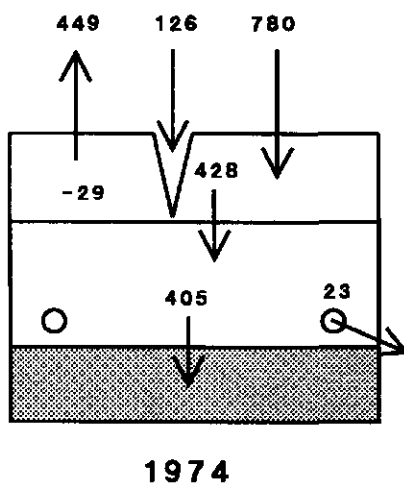
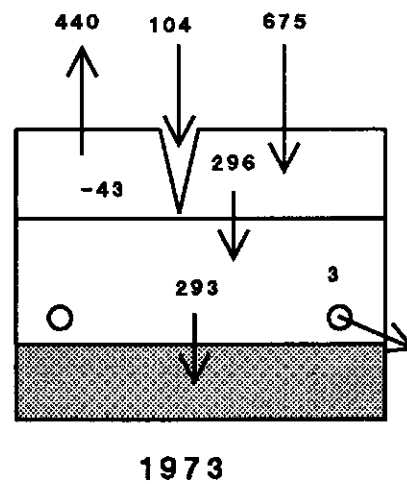
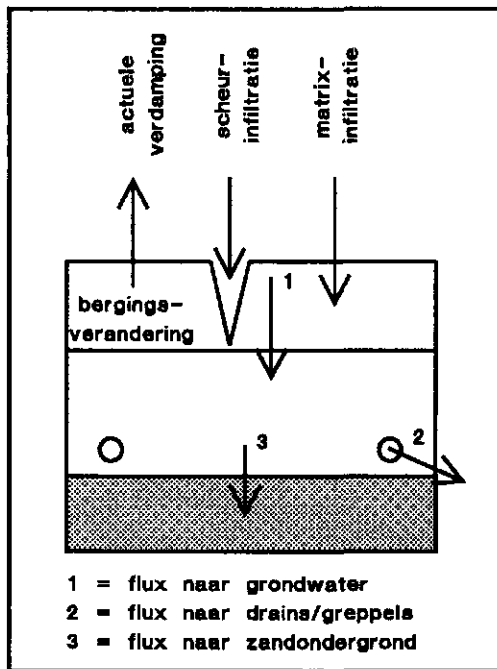
zanddiepte = 650 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

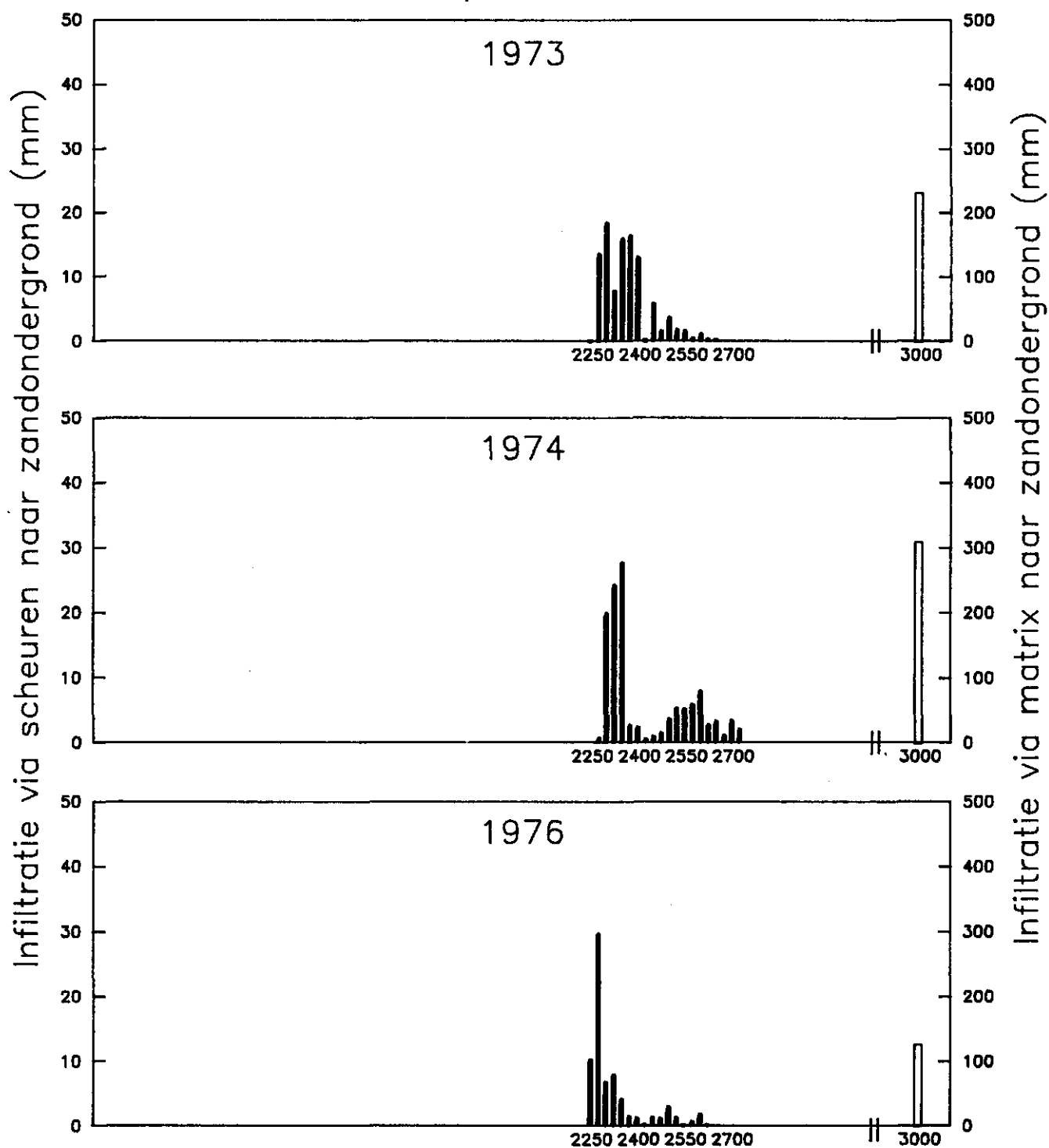
■ Via Scheuren □ Via Matrix

**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Kolff, Legenda-eenheid Rn44C, Gt IIIb

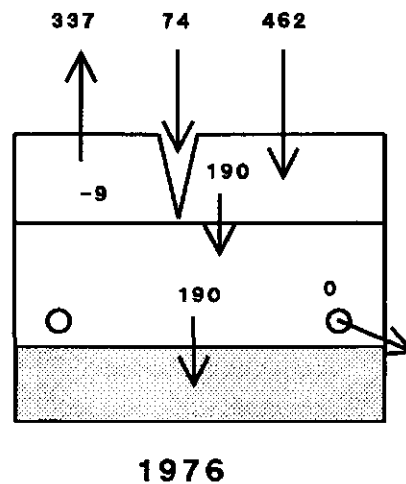
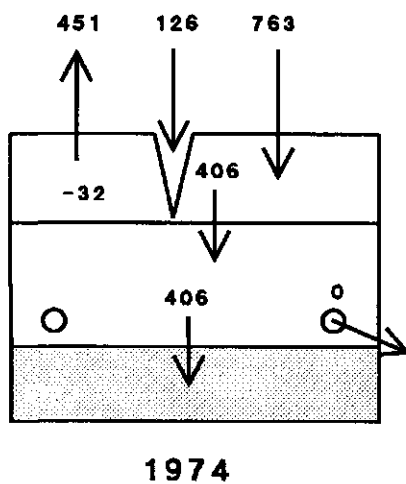
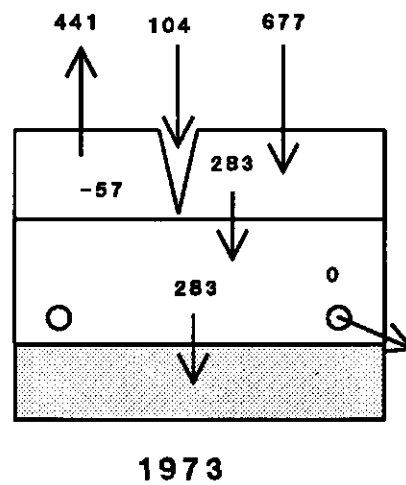
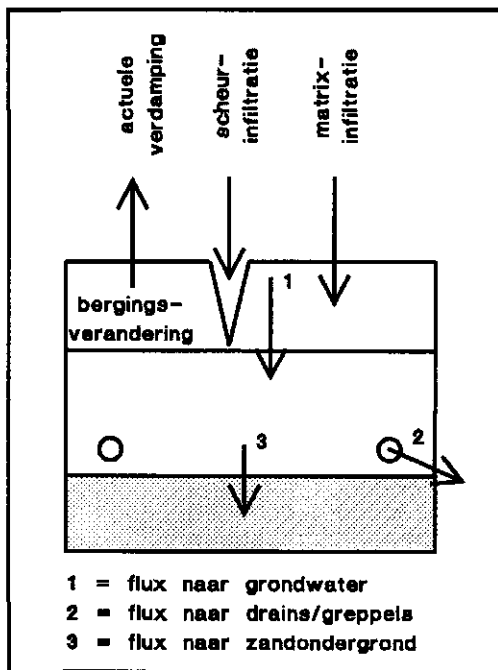
zanddiepte = 650 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

