

Projectgroep Zuidelijk Peelgebied 49
ICW nota 1691 II
maart 1986

HYDROLOGISCH ONDERZOEK IN HET ZUIDELIJK PEELGEBIED

ing. K.E. Wit



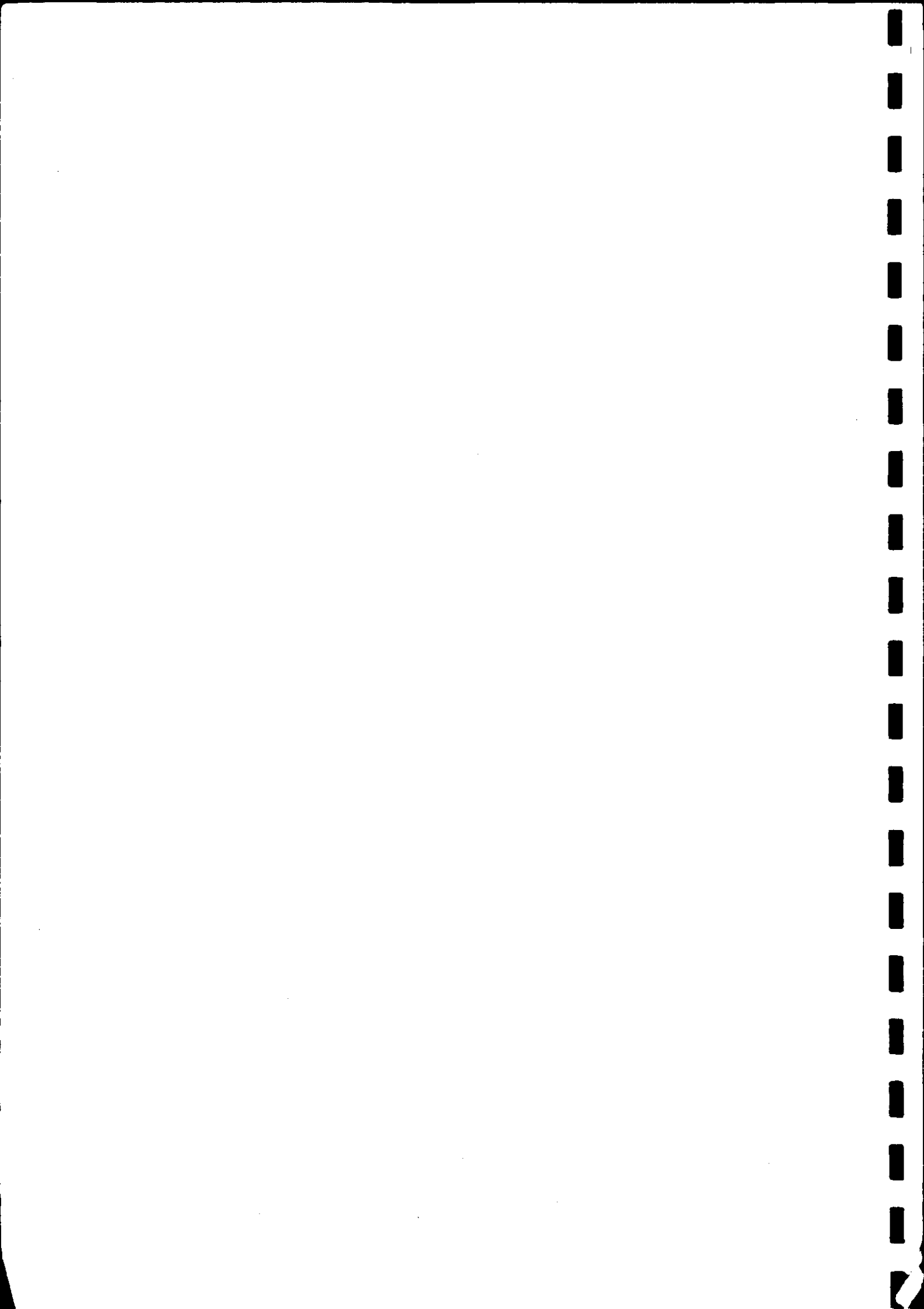
Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

5 SEP. 1986

JSN 249005 *



I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. GEBIEDSBEGRENTZING EN WATERSTAATKUNDIGE TOESTAND	2
3. GEOHYDROLOGISCHE OPBOUW	4
4. HET WATERLOPENPATROON	6
4.1. Algemeen	6
4.2. Relatie effectieve slootafstand en bodemdiepte	7
5. HYDROLOGISCHE BODEMCONSTANTEN EN PROCESSEN	7
5.1. Hydrologische schematisering	7
5.2. Berekeningsmethoden	9
6. WATERBALANSEN	11
6.1. Algemeen	11
6.2. De afzonderlijke termen van de waterbalans	11
6.2.1. De oppervlaktewaterafvoer (A)	11
6.2.2. Lozing op het oppervlaktewater (HAW)	12
6.2.3. De grondwaterafvoer (I_{ss})	13
6.2.4. De grondwateronttrekking (Q_w)	15
6.2.5. De bergingsverandering (B)	16
6.3. Uitgevoerde berekeningen	16
6.4. De grondwaterstroming door de basis van het watervoerende pakket	17
6.4.1. Afvoer van de neerslag door de riolering	17
6.4.2. Correctie op de actuele verdamping voor bebouwde gebieden	18
6.4.3. Berekende grondwaterstromingen door de basis van het 1e watervoerende pakket	19
6.4.4. De verticale weerstand van de 1e scheidende laag	20

	blz.
6.5. De verticale weerstand van het afdekkend pakket	21
6.6. Een nadere beschouwing van de waterbalansen	23
6.6.1. Algemeen	23
6.6.2. De afvoer in het onderzoeksgebied	23
6.6.3. De afvoer in de deelgebieden	24
7. DRAINAGEWEERSTANDEN EN GRONDWATERSTAND-AFVOERRELATIES	29
7.1. Algemeen	29
7.2. Drainageweerstanden	31
7.3. Grondwaterstand-afvoerrelaties	33
8. DE WATERAANVOER	34
8.1. Algemeen	34
8.2. De verdeling van het aangevoerde water	34
8.2.1. Algemeen	34
8.2.2. Berekening uit oppervlaktewater	35
8.2.3. Peilbeheer en grondwaterafvoer	35
8.2.4. Infiltratie vanuit de aanvoerleidingen	35
9. SAMENVATTING	38
LITERATUUR	41
OVERZICHT BIJLAGEN EN FIGUREN	43

1. INLEIDING

In het kader van een modelstudie 'Optimalisatie van het regionaal waterbeheer in gebieden met tegenstrijdige belangen' (DRENT, 1981) is een hydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied uitgevoerd. Dit onderzoek was gericht op een analyse van de hydrologische processen en een beschrijving van het medium waarin deze plaats vinden.

De hydrologische processen omvatten zowel alle in het gebied voorkomende waterbewegingen als de mechanismen die hiertoe aanzetten. Ten aanzien van het eerstgenoemde kan zowel worden gedacht aan de onder- en bovengrondse aan- en afvoer naar en vanuit het gehele onderzoeksgebied als voor onderdelen daarvan. Tot de factoren, die de waterbewegingen bewerkstelligen, kunnen naast klimatologische omstandigheden, de waterstaatkundige toestand, de aanvoer van water en het onttrekken van grondwater worden gerekend. De diepte en fluctuatie van het freatisch vlak weerspiegelt hierbij in zekere zin de intensiteit van de hydrologische processen.

Bij het geohydrologisch onderzoek is een ruimtelijk beeld geschetst van de opbouw van de ondergrond; als onderdeel hiervan is een geohydrologisch schema samengesteld op grond van lithologische en stratigrafische kenmerken (VAN REES VELLINGA en BROERTJES, 1984). In het volgende zal het accent worden gelegd op de hydrologische betekenis van de in genoemd schema onderscheiden watervoerende pakketten en scheidende lagen.

Voor het waterlopensysteem dat grotendeels de waterstaatkundige toestand bepaalt, is een classificatie opgezet ten aanzien van de afmetingen van de leidingen en is verder de dichtheid bepaald (VAN DEN EERENBEEMT en KARTOREDJO, 1983).

Het uitgevoerde onderzoek kan in een aantal fasen worden ingedeeld. Allereerst is een inventarisatie uitgevoerd naar van belang zijnde gegevens, zoals ondermeer het waarnemingsbestand van de Dienst Grondwaterverkenning TNO (DGV) en Staatsbosbeheer (SBB) en de meetprogramma's

van Rijkswaterstaat (RWS) en de Waterschappen (w.s.) de Aa , Noord-Limburg en Midden-Limburg. Voor het verkrijgen van aanvullende gegevens is in overleg met de Rijks Geologische Dienst, District Zuid (RGD) en de eerder genoemde waterschappen als volgende fase een boorprogramma uitgevoerd waarbij peilbuizen zijn gesteld in de aangeboorde watervorende pakketten; verder zijn grondwaterstandsbuizen geplaatst en peil-schrijvers opgesteld. Het eigenlijke meetprogramma had betrekking op de opname van grondwaterstanden, debietmetingen, bepaling van de hydrologische bodemconstanten door middel van pompproeven en kartering van de kenmerken van het waterlopenpatroon.

De verzamelde gegevens, zowel intern als extern, zijn in een geautomatiseerd databestand opgeslagen (OOSTINDIE, 1984).

De interpretatie van de verkregen gegevens kan als laatste fase worden beschouwd. Uitgaande van de uit het geohydrologisch onderzoek verkregen hydrologische bodemconstanten en isohypsenkaarten, gebieds-afvoeren en meteorologische gegevens, zijn waterbalansen opgesteld voor zowel het grond- als oppervlaktewater. Dit heeft geleid tot een plaatselijke aanpassing van de uit het geohydrologisch onderzoek verkregen kaartbeelden en een beter inzicht in het hydrologisch gebeuren. Daarnaast zijn relaties vastgesteld tussen basisafvoeren en grondwaterstanden in samenhang met het waterlopenpatroon. Daar het onderzoeksgebied gedeeltelijk een onderdeel is van een watervoorzieningsplan van het w.s. de Aa (WERKGROEP PANHEEL I, 1979) is tevens aandacht besteed aan de mate waarin door wateraanvoer kan worden voorzien in een aanvullende waterbehoefte.

2. GEBIEDSBEGRENZING EN WATERSTAATKUNDIGE TOESTAND

De ligging en begrenzing van het Zuidelijk Peelgebied is aangegeven in figuur 1. De begrenzing in het oosten wordt gevormd door de Midden-Peelweg, in het zuiden door de Noordervaart, in het westen door de Zuid-Willemsvaart en in het noorden door een denkbeeldige lijn van Helmond over Bakel, Milheeze naar de Midden-Peelweg. Het gebied is ongeveer 35 000 ha groot.

Drie waterschappen, te weten w.s. de Aa, w.s. Noord-Limburg en w.s. Midden-Limburg, dragen zorg voor de waterhuishouding; een bijzondere plaats wordt hierbij ingenomen door de kanalen, die in beheer zijn bij RWS. De ontwikkelingen gedurende de laatste decennia in de

landbouw hebben geleid tot een toenemende regulering in de oppervlakte-waterhuishouding. Enerzijds was deze gericht op een optimale ontwatering en afwatering, afgestemd op het bodemgebruik en anderzijds op een kunstmatige watervoorziening om het verdampingsoverschot in het groeiseizoen te beperken. Op grond van het voorgaande is het waterlopenpatroon in het kader van ruilverkaveling en beekverbeteringen aangepast, waarbij tevens stuwen zijn gebouwd. Het waterlopenpatroon tezamen met de kunstwerken is het instrument waarmee de waterschappen door een bepaald peilbeheer het verloop van de grondwaterstand en dientengevolge de omstandigheden aan het aardoppervlak kunnen beïnvloeden. Hierbij dient verder te worden opgemerkt dat in de naaste omgeving van de aanvoerleidingen berekening vanuit het oppervlaktewater mogelijk is bij voldoende aanvoer.

Vanuit de Noordervaart wordt Maaswater ingelaten, dat via het Kanaal van Deurne en de Helenavaart wordt afgevoerd naar het w.s. de Aa en het w.s. Noord-Limburg. Aangezien de ligging van de twee laatstgenoemde leidingen ten naaste bij samenvalt met een waterscheiding op de Peelhorst en het maaiveld zowel in noordwestelijke als oostelijke richting afhelt, kan het aangevoerde water door een natuurlijk verval afstromen. In het gebied van het w.s. Midden-Limburg vindt geen noemenswaardige wateraanvoer plaats.

De beheersmaatregelen ten aanzien van de waterhuishouding in de natuur- en landbouwgebieden vertonen een aantal kenmerkende verschillen: zo is in de natuurgebieden het beheer gericht op een buffering van het neerslagoverschot door compartimentering om zodoende de aanvoer van vreemd water te beperken.

In het gebied komen relatief grote verschillen in terreinhoogte voor. Op de Peelhorst worden maaiveldshoogten van 33 m+NAP aangetroffen en in het noordwesten van de Slenk waarden van 16 m+NAP. Naast het reeds vermelde verloop dient een strook langs de Noordervaart te worden genoemd, die in zuidelijke richting afhelt. Het waterlopenpatroon vertoont dezelfde tendens en geeft daarmee aan dat het grondwatervlak in meer of mindere mate parallel verloopt aan het maaiveld met een waterscheiding op de Peelhorst, die in het zuidelijk deel van het onderzoeksgebied ombuigt in westelijke richting door het gebied van het w.s. Midden-Limburg. Ten oosten van de Peelrandbreuk komt plaatselijk een tweede waterscheiding voor, die kan worden toegeschreven aan de stagnatie door deze storing op de grondwaterstroming.

3. GEOHYDROLOGISCHE OPBOUW

De geohydrologische opbouw van de ondergrond vertoont vooral vanwege de tektonische storingen een gecompliceerd beeld. Dit komt tot uiting in een blokdiagram (fig. 2) dat is gebaseerd op zowel stratigrafische als lithologische kenmerken. Betreffende de stratigrafie geeft de figuur een ruimtelijk beeld van het voorkomen van de aangetroffen formaties alsmede het verloop van de storingen. Het meest kenmerkende is het relatief groot niveauverschil tussen de Formatie van Breda ten oosten en ten westen van de Peelrandbreuk. Het oostelijk gedeelte wordt aangeduid als de Peelhorst en het westelijk gedeelte als de Centrale Slenk (LEKAHENA, 1983). In figuur 2 is tevens op grond van lithologische kenmerken onderscheid gemaakt tussen watervoerende pakketten en scheidende lagen. De watervoerende pakketten betreffen zandige afzettingen waarin een horizontale grondwaterstroming wordt verondersteld. De scheidende lagen zijn samengesteld uit slibhoudend fijn zand, veen- en leemlagen; in deze lagen vindt een overwegend verticale grondwaterstroming plaats. Het complex van alle lagen, gelegen tussen het aardoppervlak en de hydrologische basis wordt veelal aangeduid als het hydrologisch pakket. Op de Peelhorst met een betrekkelijk dun hydrologisch pakket met overwegend één watervoerend pakket waren de meest complete gegevens beschikbaar. In de Slenk daarentegen waar het hydrologisch pakket enkele honderden meters dik is, waren met name van het gedeelte, gelegen tussen de Formaties van Kedichem en Breda beperkte gegevens beschikbaar. Uit figuur 2 blijkt dat in de Slenk tussen het afdekkend pakket en de hydrologische basis vijf watervoerende pakketten zijn onderscheiden, waarvan een aantal een beperkte verbreiding heeft. Voor de 1e scheidende laag (de Formaties van Kedichem en Tegelen) zijn uit pompproeven relatief hoge c-waarden berekend, hetgeen zou kunnen betekenen dat deze scheidende laag in meer of mindere mate de functie van hydrologische basis vervult. Dit gegeven en de beperkt beschikbare gegevens van de dieper gelegen afzettingen hebben geleid tot een samenvoeging van de overige watervoerende pakketten en scheidende lagen, aangeduid als het 2e complex watervoerend pakket. Uit het voorgaande volgt dat vanaf het maaiveld de volgende watervoerende pakketten en scheidende lagen zijn te onderscheiden:

- een bovenste watervoerende pakket (zandige afzettingen in de Nuenen-Groep);
- een scheidende laag in het afdekkend pakket (veen- en leemlagen, Brabant leem in de Nuenen-Groep);
- een 1e watervoerende pakket (de Formaties van Veghel en Sterksel met aansluitend zandige afzettingen in de Nuenen-Groep en in de Formatie van Kedichem; op de Peelhorst kan tevens plaatselijk de Kiezeloëliet Formatie hiertoe worden gerekend);
- een 1e scheidende laag (de kleiïge afzettingen behorende tot de Formaties van Kedichem en Tegelen);
- een 2e complex watervoerend pakket dat is ontstaan door samenvoeging van een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen (de Formaties van Kedichem en Tegelen en de Kiezeloëliet Formatie);
- de hydrologische basis (de Formatie van Breda).

De boven aangegeven indeling geldt voor de Slenk; voor de Peelhorst zijn de drie eerstgenoemde lagen van belang, waarbij dient te worden opgemerkt dat vanwege de geringe dikte van de Nuenen-Groep het bovenste watervoerende pakket van weinig betekenis is.

Ten aanzien van de grondwaterstroming is tot dusver onderscheid gemaakt tussen een horizontale stroming in de watervoerende pakketten en een verticale in de scheidende lagen. De in het onderzoeksgebied voorkomende storingen stagneren in meer of mindere mate de horizontale grondwaterstroming.

Ter plaatse van de Peelrandbreuk is dit bij eerder verricht onderzoek reeds vastgesteld (MOEN en BON, 1972). Het verschijnsel is ook beschreven in een gedetailleerde studie rondom een storing bij Wansum (ERNST en DE RIDDER, 1960). Bij pompproef N162 (TE BEEST, 1985) kwam eveneens de invloed van een storing op de grondwaterstroming tot uiting. De stagnerende invloed van de storingen op de grondwaterstroming is door een strook met een lagere kD -waarde ter plaatse weer te geven. Uit lithologische kenmerken is dit veelal niet af te leiden; in geval de grondwaterstroming enigszins loodrecht op de storing plaats vindt is uit de isohypsen- en kD -waardenkaart een globale indruk hieromtrent te verkrijgen. In een later stadium zal op de betekenis van de storingen worden teruggekomen.

4. HET WATERLOPENPATROON

4.1. Algemeen

Het waterlopenpatroon voor het gehele onderzoeksgebied kan worden opgedeeld in een aantal subpatronen die veelal betrekking hebben op een stroomgebied. Binnen elk stroomgebied worden leidingen met uiteenlopende dimensies aangetroffen; daarnaast kan de dichtheid van soortgelijke leidingen per stroomgebied variëren. Aan de hand van de bodemdiepte zijn de sloten en waterlopen in vijf klassen ingedeeld. Bij het indelen naar klasse is de classificatietabel voor waterlopen van ERNST (1978) gehanteerd. In tabel 1 zijn de afmetingen van de leidingen per klasse weergegeven en in figuur 3 de gemiddelde dwarsprofielen (VAN DEN EERENBEEMT en KARTOREDJO, 1983).

Tabel 1. Afmetingen van de leidingen per klasse in meters

Klasse	Diepte t.o.v. mv			Bodembreedte			Bovenbreedte		
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
1	0,42	0,58	0,65	0,40	0,57	0,80	0,80	1,81	2,60
2	0,65	0,88	1,05	0,30	0,68	2,10	0,90	2,67	6,50
3	1,05	1,35	1,75	0,30	1,07	4,30	1,60	5,90	10,80
4	1,75	2,09	2,70	0,30	1,67	5,08	2,90	8,30	19,75
5	2,85	3,05	3,60	1,90	4,15	6,80	10,60	16,40	22,50

Aan de hand van de topografische kaart, schaal 1:25 000, en door veldopnamen is het gebied ingedeeld in deelgebieden waarbinnen het slotenpatroon min of meer éénvormig is. De dichtheid van de leidingen in de onderscheiden klassen is enerzijds verkregen uit de waterlopenkaarten en de leggers van de waterschappen en anderzijds door terreinverkenning. De verkregen dichtheden per deelgebied zijn zowel in tabelvorm als in kaartbeeld weergegeven (VAN DEN EERENBEEMT en KARTOREDJO, 1983). In figuur 4 is het gebied ingedeeld naar het voorkomen van de drie hoogste klassen.

4.2. Relatie effectieve slootafstand en bodemdiepte

De effectieve slootafstand is een tijdsafhankelijke grootheid. In de wintersituatie zal praktisch het gehele waterlopenpatroon betrokken zijn bij de afvoer van het neerslagoverschot. Naarmate de grondwaterstand in het zomerhalfjaar daalt zullen steeds minder leidingen afvoeren waarbij in de regel de kleinere het eerst droog vallen. De relatie tussen de effectieve slootafstand L_e en de bodemdiepte b is weer te geven door de volgende betrekking:

$$L_{ei} = \frac{1}{M_i + \dots + M_n} \quad (1)$$

waarbij L_{ei} = de effectieve slootafstand als i de klasse van de kleinste nog watervoerende leiding is m
 M_i = de slootdichtheid van klasse i m.m⁻²
 n = de klasse met de diepste leidingen

De relatie $L_e(b)$ is voor het noordelijk en zuidelijk deel van de Slenk en de Peelhorst bepaald. Het verkregen resultaat is weergegeven in figuur 5.

5. HYDROLOGISCHE BODEMCONSTANTEN EN PROCESSEN

5.1. Hydrologische schematisering

In figuur 6 is een algemeen beeld gegeven van de grondwaterstroming met een indeling van de ondergrond in watervoerende pakketten en scheidende lagen zoals in hoofdstuk 3 is behandeld. In figuur 7 is de grondwaterstroming geschematiseerd tot een horizontale in de watervoerende pakketten en een verticale in de scheidende lagen. In deze figuur zijn tevens twee uniforme waterlopen aangegeven; hierbij dient te worden bedacht dat in werkelijkheid het waterlopenstelsel wordt gekenmerkt door een grote differentiatie qua diepte, bodembreedte en dichtheid. Als gevolg van een neerslagoverschot ($N-E_a$) zal een opbolling van de grondwaterspiegel tussen de drainerende leidingen ontstaan, die zal leiden tot een flux v_{zf} door het freatisch vlak. De mate waarin de watervoerende pakketten worden betrokken bij de grondwaterstroming

vanaf het freatisch vlak naar de ontwateringsbasis van de voorkomende klassen van leidingen, wordt grotendeels bepaald door de verticale weerstand van de slecht doorlatende lagen. Uit figuur 7 volgen de hydrologische grootheden die van belang zijn bij in een later stadium uit te voeren berekeningen, tabel 2.

Tabel 2. Hydrologische grootheden

Hydrologisch grootheid	Betekenis	Dimensie
$k_n D_n$	doorlaatvermogen bovenste watervoerend pakket $n=0$, of n^e watervoerend pakket	$m^2 \cdot d^{-1}$
c_n	verticale weerstand afdekkend pakket $n=0$, of n^e scheidingslaag	d
v_{zf}	verticaal gerichte stroming door het freatisch vlak	$m \cdot d^{-1}$
v_{zn}	verticaal gerichte stroming in het afdekkend pakket $n=0$, of n^e scheidingslaag	$m \cdot d^{-1}$
q_n	horizontale volumieke flux in een verticale doorsnede in het bovenste watervoerende pakket $n=0$, of n^e watervoerend pakket per eenheid van lengte loodrecht op de doorsnede	$m^2 \cdot d^{-1}$
q_d	volumieke flux in een verticaal vlak naar de drainerende leidingen	$m^2 \cdot d^{-1}$
h_n	stijghoogte van het freatisch vlak $n=0$, of in n^e watervoerend pakket	m
h_{om}	stijghoogte van het freatisch vlak midden tussen de drainerende leidingen	m
h_o^*	diepte van het freatisch vlak beneden maai-veld	m
h_{os}	peil in de waterlopen	m
h_{os}^*	waterspiegel in de waterlopen beneden maai-veld	m
L	afstand tussen de drainerende leidingen	m
γ	drainageweerstand	d
γ^*	differentie benadering van de drainageweerstand	d
Ω	radiale weerstand	$d \cdot m^{-1}$
α	constante afhankelijk van de afmetingen van de leidingen en de waterdiepte	
β	vormfactor in verband met de kromming van de waterspiegel	
N	neerslag	$m \cdot d^{-1}$
E_a	actuele verdamping	$m \cdot d^{-1}$
B_{wp}	natte doorsnede van een leiding	m^2

5.2. Berekeningsmethoden

Voor een aantal grootheden in tabel 2, met name kD -waarden, stijghoogten van het grondwater, peilen open water, oppervlaktewaterafvoeren en eigenschappen van het waterlopenpatroon zijn de benodigde gegevens verkregen uit archieven en aanvullend veldonderzoek. Voor het berekenen van de overige, die ondermeer betrekking hebben op verticale weerstanden, horizontale fluxen, verticale stromingen in scheidingslagen, drainageweerstanden en grondwaterstand-afvoerrelaties is gebruik gemaakt van de volgende betrekkingen (ERNST, 1964, 1978):

$$q_n = -k_n D_n \frac{h_n(x_2) - h_n(x_1)}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

$$v_{zn} = \frac{h_{n+1} - h_n}{c_n} \quad (3)$$

$$v_{zf} = -\frac{1}{L} \left[q_d + \sum_{n=0}^m (q_{cx(n)} - q_{in(n)}) \right] \quad (4)$$

$$v_{zf} - v_{zo} = -\frac{q_d}{L} \quad (5)$$

$$h_{om} - h_{os} = \frac{(v_{zo} - v_{zf})}{8k_o D_o} L^2 + (v_{zo} - v_{zf}) L \Omega \quad (6)$$

$$h_{om} - h_{os} = (v_{zo} - v_{zf}) \gamma \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{L^2}{8k_o D_o} + L \Omega \quad (8)$$

$$\Omega = \frac{1}{\pi k_o} \ln \frac{\alpha D_o}{B_{wp}} \quad (9)$$

$$\bar{h}_o - h_{os} = \beta (h_{om} - h_{os}) = (v_{zo} - v_{zf}) \gamma^* \quad (10)$$

$$\bar{h}_o - h_{os} \cong \bar{h}_o^* - h_{os}^* \quad (11)$$

$$\bar{h}_o^* - h_{os}^* \cong (v_{zo} - v_{zf}) \gamma^* \quad (12)$$

De vergelijkingen (2), (4) en (5) hebben als uitgangspunt gediend voor het opstellen van waterbalansen voor zowel het oppervlakte- als grondwater. Uit deze balansen is directe informatie verkregen over de horizontale fluxen, de intensiteit van de verticale stromingen door het freatisch vlak en de scheidingslagen en de diepte tot waarop de ondergrond is betrokken bij de regionale grondwaterstroming. Met (3) is vervolgens de verticale weerstand van de scheidingslagen berekend.

De vergelijkingen (6) tot en met (12) zijn gebruikt voor het berekenen van drainageweerstand en grondwaterstand-afvoerrelaties. In hoofdstuk 4 is reeds vermeld dat de waterlopen zijn ingedeeld in een aantal klassen. Voor elke klasse kan met (8) en (9) de drainageweerstand γ_i worden berekend. Uit archieven en veldopnamen zijn waarden voor M_i verkregen, zodat L_i bekend is; de waarden voor k_o en D_o zijn afgeleid uit een geohydrologische interpretatie. Gegevens over de natte doorsnede van de leidingen B_{wp} zijn verkregen uit veldonderzoek, voor α zijn door ERNST (1978) waarden gegeven. De drainageweerstand van n klassen kan worden berekend met:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\gamma_i} + \dots + \frac{1}{\gamma_n} \quad (13)$$

Bij een dalende grondwaterstand zullen allereerst de kleinere leidingen droogvallen, hetgeen zal leiden tot een hogere drainageweerstand. Uit figuur 5 en (13) kan een relatie $\gamma(h_o^*)$ worden verkregen. De tot dusver gehanteerde vergelijkingen voor het berekenen van drainageweerstand gelden voor evenwijdige leidingen. De grotere leidingen voldoen in het algemeen aan deze voorwaarde, bij de kleinere leidingen is een onregelmatig patroon aanwezig. Aangezien bij de kleinere leidingen overwegend de radiale weerstand een bijdrage levert aan de drainageweerstand, zullen geen grote afwijkingen zijn te verwachten.