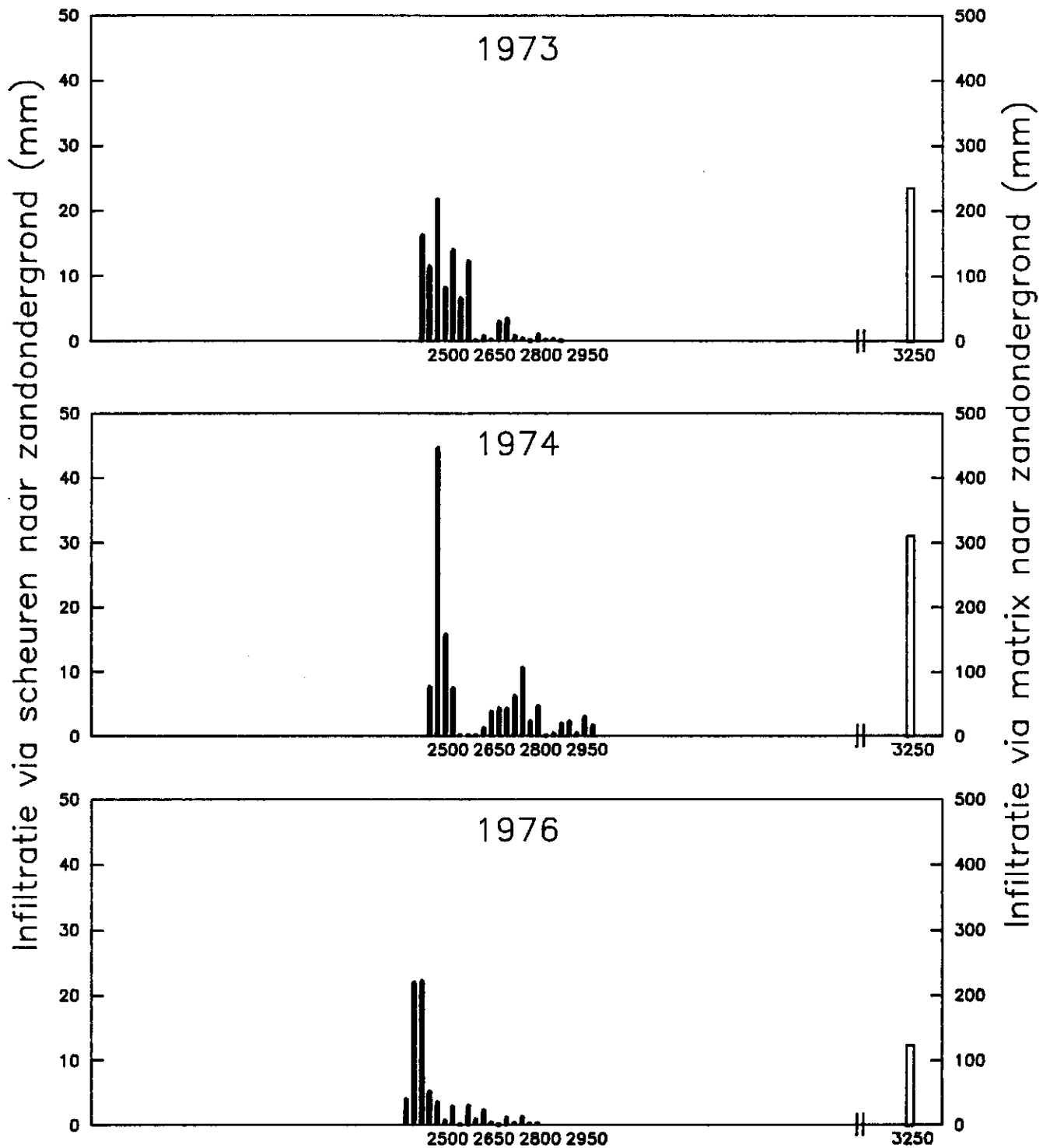
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Kolff, Legenda-eenheid Rn47C, Gt Vbo

Kolff, Legenda-eenheid Rn47C, Gt Vbo

zanddiepte = 650 cm

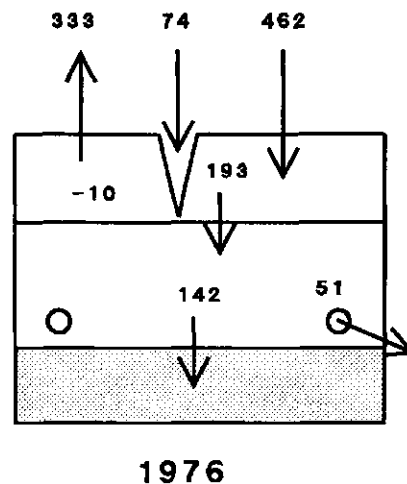
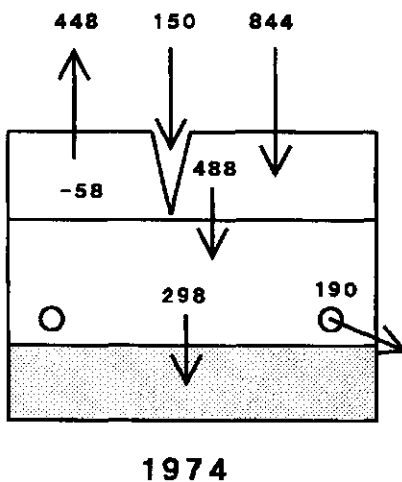
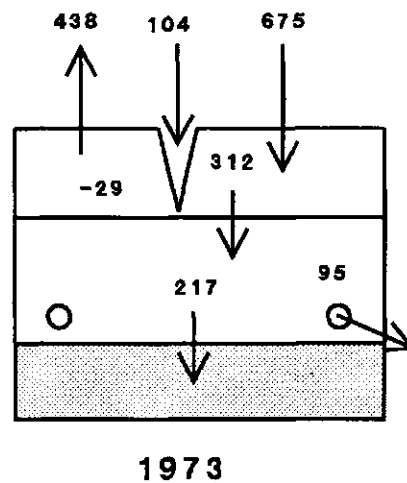
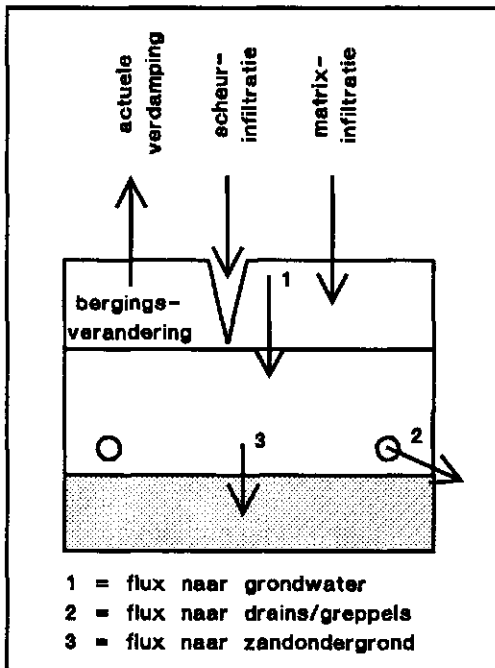


Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.

1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

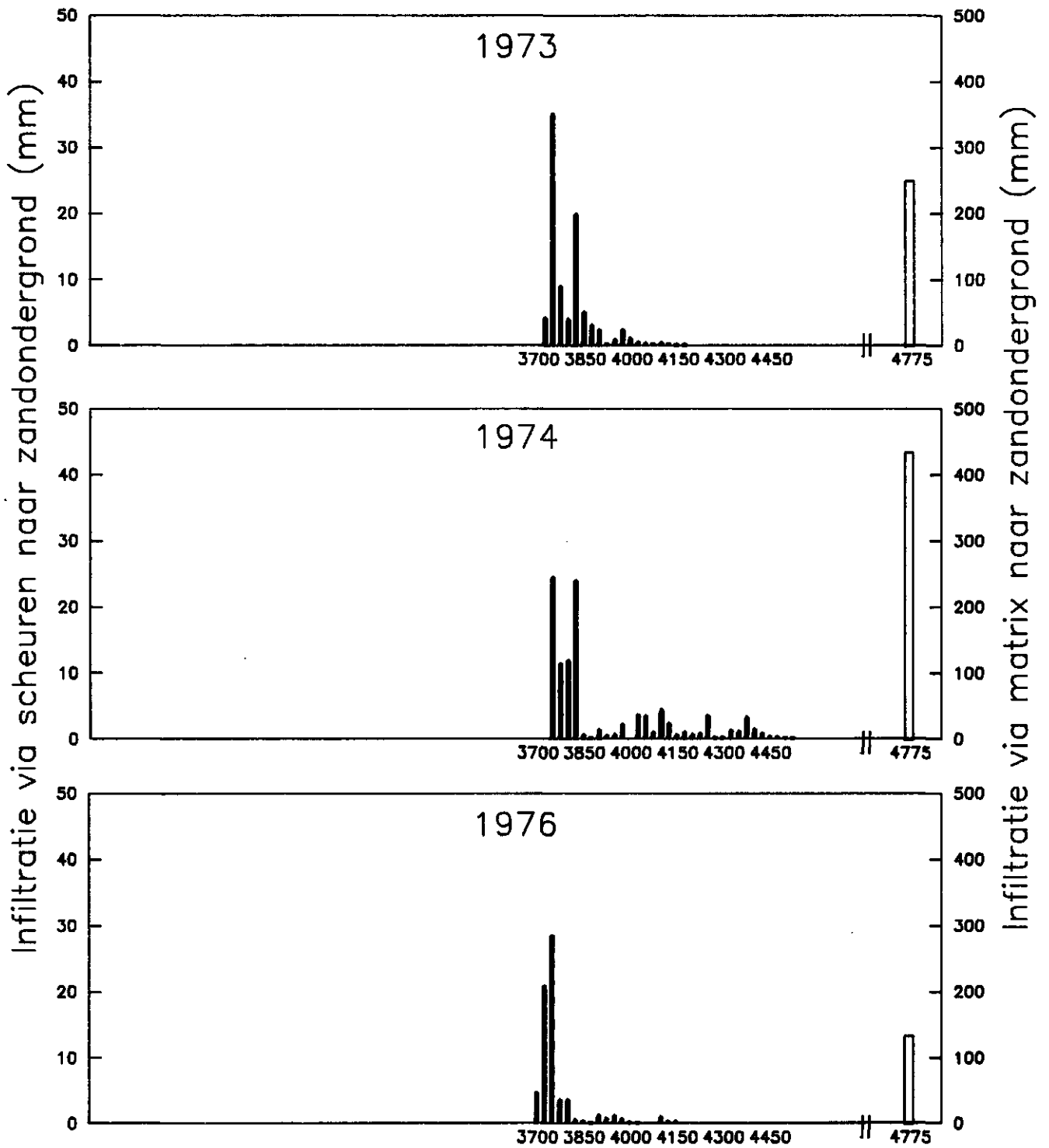
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Kolff, Legenda-eenheid Rn47C, Gt Vlo

Kolff, Legenda- eenheid Rn47C, Gt Vio

zanddiepte = 650 cm

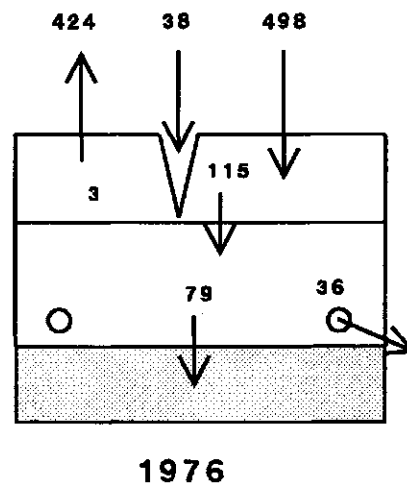
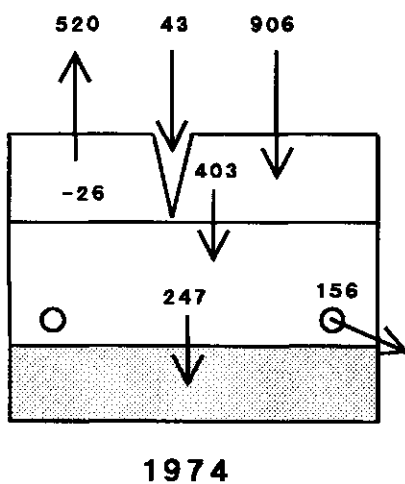
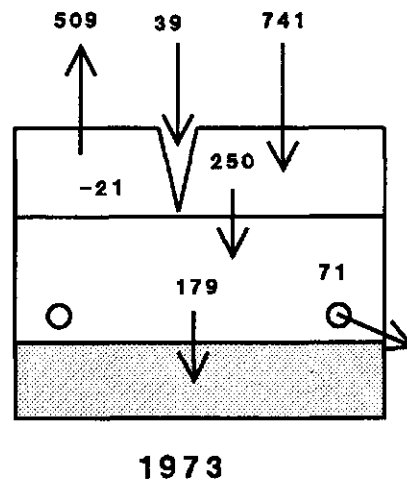
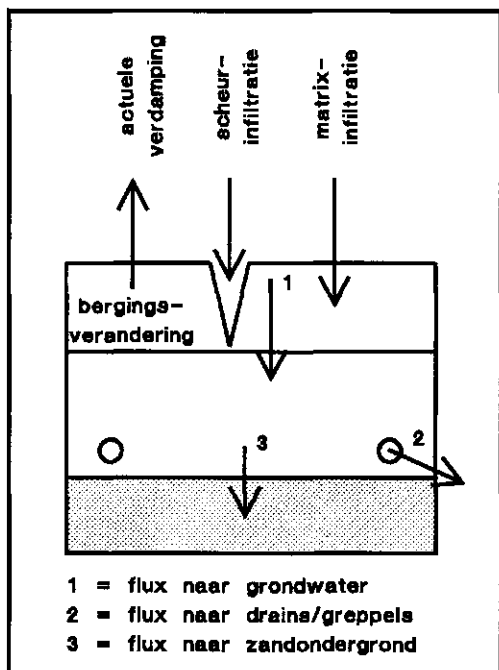


Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.

1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

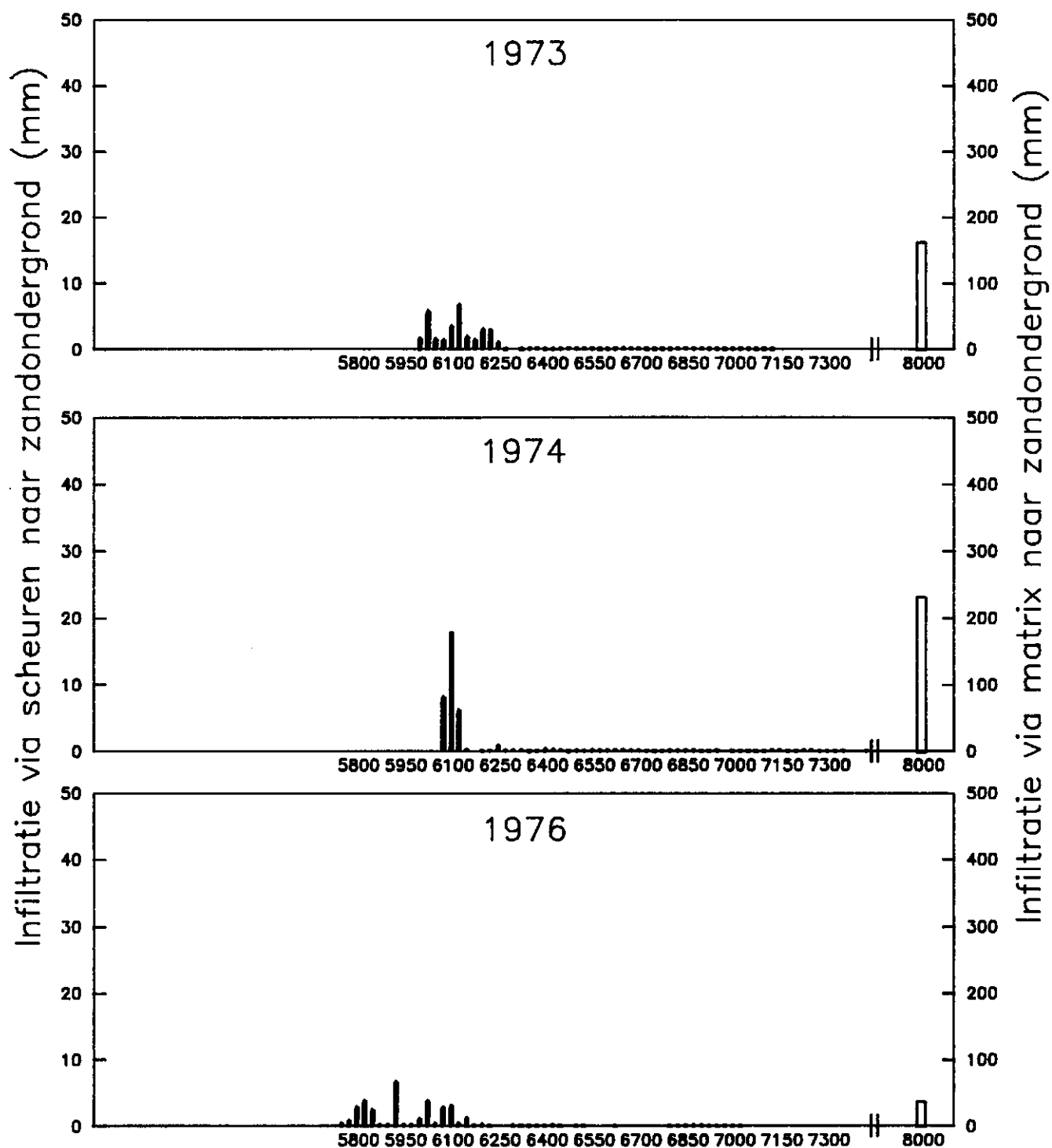
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Kolff, Legenda-eenheid Rn67C, Gt Vlo