Uit verrichte afvoermetingen zijn voor stroomgebieden en onderdelen daarvan, in combinatie met grondwaterstandsgegevens, grondwaterstand-afvoerrelaties verkregen. Indien het neerslagoverschot binnen een bepaald gebied door het oppervlaktewater wordt afgevoerd en er is geen ondergrondse toestroming naar het betreffende gebied, dus $v_{z_o} = 0$, dan kan v_{z_f} met (5) uit de oppervlaktewaterafvoeren worden verkregen en kan vervolgens de $v_{z_f}(h_o^*)$ relatie worden vastgesteld. Indien v_{z_o} ongelijk nul is dan dient hiermee rekening te worden gehouden om alsnog een $v_{z_f}(h_o^*)$ relatie te verkrijgen. Met (10) is een relatie voor $\gamma^*(h_o^*)$ af te leiden.

6. WATERBALANSEN

6.1. Algemeen

Voor het kwantificeren van de onderscheiden componenten in de grondwaterstroming (fig. 7) in relatie met oppervlaktewaterafvoeren en een toetsing van de uit het geohydrologisch onderzoek verkregen kennis betreffende de opbouw van de ondergrond en de bodemconstanten, zijn iteratieve bewerkingen uitgevoerd. Hierbij is gestreefd naar een optimale onderlinge afstemming van de beschikbare gegevens. De methode op zich kan als een variant op de algemene waterbalansvergelijking worden beschouwd, namelijk:

$$R - E_a = A - HAW + I_{ss} + Q_w + B \quad (14)$$

waarin: R	= neerslag	mm.j ⁻¹
E _a	= actuele verdamping	mm.j ⁻¹
A	= oppervlaktewaterafvoer	mm.j ⁻¹
HAW	= lozing op het oppervlaktewater	mm.j ⁻¹
I _{ss}	= grondwaterafvoer	mm.j ⁻¹
Q _w	= grondwateronttrekking	mm.j ⁻¹
B	= bergingsverandering	mm.j ⁻¹

De termen in (14) zijn op jaarbasis bepaald; de hiervoor genomen periode loopt van 1 april 1982 tot 1 april 1983 met uitzondering van de termen HAW en Q_w. Voor de twee laatstgenoemde is gebruik gemaakt van gegevens over 1982. In figuur 8 is schematisch de gevolgde werkwijze aangegeven. Als restterm is (R-E_a) allereerst bepaald voor het gehele onderzoeksgebied en vervolgens voor deelgebieden en onderdelen daarvan. De deelgebieden zijn veelal gedeelten van stroomgebieden (fig. 9).

6.2. De afzonderlijke termen van de waterbalans

6.2.1. De oppervlaktewaterafvoer (A)

Uit een door het ICW uitgevoerd meetprogramma en aanvulling met gegevens van het w.s. de Aa en RWS is een beeld verkregen betreffende de oppervlaktewaterafvoer in 46 waterstaatkundige eenheden, waarin zijn begrepen 18 bebouwde gebieden (WIJNSMA, 1984) figuur 10. Daar het

gezien de oppervlakte van een aantal eenheden niet mogelijk was om een betrouwbare waarde voor I_{ss} te berekenen zijn de eenheden samen-gevoegd tot de indeling in figuur 9. Er zijn 5 deelgebieden te onderscheiden, die in 15 onderdelen zijn opgesplitst.

Daar zoveel mogelijk is getracht om de grenzen van de deelgebieden samen te laten vallen met het verloop van de Peelrandbreuk en de Breuk van Milheeze, zijn in de Kaweische Loop en de Vlier twee fictieve meetpunten geïnstalleerd. Het debiet op deze punten is berekend op grond van de eerder genoemde gedetailleerde indeling.

Een ander punt dat aandacht verdient, is de hydrologische functie van de Peelkanalen; zo is uit debietmetingen gebleken dat het Kanaal van Deurne tussen B en C infiltreert (fig. 11). Aangezien dit leidingvak in twee deelgebieden ligt, heeft een opsplitsing van de wegzijging plaats gevonden naar verhouding van de leidinglengte in het betreffende deelgebied (fig. 12). Het Peelkanaal op de grens van deelgebied A en D infiltreert in sterke mate tot halverwege de noordelijke gebiedsbegrenzing om vervolgens te draineren. De afvoer van het Peelkanaal op de noordelijke gebiedsgrens is ten naaste bij gelijk aan die bij C. Het Peelkanaal is toegevoegd aan deelgebied D. De Helenavaart ligt eveneens op de grens van twee deelgebieden; bij de berekeningen is het toegevoegd aan deelgebied E. De Helenavaart heeft over het gehele jaar afvoer; deze kan worden toegeschreven aan de drainage van onderdeel E2 van deelgebied E. Door het onderdeel E4, de Mariapeel, wordt in de zomermaanden water ingelaten.

In figuur 12 zijn de debieten op de grenzen van de onderdelen weergegeven alsmede de wegzijging vanuit het Kanaal van Deurne. Uit deze figuur zijn de waarden voor A in bijlage 1 verkregen.

6.2.2. Lozing op het oppervlaktewater (HAW)

Door het w.s. de Aa zijn gegevens aangeleverd betreffende de lozing van afvalwater door de Rioolzuiveringsinstallatie (RZI) te Asten en van een aantal rioolgemalen. Door het ICW zijn afvoermetingen verricht bij de RZI bij Meyel, verder is gebruik gemaakt van gegevens, verstrekt door de Waterleiding Maatschappij Limburg, NV (WML) voor de afvoer van de gerioleerde gebieden in het Limburgse gedeelte.

Het door de industrie direct of via een eigen zuiveringsinstallatie geloosde water is gelijk gesteld aan de aan het grondwater onttrokken hoeveelheden. Hierbij is een uitzondering gemaakt voor een onttrekking van $84\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ bij Deurne, nr. 2 en 3 in figuur 13, waarvan is aangenomen dat op de riolering is geloosd. Er dient nog te worden opgemerkt dat zowel het onttrekkings- als lozingspunt binnen hetzelfde onderdeel is gelegen; dit geldt voor alle industriële onttrekkingen.

Door het pompstation Vlierden, nr. 4 in figuur 13, wordt $3\ 516\ 215\ \text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ aan het 1e watervoerende pakket onttrokken waarvan $3\ 093\ 519\ \text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ wordt afgeleverd en $422\ 696\ \text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ als spoel- en infiltratiewater binnen het onderdeel wordt geloosd.

Ten noorden van Deurne is door een bronbemaling (nr. 7 in fig. 13) ten behoeve van de aanleg van een viaduct $2\ 025\ 750\ \text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ aan het 1e watervoerend pakket onttrokken. Het water is afgevoerd naar de Vlier. Bij de rioolzuivering bij Asten heeft in de Nuenen Groep in de onderzoeksperiode een bemaling plaatsgevonden met een capaciteit van $194\ 729\ \text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ ofwel $6,2\ \text{l} \cdot \text{sec}^{-1}$. Deze laatste onttrekking kan worden beschouwd als een drainage in de Nuenen Groep, in bijlage 1 is deze waarde niet opgenomen.

Door het pompstation Ospel dat grondwater onttrekt aan watervoerende pakketten beneden de eerste scheidingslaag, is alleen het spoelwater in rekening gebracht.

In figuur 13 zijn de relevante gegevens weergegeven, waaruit de waarden voor HAW in bijlage 1 zijn berekend.

6.2.3. De grondwaterafvoer (I_{ss})

Uit het geohydrologisch onderzoek volgt dat op de Peelhorst één watervoerend pakket wordt aangetroffen, in de Slenk daarentegen kunnen tussen het aardoppervlak en de hydrologische basis meerdere watervoerende pakketten worden onderscheiden. Op grond van verkregen resultaten uit pompproeven wordt aan de eerste scheidende laag - de Formaties van Kedichem en Tegelen - tussen het 1e watervoerende en de dieper gelegen watervoerende pakketten een relatief hoge c-waarde toegekend. Dit zou betekenen dat in de Slenk de berekeningen zich eveneens zouden kunnen beperken tot één watervoerend pakket. Daar ten aanzien van bovengenoemde aanname pas zekerheid kan worden verkregen uit de resultaten van de uit te voeren berekeningen voor de grondwaterafvoer I_{ss} in een deelgebied

of onderdeel daarvan, is in de volgende vergelijking een term ingevoerd voor een eventuele interactie tussen het 1e watervoerend pakket en dieper gelegen watervoerende pakketten:

$$I_{ss} = \frac{36,5}{F} [Q_u - Q_i] - v_{z1} = -v_{z0} - Q_w - \frac{\Delta h}{t} S \quad (15)$$

waarin: Q_u	= horizontale afstroming door het 1e watervoerend pakket	$m^3 \cdot d^{-1}$
Q_i	= horizontale toestroming door het 1e watervoerend pakket	$m^3 \cdot d^{-1}$
F	= oppervlakte	ha
v_{z1}	= verticale stroming door de basis van het 1e watervoerende pakket (1e scheidende laag)	$mm \cdot j^{-1}$
v_{z0}	= verticale stroming door de scheidende lagen in het afdekkend pakket	$mm \cdot j^{-1}$
Q_w	= grondwateronttrekking	$mm \cdot j^{-1}$
Δh	= stijghoogteverandering in het 1e watervoerend pakket	mm
S	= specifieke bergingscoëfficiënt in het 1e watervoerend pakket	
t	= periode	d

In (15) wordt v_{z1} in eerste instantie verwaarloosd; voor de goede orde is de netto afstroming in het 1e watervoerende pakket derhalve gesteld op I'_{ss} . De consequentie hiervan is dat de actuele verdamping in (14) E'_a wordt.

De netto afstroming $Q_u - Q_i$ volgt uit de intensiteit van de grondwaterstroming op de gebiedsgrenzen, die kan worden bepaald uit de gradiënt van de stijghoogte van het grondwater en kD -waarden. Wordt langs de grens van het gebied de strook tussen twee opeenvolgende equipotentiaallijnen opgedeeld in "vierkantjes", dan geldt voor elk "vierkantje":

$$Q = y \text{ kD } \frac{\Delta h}{x} \quad (16)$$

waarin: Q = horizontale grondwaterstroming ter plaatse van het "vierkantje" $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
 y = breedte van het "vierkantje" m
 kD = horizontaal doorlatendvermogen ter plaatse van het "vierkantje" $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$
 Δh = potentiaal verschil tussen de beschouwde equipotentiaallijnen m
 x = lengte van het "vierkantje" m

Daar $y=x$ kan (16) worden vereenvoudigd tot:

$$Q = \text{kD } \Delta h \quad (17)$$

Als voorbeeld van toepassing van (17) is onderdeel A1 gekozen, figuur 14. De berekeningen zijn uitgevoerd voor april en augustus 1982, omdat uit stijghoogtelijnen kan worden afgeleid dat de hieruit verkregen gemiddelde waarden representatief zijn voor de onderzoeksperiode. Er is gebruik gemaakt van isohypsenkaarten van het 1e watervoerende pakket voor de twee genoemde maanden (fig. 15 en 16) en de kD-waardenkaart (fig. 17).

De bergingsveranderingen in het 1e watervoerende pakket $\frac{\Delta h}{t}$ S zijn verwaarloosd: bij een S-waarde van ≈ 0.001 (TE BEEST, 1985), een waarde van 300 à 400 mm voor Δh zou hiervoor enkele tienden van mm in rekening moeten worden gebracht.

In figuur 18 zijn de berekende debieten op de grens van de onderdelen weergegeven; uit deze figuur volgen de waarden voor I'_{ss} .

6.2.4. De grondwateronttrekking (Q_w)

Gegevens betreffende de grondwateronttrekking zijn verkregen van de Provinciale Waterstaat (PW) Noord-Brabant en de waterleidingbedrijven: Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB) en WML (fig. 13). In paragraaf 6.2.2. is de grondwateronttrekking reeds besproken.

De onttrekkingen ten behoeve van de berekening van landbouwgewassen uit het oppervlakte- en grondwater zijn buiten beschouwing gelaten aangezien deze verdisconteerd kunnen worden in de actuele verdamping.

6.2.5. De bergingsverandering (B)

Voor de bergingsveranderingen aan het aardoppervlak is gezien het begin en eind van de onderzoeksperiode de onverzadigde zone buiten beschouwing gelaten. Uit het verschil in grondwaterstand en een waarde van 0,1 voor de specifieke bergingscoëfficiënt, kan de bergingsverandering worden bepaald. In bijlage 1 is het resultaat voor het gehele onderzoeksgebied, de deelgebieden en de onderdelen weergegeven.

6.3. Uitgevoerde berekeningen

In bijlage 1 zijn de waarden voor de termen in het rechter lid van (14) alsmede de daaruit berekende restterm $R-E'_a$ weergegeven. De verkregen uitkomsten zijn het uiteindelijke resultaat van de uitgevoerde berekeningen. Incidenteel is een aantal basisgegevens en wel met name de gemeten debieten en kD-waarden aangepast, waardoor de bewerkingen volgens figuur 8 meerdere malen moesten worden herhaald. Ten aanzien van het eerstgenoemde was dit nodig gezien de interpretatie van de veldgegevens of de toegepaste meetmethode en de frequentie van de metingen. In het bijzonder hebben de wekelijks uitgevoerde afvoermetingen in duikers en sloten de meeste problemen opgeleverd, vooral indien deze binnen een stroomgebied niet gerelateerd konden worden aan meetpunten met een afvoerregistratie. Daar in het algemeen een aanpassing nodig was door te hoge afvoeren, heeft een correctie plaats gevonden volgens het in figuur 8 aangegeven criterium.

De kD-waardenkaart is voor een groot deel bruikbaar gebleken voor de gegeven klassenindeling en de gehanteerde gebiedsindeling. In het zuidwestelijk deel is echter een lagere kD-waarde aangehouden, om de invloed van een tektonische storing in rekening te brengen. In het algemeen is geconstateerd dat in de naaste omgeving van de veelvuldig voorkomende storingen met een smalle zone van lagere kD-waarde rekening moet worden gehouden. Bij een grondwaterstroming loodrecht op de storing komt dit tot uiting in een verdichting van de isohypsen. Dit blijkt in figuur 15 en 16 ondermeer bij de storing bij Griendtsveen, in het noordelijk gedeelte van de Slenk en in zeer sterke mate bij de Peelrandbreuk en de Breuk van Milheeze. Bij laatstgenoemde breuken is de kD-waarde zo laag dat dit plaatselijk heeft geleid tot het ontstaan van een waterscheiding. In het stroomdal van de Soeloop en in mindere mate

in dat van de Kaweische Loop vindt ter plaatse van de Peelrandbreuk en de Breuk van Milheeze een grondwaterstroming van enige betekenis plaats. In een aangepaste kD-waardekaart (fig. 19) zijn bovengenoemde wijzigingen verwerkt.

Voor een aantal onderdelen was het niet mogelijk I'_{ss} te bepalen; deze situatie heeft zich voorgedaan bij de Peelkanalen. In dit geval is $R-E'_a$ allereerst bepaald voor het deelgebied of is uitgegaan van de hiervoor verkregen waarde voor het gehele onderzoeksgebied. Na substitutie van $R-E'_a$ en de overige termen in (14) is vervolgens I'_{ss} berekend. De oppervlaktewaterafvoer van E4 en de wegzijging vanuit het kanaal van Deurne en de Helenavaart naar E1 is op een identieke wijze berekend.

6.4. De grondwaterstroming door de basis van het watervoe- rende pakket

In (15) is de term v_{z1} aanwezig, die betrekking heeft op de stroming door de basis van het 1e watervoerende pakket. In de tot dusver uitgevoerde berekeningen is deze term buiten beschouwing gelaten. Voor het verkrijgen van nadere informatie hierover is allereerst E'_a in bijlage 1 berekend, waarbij gebruik is gemaakt van een neerslagverdeling (R) in het onderzoeksgebied, ontleend aan PANKOW (1985). Indien v_{z1} van enige betekenis is, komt dit tot uiting in E'_a ; zo zal een toestroming zich manifesteren in lage waarden voor E'_a en een afstroming in hoge waarden. Alvorens hierop nader in te gaan dienen nog een aantal invloeden te worden geëlimineerd, die een storend effect kunnen veroorzaken. Het betreft de volgende factoren:

- afvoer van de neerslag door de riolering;
- correctie op de actuele verdamping voor de bebouwde gebieden.

6.4.1. Afvoer van de neerslag door de riolering

Voor het verkrijgen van een indruk hieromtrent zijn de door de waterleidingbedrijven afgeleverde hoeveelheden water vergeleken met de door de RZI's geloosde en de door de rioolgemalen afgevoerde hoeveelheden. Daar niet alle gebruikers zijn aangesloten op de riolering is het te verwachten dat de lozingen kleiner zullen zijn dan de afgeleverde hoeveelheden. Het is niet onmogelijk dat het verschil geringer wordt door een gedeeltelijke afvoer van de neerslag.

In het volgende zijn voor het voorzieningsgebied van de WOB en de WML balansen opgesteld voor 1982.

WOB

Aanvoer	$\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$	Afvoer	$\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$
Pompstation (p.s.) Vlierden	3 093 519	Drinkwater Bakel	400 000
Import p.s. Someren	1 820 000	RZI Asten	2 757 366
Afvalwater van Someren	1 012 298	Rioolgemaal Deurne	1 735 010
Industrie (2 en 3, fig. 13)	84 500	Verlies	1 117 941
	<u>6 010 317</u> +		<u>6 010 317</u> +

WML

Aanvoer	$\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$	Afvoer	
Pompstation Ospel	1 384 076	RZI Meyel	443 000
Import p.s. Breehei	323 000	Pompgemaal Grashoek	75 000
		Pompgemaal Nederweert	812 904
		Pompgemaal IJsselstein	300 000
		Verlies	79 172
	<u>1 707 076</u> +		<u>1 707 076</u> +

Het verlies bedraagt omgerekend naar het gehele onderzoeksgebied $3,5 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$. Door de waterleidingbedrijven worden in de zomermaanden de grootste hoeveelheden afgeleverd, de lozingen door de RZI's zijn in deze periode daarentegen het laagst. Dit betekent dat de verliespost in het zomerhalfjaar groter is dan in het winterhalfjaar. Er is geen relatie gevonden tussen de neerslaghoeveelheden en de lozingen. In de laatste drie maanden van 1982 is de neerslag een faktor twee groter dan in de eerste drie maanden; hiervan is in de lozingen bij globaal dezelfde afgeleverde hoeveelheden drinkwater niets terug te vinden. Uit het voorgaande kan dan ook worden geconcludeerd dat de afvoer van de neerslag door de riolering op de leidingen naar de RZI's kan worden verwaarloosd.

6.4.2. Correctie op de actuele verdamping voor bebouwde gebieden

Bij een meer gepreciseerde beoordeling van de E'_a -waarden dient het bodemgebruik en het vochtleverend vermogen van de onverzadigde zone te worden betrokken. Met name voor de bebouwde gebieden is E_a aanmerkelijk

lager dan die voor de landbouw- en natuurgebieden; volgens STEENVOORDEN (1979) is hiervoor een reductiefactor van 0,3 aangehouden. Met de volgende vergelijking is $E'_a(LN)$ te berekenen voor de landbouw- en natuurgebieden in het gehele onderzoeksgebied, deelgebieden en onderdelen daarvan. De verkregen resultaten zijn weergegeven in bijlage 1.

$$E'_a(LN) = \frac{F}{(F-F') + 0,3 F'} \times E'_a \quad (18)$$

waarin: F = oppervlak van een onderdeel ha

F' = bebouwd oppervlak in het betreffende onderdeel ha

6.4.3. Berekende grondwaterstromingen door de basis van het 1e water-voerende pakket

Op grond van de geohydrologische situatie kan alleen aan- en afvoer plaatsvinden in de deelgebieden die in de Slenk zijn gelegen, indien de Formatie van Breda op de Peelhorst inderdaad als hydrologische basis kan worden beschouwd. Aangezien in de restterm E'_a alle onzekerheden van van de overige termen zijn verwerkt, is allereerst nagegaan binnen welke marge v_{z1} kan worden bepaald. De afwijkingen van $(R-E'_a)$, E'_a en $E'_a(LN)$ voor de deelgebieden liggen grotendeels in het traject van -50 tot +50 mm.j^{-1} . Voor deelgebied C bedraagt de afwijking voor $(R-E'_a)$, E'_a en $E'_a(LN)$ respectievelijk -81, +90 en +103 mm.j^{-1} . In dit deelgebied is een potentiële afstroming door de basis van het 1e watervoerende pakket aanwezig, waardoor de afwijkingen wellicht geringer zullen zijn.

Bij een marge van -50 tot +50 mm.j^{-1} ligt E'_a voor het gehele gebied in het traject 390 tot 490 mm.j^{-1} . In bijlage 1 is aangegeven welke onderdelen buiten dit traject liggen, door een waarde aan te geven voor de term v_{z1} . Voor de deelgebieden B en C alsmede het gehele onderzoeksgebied is een waarde voor v_{z1} berekend. In deelgebied A dat zowel op de Peelhorst als in de Slenk is gelegen, vindt praktisch geen afstroming plaats door de onderste begrenzing van het 1e watervoerende pakket. In het onderdeel B2 van deelgebied B vindt afstroming door de basis plaats terwijl in B4 een toestroming is berekend. Voor het deelgebied C en de onderdelen C1 en C2 volgt uit bijlage 1 een afstroming door de basis. De deelgebieden D en E, beide gesitueerd op de Peelhorst, vertonen geen noemenswaardige afstroming. De afstroming in deelgebied C en de netto toestroming in deelgebied B leiden voor het gehele onderzoeksgebied tot een afstroming van 5 mm.j^{-1} .

Voor E_a wordt uiteindelijk een waarde van 435 mm.j^{-1} verkregen en voor $E_a(\text{LN})$ een waarde van 450 mm.j^{-1} .

6.4.4. De verticale weerstand van de 1e scheidende laag

Uit bijlage 1 blijkt dat in het deelgebied C en het onderdeel B2 wegzijging door de 1e scheidende laag plaats vindt en in het onderdeel B4 kwel. Gezien het voorkomen van meerdere watervoerende pakketten onder de 1e scheidende laag, figuur 2, zou eigenlijk een opsplitsing van de grondwaterstroming voor deze pakketten gewenst zijn. Dit is echter niet uitvoerbaar vanwege het ontbreken van grondwaterstijghoogten en kD -waarden van de betreffende pakketten.

Door LEKAHENA (1983) is een isohypsenkaart samengesteld voor augustus 1982 voor een derde watervoerend pakket (± 160 tot 280 m -NAP) dat in figuur 2 globaal identiek is met het 5e watervoerende pakket. Uit laatstgenoemde isohypsenkaart en figuur 16 is figuur 20 verkregen. In deze figuur is in een profieldoorsnede die loopt van het pompstation Ospel over het pompstation Vlierden in noordwestelijke richting, het stijghoogteverloop van het grondwater in het 1e en 5e watervoerende pakket weergegeven.

Het in het deelgebied C en het onderdeel B2 geïnfiltreerde water stroomt door de onder de 1e scheidende laag aanwezige watervoerende pakketten gedeeltelijk naar het onderdeel B4. Het is niet geheel uitgesloten dat door het pompstation Ospel tevens een gedeelte van het in deelgebied C geïnfiltreerde water wordt opgepompt. Uit de intensiteit van de grondwaterstroming op de grens van B4 met B2 en B3 en de daarbij behorende gradiënt, afgeleid uit figuur 20, wordt een dermate hoge kD -waarde berekend dat het gehele complex watervoerende pakketten, zoals dat in hoofdstuk 3 is gedefinieerd, bij de grondwaterstroming is betrokken. In figuur 20 zijn eveneens de betreffende onderdelen geprojecteerd met een gemiddelde waarde voor het stijghoogteverschil. Met de corresponderende waarden voor v_{z1} uit bijlage 1 is met (3) een waarde voor c_1 berekend. Gegevens betreffende de c_1 -waarde uit pompproeven zijn alleen bij het pompstation Vlierden beschikbaar. Door IWACO (1982) is uit een recente interpretatie van een eerder uitgevoerde pompproef en door taxatie de totale c -waarde van de scheidende lagen tussen het 1e watervoerende pakket en de hydrologische basis gesteld op 13 000 dagen.

Voor het onderdeel B4 in zijn geheel wordt een relatief lage c_1 -waarde berekend. De bovengenoemde hoge c_1 -waarde bij het pompstation Vlierden heeft aanleiding gegeven om de afvoer in de afwateringseenheden 25 en 26, figuur 10, nog eens nader te onderzoeken. Het resultaat hiervan geeft als indicatie dat in deze afwateringseenheden $v_{z1} \approx 0$, hetgeen wijst op een hoge c -waarde ter plaatse. Dit zou betekenen dat de kwel in het onderdeel B4 is geconcentreerd in de afwateringseenheid 25; in deze eenheid bedraagt de kwel dan 284 mm.j^{-1} ofwel $0,8 \text{ mm.d}^{-1}$. Het verschil in stijghoogte tussen het grondwater in het 1e watervoerende en het 2e complex watervoerende pakket is benaderd op 1,5 m. Voor de c_1 -waarde wordt dan met (3) 1875 dagen berekend.

Uit de in figuur 21 weergegeven c_1 -waarden blijkt dat de 1e scheidende laag in de Centrale Slenk plaatselijk een lagere weerstand heeft dan tot dusver is verondersteld. Indien het genoemde traject in paragraaf 6.4.3. wordt beperkt, waartoe alleszins aanleiding bestaat gezien de wegzijging in deelgebied C, dan heeft dit de grootste invloed op de c_1 -waarde in het zuidelijk gedeelte van de Slenk. Voor het betreffende gebied is de c_1 -waarde in figuur 21 $> 15\ 000 \text{ d}$, deze zou dan $\approx 10\ 000 \text{ d}$ worden.

Met betrekking tot figuur 21 kan nog worden opgemerkt dat deze is gebaseerd op gebiedsgemiddelden. Dit houdt in dat lokaal c_1 -waarden kunnen voorkomen die zowel hoger als lager zijn dan het aangegeven traject.

6.5. De verticale weerstand van het afdekkend pakket

Aan de bovenkant van het hydrologisch pakket bevindt zich het afdekkend pakket dat de waterbewegingen in de ondergrond en aan het maaiveld in meer of mindere mate van elkaar scheidt. Uit het verrichte geohydrologisch onderzoek blijkt dat het afdekkend pakket op de Peelhorst aanmerkelijk dunner is dan in de Slenk. De weerstandbiedende lagen in het afdekkend pakket hebben vooral betrekking op lokaal voorkomende leemlagen en in mindere mate op veenlagen. Daarnaast kunnen plaatselijk op de overgang van veen naar zand gyttja lagen voorkomen met een relatief hoge c -waarde (TE BEEST, 1984). Om een indruk te verkrijgen omtrent het voorkomen van weerstandbiedende lagen in het afdekkend pakket is een kaart vervaardigd waarin per boring de leem- en veenlagen zijn aangegeven (fig. 22). Gezien het aantal leem- en veenlagen per boring als-

mede de variatie in diepte waarop deze lagen voorkomen, was het niet mogelijk een verbreidingskaart samen te stellen. Bovendien is bij een aantal boringen waarin geen of praktisch geen slecht doorlatende lagen zijn aangetroffen een verschil gemeten tussen de stijghoogte van het freatisch grondwater en het grondwater in het eerste watervoerend pakket. Hieruit volgt dat zich in deze boringen een aantal lagen bevindt die een bijdrage leveren aan de c_0 -waarde, die echter als zodanig niet zijn onderkend. De algemene conclusie betreffende figuur 22 is dan ook dat voor het gehele onderzoeksgebied rekening dient te worden gehouden met de aanwezigheid van in meer of mindere mate weerstandbiedende lagen. Deze conclusie wordt ondersteund door een stijghoogteverschillenkaart (fig. 23), die is verkregen uit een isohypsenkaart van het freatisch water (fig. 24) en figuur 16. In de genoemde kaart komen plaatselijk stijghoogteverschillen van meer dan 1,5 m voor. De c_0 -waardenkaart van van het afdekkend pakket is verkregen uit figuur 23 en de met (15) berekende v_{z0} -waarden uit bijlage 1. Voor een aantal onderdelen van figuur 9 is, indien alleen infiltratie of kwel voorkomt, een gemiddelde waarde voor $(h_1 - h_0)$ bepaald en is met de corresponderende waarde voor v_{z0} met (3) c_0 berekend. Indien zowel kwel als infiltratie in een onderdeel voorkomt, is naar ratio van oppervlak van de kwel- en infiltratiegebieden, de hiervoor geldende gemiddelde waarde voor $(h_1 - h_0)$ bepaald en is verder met de totale resulterende kwel of infiltratie c_0 berekend. In figuur 25 zijn de aldus verkregen c_0 -waarden, aangevuld met gegevens uit pompproeven (RIJKSINSTITUUT VOOR DRINKWATERVOORZIENING, 1978; TE BEEST, 1984, 1985). Uit de figuur blijkt dat in het algemeen in de Slenk hogere c_0 -waarden voorkomen dan op de Peelhorst, hetgeen aansluit bij figuur 12. Ter plaatse van de natuurgebieden De Groote Peel in de Slenk en plaatselijk voor de Deurnse Peel en Maria Peel op de Peelhorst zijn de hoogste c_0 -waarden berekend. Bij figuur 25 geldt een identieke opmerking als bij figuur 21, namelijk, dat het hier een algemeen beeld betreft van de verticale weerstand van het afdekkend pakket.

6.6. Een nadere beschouwing van de waterbalansen

6.6.1. Algemeen

Bij de afvoer van het neerslagoverschot in hellende zandgebieden, hoofdstuk 4 en 5, kunnen meerdere ontwateringsniveaus worden onderscheiden. Voor het gehele onderzoeksgebied kan de Maas als primaire ontwateringsbasis worden beschouwd. Binnen het onderzoeksgebied is van belang in welke mate het neerslagoverschot wordt afgevoerd door de drainerende leidingen in een deelgebied en of onderdeel, dan wel dat hierbij leidingen in de aangrenzende onderdelen of in het buitengebied zijn betrokken. Het gaat hierbij ondermeer om het vaststellen van de secundaire ontwateringsbasis. Ten aanzien van het beheer in met name de natuurgebieden is het van belang om deze ontwateringsbasis te leren kennen. Uit bijlage 1 kan hieromtrent alsmede betreffende de diepte waarop het hydrologisch pakket is betrokken bij de regionale grondwaterstroming informatie worden verkregen. In het volgende zal dit voor het gehele onderzoeksgebied en de onderscheiden deelgebieden nader worden toegelicht.

6.6.2. De afvoer in het onderzoeksgebied

De afvoer heeft betrekking op het neerslagoverschot ($R - E_a$) verminderd met de berging B. Hiervoor wordt uit bijlage 1 een waarde van $280,2 \text{ mm.j}^{-1}$ verkregen. De gemiddelde neerslag bedraagt in de beschouwde periode 752 mm; deze hoge waarde is het gevolg van de natte winter 82/83. Volgens LEKAHENA (1983) bedraagt de gemiddelde jaarsom voor de neerslag over de periode 1931-1960 voor de Centrale Slenk 693 mm. Uitgaande van deze waarde zou het neerslagoverschot gemiddeld op ruim 250 mm.j^{-1} kunnen worden gesteld. Dit zou betekenen dat de berekende afvoer in bijlage 1 voor een gemiddeld jaar in het bovengenoemde standaardtijdvak in grootte-orde met 10% zou moeten worden verminderd. Als gevolg van de variatie in de neerslag in de deelgebieden A tot en met C en E van 0 tot 10% terwijl het voor D op 30% zou kunnen worden gesteld. Door LEKAHENA (1983) wordt voor het standaardtijdvak een variatie van het neerslagoverschot berekend van 200 tot 250 mm.j^{-1} . Er is enige aanleiding om te veronderstellen dat dit traject globaal 25 mm hoger ligt. Dit is wellicht toe te schrijven aan een lagere actuele evapotranspiratie dan de potentiële die door LEKAHENA (1983) is berekend.

Uit bijlage 1 volgt voor de netto-afvoer van het oppervlaktewater $262,8 \text{ mm.j}^{-1}$ verminderd met $0,3 \text{ mm.j}^{-1}$: het verschil tussen lozing en grondwateronttrekking. De werkelijke aan- en afvoer via het oppervlaktewater is weergegeven in figuur 12. Uit deze figuur volgt een natuurlijke aanvoer over de westelijke en een afvoer over de zuidelijke, oostelijke en noordwestelijke begrenzing. Een kunstmatige aanvoer vindt hoofdzakelijk plaats vanuit de Noordervaart langs de zuidelijke begrenzing.

De netto-afvoer door de ondergrond is $17,7 \text{ mm.j}^{-1}$ voor het 1e watervoerend pakket vermeerderd met 5 mm.j^{-1} voor het 2e complex watervoerend pakket.

Uit het voorgaande volgt dat het grootste deel (94%) van het neerslagoverschot - $(R-E'_a)$ -B in bijlage 1 - wordt afgevoerd via het oppervlaktewater en 6% door de ondergrond. Voor het gehele onderzoeksgebied is de netto-afvoer door het 2e complex watervoerend pakket te verwaarlozen. Bij de behandeling van de deelgebieden zal blijken dat dit pakket plaatselijk in belangrijke mate is betrokken bij de afvoer.

6.6.3. De afvoer in de deelgebieden

Deelgebied A. Dit deelgebied is samengesteld uit 4 onderdelen; A1 en A2 zijn grotendeels gesitueerd op de Peelhorst en A3 en A4 zijn in de Slenk gelegen. Het gebied kan worden gerekend tot het stroomgebied van de Kaweische Loop, de Vlier en de Oude Aa. Voor het gehele deelgebied is de afvoersituatie te vergelijken met die voor het gehele onderzoeksgebied. Via het oppervlaktewater wordt 88% afgevoerd en door de ondergrond 12%. Ten aanzien van de onderdelen onderling treden echter grote verschillen naar voren.

Het onderdeel A1 wordt aan de westzijde begrensd door de Peelrandbreuk en de Breuk van Milheeze die de in westelijke richting verlopende grondwaterstroming stagneren. In de omgeving van Deurne is hierdoor zelfs in beperkte mate een waterscheiding ontstaan ter plaatse van de storing. De afvoer door de ondergrond is dientengevolge van weinig betekenis. Vanuit het Peelkanaal en deelgebied D, vooral in het zuidelijk deel van A1, en verder vanuit A2 en over de noordelijke begrenzing vindt een belangrijke aanvoer door de ondergrond plaats. Het onderdeel A1 kan dan ook tot een kwelgebied worden gerekend; op jaarbasis bedraagt de kwel $70,9 \text{ mm}$. De oppervlakte-afvoer is vanwege deze kwel aanmerkelijk hoger dan het gebiedsgemiddelde. De waarde van E_a is aan de lage kant; dit

heeft in bijlage 1 aanleiding gegeven tot een kwel van 6 mm.j^{-1} vanuit de Formatie van Breda. Het is echter ook mogelijk dat de aanvoer door de ondergrond is overschat.

Het onderdeel A2 ligt deels op de Peelhorst en deels in de Slenk. De afvoer via het oppervlaktewater bedraagt 54% en door de ondergrond 46%. Uit figuur 18 blijkt dat de afvoer door de ondergrond ten laste komt van A1, 3, 4 en B1, 4 waaruit kan worden geconcludeerd dat de secundaire ontwateringsbasis van A2 in deze onderdelen is gelegen.

Het onderdeel A3 is in de Slenk gelegen; via het oppervlaktewater wordt rond 95% van het neerslagoverschot afgevoerd. De lage afvoer door de ondergrond hangt wellicht samen met de talrijke zuidoost-noordwest verlopende storingen die de in westelijke richting verlopende grondwaterstroming stagneren (VAN REES VELLINGA en BROERTJES, 1984).

In het onderdeel A4 overtreft de afvoer door de ondergrond de afvoer welke via het oppervlaktewater gaat. Er vindt een belangrijke grondwaterstroming plaats naar B4. Deze kan zowel worden toegeschreven aan de drainage door de Astense Aa als aan de grondwateronttrekking door het pompstation bij Vlierden (fig. 13). In een aantal panden van de Oude Aa is regelmatig een wegzijging geconstateerd, die ondermeer bijdraagt aan de bovengenoemde grondwaterstroming (BON; 1974a).

Deelgebied B. Dit deelgebied is eveneens opgedeeld in 4 onderdelen. Het onderdeel B1 ligt voor het grootste deel op de Peelhorst, de overige in de Slenk. Het deelgebied kan worden gerekend tot het stroomgebied van de Aa; zoals bij de behandeling van het deelgebied A is gebleken kan een gedeelte van A4 en A2 eveneens tot dit stroomgebied worden gerekend. Verder zal blijken dat dit eveneens geldt voor een gedeelte van de deelgebieden C en E. Door de Peelrandbreuk wordt het stroomgebied in twee afzonderlijke delen opgesplitst waartussen voornamelijk interactie plaats vindt via het oppervlaktewater. Als gevolg van het feit dat het deelgebied betrekking heeft op een groter stroomgebied en binnen het deelgebied de secundaire ontwateringsbasis ligt, overheerst de ondergrondse toestroming. Deze resulteert in een kwel van $43,6 \text{ mm.j}^{-1}$ vanuit het 1e watervoerend pakket. De geconstateerde kwel leidt tot een netto oppervlaktewaterafvoer van $327,5 \text{ mm.j}^{-1}$, vermeerderd met $2,5 \text{ mm.j}^{-1}$, het verschil tussen grondwateronttrekking en lozingen.

Voor B1 geldt globaal hetzelfde als voor A1. Door het stagnerend karakter van de Peelrandbreuk op de grondwaterstroming is van Neerkant in de richting van Meijel een waterscheiding ontstaan ter plaatse van de storing. Via het oppervlaktewater wordt 97% van het neerslagoverschot afgevoerd; door de westelijke begrenzing van B1 die in de Slenk is gelegen, vindt een grondwaterstroming van betekenis plaats naar B2 die het gevolg is van een infiltratie van $0,3 \text{ mm.d}^{-1}$ in het gedeelte van B1 dat in de Slenk is gelegen. Hierdoor is er netto nog een grondwaterafvoer van 3%. Het is echter duidelijk dat ingeval de Peelrandbreuk de begrenzing zou vormen van B1, dit onderdeel tot een kwelgebied zou kunnen worden gerekend. Het gegeven dat het neerslagoverschot van het deel van B1 ten oosten van de Peelrandbreuk in zijn geheel wordt afgevoerd via het oppervlaktewater, met name door de Soeloop, heeft betekenis voor de in dit onderdeel gelegen natuurgebieden. De waterhuishouding in de Deurnse Peel is niet alleen afhankelijk van het interne beheer, maar tevens van de stuwpeilen in de Soeloop.

Voor de in de Slenk gelegen onderdelen B2 en B4 volgt uit bijlage 1 een grote betrokkenheid van het 2e complex watervoerend pakket bij de lokale grondwaterstroming. Voor het onderdeel B2 waarin het natuurgebied De Groote Peel is gelegen, bedraagt de afvoer via het oppervlaktewater 61 tot 73% van het neerslagoverschot.

Het interval hangt samen met de variatie in de wegzijging van het 1e watervoerende naar het 2e complex watervoerend pakket. Uit figuur 18 valt af te leiden dat de grondwaterafvoer in het 1e watervoerend pakket wordt bepaald door de grondwaterstroming op de grens van het onderdeel met B1, B3 en het deelgebied C. Zoals reeds bij de behandeling van het gehele deelgebied is aangegeven, dient er met betrekking tot de waterhuishouding rekening mee te worden gehouden dat B2 een onderdeel is van een groter stroomgebied.

Het onderdeel B3 omvat grotendeels het dal van de Aa; de relatief hoge oppervlaktewaterafvoer is hieraan toe te schrijven.

In B4 is relatief de hoogste oppervlaktewaterafvoer gemeten. Deze hoge waarde is toe te schrijven aan een kwel uit zowel het 1e watervoerende als het 2e complex watervoerend pakket, waarbij de kwel uit het laatstgenoemde pakket globaal een factor 1,5 groter is. De totale kwel varieert van 180 tot 230 mm.j^{-1} , in afhankelijkheid van de tolerantie in het rekenschema. De grondwateronttrekking in dit onderdeel bedraagt 130 mm.j^{-1} , zodat de natuurlijke en kunstmatige kwel tezamen 310 tot 360 mm.j^{-1} bedraagt.

Deelgebied C. Dit deelgebied is in de Slenk gelegen en bestaat uit twee onderdelen. Vanuit de Noordervaart vindt enige aanvoer plaats, die echter in zijn totaliteit van weinig betekenis is. Bij de behandeling van deelgebied B is reeds naar voren gebracht dat deelgebied C gedeeltelijk tot het stroomgebied van de Aa behoort. Het resterende deel watert af via een aantal waterlopen in zuidelijke richting, figuur 4 en 12, die binnen het gebied niet geheel als een secundaire ontwateringsbasis functioneren. Het bovenstaande geeft dan ook een directe verklaring voor het feit dat in dit gebied de laagste waarde is berekend voor de afvoer via het oppervlaktewater. Door de ondergrond wordt 50 à 60% van het neerslagoverschot afgevoerd, voor het 1e watervoerend pakket komt dit neer op 100 mm.j^{-1} en voor het 2e complex watervoerend pakket op 40 tot 90 mm.j^{-1} .

Deelgebied D. Dit deelgebied is op de Peelhorst gelegen, globaal in het midden is een waterscheiding die van noord naar zuid loopt. Het gedeelte ten westen van de waterscheiding behoort voor een deel tot het onderdeel A1, het oostelijke gedeelte watert af via een aantal waterlopen in oostelijke richting. De secundaire ontwateringsbasis van het deelgebied ligt zowel in het onderdeel A1 als in het buitengebied langs de oostelijke begrenzing. Dit heeft er toe geleid dat ten opzichte van de overige op de Peelhorst gelegen deelgebieden voor de afvoer via het oppervlaktewater (70%) de laagste waarde is berekend. In het zuidelijk deel van het deelgebied vindt een aanvoer van betekenis plaats vanuit het onderdeel E4, hetgeen neerkomt op een aanvoer van 30 mm.j^{-1} voor het gehele deelgebied. Deze ondergrondse toestroming wordt grotendeels afgevoerd door de Grauwveen Lossing.

De totale afvoer is de hoogste van het gehele onderzoeksgebied, te weten $333,6 \text{ mm.j}^{-1}$. Dit is het gevolg van een 50 mm hogere waarde van de neerslagsom ten opzichte van het gebiedsgemiddelde.

Deelgebied E. Deelgebied E is op de Peelhorst gelegen en bestaat uit 4 onderdelen. Als gevolg van een waterscheiding in de onderdelen E1, E2 en E3, figuur 15, 16 en 24, vindt door de ondergrond een afstroming plaats in oostelijke, noordelijke en westelijke richting (fig. 18). Via het oppervlaktewater wordt 85 % van het neerslagoverschot in overwegend zuidelijke en oostelijke richting afgevoerd.

Het onderdeel E1 vertoont grote overeenkomst met A1; E1 wordt eveneens aan de westzijde begrensd door de Peelrandbreuk waardoor praktisch geen afvoer in westelijke richting plaats vindt. Verder is er vanuit E2 een toestroming door de ondergrond, die groter is dan de afstroming naar B1, zodat E1 tot een kwelgebied kan worden gerekend. De kwel door de ondergrond bedraagt $26,8 \text{ mm.j}^{-1}$ en vanuit het Kanaal van Deurne en de Helenavaart dient rekening te worden gehouden met een wegzijging van 12 l.sec^{-1} , zodat de totale kwel op $85,4 \text{ mm.j}^{-1}$ kan worden gesteld.

Voor de tot dusver besproken onderdelen van de deelgebieden die op de Peelhorst zijn gelegen, met uitzondering van deelgebied D, blijkt dat meer dan 95% van het neerslagoverschot via het oppervlaktewater wordt afgevoerd en wel voornamelijk door de Soeloop, Vlier en de Kaweische Loop. Wordt verder in beschouwing genomen dat in het dal van de Soeloop nog enige afvoer door de ondergrond plaats vindt, dan is duidelijk dat de ondergrondse afstroming door de Peelrandbreuk relatief klein is. In orde van grootte kan deze in een dwarsdoorsnede worden gesteld op $0,1$ à $0,2 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$. Bij een verschil in stijghoogte van het grondwater aan de boven- en benedenkant van de storing van $\approx 2 \text{ m}$, leidt dat ter plaatse voor een zone ter breedte van 200 m tot een kD -waarde van 10 à $20 \text{ m}^2/\text{dag}$.

Het onderdeel E2 is het enige onderdeel waar zowel via het oppervlaktewater als door de ondergrond geen aanvoer is geconstateerd. Via het oppervlaktewater wordt 90% van het neerslagoverschot afgevoerd. De afvoer door de ondergrond is gericht naar de onderdelen E1 en B1.

Voor het onderdeel E3 is een relatief lage waarde voor E'_a berekend. Dit is voornamelijk toe te schrijven aan een hoge afvoer van de Kabroekse Beek voor de afwateringseenheid 34, figuur 10. In bijlage 1 en in figuur 12 is de aanvoer van E4 naar E3 binnen een marge van 50 mm berekend op $18,1 \text{ l.sec}^{-1}$. Het zou mogelijk kunnen zijn dat dit debiet rond 10 l.sec^{-1} hoger is, waardoor E'_a op $424,8 \text{ mm.j}^{-1}$ komt.

Het onderdeel E4 heeft betrekking op het natuurgebied Mariapeel. De waarde E'_a voor dit onderdeel is aan de hoge kant; een verhoging van de berekende afvoer, zoals bij E3 is verondersteld, met 10 l.sec^{-1} geeft als nieuwe waarde voor E'_a $454,3 \text{ mm.j}^{-1}$. De aangepaste netto oppervlaktewaterafvoer wordt dan $90,4 \text{ mm.j}^{-1}$; dit betekent dat 34% van het neerslagoverschot via het oppervlaktewater wordt afgevoerd. Ten aanzien van de afvoer door de ondergrond kan worden opgemerkt dat rond 55% van het

neerslagoverschot afstroomt naar de afwateringseenheden 24 en 34, respectievelijk behorend tot de stroomgebieden van de Grauwveen Lossing en de Kabroekse Beek. De waterhuishouding in de Mariapeel is in sterke mate gerelateerd aan die van de twee bovengenoemde stroomgebieden. Hierbij dient te worden vermeld dat zowel de oppervlaktewater- als grondwaterafvoer uit de waterbalans is berekend.

7. DRAINAGEWEEERSTANDEN EN GRONDWATERSTAND-AFVOERRELATIES

7.1. Algemeen

In figuur 7 is aangegeven dat het neerslagoverschot $N-E_a$ leidt tot een verticale flux door het freatisch vlak, die vervolgens een grondwaterstroming activeert naar de ontwateringsbasis. In paragraaf 5.2. is hiervoor een aantal betrekkingen gegeven. Bij grondwatermodellen voor de onverzadigde zone is één van de randvoorwaarden de relatie tussen de flux door het freatisch vlak of de onderkant van het model - veelal een horizontaal vlak beneden de diepste grondwaterstand - naar de ontwateringsbasis en de grondwaterstand, de zogenaamde $q(h)$ relatie (BELMANS e.a. 1981). Bij grondwatermodellen voor zowel de verzadigde als onverzadigde zone kan de interactie tussen het oppervlakte- en het grondwater worden bepaald met behulp van drainageweerstanden, peilen van open water en grondwaterstanden (QUERNER and VAN BAKEL, 1984).

Indien het neerslagoverschot binnen een deelgebied of onderdeel praktisch in zijn geheel tot afstroming komt en er geen aanvoer door de ondergrond plaats vindt, kan $A/365$ gelijk worden gesteld aan \bar{v}_{zf} . Hierbij is tevens verondersteld dat geen lozingen plaatsvinden en geen grondwater wordt onttrokken. In hoofdstuk 6 is aangegeven dat voor de op de Peelhorst gelegen onderdelen of (gedeeltelijke) combinaties daarvan, de afvoer via het oppervlaktewater grotendeels gelijk kan worden aan het neerslagoverschot. In de Slenk is met name in het zuidelijk gedeelte de ondergrond tot op grote diepte betrokken bij de afvoer van het neerslagoverschot en dient verder rekening te worden gehouden met belangrijke grondwateronttrekkingen en lozingen. Dit leidt ertoe dat relatief grote gebieden moeten worden beschouwd om te bereiken dat $A/365 = \bar{v}_{zf}$. Aangezien de ondergrondse af- en toestroming via de begrenzing van de deelgebieden c.q. onderdelen weinig varieert, figuur 18, kan voor v_{z0} bij benadering een constante waarde worden aangehouden.

Voor de flux door het freatisch vlak kan de volgende vergelijking worden opgesteld voor een deelgebied dan wel een onderdeel:

$$\bar{v}_{zf}(t) = -\bar{A}(t) + \frac{HAW}{365} + \bar{v}_{zo} \quad (19)$$

waarin: $\bar{v}_{zf}(t)$ = gemiddelde flux door het freatisch vlak in maand t mm.d⁻¹
 $\bar{A}(t)$ = gemiddelde oppervlaktewaterafvoer in maand t mm.d⁻¹
 \bar{v}_{zo} = gemiddelde verticale stroming in de scheidende lagen in het afdekkend pakket in het meetjaar mm.d⁻¹

Verder is:

$$\bar{v}_{zo} = -\frac{I'_{ss} - Q_w + v_{z1}}{365} \quad (20)$$

Gegevens betreffende $\bar{A}(t)$ zijn verkregen uit afvoermetingen (WIJNSMA, 1984), voor gegevens betreffende I_{ss} , Q_w , HAW en v_{z1} wordt verwezen naar bijlage 1. Van de belangrijkste onttrekkingen en lozingen zijn tevens gegevens op maandbasis beschikbaar.

De drainageweerstand kan worden berekend met (8), (9) en (13). Door invoering van een classificatie voor de drainerende leidingen en verder door gebruik te maken van gegevens betreffende de effectieve slootafstand L_e , $k_1 D_1$, k_o en D_o is door VAN DEN EERENBEEMT en KARTOREDJO (1983) een kaart met drainageweerstanden voor de winterperiode samengesteld. Uit hun onderzoek kwam naar voren dat de drainageweerstand in de beschouwde periode in belangrijke mate wordt bepaald door de slootafstand en de radiale weerstand. Aangezien één waarde voor k_o voor het gehele onderzoeksgebied is aangehouden vertoont de kaart met drainageweerstanden een grote gelijkens met die van de slootdichtheden.

Uit $(v_{zf} - v_{zo}) (h_o^*)$ relaties kan een differentiewaarde voor de drainageweerstand worden afgeleid. Hiervoor zijn op maandbasis waarden voor $(\bar{v}_{zf} - \bar{v}_{zo})$ ofwel $(-\bar{A} + \frac{HAW}{365})$ uitgezet tegen h_o^* . De laatstgenoemde waarde is verkregen uit het geautomatiseerd gegevensbestand.

Door het invoeren van een waarde voor \bar{v}_{zo} in bovengenoemde relaties zijn $v_{zf}(h_o^*)$ relaties verkregen.

In het volgende zal voor aantal afwateringseenheden aandacht worden besteed aan het afleiden van drainageweerstanden uit basisafvoeren en grondwaterstanden alsmede aan $q(h)$ relaties.

7.2. Drainageweerstand

Voor een aantal afwateringseenheden of combinaties daarvan is per maand de gemiddelde oppervlaktewaterafvoer verminderd met eventuele lozingen, dus $(v_{zf} - v_{zo})$, uitgezet tegen de gemiddelde grondwaterstand figuur 26 en 27. Wanneer aan de punten een maandnummer wordt toegekend blijkt dat voor een aantal gebieden de relatie een cyclus doorloopt. Vanaf het voorjaar naar de herfst heeft de relatie betrekking op de bovenzijde van de cyclus en in de periode van de herfst naar de winter op de onderkant (DE ZEEUW; 1966). Door de puntenzwerm voor de onderscheiden gebieden is een kromme getekend voor de gemiddelde situatie. Voor een aantal grondwaterstanddiepten is de gradiënt van de diverse krommen bepaald, waaruit vervolgens met (12) de drainageweerstand is berekend.

Naast de gemiddelde grondwaterstanden is tevens aandacht besteed aan de relatie tussen de hoogste en laagste grondwaterstanden met de afvoer. In het algemeen verloopt voor de diepste grondwaterstanden de kromme globaal evenwijdig aan die in figuur 26 en 27. Voor de hoge grondwaterstanden is veelal een lagere drainageweerstand berekend dan voor de gemiddelde situatie. Het moge duidelijk zijn dat zowel het aantal als de lokatie van de beschikbare landbouwbuizen van invloed is op de verkregen resultaten. Dit kan betekenen dat niet altijd de juiste informatie is verkregen over het gebiedsgemiddelde en de hoogste grondwaterstanden. In dit licht dienen danook de drainageweerstand in tabel 3 worden gezien.

Tabel 3. Drainageweerstand

Eenheden	Groep	γ (zomer) d	γ (winter) d
5	I	680	130-160
12,13	II	990	170
19,20,21	I	730	140
38,40	I	410	80-100
44	I	440	140-200
49	II	1630	140-170
51,55	II	2050	120-230
61,70,72,73	II	4860	100-470

Op grond van de verkregen drainageweerstanden uit figuur 26 en 27 en de relatie $(v_{zf} - v_{zo})h_{omin}^*$ zijn de eenheden in tabel 3 in twee groepen ingedeeld. In figuur 28 is voor deze een gemiddelde $\gamma(h_0^*)$ relatie gegeven. Gezien de verspreide ligging van de beschouwde eenheden geeft figuur 28 een indruk betreffende de voorkomende drainageweerstanden. In de eenheden met een ondergrondse afstroming (groep II) zijn voor de zomerperiode relatief hoge drainageweerstanden berekend met een extreme waarde voor de eenheden 61, 70, 72, 73. In de kwelgebieden (groep I) bedraagt de drainageweerstand in de zomer 400 tot 700 dagen. Voor de wintersituatie varieert de drainageweerstand van 100 tot 200 dagen.

De drainageweerstand is volgens (8) opgebouwd uit een horizontale en een radiale weerstand. Voor de afwateringseenheid 5 bedraagt de afstand L_e tussen de leidingen van klasse 3 en 4 620 m (VAN DEN EEREN-BEEMT en KARTOREDJO, 1983). Met (8) is voor een aantal $k_1 D_1$ -waarden de horizontale en radiale weerstand berekend, tabel 4.