Kolff, Legenda- eenheid Rn67C, Gt Vio

zanddiepte = 740 cm

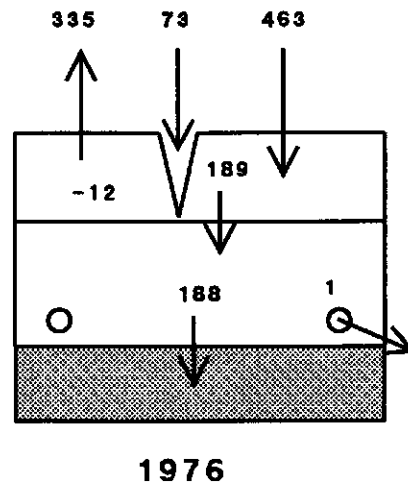
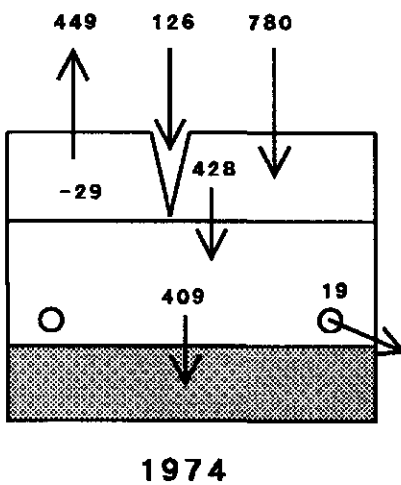
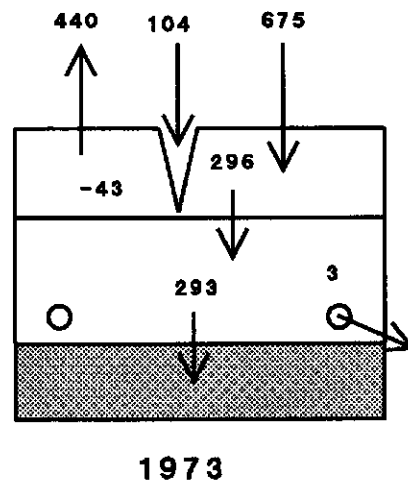
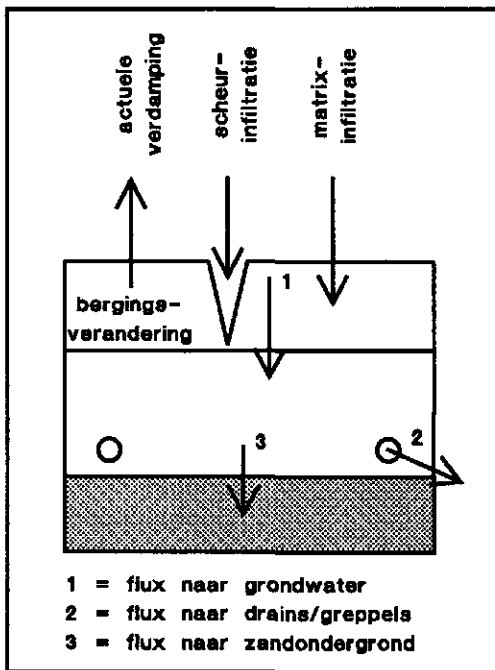


Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

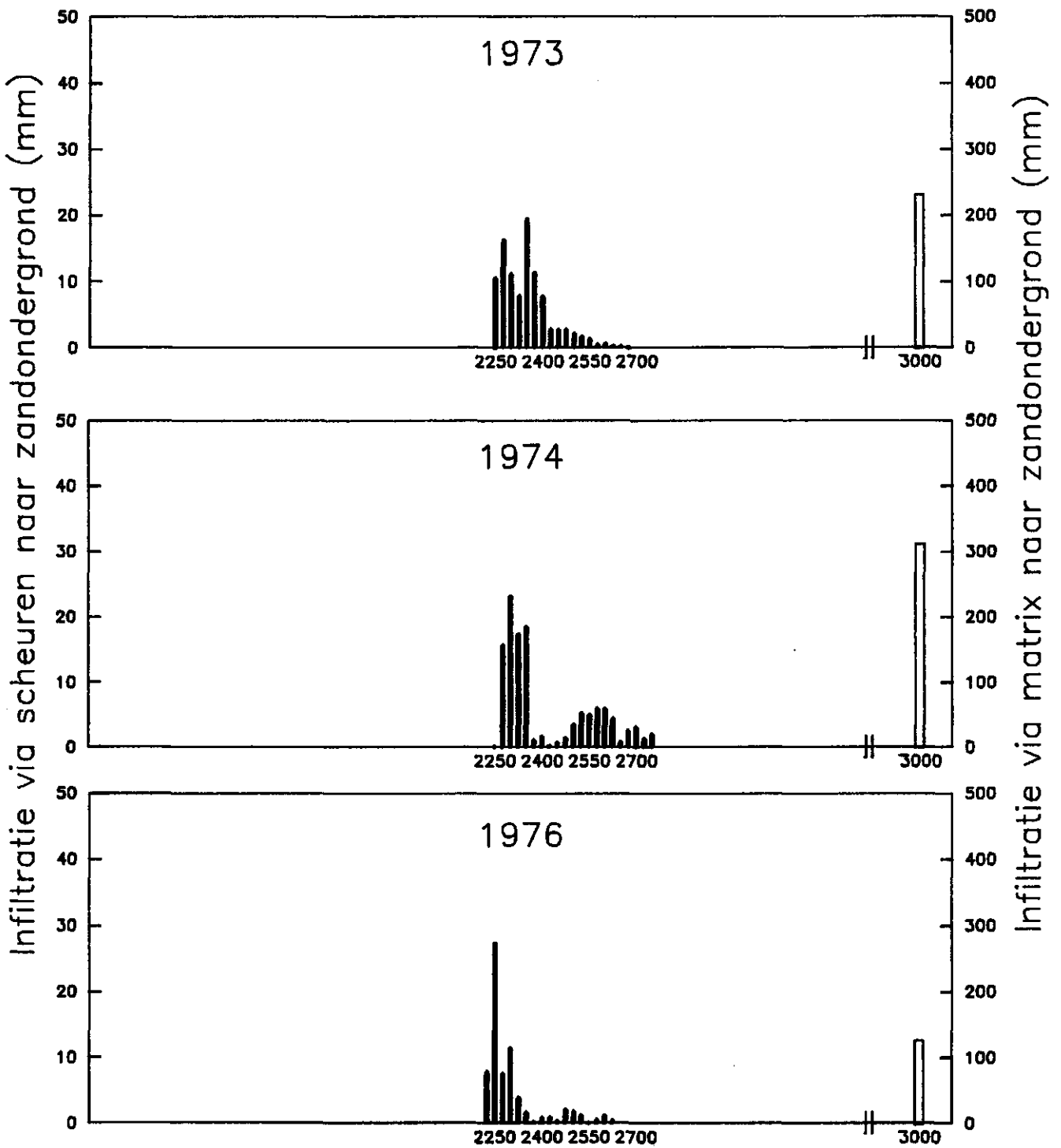
AANHANGSEL 8 Waterbalansen en verdelingen van
verblijftijden per legenda-eenheid van het
waterwingebied Velddriel