Tabel 4. Horizontale en radiale weerstanden

$k_1 D_1$ $m^2 \cdot d^{-1}$	Ω $d \cdot m^{-1}$	$L^2 / 8k_1 D_1$ d	$L \Omega$ d
1000	1,0	48	632
500	0,9	96	584
250	0,8	192	488

Uit figuur 17 volgt voor $k_1 D_1$ een waarde van 500 tot 1000 $m^2 \cdot d^{-1}$, hetgeen leidt tot een radiale weerstand voor de betreffende leidingen van 0,9 à 1,0 $d \cdot m^{-1}$. Deze waarde komt overeen met de door VAN DEN EEREN-BEEMT en KARTOREDJO (1983) berekende waarde voor deze leidingen. De indruk bestaat dat de door laatstgenoemden berekende radiale weerstanden voor de onderscheiden klassen in het algemeen redelijk bruikbaar zijn, tabel 5.

Tabel 5. Berekende radiale weerstanden

klasse	radiale weerstand (d.m ⁻¹)
1	1,6
2	1,5
3	1,2
4	0,9
5	0,7

7.3. Grondwaterstandafvoerrelaties

In het voorgaande is reeds opgemerkt dat $v_{zf}(h_o^*)$ relaties kunnen worden verkregen door in figuur 26 en 27 een waarde voor v_{z0} in te voeren. In de genoemde figuren zijn deze waarden aangegeven, welke zijn berekend met (20). Hierbij is er van uitgegaan dat v_{z0} voor een eenheid gelijk is aan die van het onderdeel waarin de eenheid is gelegen. Voor de in de Slenk gelegen onderdelen is v_{z1} met 50 mm verhoogd op grond van de gehanteerde toleranties in paragraaf 6.4.3.

Bij een positieve waarde voor v_{z0} dienen de punten over een afstand gelijk aan de desbetreffende waarde naar rechts te worden verplaatst en bij een negatieve naar links. Bij de eenheden waar de afvoerrelatie een cyclus doorloopt is niet de gemiddelde kromme maar globaal het bovenste verloop van de cyclus beschouwd. Deze geeft de relatie tussen afvoer en grondwaterstand aan vanaf het voorjaar naar het begin van de herfst.

In figuur 29 is de gemiddelde $v_{zf}(h_o^*)$ relatie van de twee onderscheiden groepen in tabel 3 weergegeven. In de eenheden in groep I vindt aanvoer van oppervlaktewater plaats terwijl verder door middel van stuwen in de zomer globaal een 20 à 30 cm hoger peil wordt gehandhaafd dan in de winterperiode. Dit beheer leidt zowel tot een vermindering van de afstroming van grondwater naar de ontwateringsbasis als tot infiltratie. Als gevolg hiervan vertoont de kromme een vrij vlak verloop. In de eenheden in groep II vindt geen aanvoer plaats en zijn tevens praktisch geen stuwen aanwezig waardoor de kromme een veel sterkere kromming vertoont.

De in figuur 29 weergegeven relaties hebben betrekking op gebiedsgemiddelden. Binnen een eenheid kunnen grote verschillen voorkomen betreffende zowel de grondwaterdiepte als de fluctuatie. Door VAN LANEN (1985) is een rekenprocedure ontwikkeld voor het bijstellen van $q(h)$ relaties binnen een eenheid.

8. DE WATERAANVOER

8.1. Algemeen

Bij Katsberg wordt uit de Noordervaart water ingelaten naar het Kanaal van Deurne (fig. 11). Het betreft Maaswater dat bij Maastricht wordt ingelaten op de Zuid-Willemsvaart; onder vrij verval wordt de Noordervaart gevoed vanuit het bovenstrooms van sluis 15 gelegen pand door een siphon onder het kanaal Nederweert-Wessem.

In de wintermaanden is de aanvoer praktisch nihil, in de zomermaanden kan deze toenemen tot $3 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (fig. 11). Het in het onderzoeksgebied ingelaten water stroomt door het Kanaal van Deurne en de Helenavaart die met eerstgenoemde in open verbinding staat naar Griendtsveen. Het overtollige water van de Helenavaart wordt door de Grenssloot afgevoerd naar het Lollebeekgebied, ten oosten van de Midden-Peelweg gelegen. Door het Peelkanaal wordt het surplus van het Kanaal van Deurne afgevoerd.

8.2. De verdeling van het aangevoerde water

8.2.1. Algemeen

Het w.s. de Aa heeft binnen het onderzoeksgebied zes inlaatmogelijkheden vanuit het Kanaal van Deurne en twee vanuit het Peelkanaal (fig. 11). Vanuit de Helenavaart wordt water ingelaten naar de Mariapeel en verder komen een aantal incidentele inlaten voor (visvijvers e.d.). Met betrekking tot de Helenavaart dient te worden vermeld dat een gedeelte van het w.s. Noord-Limburg hierop afwatert. Dit heeft tot gevolg dat in de wintermaanden, wanneer bij Katsberg geen aanvoer plaats vindt, toch een zekere afstroming door de Peelkanalen plaats vindt.

Voor de ruilverkaveling de Astense Aa (BON, 1974b) is de aanvoernorm indertijd gesteld op $1/3 \text{ l. sec}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ en voor het stroomgebied van de Vlier en de Kaweische Loop op $1/6 \text{ l. sec}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. De aanvoerleidingen en kunstwerken zijn hierop gedimensioneerd. Het ingelaten water kan op een aantal wijzen het vochttekort van de landbouw in het algemeen beperken:

- door directe onttrekkingen aan de leidingen voor beregening;
- door in de zomerperiode een hoger peil te handhaven waardoor de afstroming van grondwater naar de ontwateringsbasis wordt verminderd;
- door infiltratie vanuit de aanvoerleidingen.

8.2.2. Beregening uit oppervlaktewater

Door het w.s. de Aa worden ontheffingen verleend voor het onttrekken van oppervlaktewater voor beregeningen. Volgens opgave van het waterschap komen hiervoor rond 1000 ha in aanmerking. Wanneer de waterbehoefte wordt gesteld op $1/3 \text{ l. sec}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ betekent dit dat in de zomermaanden globaal 300 l. sec^{-1} aan het oppervlaktewater kan worden onttrokken.

In het w.s. Midden-Limburg vindt geen beregening uit oppervlaktewater plaats en in het w.s. Noord-Limburg incidenteel.

8.2.3. Peilbeheer en grondwaterafvoer

In figuur 30 is voor de afwateringseenheid 5 de relatie geconstrueerd bij vrije ontwatering en bij regulering van de peilen. In het algemeen zijn de peilen in de zomerperiode 20 à 30 cm hoger. Uit de figuur komt tot uiting dat genoemde peilverhoging leidt tot een vermindering van de grondwaterafvoer.

8.2.4. Infiltratie vanuit de aanvoerleidingen

Uit figuur 24 en 29 volgt dat infiltratie optreedt wanneer de grondwaterstand beneden het peil in de waterlopen daalt. De intensiteit is afhankelijk van het verschil tussen het grondwaterpeil en de grondwaterstand alsmede van de infiltratieweerstand.

In tabel 6 is allereerst een verdeling van het ingelaten water over de periode juli tot en met september voor de jaren 1982 en 1983 gegeven.

Tabel 6. Verdeling wateraanvoer

	1 juli-1 oktober '82		1 juli-1 oktober '83	
	l.sec ⁻¹	%	l.sec ⁻¹	%
Aanvoer: Katsberg	2004	100	2417	100
Afvoer:				
w.s. de Aa	894	44,6	1105	45,7
w.s. Noord-Limburg	37	1,9	174	7,2
w.s. Midden-Limburg	15	0,8	15	0,6
Grenssloot (Hal 2)	534	26,6	591	24,5
Peelkanaal (noordgrens)	524	26,1	532	22,0
	<u>2004</u>	<u>100,0</u>	<u>2417</u>	<u>100,0</u>

De afvoer naar het w.s. Midden-Limburg heeft betrekking op infiltratie vanuit het Kanaal van Deurne en de Helenavaart naar het onderdeel E1, zie figuur 12. Voor de zomersituatie is deze afvoer getaxeerd op 15 l.sec⁻¹.

Voor het w.s. Noord-Limburg wordt voor de inlaat vanuit de Helenavaart in 1983 een aanmerkelijk hogere waarde verkregen dan in 1982. Hierbij dient te worden bedacht dat deze als restpost is berekend uit de aanvoer bij Katsberg en de afvoer bij 75p en Hal 2. Indien de inlaat voor de Mariapeel wordt gesteld op rond 14 l.sec⁻¹ dan lijkt in 1983 de overige aanvoer vanuit de Helenavaart aan de hoge kant. In dit verband kan tevens worden gewezen op het bijzondere feit dat het debiet van de Grenssloot bij de Midden-Peelweg hoger is dan bij Hal 2.

Het w.s. de Aa laat het meeste water in. Uit afvoermetingen is gebleken dat in een beperkt aantal eenheden gedurende de beschouwde perioden minder water werd afgevoerd dan aangevoerd. Dit kan worden toegeschreven aan zowel onttrekking voor beregening als aan infiltratie. Aangezien genoemde effecten het meest duidelijk tot uiting komen in 1983 zijn in tabel 7 de eenheden vermeld waar een netto aanvoer in 1, 2 of 3 maanden is geconstateerd.

Tabel 7. Netto aanvoer voor een aantal eenheden
in 1983 (juli t/m september)

Eenheid	Aanvoer	
	l.sec ⁻¹	mm.d ⁻¹
1	53,9 (3)	0,66
5	27,7 (2)	0,13
17	10,2 (1)	0,09
20	1,5 (2)	0,04
26	76,1 (1)	0,46
29	40,3 (3)	0,94
30	92,6 (3)	0,82
38	55,1 (3)	0,77
44	108,4 (3)	0,52
45	12,7 (1)	0,07
Totaal	478,5	

Volgens tabel 6 en 7 zou ruim 40% van het aangevoerde water gedeeltelijk infiltreren en gedeeltelijk worden gebruikt voor beregning. In werkelijkheid zal dit percentage aanzienlijk hoger liggen. Binnen een afwateringseenheid kunnen namelijk zowel beekpanden met infiltratie als met drainage voorkomen, figuur 24 (BON, 1974b), waardoor in totaliteit een lagere waarde voor de geïnfiltreerde hoeveelheden water wordt berekend. Het is derhalve mogelijk dat naast de in tabel 7 genoemde eenheden in het onderzoeksgebied nog een aantal eenheden kunnen voorkomen met één of meerdere beekpanden met infiltratie.

Uit tabel 7 blijkt dat in 5 eenheden gedurende de gehele periode een relatief hoge nette aanvoer is gemeten. De eenheden 29 en 30 omvatten grotendeels het proefgebied van de Oude Aa en eenheid 44 dat van de Astense Aa of de Voordeldonkse Broekloop (WERK GROEP PANHEEL I, 1979).

In de onderdelen A2 en B1 is in augustus plaatselijk de ondergrondse afstroming groter dan in april (fig. 18). Dit betekent dat een gedeelte van het geïnfiltreerde water ondergronds afstroomt naar aangrenzende onderdelen.

De maximaal te infiltreren hoeveelheden water zijn afhankelijk van de infiltratieweerstand, peilen in de aanvoerleidingen en grondwaterstanden. In figuur 31 is dit geïllustreerd voor de eenheid 44; voor de zomerperiode is een gemiddelde grondwaterstand van 1,55 m beneden maai-veld berekend, uit figuur 24 is verder een globale waarde van -0,25 m voor $(h_o - h_{os})$ afgeleid zodat h_{os}^* 1,30 m wordt. Uit tabel 7 volgt voor bovengenoemde situatie een infiltratiewaarde van $0,52 \text{ mm.d}^{-1}$. Uit de helling van de rechte in figuur 31 volgt een infiltratieweerstand van 500 d, deze waarde komt redelijk overeen met de voor de beschouwde eenheid in de zomer bepaalde drainageweerstand. Afhankelijk van de situatie of in alle watervoerende leidingen in de zomer wateraanvoer plaats vindt zal de infiltratieweerstand bij benadering gelijk of groter zijn dan de drainageweerstand.

Resumerend kan worden opgemerkt dat door de aanvoer van Maaswater peilbeheer mogelijk is waardoor plaatselijk de afstroming van grondwater wordt belemmerd en elders infiltratie kan plaats vinden, waardoor in algemene zin een verhoging van de grondwaterstand wordt bereikt.

9. SAMENVATTING

In het kader van een multi-disciplinaire studie is een hydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied uitgevoerd. Hierbij is het accent gelegd op een analyse van de hydrologische processen en een beschrijving van het medium waarin deze plaats vinden alsmede op de interactie tussen het grond- en oppervlaktewater en de eigenschappen van het waterlopenpatroon.

De oppervlaktewaterhuishouding in het onderzoeksgebied wordt verzorgd door een drietal waterschappen. In samenhang met de topografie is op de Peelhorst een waterscheiding ontstaan en vindt afstroming van het oppervlaktewater plaats onder natuurlijk verval in noordwestelijke en oostelijke richting. In verband met ondermeer ruilverkavelingen is voornamelijk in de gebieden ressorterend onder het w.s. de Aa en het w.s. Noord-Limburg door beekverbeteringen gestreefd naar een optimale ontwatering en afwatering van de landbouwgronden. Ten behoeve van een aanvullende watervoorziening in het groeiseizoen zijn nieuwe leidingen gegraven voor de aanvoer van Maaswater vanuit de Peelkanalen, deze hebben oorspronkelijk gediend voor de ontwatering en de afvoer van turf

bij de vroegere verveningen. In het gebied van het w.s. de Aa zijn een groot aantal stuwen geplaatst waardoor een betere verdeling van het aangevoerde water wordt bereikt en door een bepaald peilbeheer de grondwaterafvoer kan worden beïnvloed. In de natuurgebieden wordt de waterhuishouding gekenmerkt door een buffering van het neerslagoverschot door compartimentering met als doel het beperken van de aanvoer van vreemd water.

Het onderzoeksgebied wordt door de Peelrandbreuk en de Breuk van Milheeze opgedeeld in twee tektonische eenheden, namelijk de Peelhorst en de Centrale Slenk. Op de Peelhorst wordt als regel één watervoerend pakket aangetroffen met een relatief dun afdekkend pakket. In de Centrale Slenk komen meerdere watervoerende pakketten voor die van elkaar worden gescheiden door overwegend kleilagen, aan de bovenzijde bevindt zich een enkele tientallen meters dikke afdekkend pakket. Op de Peelhorst ligt de hydrologische basis op een diepte van 8-36 m beneden maai-veld en in de Slenk op een diepte van 300-350 m. Uit een verricht geo-hydrologisch onderzoek zijn kD-waarden ontleend voor het eerste watervoerend pakket. Zowel op de Peelhorst als in de Slenk komen geologische storingen voor.

Voor de waterlopen is met betrekking tot de dimensies van de leidingen een classificatie opgesteld en is de effectieve dichtheid van de leidingen per klasse bepaald. De effectieve slootafstand is een tijdsafhankelijke grootte, met deze factor en gegevens betreffende het grondwaterstandsverloop en hydrologische bodemconstanten kan door gebruik te maken van drainageformules de drainageweerstand worden berekend in afhankelijkheid van de grondwaterstand.

Aan de hand van een hydrologische schematisering is aangegeven welke hydrologische bodemconstanten zijn betrokken bij de regionale grondwaterstroming. Uitgaande van de beschikbare gegevens is toegelicht op welke wijze de overige zijn berekend.

Op grond van de waterstaatkundige toestand is het onderzoeksgebied opgedeeld in waterstaatkundige eenheden. Deze eenheden zijn samengevoegd tot onderdelen, een of meer onderdelen vormen een deelgebied dat soms betrekking kan hebben op een stroomgebied. Van de onderdelen is de oppervlaktewaterafvoer gemeten en de ondergrondse afstroming berekend uit isohypsenkaarten en kD-waarden van het eerste watervoerend pakket. Per onderdeel zijn verder gegevens verzameld over lozingen, grondwater-

onttrekking, bergingsverandering en de neerslag. Met bovenstaande gegevens zijn waterbalansen op jaarbasis opgesteld met de actuele verdamping als restterm. De waterbalansen geven directe informatie over de oppervlaktewaterhuishouding, in geval in een onderdeel netto een ondergrondse toestroming plaats vindt kan dat onderdeel veelal als kwelgebied worden aangeduid. Aan de oostzijde van de Peelrandbreuk en de Breuk van Milheeze in het noorden en het zuiden en in het dal van de Aa worden dergelijke kwelgebieden aangetroffen. In het zuidelijk deel van de Slenk is duidelijk sprake van een infiltratiegebied. De indruk bestaat dat de beheersmaatregelen in de natuurgebieden leiden tot een afname van de berging waardoor in de winterperiode of in langdurige natte perioden relatief grote afvoeren kunnen optreden.

Voor de Peelrandbreuk is een waarde voor de weerstand tegen een horizontale grondwaterstroming berekend, uit de isohypsenkaarten van het 1e watervoerende pakket kan worden afgeleid dat de overige storingen in meer of mindere mate de grondwaterstroming stagneren. Uit de verticale stroming in het afdekkend pakket en een stijghoogteverschillenkaart is een c_0 -waardenkaart samengesteld. Uit de waterbalansen volgt een indicatie dat in het zuiden en het midden van de Slenk meerdere watervoerende pakketten betrokken zijn bij de regionale grondwaterstroming. Voor de 1e scheidende laag is op grond van summiere gegevens een globale c_1 -waardenkaart samengesteld.

Voor een aantal eenheden zijn relaties vastgesteld tussen de oppervlaktewaterafvoer en de daarmee corresponderende gemiddelde grondwaterstanden. Uit deze relaties zijn drainageweerstanden afgeleid voor de zomer- en wintersituaties, voor een enkele eenheid zijn de op bovengenoemde wijze verkregen waarden vergeleken met berekende drainageweerstanden door de toepassing van drainageformules. Door de ondergrondse afstroming te betrekken bij de oppervlaktewaterafvoer zijn grondwaterstand-afvoerrelaties ofwel $q(h)$ -relaties bepaald

In de zomer wordt incidenteel $3 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ water vanuit de Noordervaart ingelaten. Hiervan wordt globaal de helft afgevoerd over de oostelijke en noordelijke gebiedsbegrenzing. De resterende hoeveelheid water gaat praktisch geheel naar het w.s. de Aa. Het aangevoerde water kan worden gebruikt voor peilbeheer en voor beregening van de aan de leidingen grenzende gronden. Voor een aantal eenheden is vastgesteld in welke mate het aangevoerde water een bijdrage levert tot de aanvulling van het

grondwater. Vanwege de in het algemeen hoge infiltratieweerstanden zijn de geïnfiltreerde hoeveelheden beperkt. Daar op zekere afstand van de inlaatpunten drainage optreedt is niet exact vast te stellen welk gedeelte van het aangevoerde water binnen het beschouwde gebied infiltreert of voor berekening wordt gebruikt. Het is echter duidelijk dat het aangevoerde water een gunstig effect heeft op de watervoorziening van de landbouwgronden en de ondergrondse afstroming in de natuurgebieden vermindert.

LITERATUUR

- BEEST, J.G. TE, 1984. Bepaling van de geohydrologische bodemconstanten in de 'Deurnsche Peel' door middel van pompproef N170. ICW nota nr 1538.
- 1985. Hydrologische bodemconstanten uit een viertal pompproeven in het Zuid-Peelgebied. ICW nota 1678.
- BELMANS, C., J.G. WESSELING en R.A. FEDDES, 1981. Simulation model of the water balance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE). ICW nota nr 1257.
- BON, J., 1974a. Grondwaterstroming in het gebied van de Astense Aa. ICW nota nr 800.
- 1974b. Enkele opmerkingen over afvoer en afvoernormen in Oost-Noord-Brabant, toegelicht aan metingen in de ruilverkaveling Astense Aa. ICW nota nr 813.
- DRENT, J., 1981. Optimalisatie van het regionale waterbeheer in gebieden met tegengestelde belangen. ICW nota nr 1256.
- EERENBEEMT, H. VAN DEN en H. KARTOREDJO, 1983. Drainageweerstanden Zuid-Peel. ICW nota nr 1467.
- ERNST, L.F. en N.A. DE RIDDER, 1960. High resistance to horizontal flow in coarse sediments due to faulting. *Geologie en Mijnbouw* 39e jaargang, maart.
- 1964. Gebruik van enige basisformules bij het kwelonderzoek in Nederlandse polders in afhankelijkheid van beschikbare gegevens. ICW nota nr 267.
- 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. *Journal of Hydrology*, 39, 1-30.

- IWACO, 1982. Geohydrologische model-studie van het pompstation Vlierden. Rapport 30, 162-1.
- LANEN, H.A.J. VAN, 1985. Grondwaterstand-afvoerrelaties als randvoorwaarde voor bodemvochttekortberekeningen met onverzadigde grondwaterstromingsmodellen. Cultuurtechnisch Tijdschrift nr 3.
- LEKAHENA, E.G., 1983. Grondwaterkaart van Nederland. Centrale Slenk (Oost-Brabant).
- MOEN, H.J. en J. BON, 1973. Bijdrage tot het geohydrologisch onderzoek met behulp van een kwel- en inzijgingsberekening in het gebied van de Astense Aa. ICW nota nr 751.
- OOSTINDIE, K., 1984. Een computersysteem voor het berekenen van afvoeren en het manipuleren met grondwaterstanden. ICW nota nr 1593.
- PANKOW, J., 1985. Inventarisatie van de neerslag en de verdamping uit een vrij water oppervlak in het Zuidelijk Peelgebied. ICW nota nr 1638.
- QUERNER, E.P. and P.J.T. VAN BAKEL, 1984. Description of second level water quantity model, including results. ICW nota nr 1586.
- REES VELLINGA, E. VAN en J.P. BROERTJES, 1984. Enige resultaten van een geohydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. ICW nota nr 1590.
- RIJKSINSTITUUT VOOR DRINKWATERVOORZIENING, 1978. Rapport inzake een proefbemaling ten behoeve van de sluis DE in de Zuid-Willemsvaart.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1979. Water- en chloridebalans van de Schermerboezem. ICW nota 967.
- WERKGROEP PANHEEL I, 1979. Watervoorziening Waterschap de Aa.
- WIJNSMA, M., 1984. Afvoermetingen in het Zuidelijk Peelgebied. ICW nota nr 1545.
- ZEEUW, J.W. DE, 1966. Analyse van het afvoerverloop van gebieden met hoofdzakelijk grondwaterafvoer.

OVERZICHT BIJLAGEN EN FIGUREN

Bijlage 1. Overzicht van de waterbalanstermen

- Fig. 1. Lokatiekaart
- Fig. 2. Schematische weergave van de opbouw van de ondergrond
- Fig. 3. Gemiddeld dwarsprofiel sloten klasse 1 t/m 5
- Fig. 4. Gebiedsindeling op grond van de hoogste voorkomende klasse
- Fig. 5. Relatie slootafstand en bodemdiepte
- Fig. 6. Schema van de grondwaterstroming in de ondergrond van het Zuidelijk Peelgebied
- Fig. 7. Hydrologische grootheden gebruikt bij de berekening van de grondwaterstroming
- Fig. 8. Schema van de bewerkingen
- Fig. 9. Indeling in deelgebieden en onderdelen
- Fig. 10. Indeling in afwateringseenheden
- Fig. 11. Debieten Peelkanalen
- Fig. 12. Gemiddelde debieten oppervlaktewater in $l.sec^{-1}$ (april '82 - april '83)
- Fig. 13. Grondwateronttrekkingen en lozingen
- Fig. 14. Berekening van de grondwaterstroming in onderdeel A1 (augustus '82)
- Fig. 15. Isohypsenkaart van het 1e watervoerende pakket (april '82)
- Fig. 16. Isohypsenkaart van het 1e watervoerende pakket (augustus '82)
- Fig. 17. kD-waardenkaart van het 1e watervoerende pakket
- Fig. 18. Ondergrondse debieten
- Fig. 19. Aangepaste kD-waardenkaart van het 1e watervoerend pakket
- Fig. 20. Het stijghoogteverloop van het grondwater in een profieldoorsnede in het 1e watervoerend pakket
- Fig. 21. De c_1 -waarde van de 1e scheidende laag in dagen
- Fig. 22. Voorkomen van leem en veen in de Nuenengroep
- Fig. 23. Stijghoogteverschillenkaart (freatisch water en de stijghoogte van het grondwater in het 1e watervoerend pakket; augustus '82)
- Fig. 24. Isohypsenkaart freatisch water (augustus '82)
- Fig. 25. De c_0 -waarde van het afdekkend pakket in dagen
- Fig. 26 en 27. Relatie tussen oppervlaktewaterafvoer en gemiddelde grondwaterstand voor een aantal eenheden
- Fig. 28. De relatie tussen de drainageweerstand en de gemiddelde grondwaterstand

Fig. 29. Relaties voor $v_{zf}(h_o^*)$

Fig. 30. De invloed van peilbeheersing op de $v_{zf}(h_o^*)$ relatie voor eenheid 5

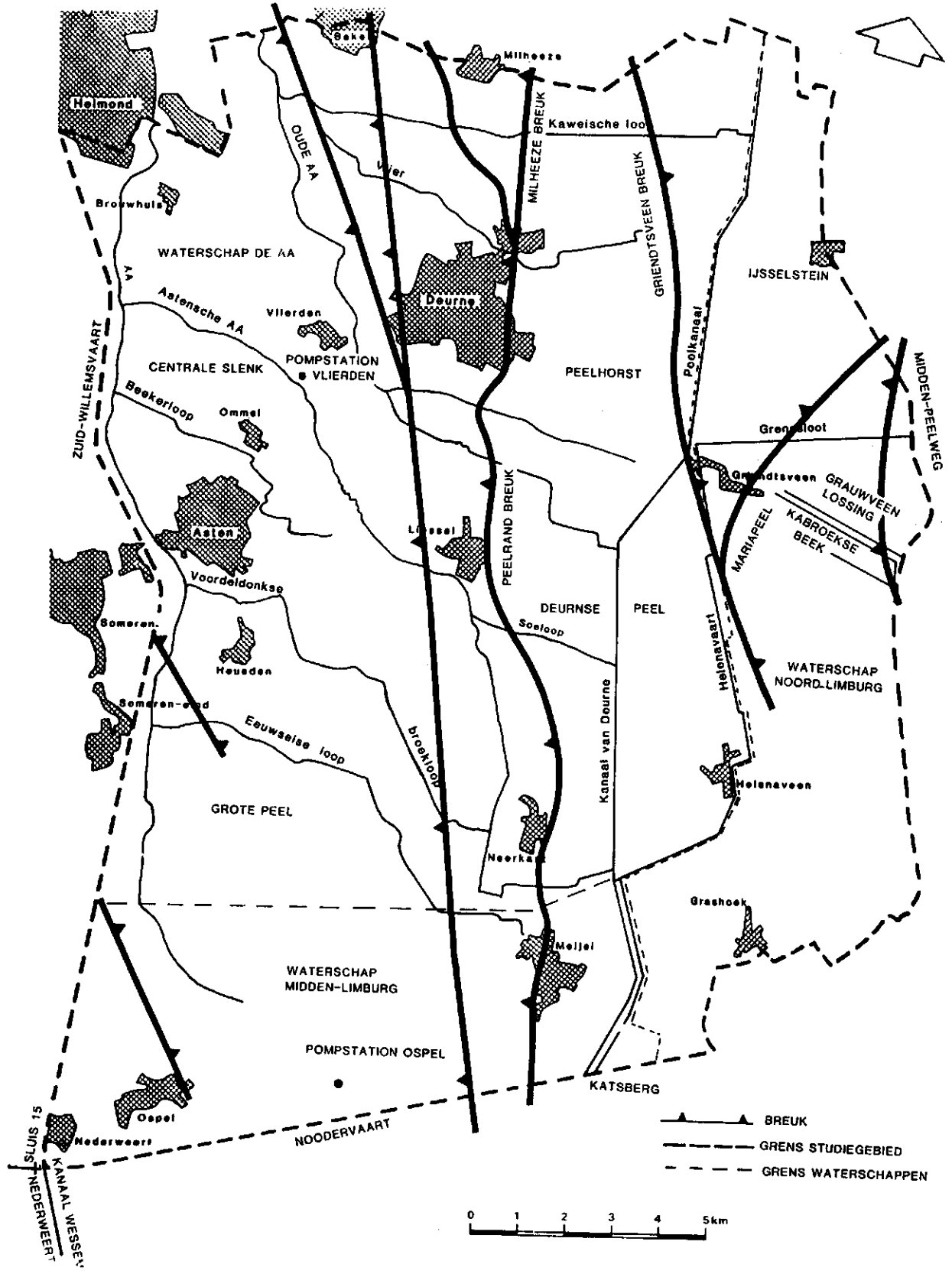
Fig. 31. Infiltratie-intensiteit in eenheid 44 in afhankelijkheid van beekpeil, grondwaterstand en drainageweerstand

Bijlage 1. Overzicht van de waterbalansenstermen

Gebied	Oppervlakt		Oppervlaktwater		Lozingen		Grondvat:			Grondwateronttrekking			Berging		Neerslagoverschot en verdamping				
	F ha	afvoer 1. sec-1	aanvoer 1. sec-1	A mm.j-1	RZI m ³ .j-1	industrie m ³ .j-1	HAW mm.j-1	afvoer m ³ .d-1	aanvoer m ³ .d-1	I _g mm.j-1	drinkwater m ³ .j-1	industrie m ³ .j-1	Q _v mm.j-1	B mm.j-1	R mm.j-1	R-E ₁ mm.j-1	E ₂ mm.j-1	E ₂ (LW) mm.j-1	V _{z1} mm.j-1
Totaal	34 142	3967,0	1122,3	262,8	3 197 366	3 919 035	20,8	22 979	6 450	17,7	3 516 215	3 492 550	20,5	32,0	752	312,2	439,8	455	- 5
A	9 262	879,9	132,2	251,2	-	2 188 750	23,6	16 525	8 137	33,1	-	2 273 250	24,5	36,0	730	321,2	408,8	430	-
A1	3 273	423,7	43,9	365,9	-	-	-	1 125	7 487	-70,9	-	-	-	35,0	714	330,0	384,0	384	+ 6
A2	1 822	208,3	124,7	144,7	-	-	-	6 263	200	121,5	-	-	-	35,0	714	301,2	412,8	413	-
A3	2 356	624,0	423,7	268,1	-	2 188 750	92,9	3 700	2 900	12,4	-	2 273 250	96,5	36,0	714	320,1	393,9	471	-
A4	1 811	860,9	786,8	129,0	-	-	-	12 525	4 638	159,0	-	-	-	38,0	714	326,0	451,0	-	-
B	13 068	2001,1	645,3	327,2	2 757 366	1 641 996	33,7	8 313	23 907	-43,6	3 516 215	1 219 300	36,2	29,0	754	315,1	438,9	451	-
B1	3 894	692,8	328,4	295,1	-	-	-	4 025	2 889	10,6	-	-	-	26,0	780	331,7	448,3	457	-
B2	2 971	307,4	156,3	160,4	-	-	-	4 558	7 380	-34,7	-	-	-	32,0	767	157,7	609,3	609	- 119
B3	2 570	484,8	194,9	355,7	-	-	-	713	6 845	-87,1	-	-	-	25,0	738	293,6	444,4	444	-
B4	3 633	2001,1	1450,7	477,8	2 757 366	1 641 996	121,1	7 600	15 375	-78,1	3 516 215	1 219 300	130,3	31,0	732	439,9	292,1	318	+98
C	3 855	138,7	10,0	105,3	440 000	88 289	13,7	10 613	-	100,5	-	-	-	39,0	761	231,1	529,9	558	-40
C1	1 254	46,0	-	115,7	-	-	-	4 880	3 545	38,9	-	-	-	32,0	754	186,6	567,4	569	-77
C2	2 601	92,7	10,0	100,3	440 000	88 289	20,3	9 278	-	130,2	-	-	-	45,0	767	255,2	511,8	552	-22
D	2 956	736,5	508,3	263,5	-	-	-	9 794	2 500	90,1	-	-	-	26,0	805	359,6	445,4	447	-
E	5 001	1267,2	874,0	247,9	-	-	-	5 829	-	42,5	-	-	-	26,0	754	316,4	437,6	447	-
E1	646	84,8	12,0	355,4	-	-	-	350	825	-26,8	-	-	-	26,0	759	354,6	404,4	455	-
E2	2 324	187,6	-	254,6	-	-	-	1 800	-	28,3	-	-	-	26,0	759	308,9	450,1	437	-
E3	1 191	136,7	18,1	312,4	-	-	-	1 310	910	12,3	-	-	-	26,0	749	350,7	398,3	398	-
E4	840	18,1	4,0	52,9	-	-	-	4 104	-	178,3	-	-	-	26,0	749	257,2	491,8	492	- 2

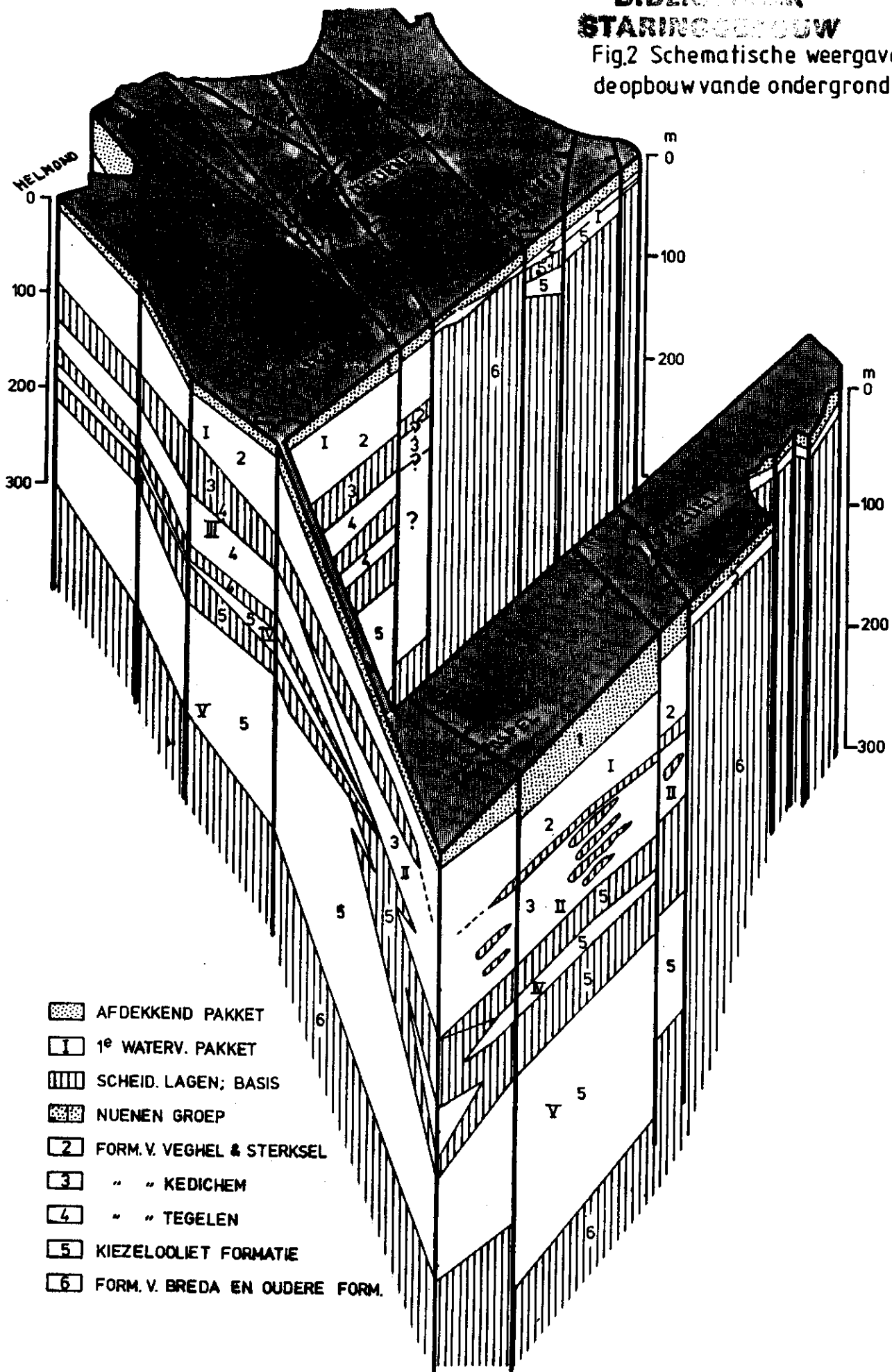
BIBLIOTHEEK STARINGOBSERW

FIG 1 LOKATIE KAART



**BIBLIOTHEEK
STARINGENBOUW**

Fig.2 Schematische weergave van de opbouw van de ondergrond



- AFDEKKEND PAKKET
- I 1^e WATERV. PAKKET
- SCHEID. LAGEN; BASIS
- NUENEN GROEP
- 2 FORM. V. VEGHEL & STERKSEL
- 3 " " KEDICHEM
- 4 " " TEGELEN
- 5 KIEZELOOLIET FORMATIE
- 6 FORM. V. BREDA EN OUDERE FORM.

Fig.3 GEMIDDELD DWARSPROFIEL SLOTEN KLASSE 1 T/M 5

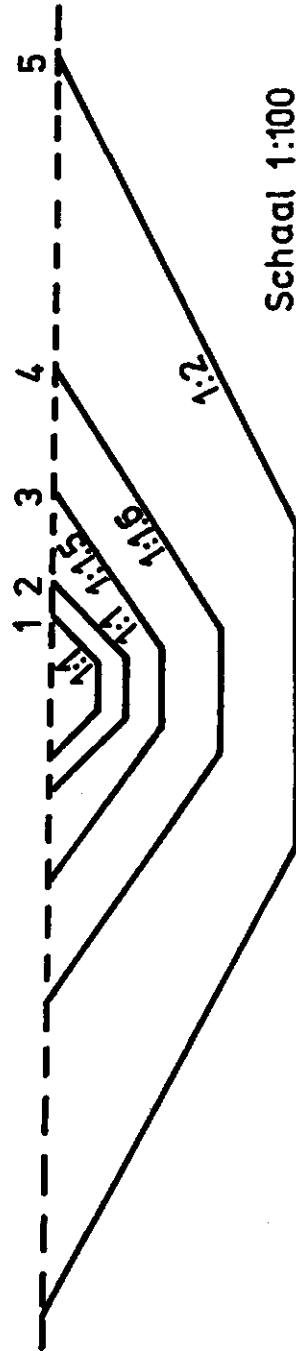


Fig 4 Gebiedsindeling op grond van de hoogste
voorkomende klasse

Gebied A — klasse 5
Gebied B — klasse 4
Gebied C — klasse 3

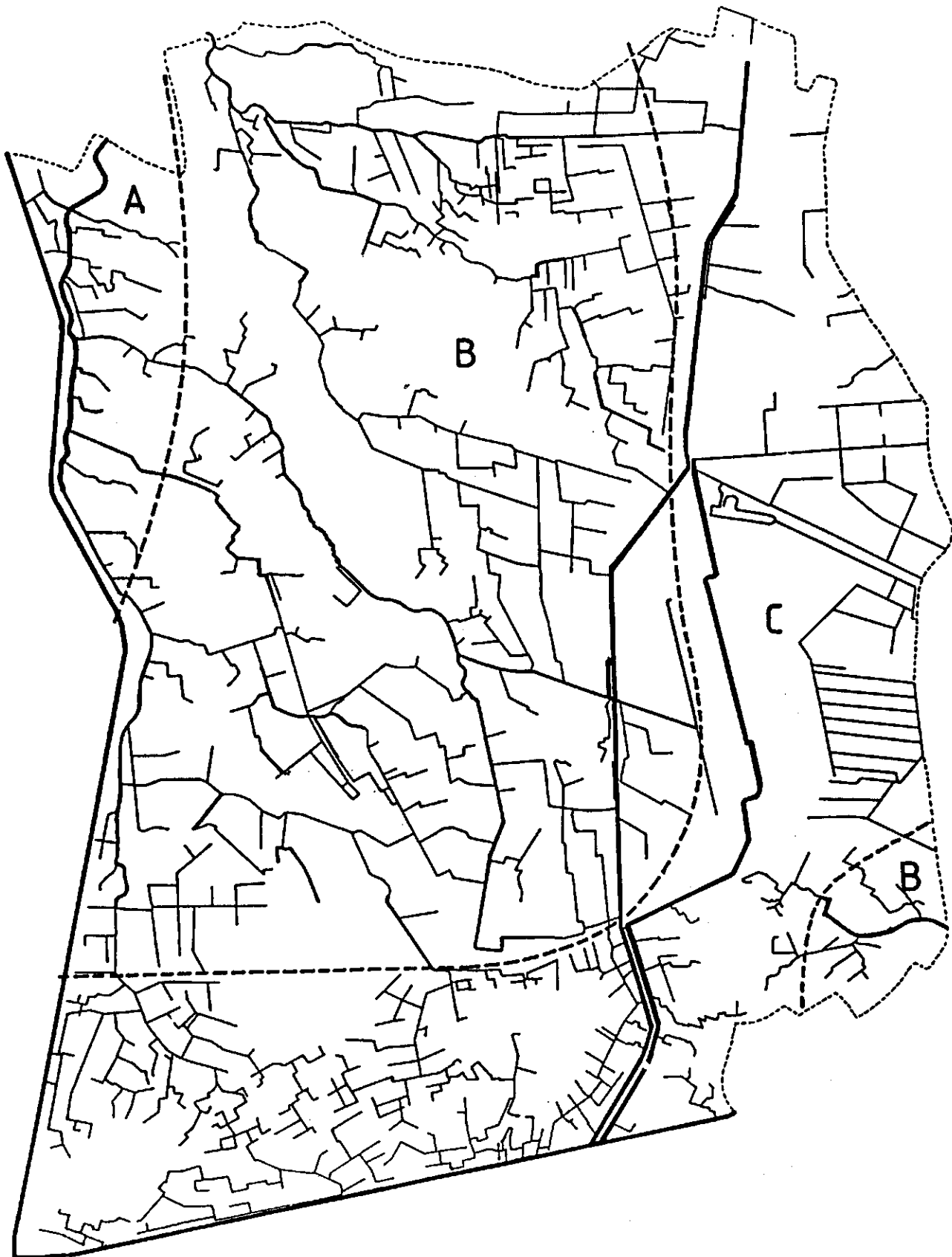
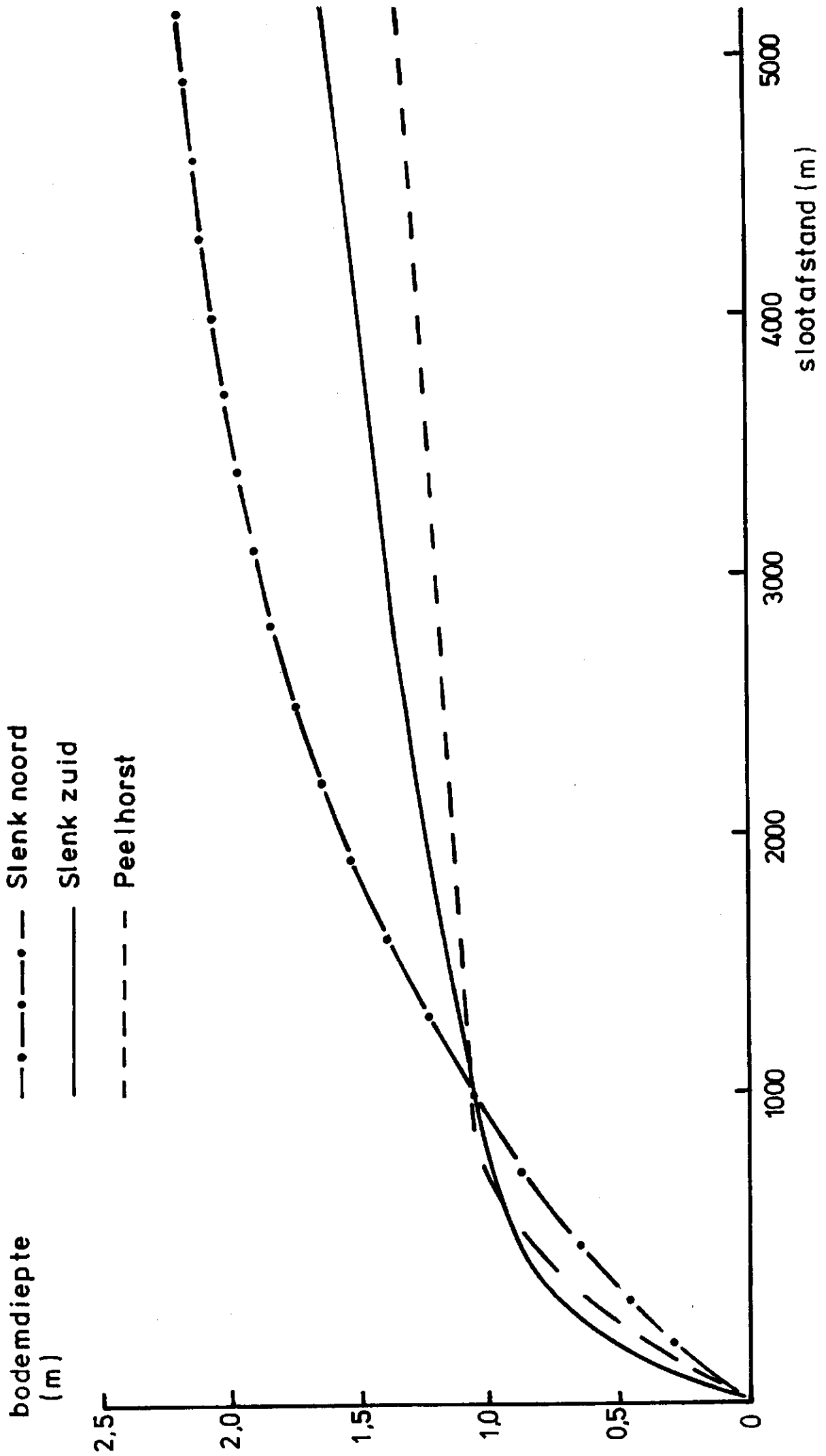


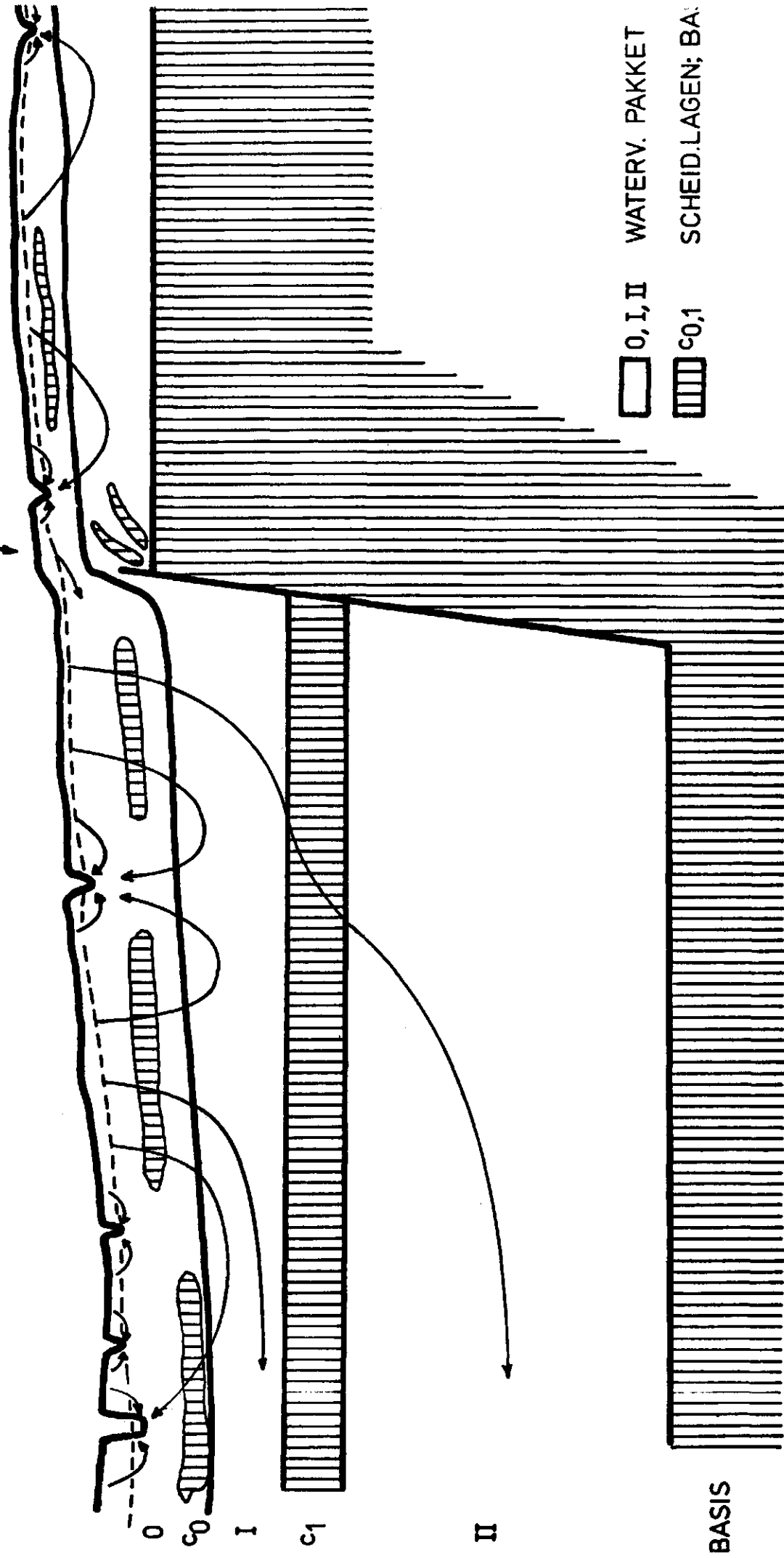
Fig 5 De relatie tussen bodemdikte en effectieve slootafstand