**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Veldriël, Legenda-eenheid Rn44C, Gt IIIb

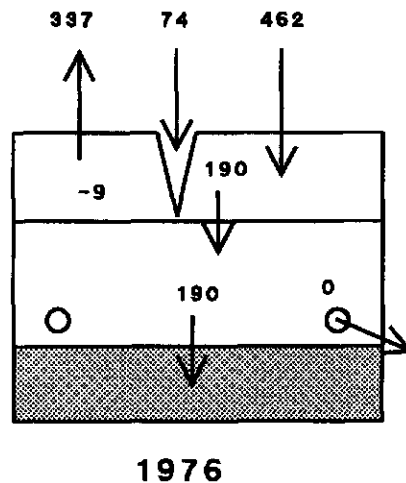
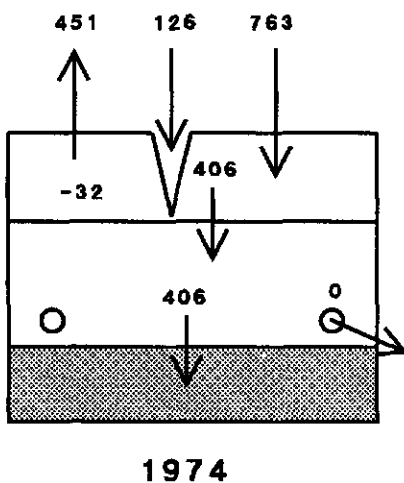
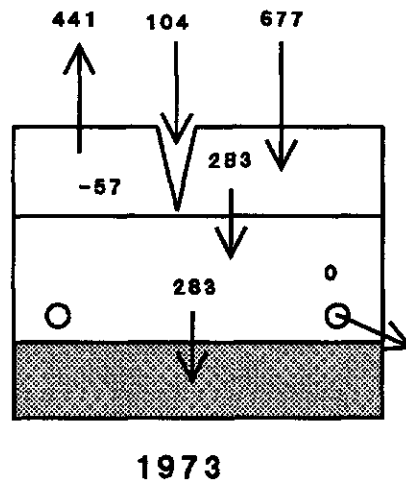
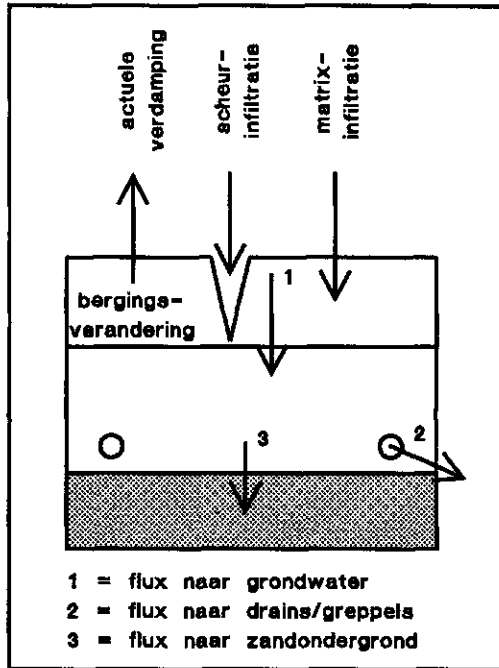
Velddriel, Legenda-eenheid Rn44C, Gt IIIb
zanddiepte = 600 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

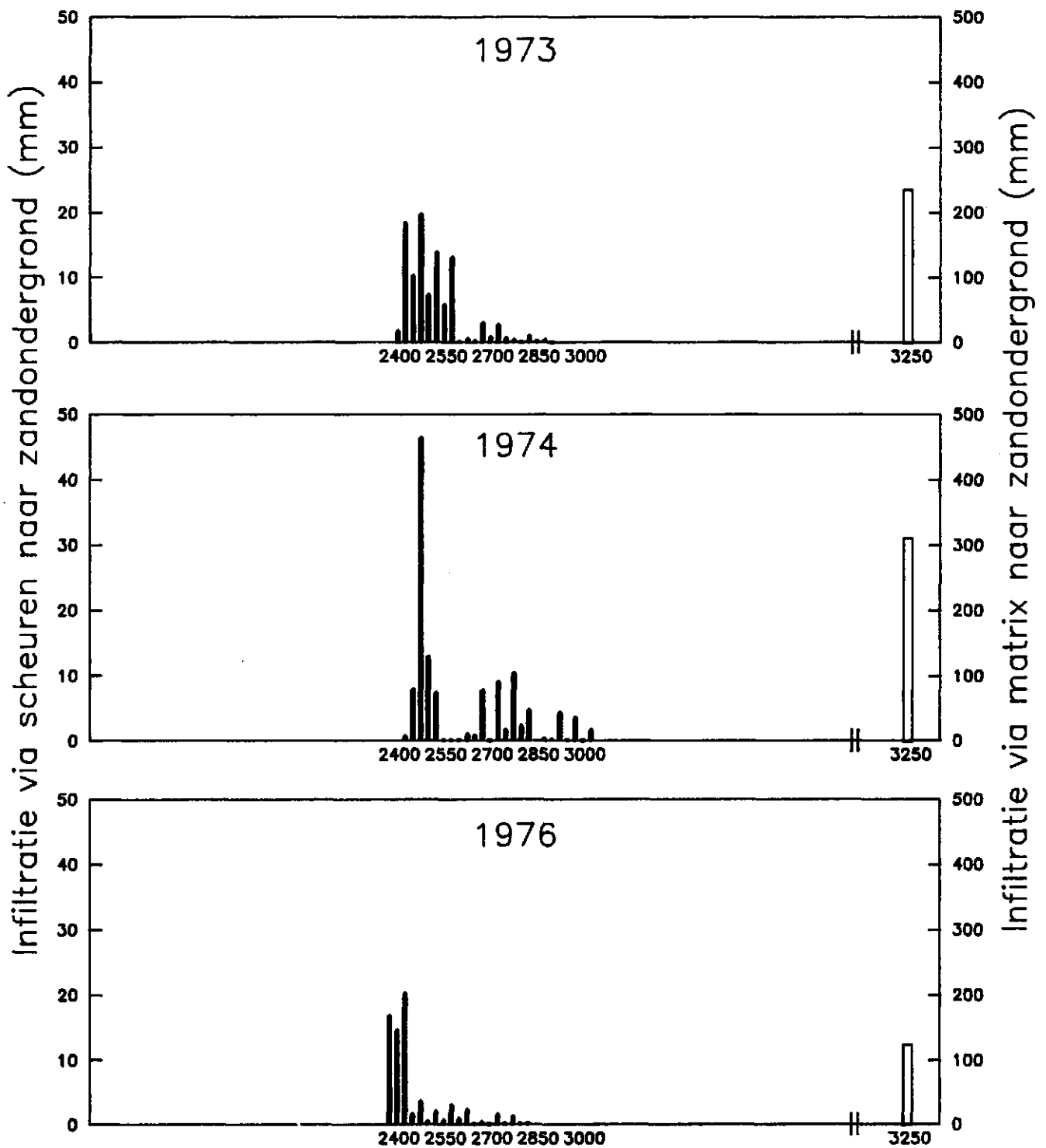
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Velddriel, Legenda-eenheid Rn44C, Gt Vbo

Velddriel, Legenda-eenheid Rn44C, Gt Vbo

zanddiepte = 600 cm

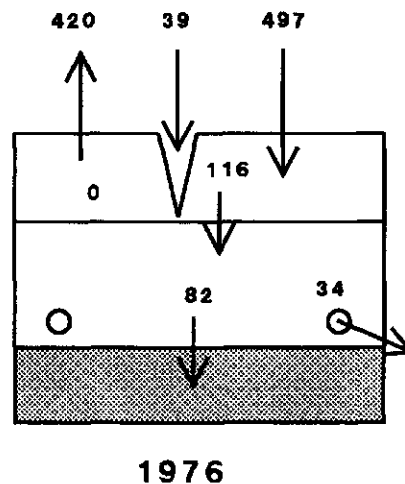
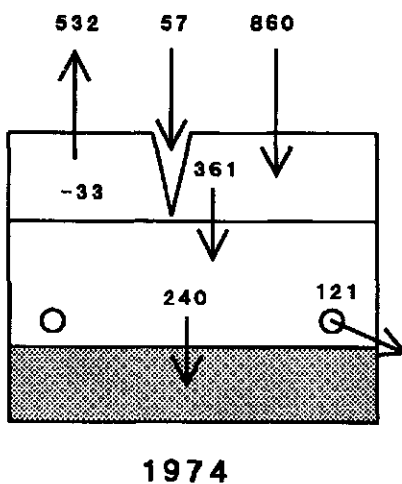
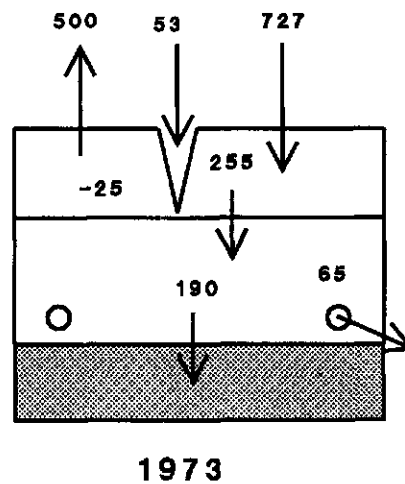
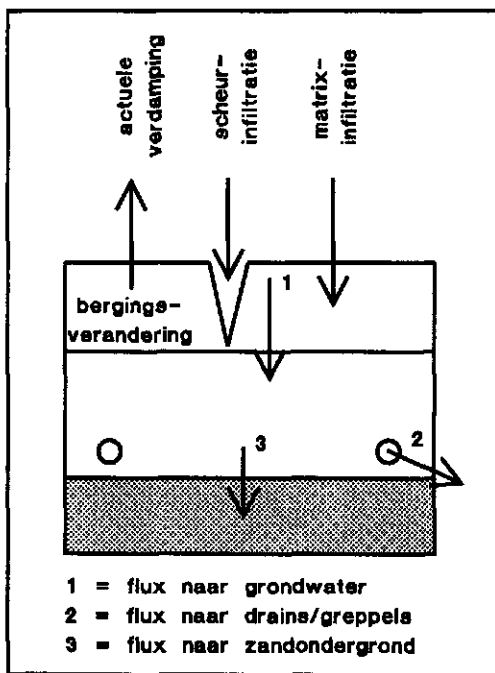


Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.

1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

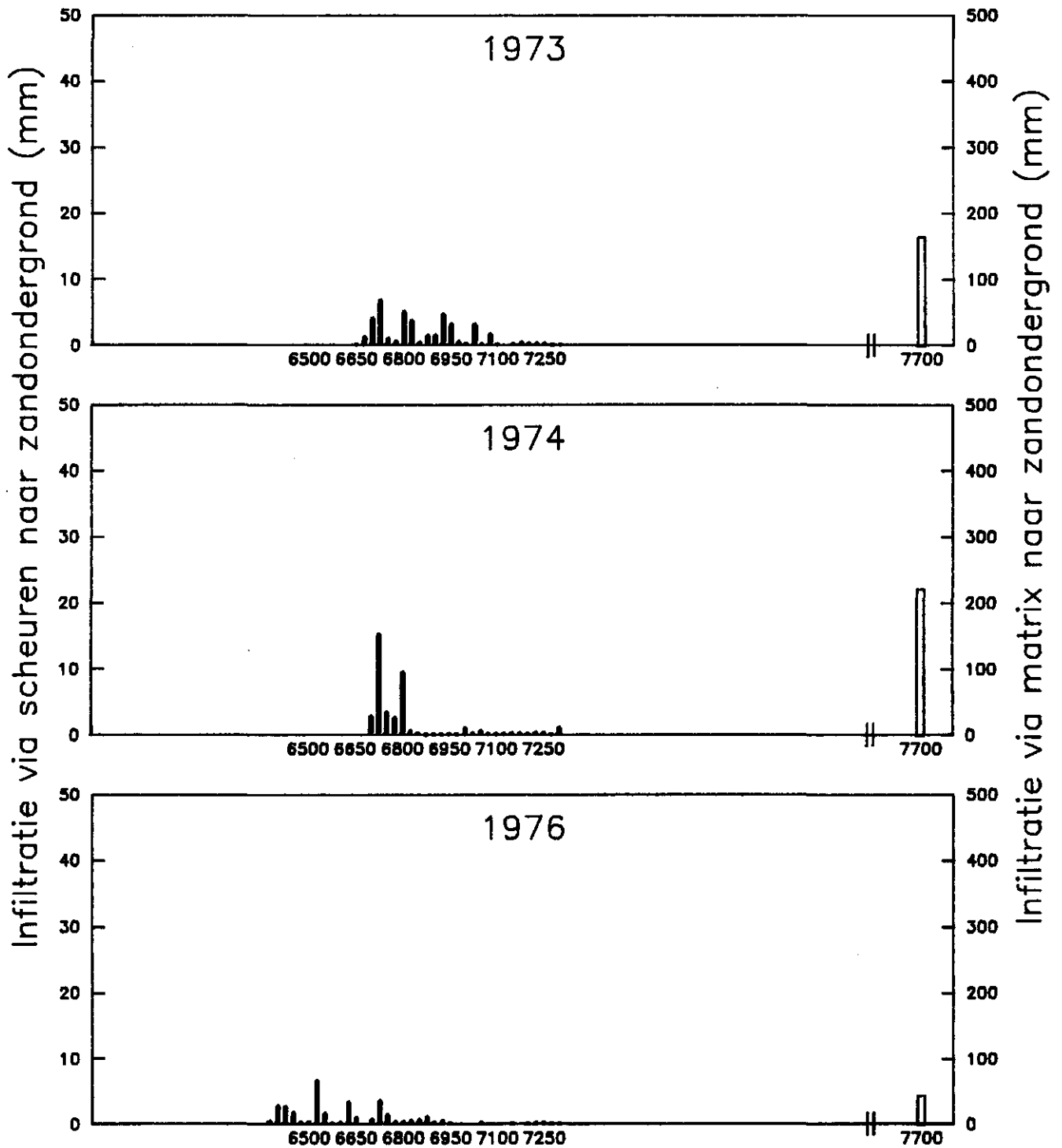
■ Via Scheuren □ Via Matrix

**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Velddriel, Legenda-eenheid Rn66A, Gt Vbo

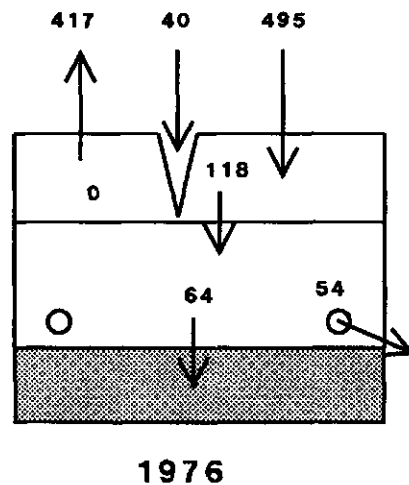
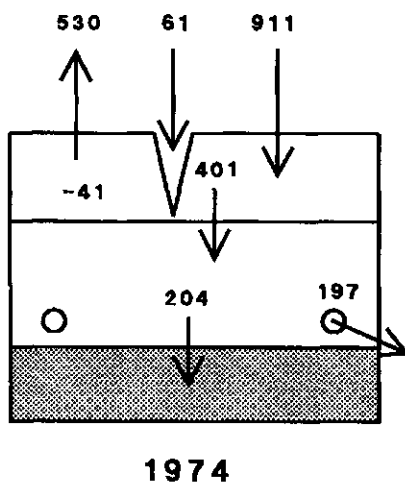
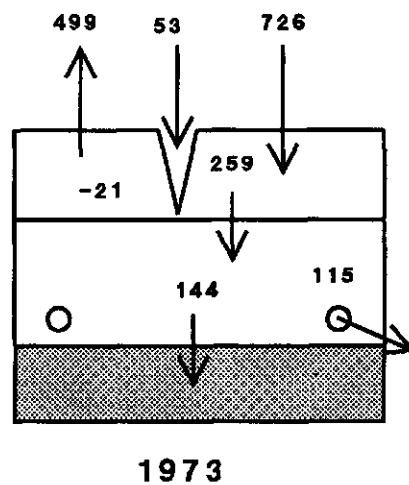
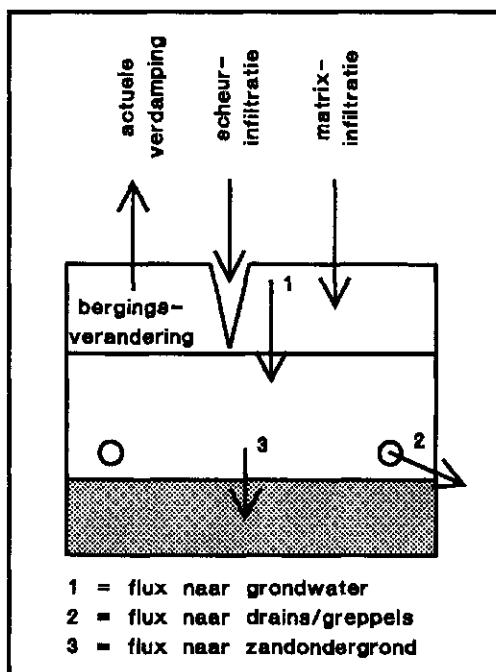
Velddriel, Legenda- eenheid Rn66A, Gt Vbo
 zanddiepte = 800 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