S L E N K

PEELRANDBREUK

PEELHORST



BIBLIOTHEEK
STABINGEBOUW

Fig.6 SCHEMA VAN DE GRONDWATERSTROMING IN DE ONDERGROND VAN HET ZUIDELIJK PEELGEBIED

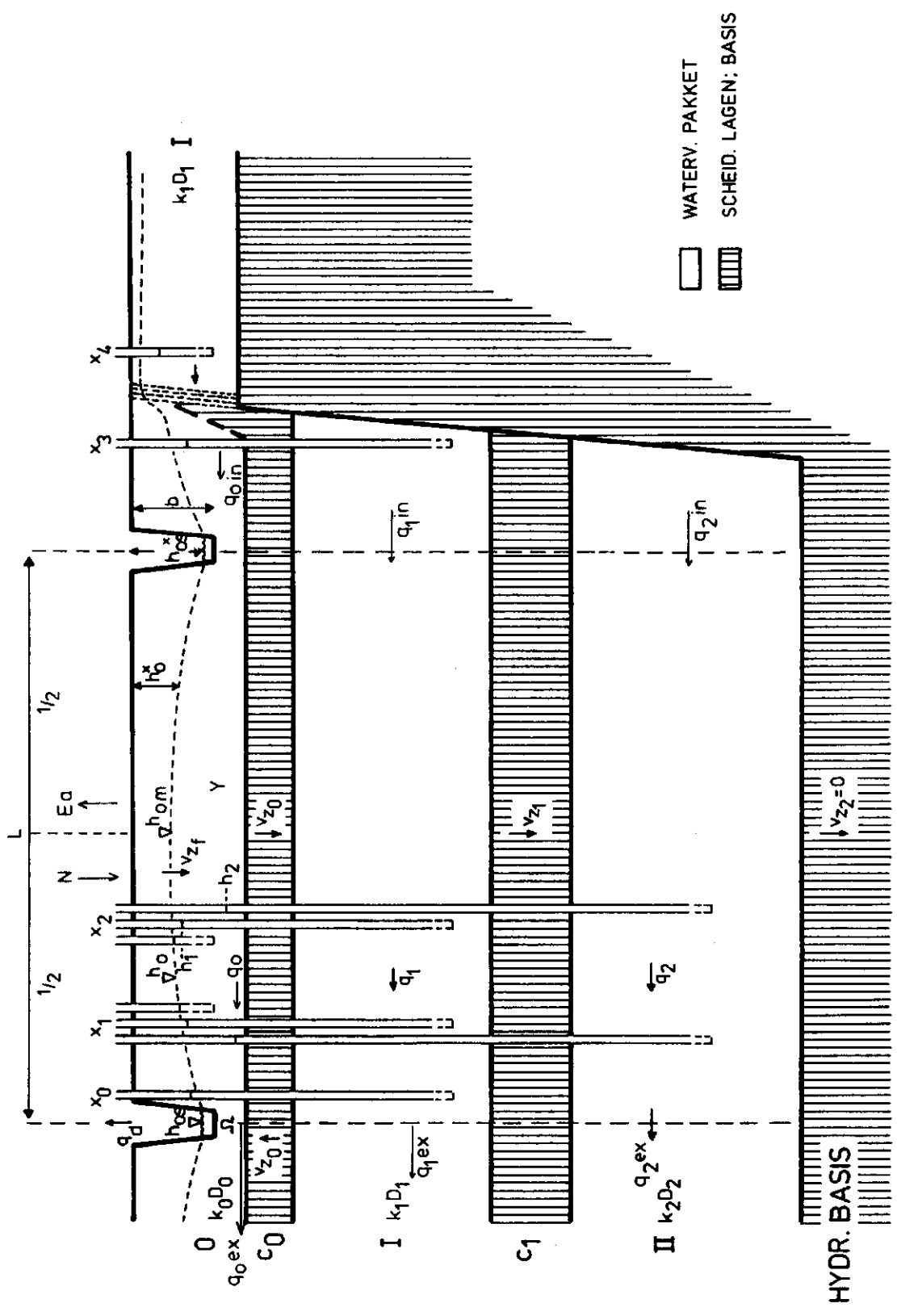


FIG.7 HYDROLOGISCHE GROOTHEDEN GEBRUIKT BIJ DE BEREKENING VAN DE GRONDWATERSTROMING

Fig 8 Schema van de bewerkingen

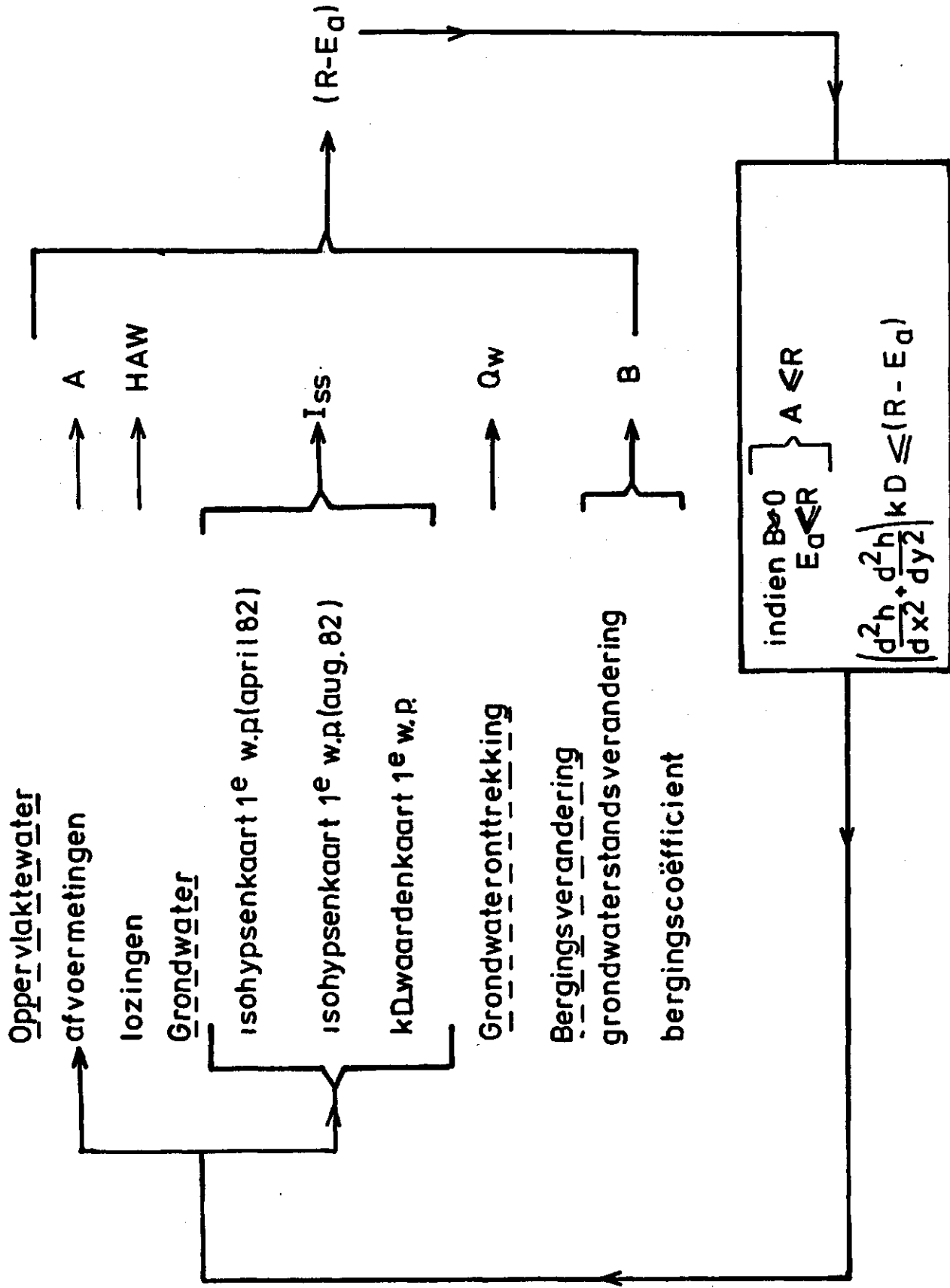


Fig.9 Indeling indeelgebieden enonderdelen

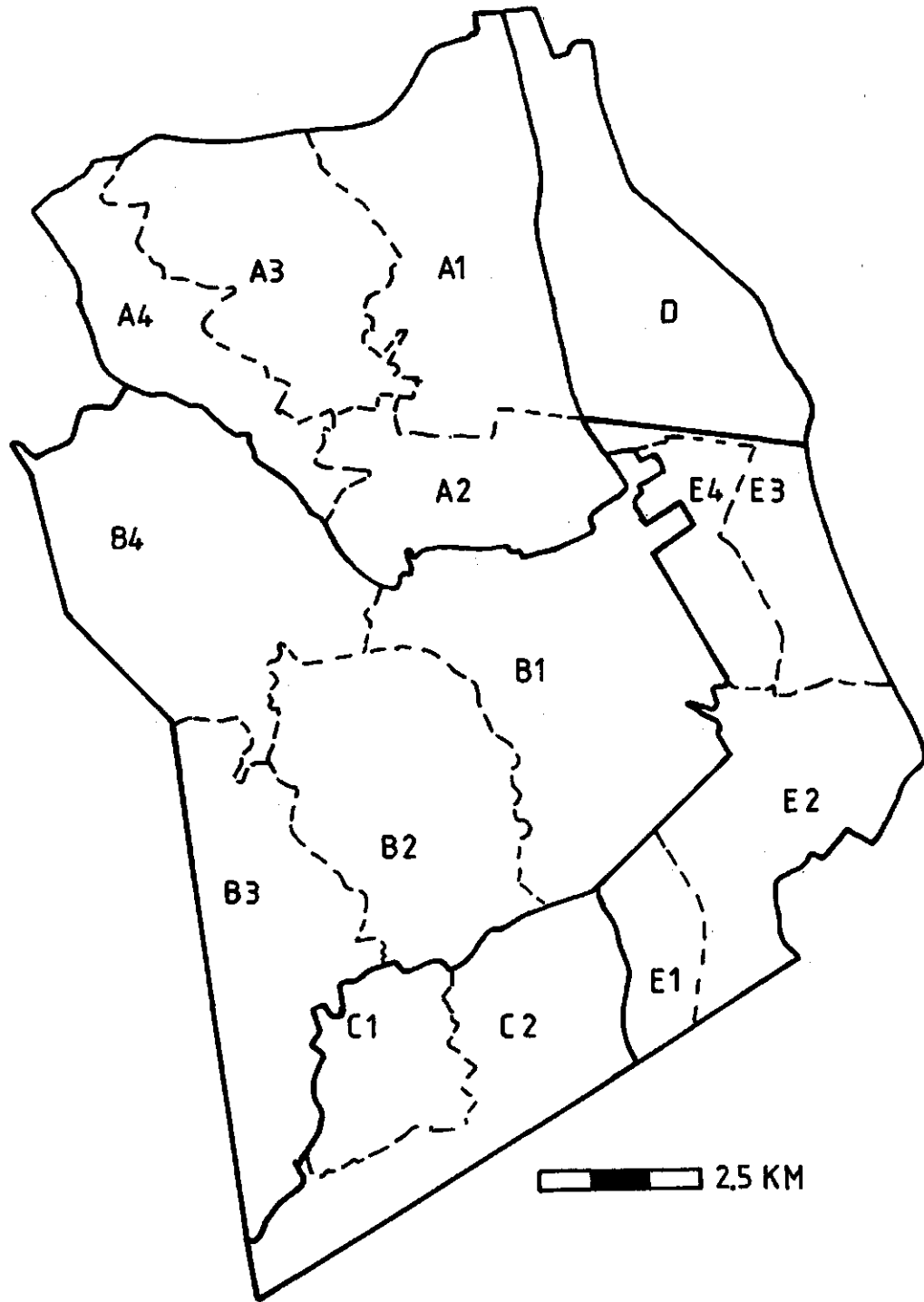


Fig.10 Indeling in afwateringseenheden

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBIED

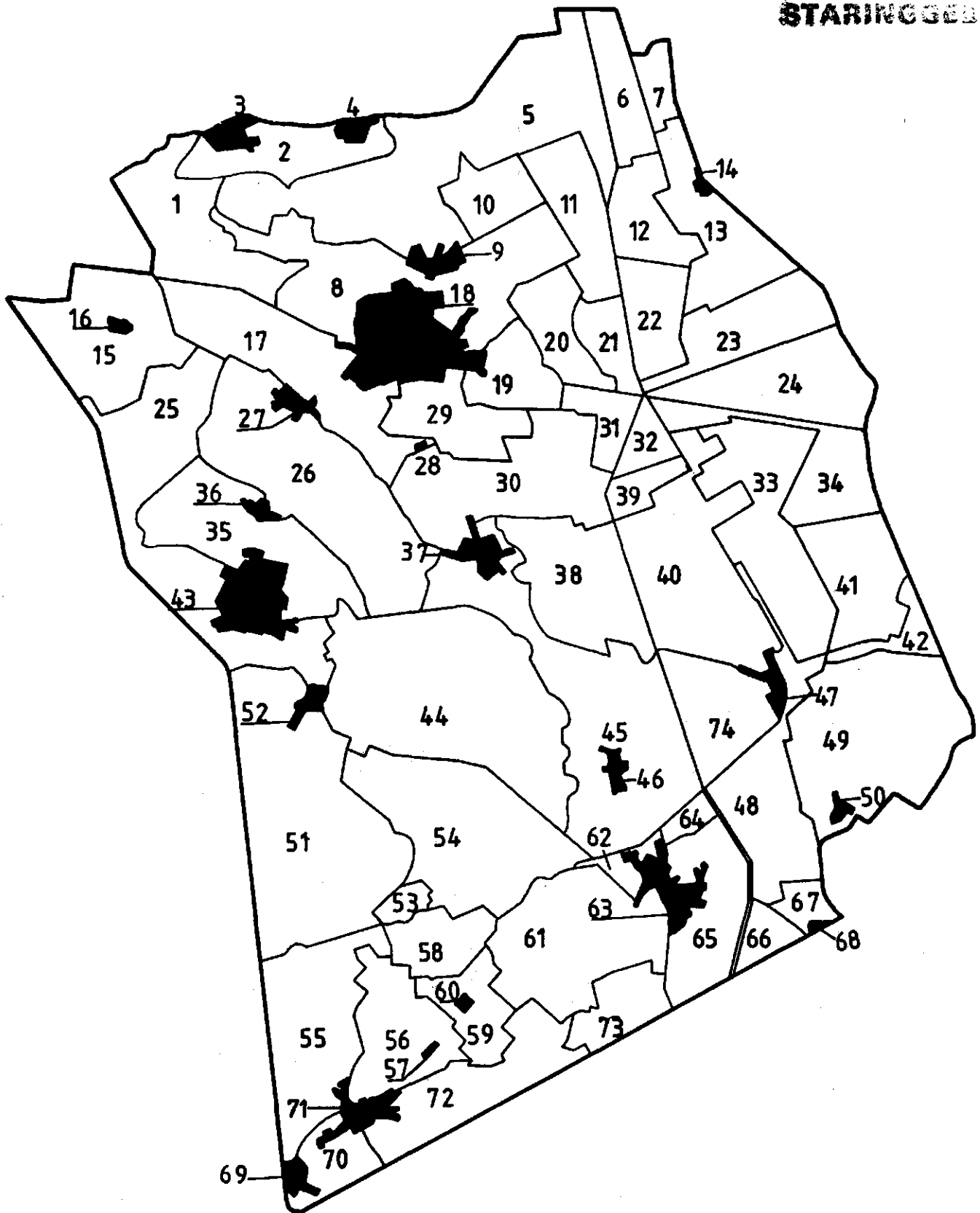
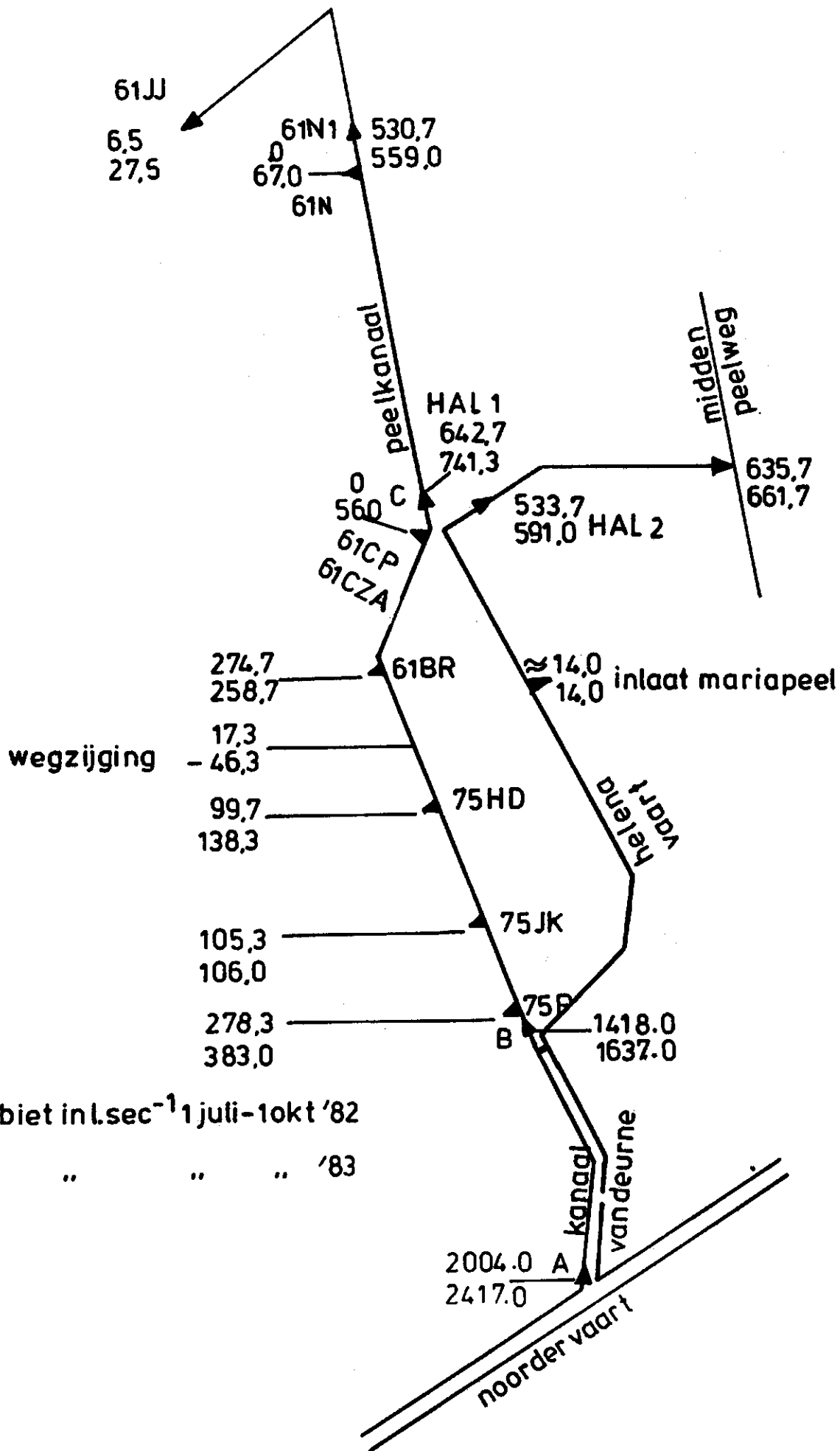


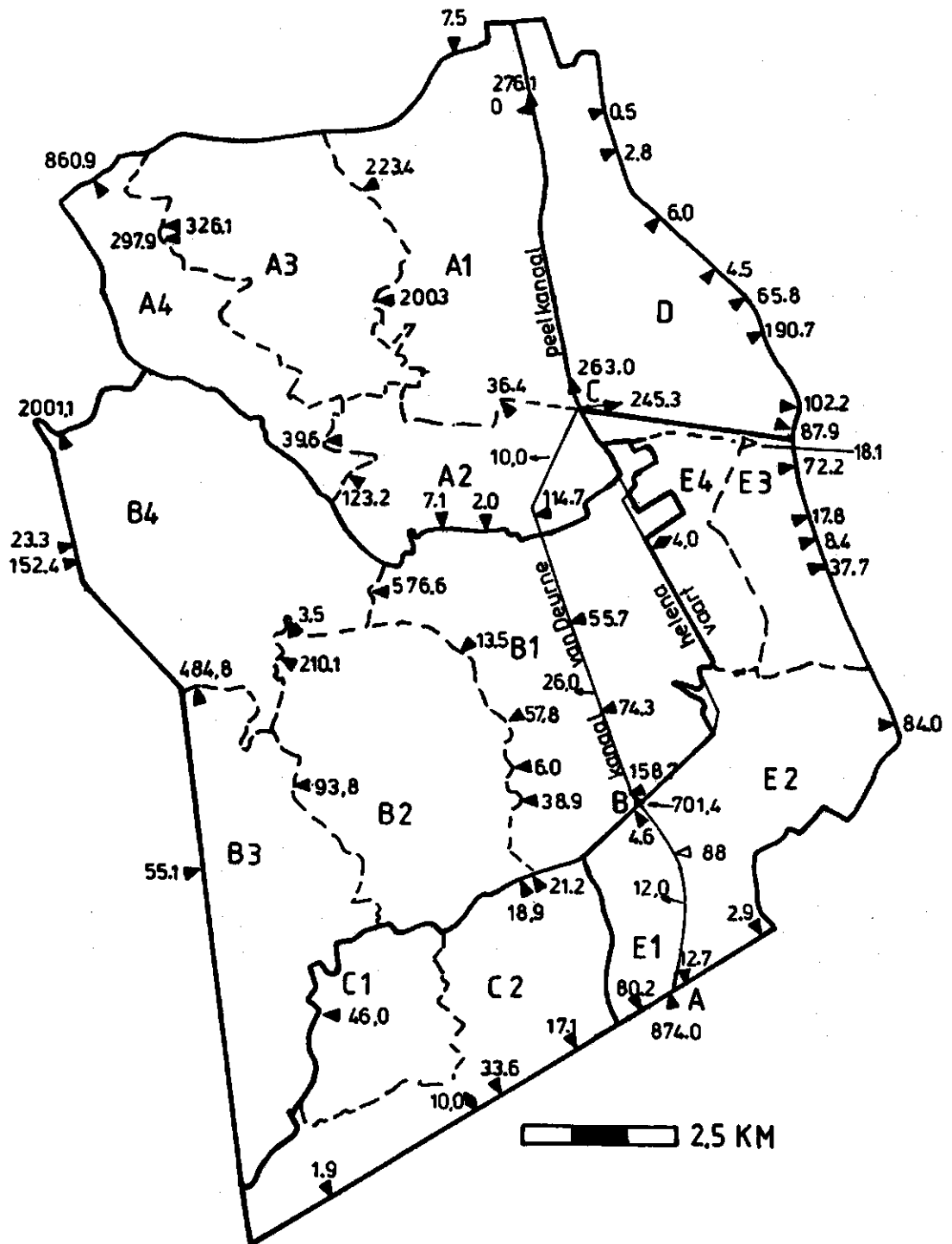
Fig.11 Debieten Peelkanalen



105,3 debiet in $l \cdot sec^{-1}$ 1 juli-1 okt '82

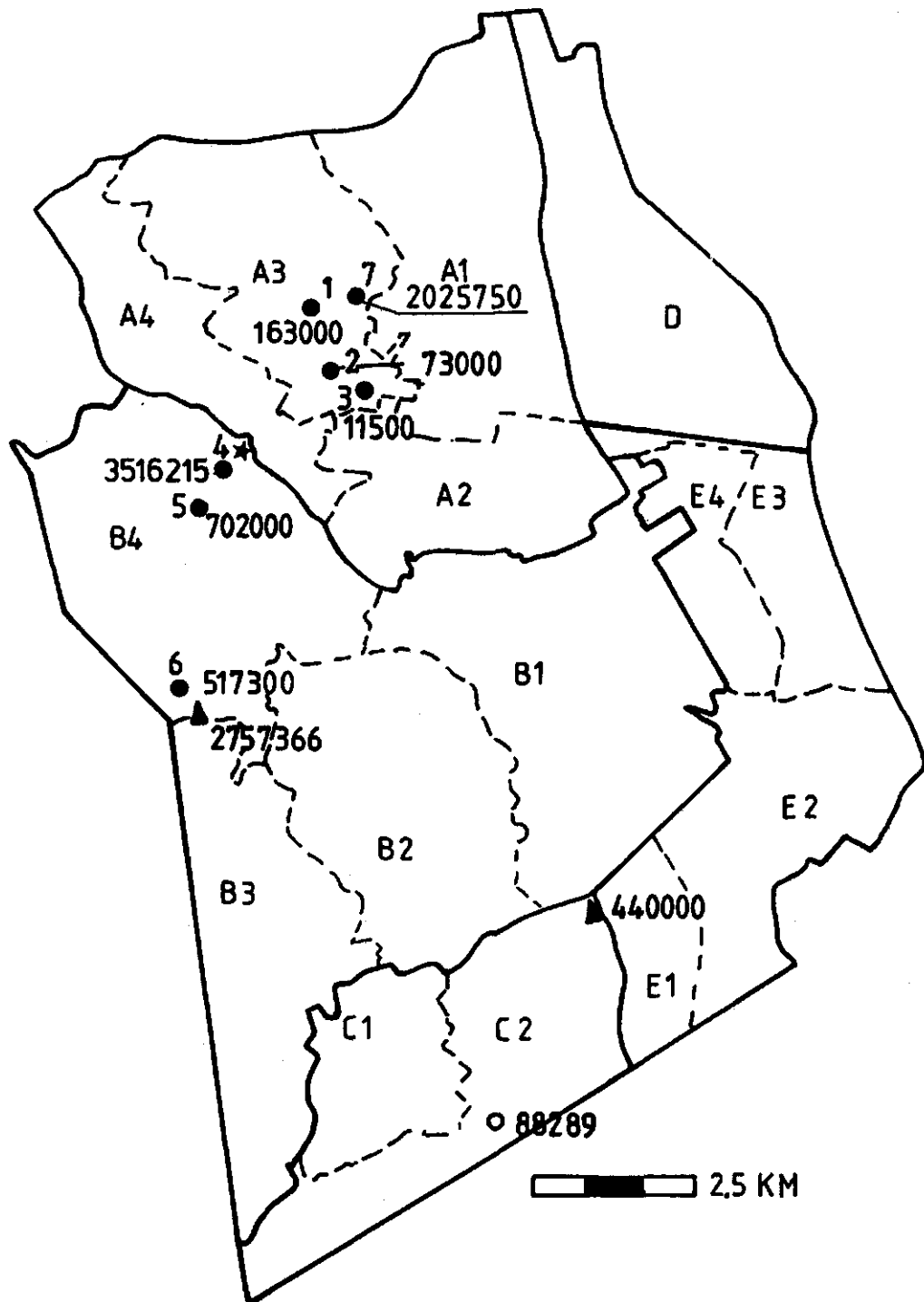
106,0 '83

**Fig.12 Gemiddelde debieten oppervlaktewater in L.sec -1
(april '82 - april '83)**



- ◄ gemeten debiet
- ◁ berekend debiet
- ◆ getaxeed debiet
- wegzijing kanaal
- ◁ 88 heeft betrekking op meerde punten

Fig.13 Grondwateronttrekkingen en lozingen



- grondwateronttrekking 1 watervoerende laag $m^3 \cdot j^{-1}$
- ▲ rioolzuivering lozing $m^3 \cdot j^{-1}$
- spoelwater lozing $m^3 \cdot j^{-1}$
- 4 ● pompstation Vlieden
- ★ afgeleverde hoeveelheid: $3093519 m^3$

Fig. 14. Berekening van de grondwaterstroming in onderdeel A1 (aug '82)