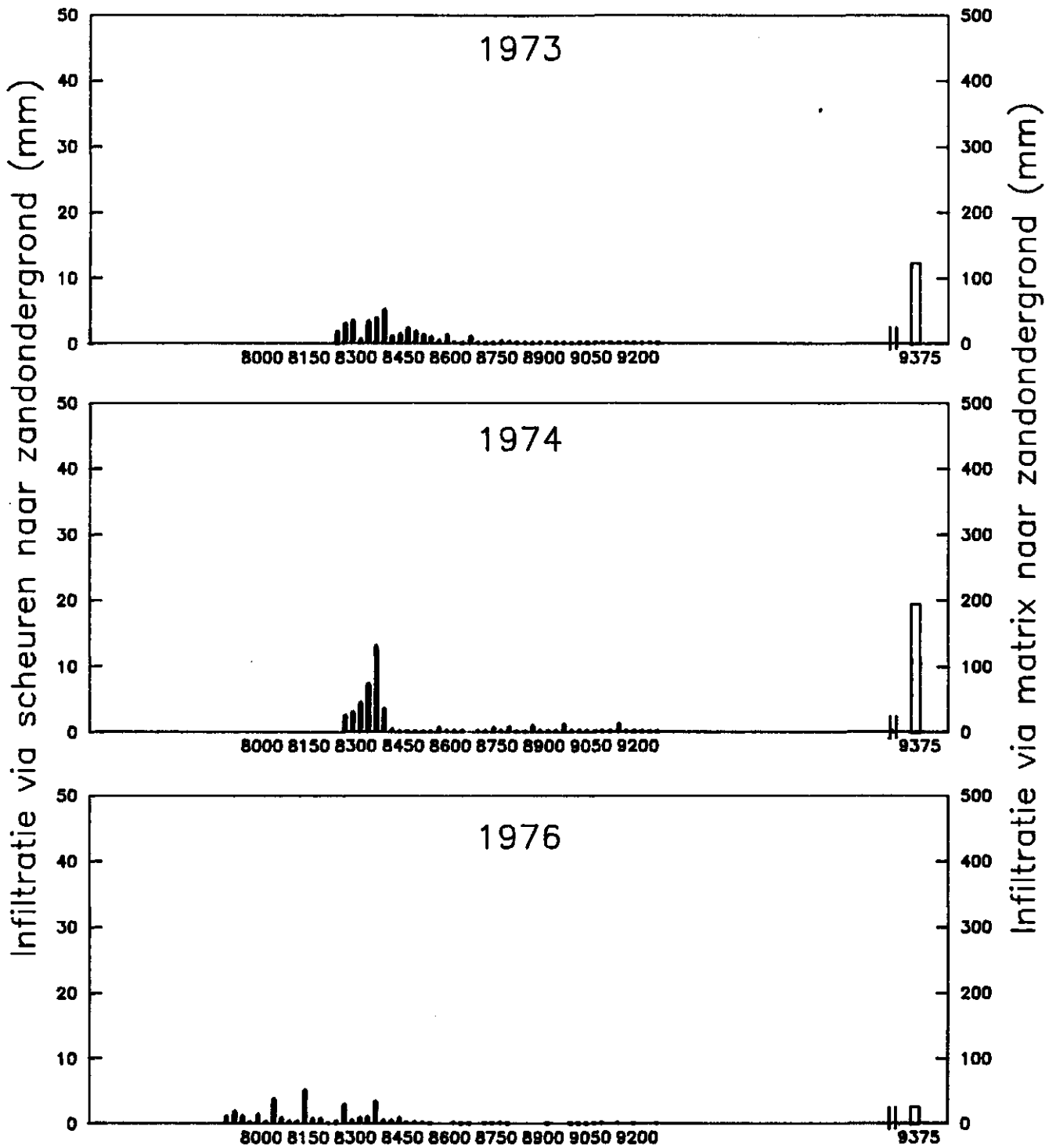
■ Via Scheuren □ Via Matrix

**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Velddriel, Legenda-eenheid Rn66A, Gt Vlo

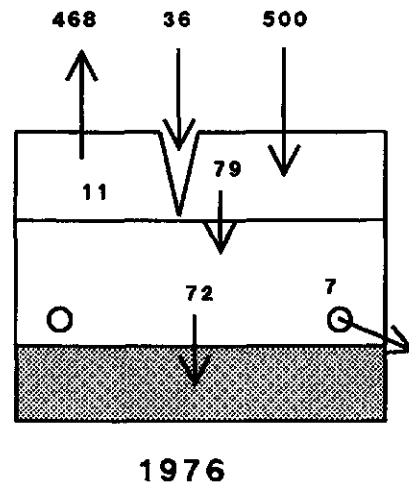
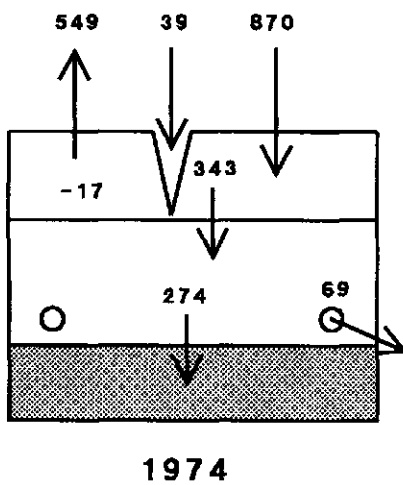
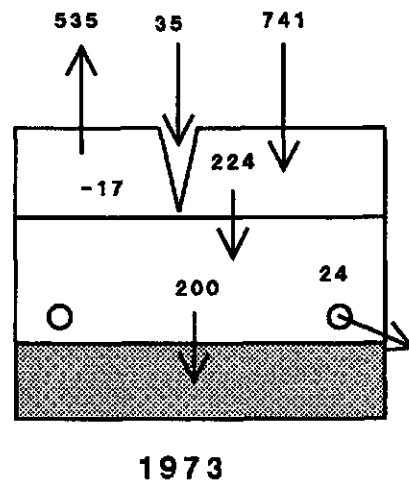
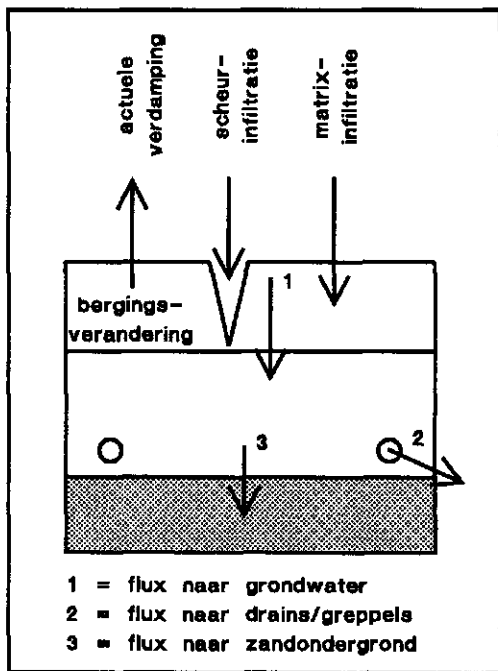
Velddriel, Legenda-eenheid Rn66A, Gt Vlo
 zanddiepte = 800 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

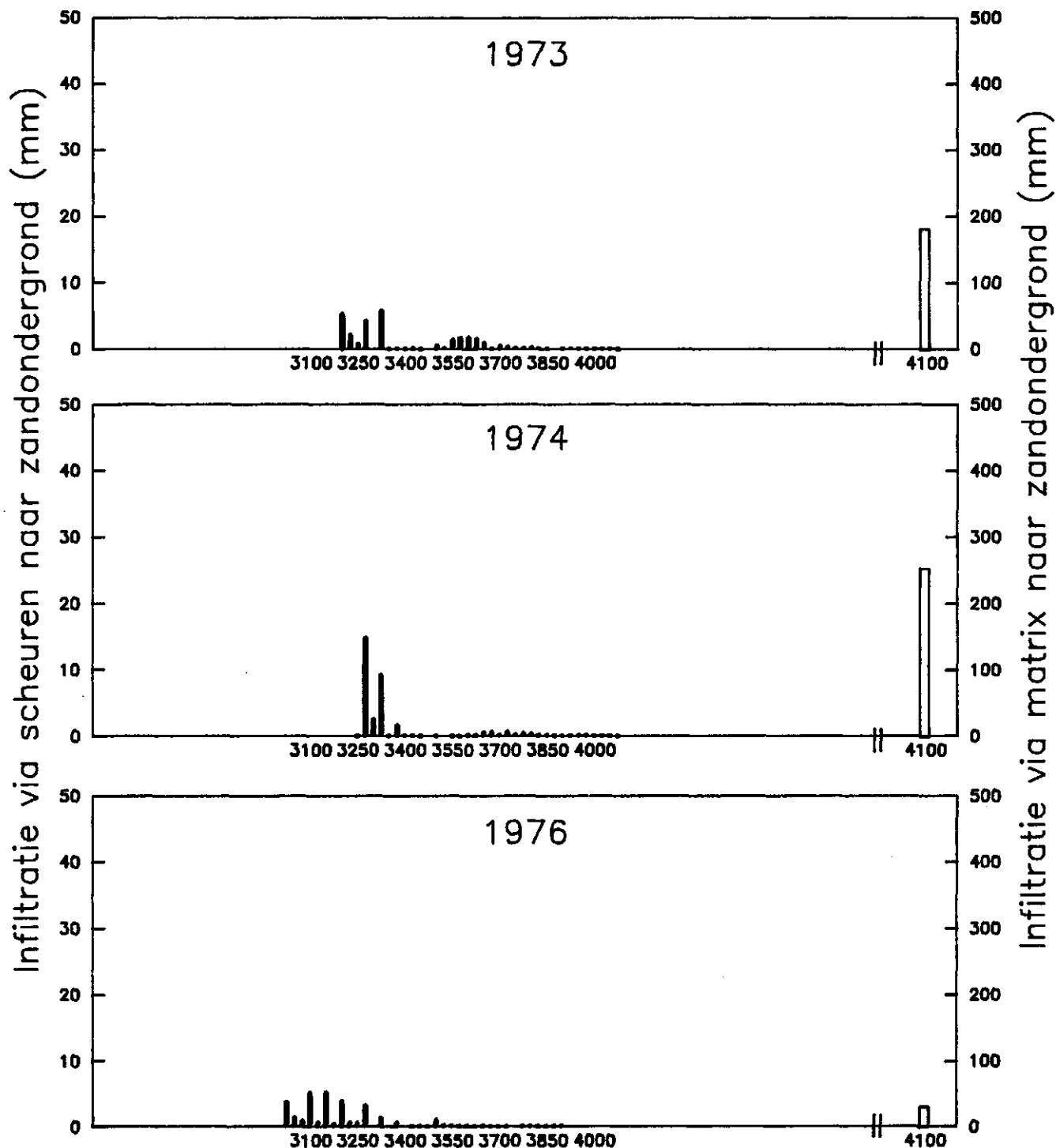
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Velddriel, Legenda-eenheid Rn95A, Gt Vbo