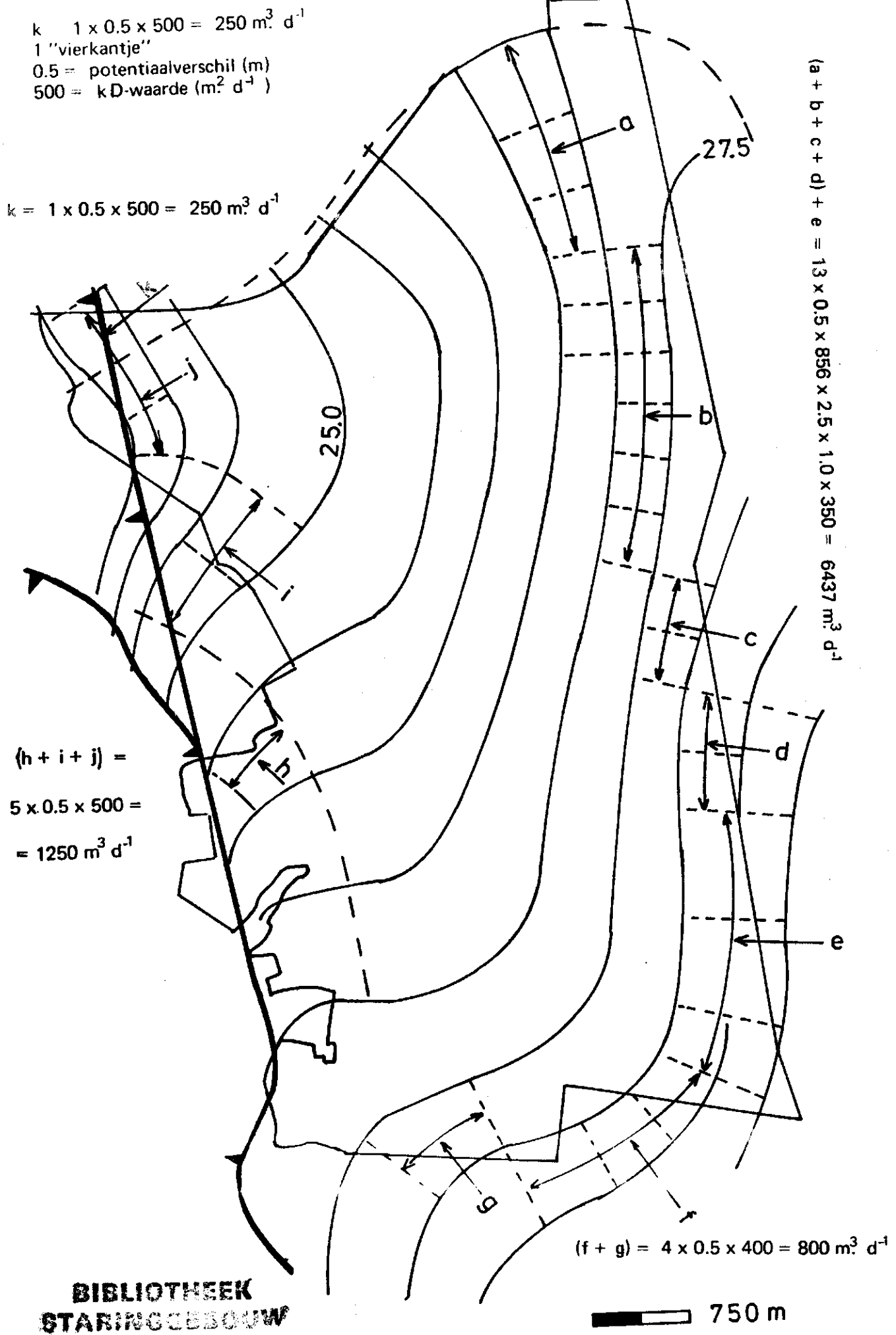
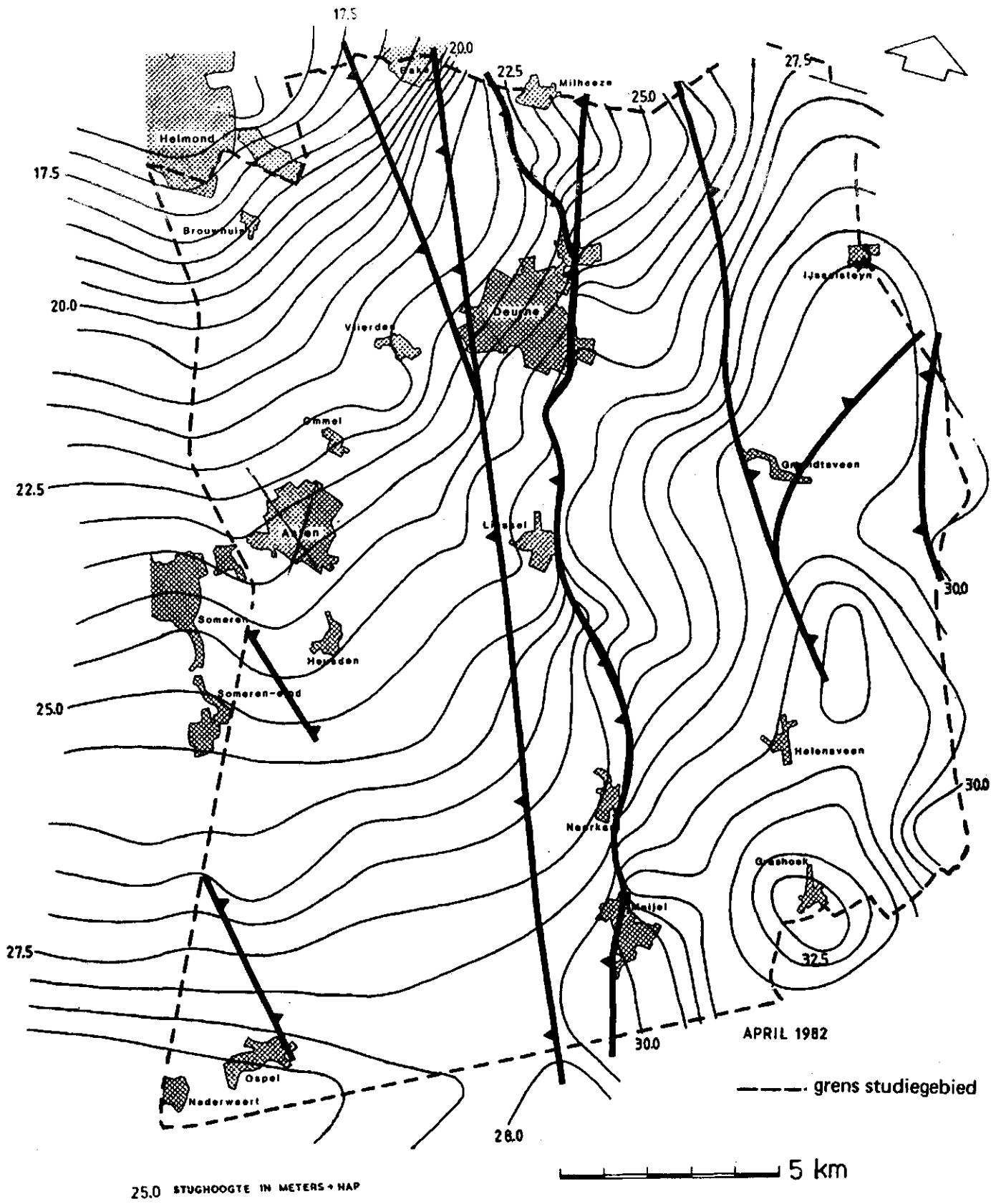
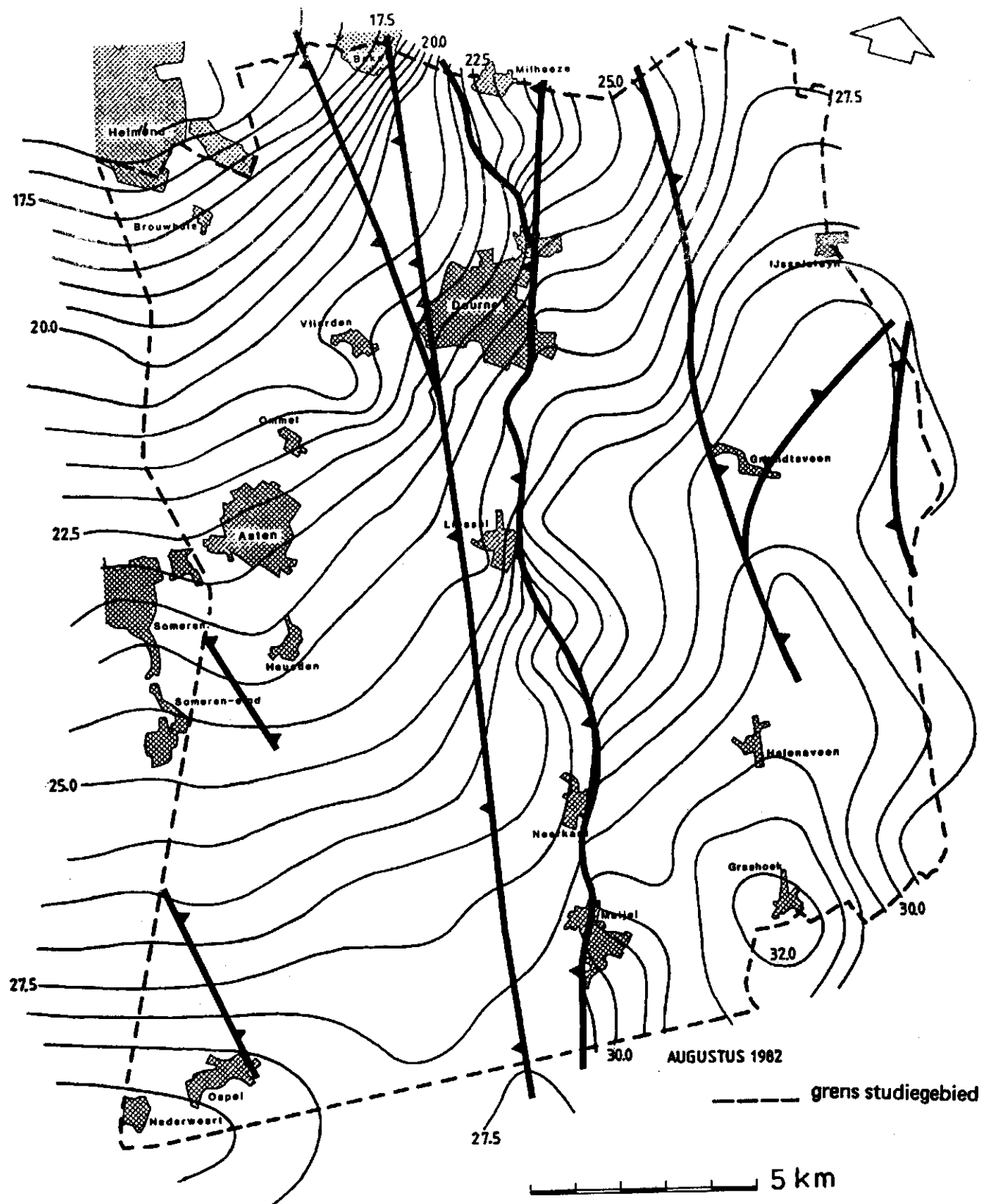


Fig. 15. Isohypsenkaart van het 1^e watervoerende pakket



BIBLIOTHEEK
STARIJNGEBOUW

Fig. 16. Isohyphenkaart van het 1^e watervoerende pakket



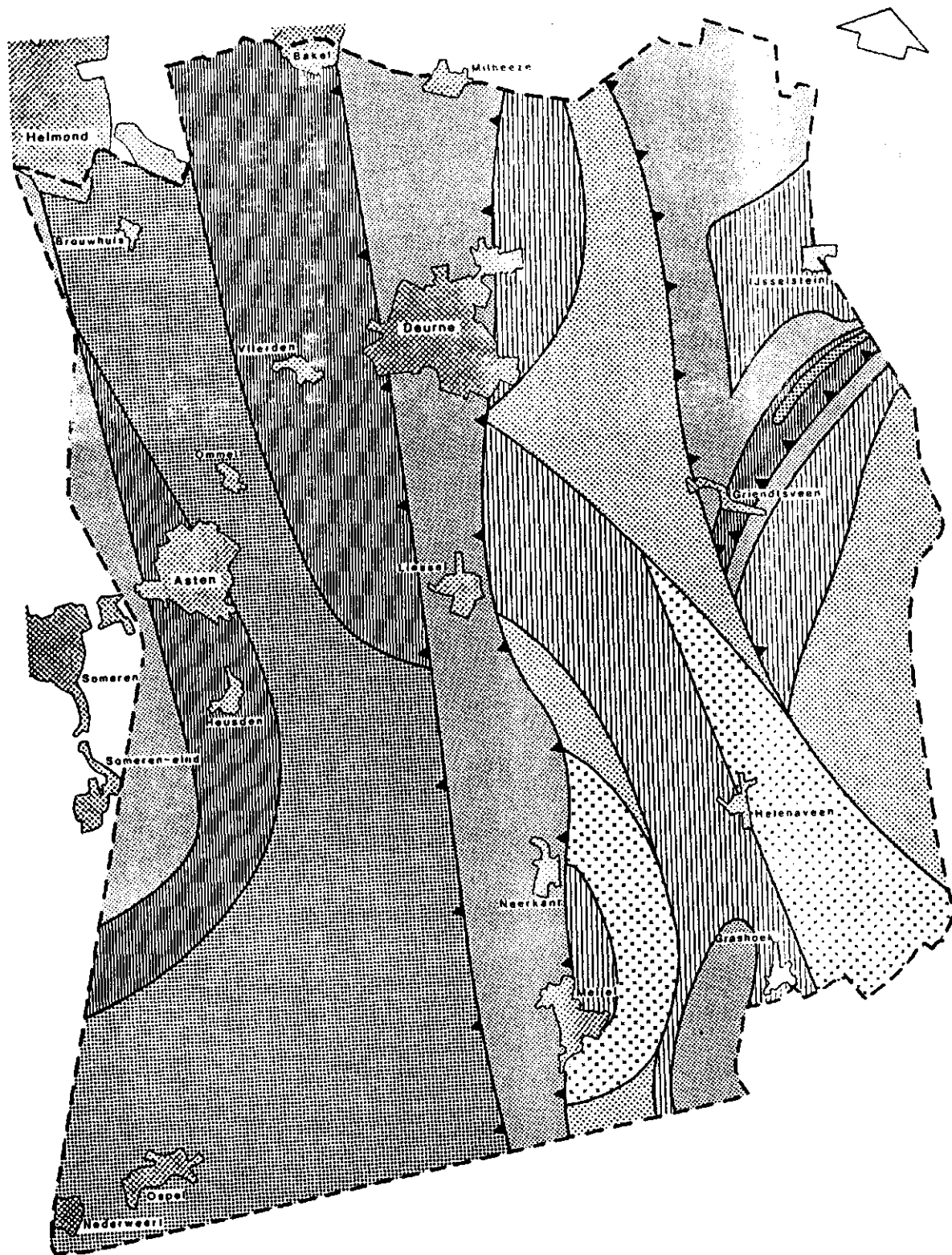
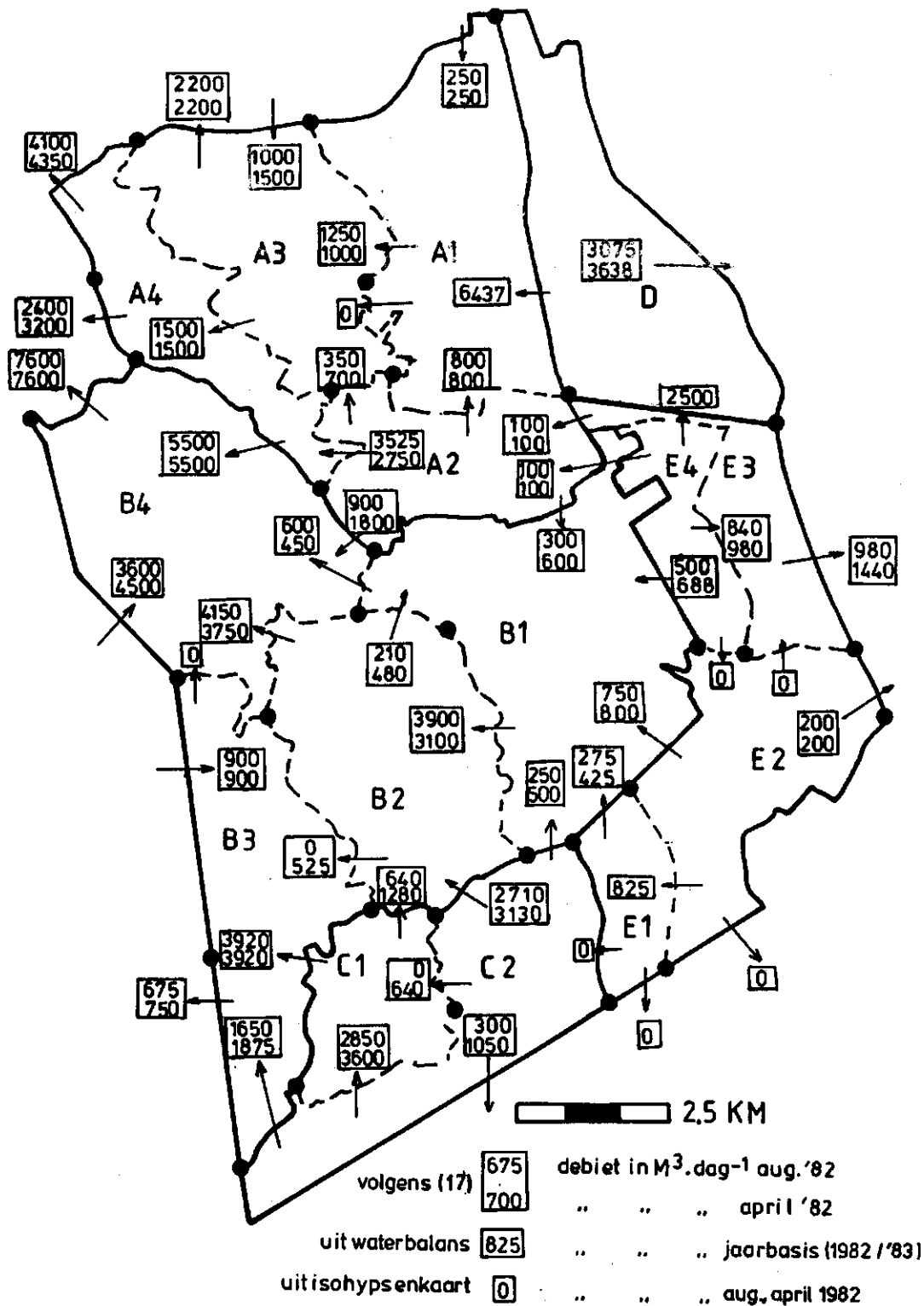


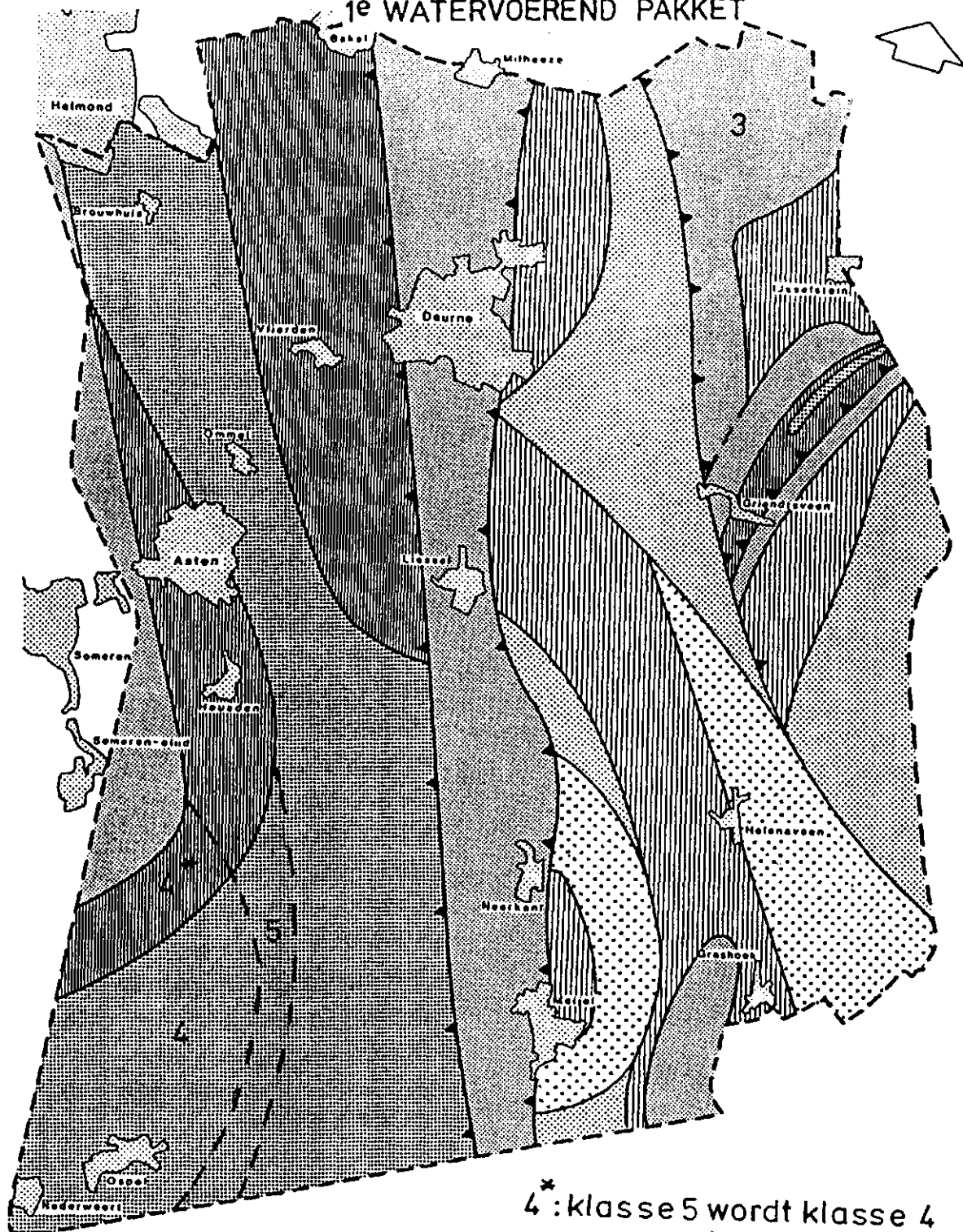
FIG17 KD-WAARDENKAART VAN HET
1^e WATERVOEREND PAKKET

Fig 18 Ondergrondse debieten



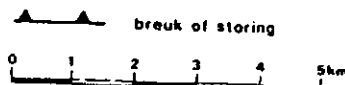
AANGEPASTE KD-WAARDENKAART VAN HET
1^e WATERVOEREND PAKKET

FIG 19



* : klasse 5 wordt klasse 4
--- aanpassing KD - waarde

KD ($m^2 d^{-1}$)		KD ($m^2 d^{-1}$)	
1	0 - 250	4	1000 - 2000
2	250 - 500	5	2000 - 3000
3	500 - 1000	6	3000 - 5000



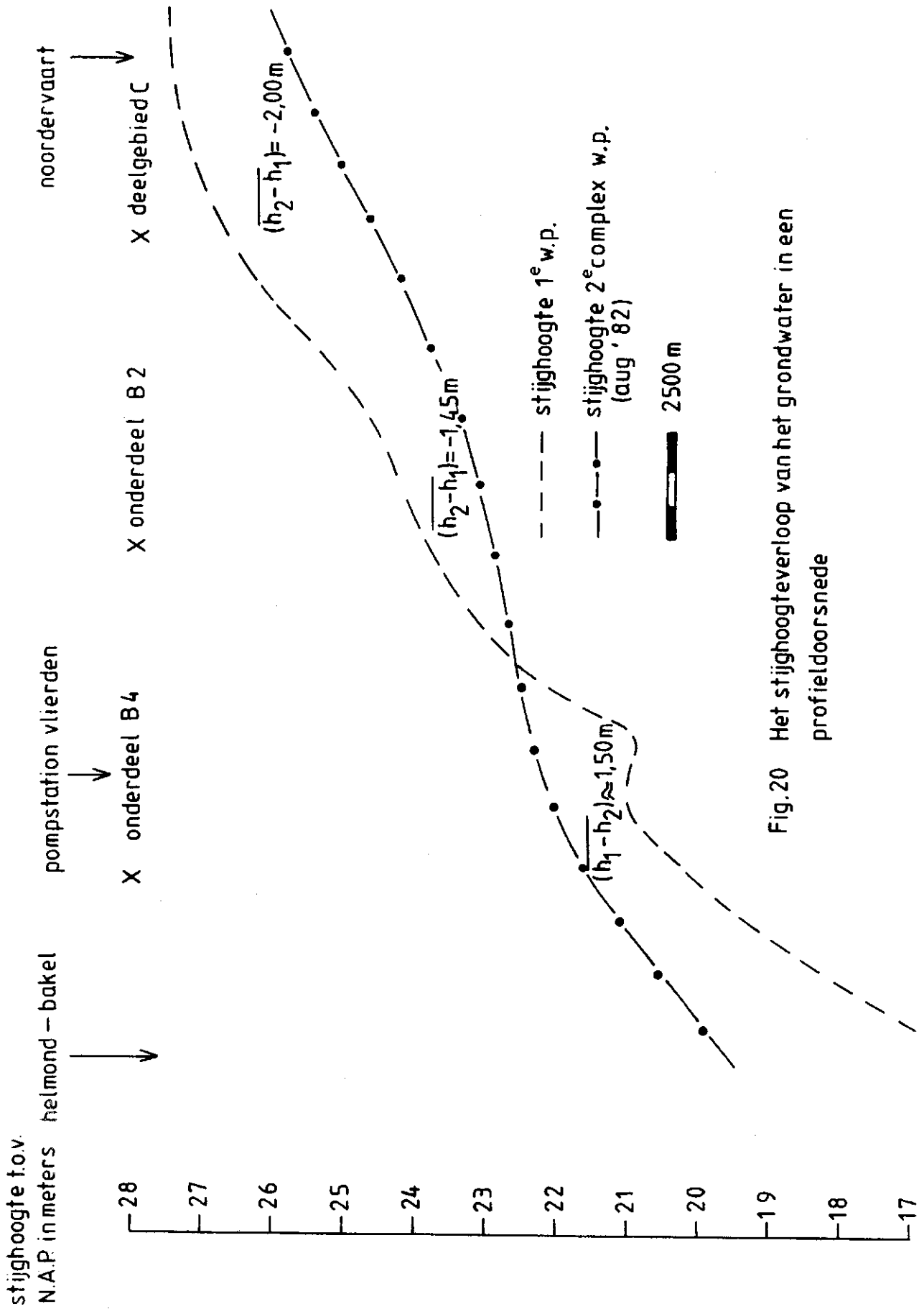


Fig.20 Het stijghoogteverloop van het grondwater in een profieldoorsnede

Fig. 2. De C_1 waarde van de scheidende laag in dagen.

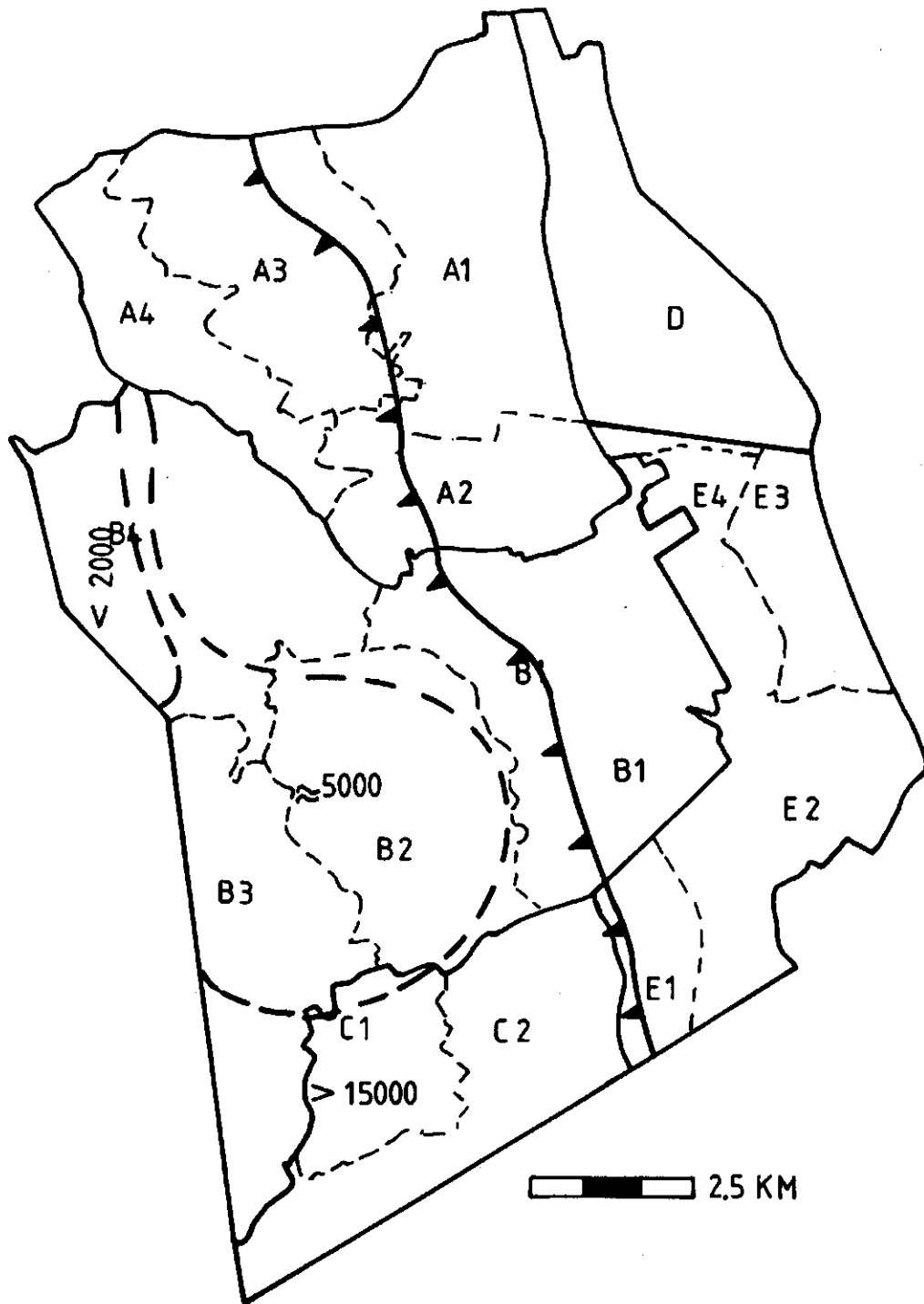
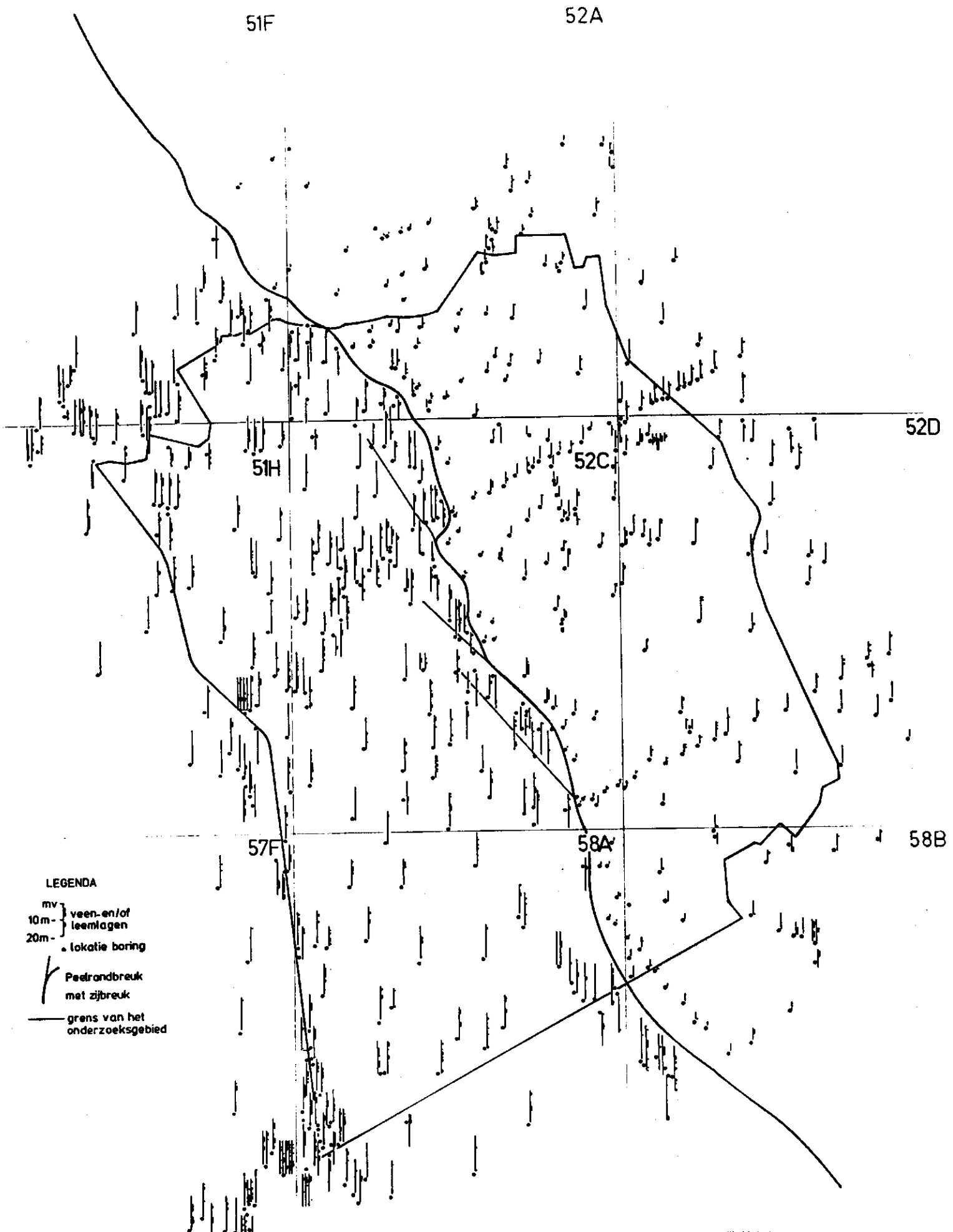
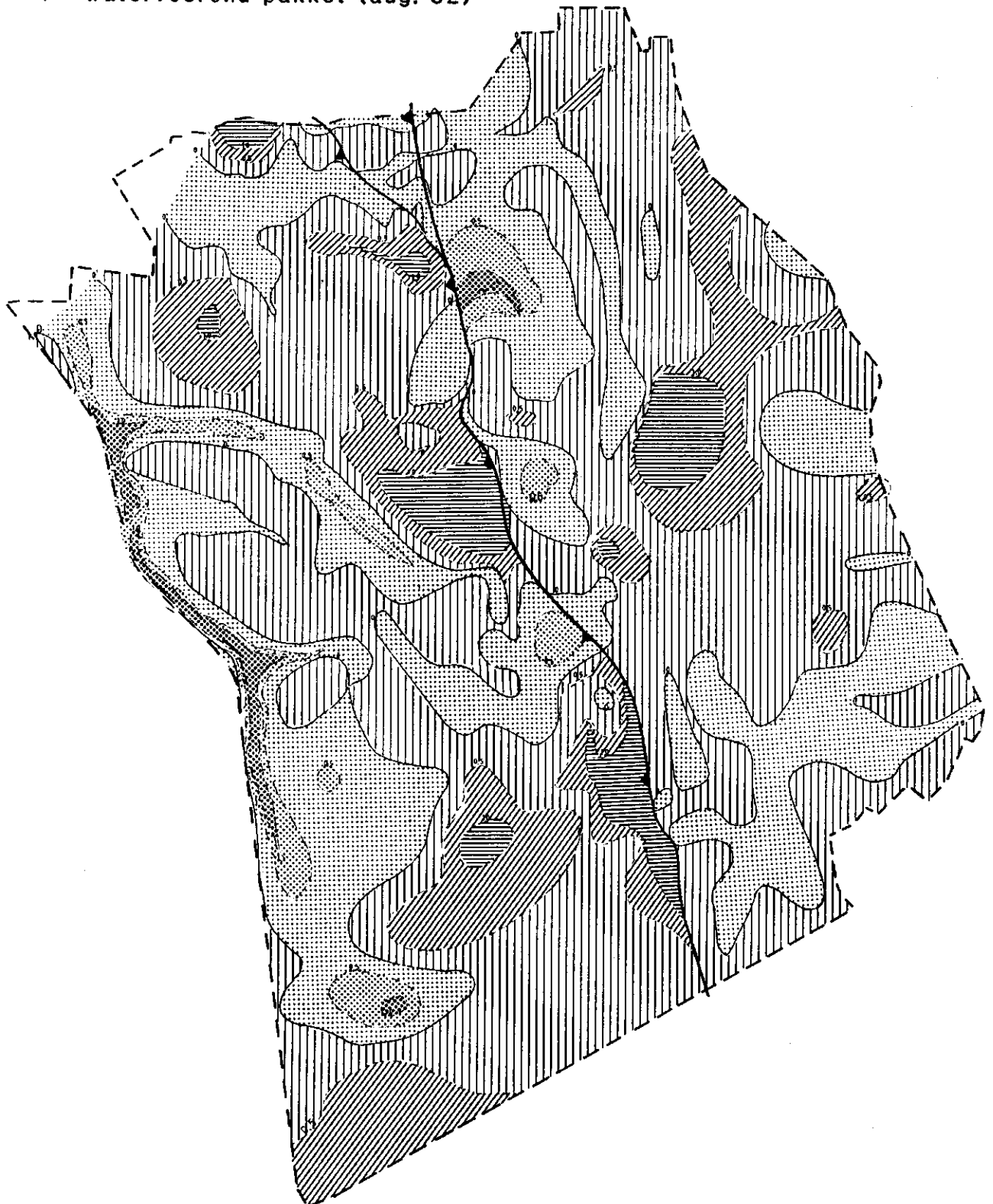