Velddriel, Legenda-eenheid Rn95A, Gt Vbo

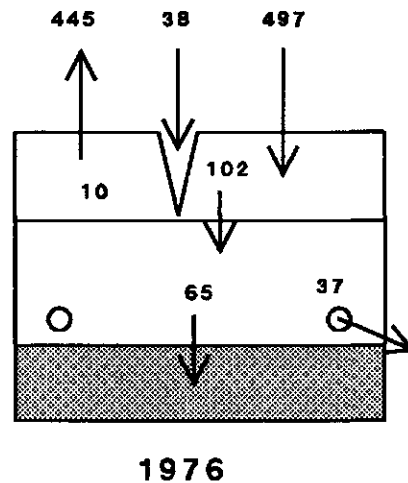
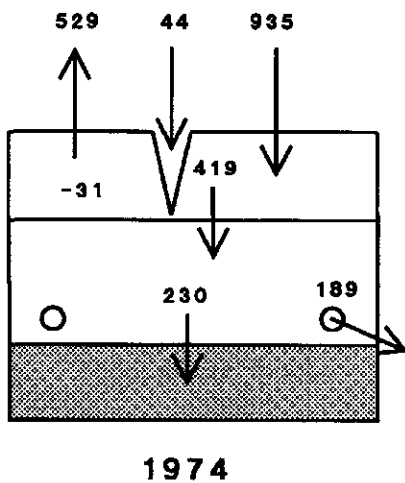
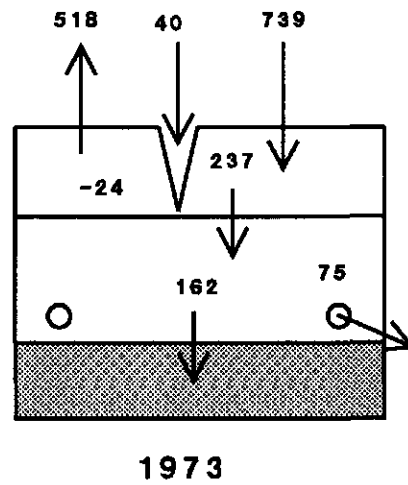
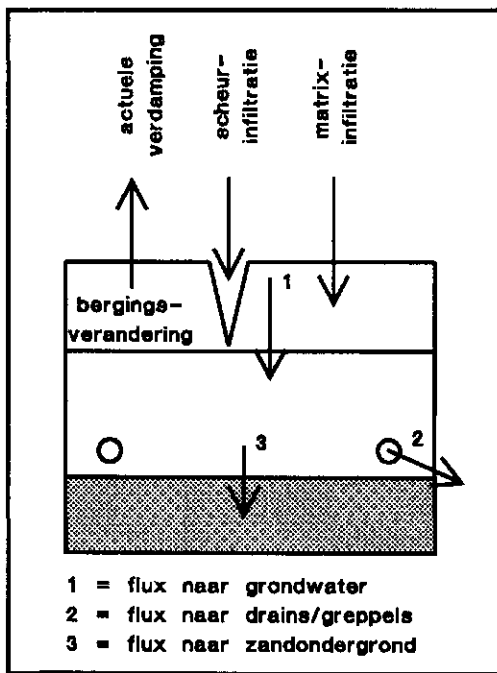
zanddiepte = 650 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.
 1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix

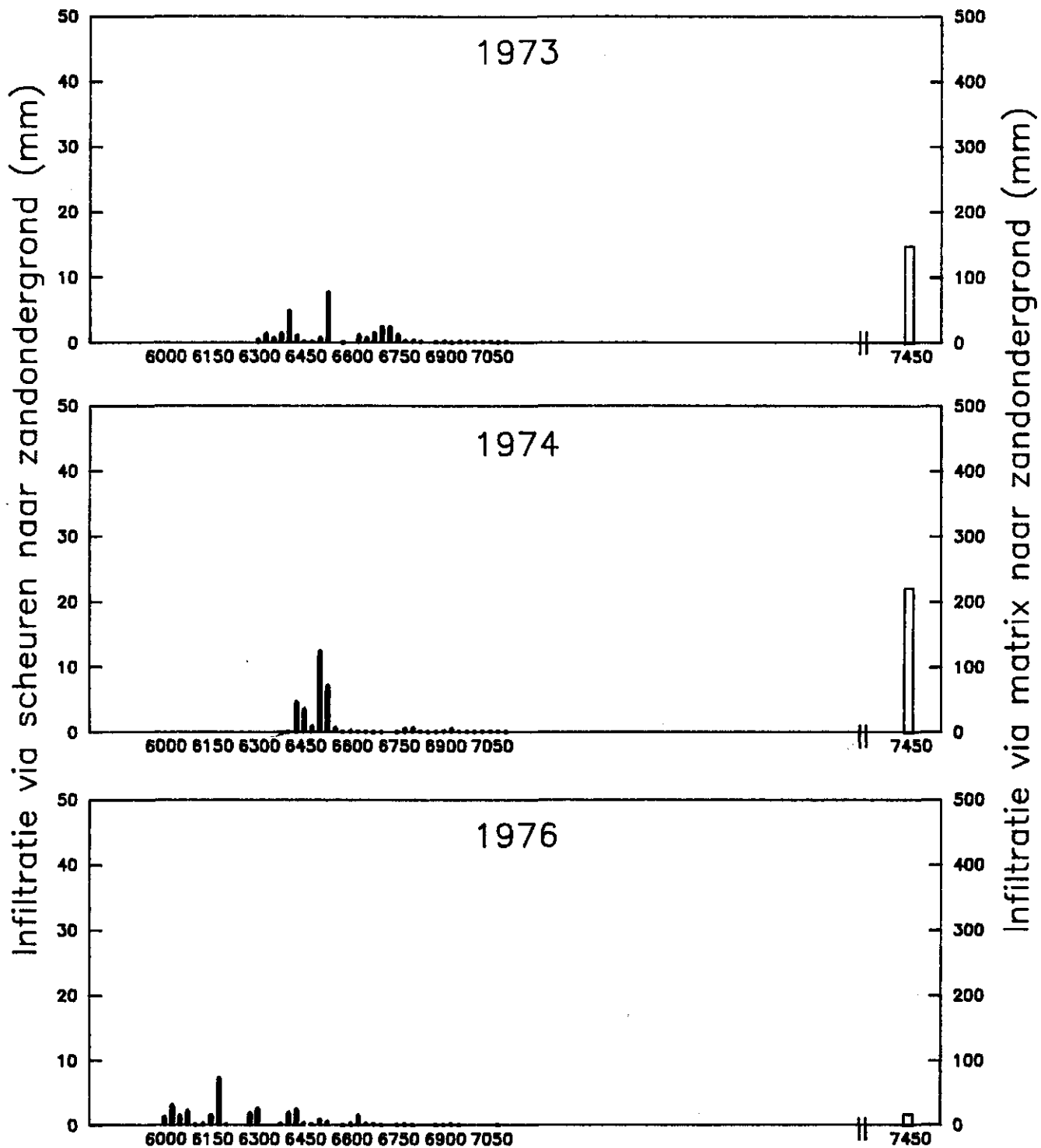
**Waterbalans in mm van de
jaren '73, '74 en '76 als resp.
een gemiddeld, nat en droog jaar**



Velddriel, Legenda-eenheid Rn95A, Gt Vlo

Velddriel, Legenda-eenheid Rn95A, Gt Vlo

zanddiepte = 650 cm



Klassebovengrenzen van verblijftijden. Klassebreedte is 25 dagen.

1973 = gemiddeld, 1974 = nat, 1976 = droog jaar

■ Via Scheuren □ Via Matrix