Fig. 22. Voorkomen van leem en veen in de Nuenengroep



Stijghoogteverschillen tussen het freatisch vlak en het
1^e watervoerend pakket (aug.'82)

Fig.23



kwel	
	0.0-0.5 m
	0.5-1.0 m
	>1.0 m




infiltratie	
	0.0-0.5 m
	0.5-1.0 m
	>1.0 m

Fig. 24. Isohypsenkaart freatisch water (aug ' 82)

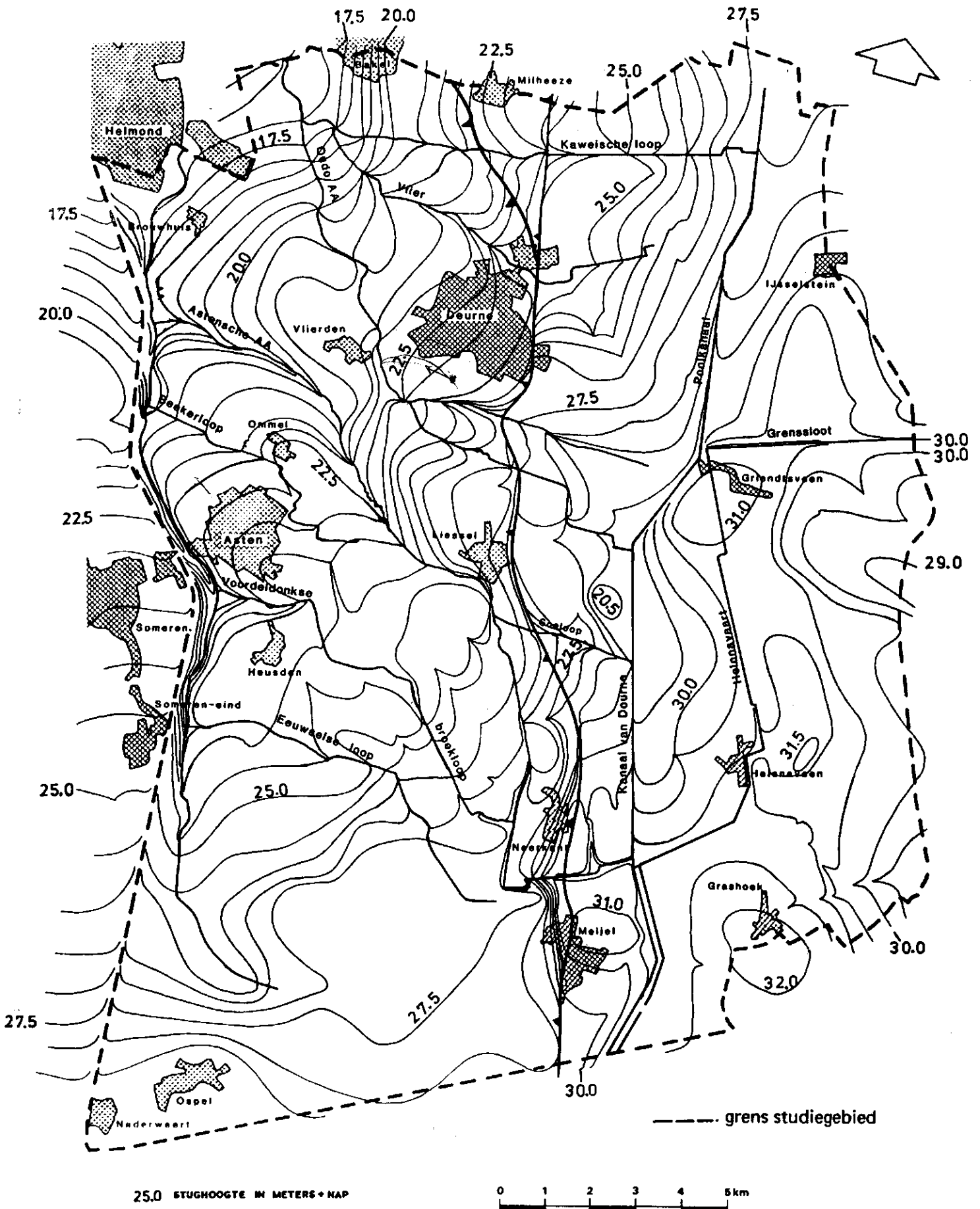
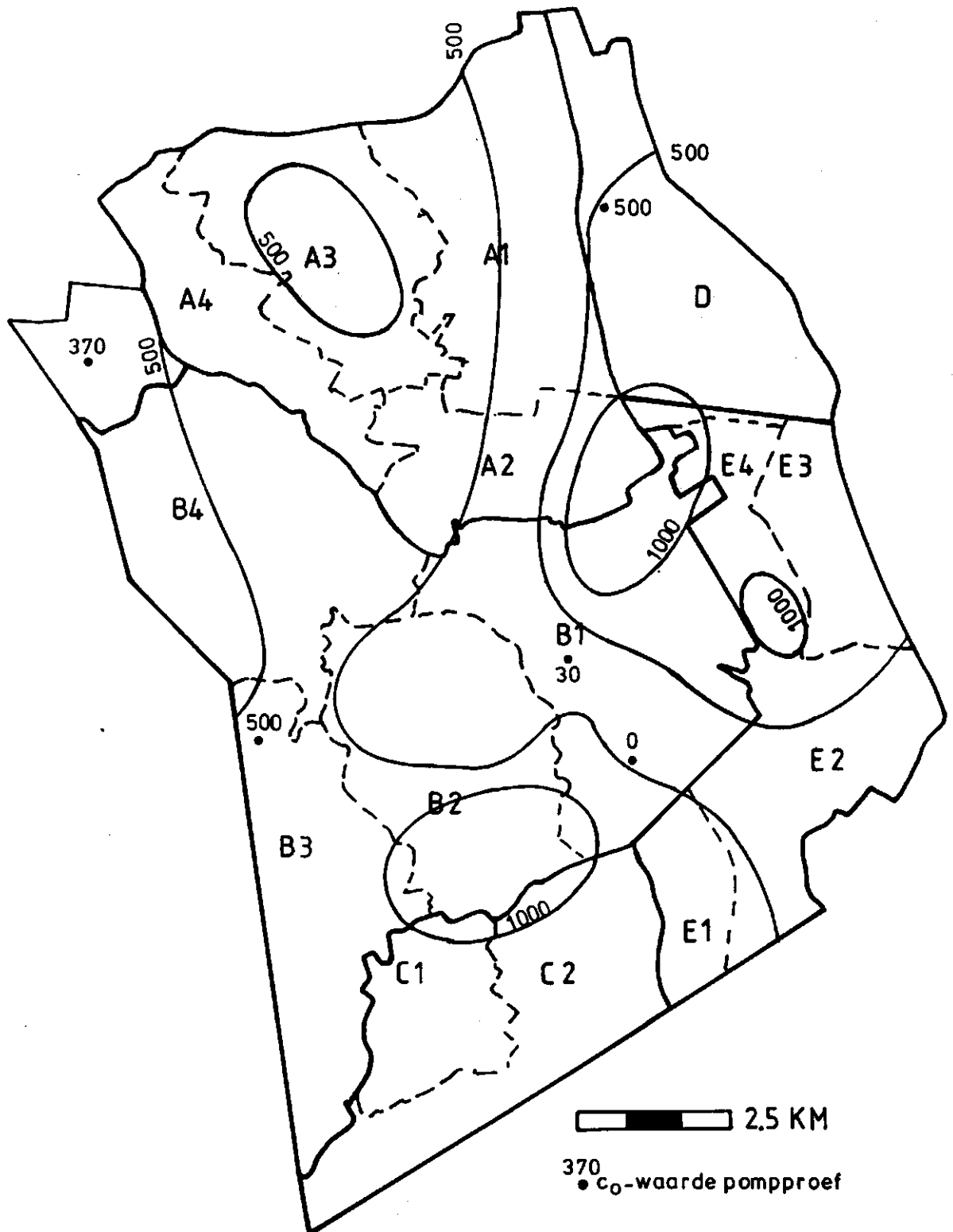


Fig 25 De c_0 -waarde van het atrekkend pakket



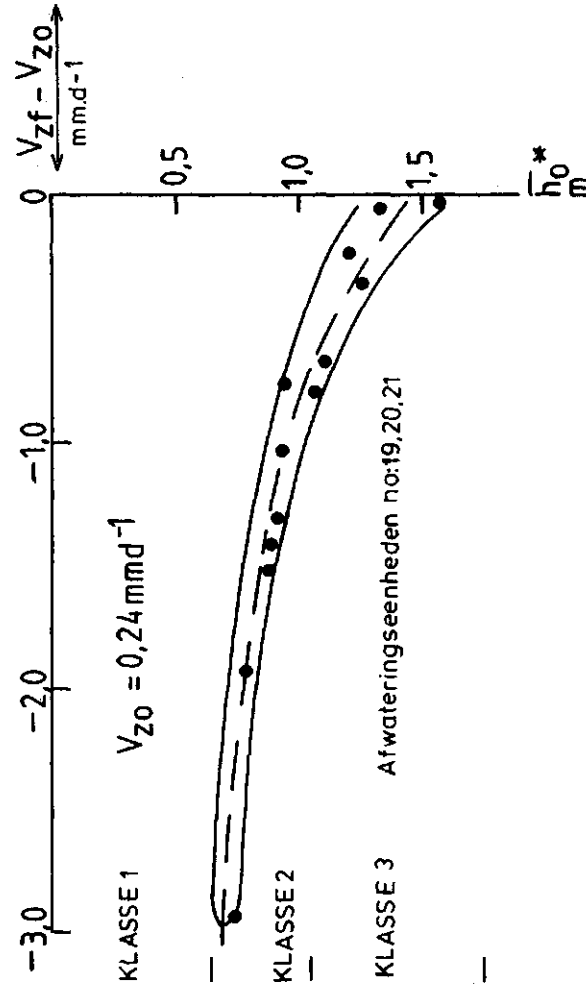
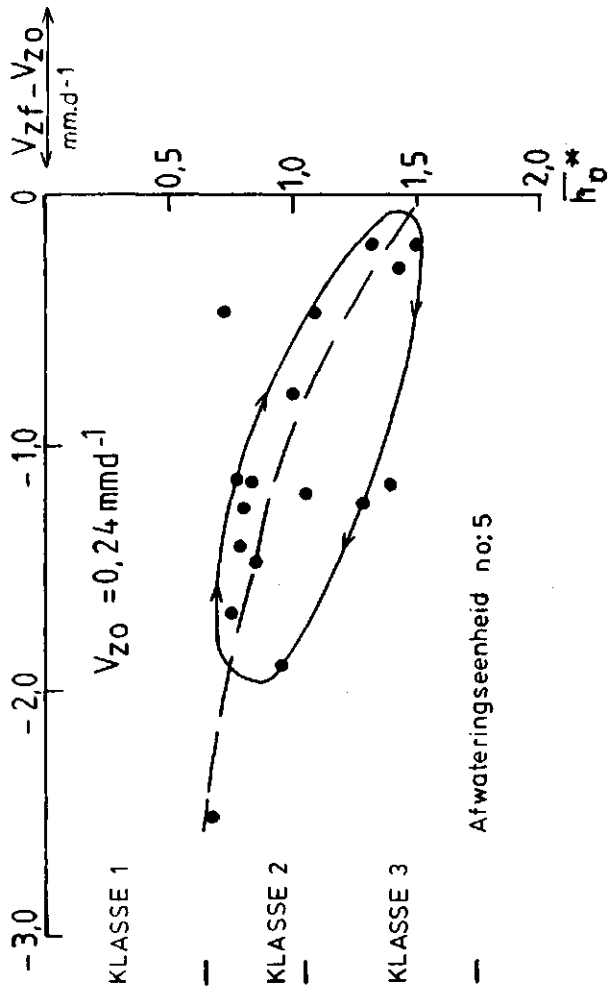
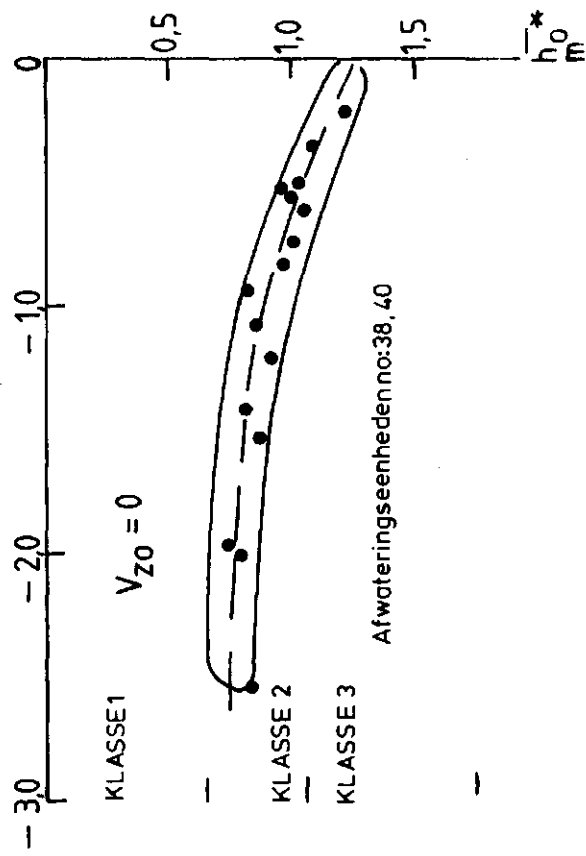
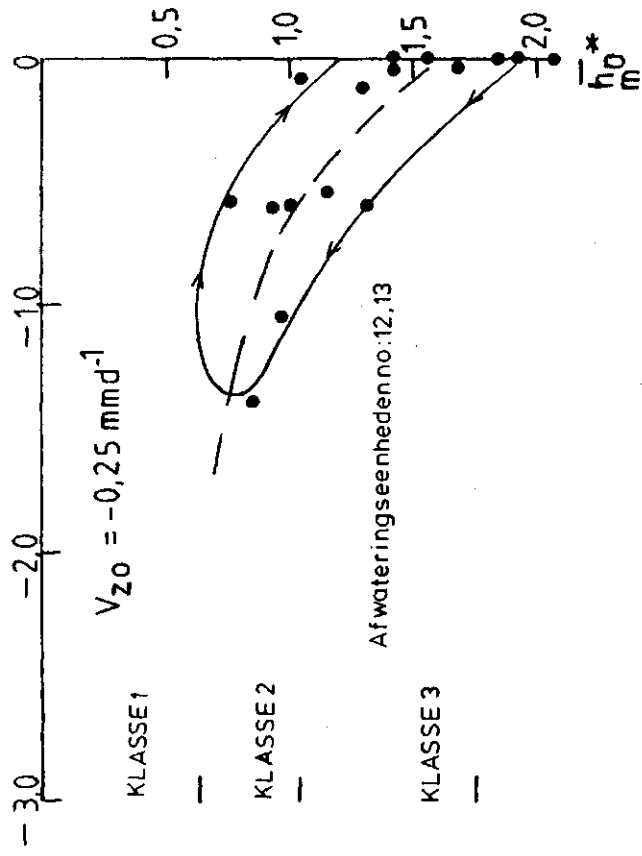
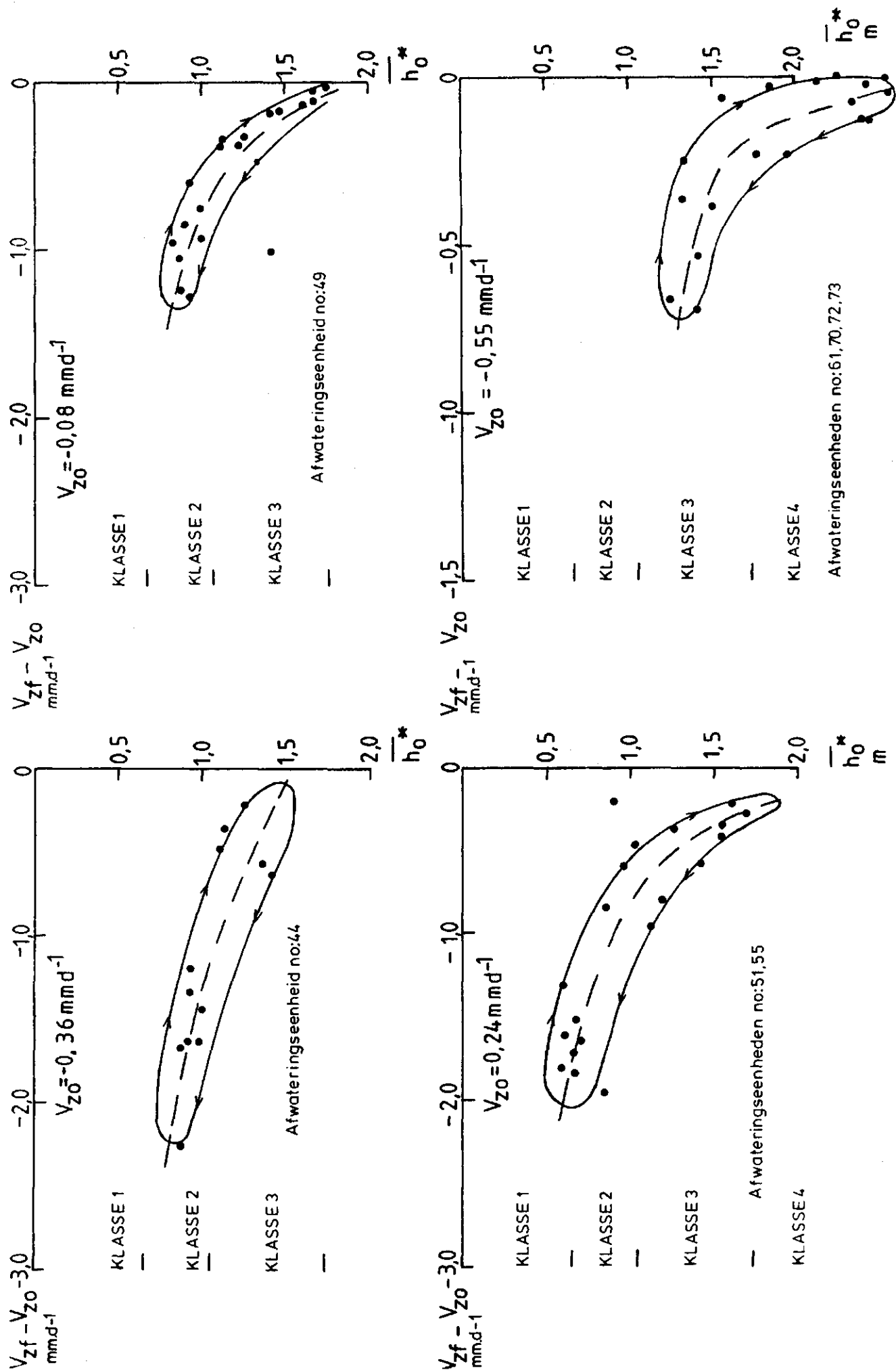


Fig 26 Relatie tussen opper vlakwater afvoer en gemiddelde grondwaterstand voor een aantal eenheden

Fig 27 Relatie tussen oppervlaktewaterafvoer en gemiddelde grondwaterstand voor een aantal eenheden



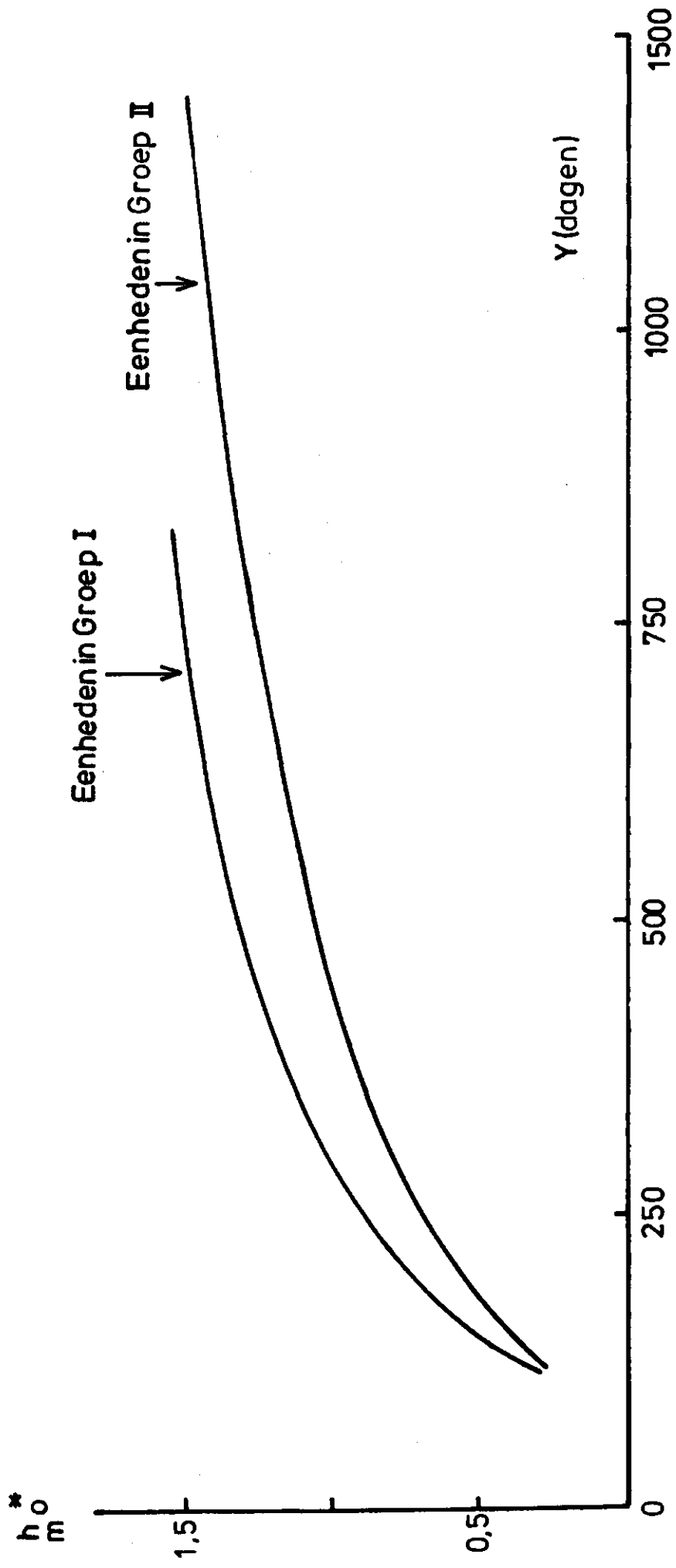


Fig 28 De relatie tussen de drainageweerstand en de gemiddelde grondwaterstand

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

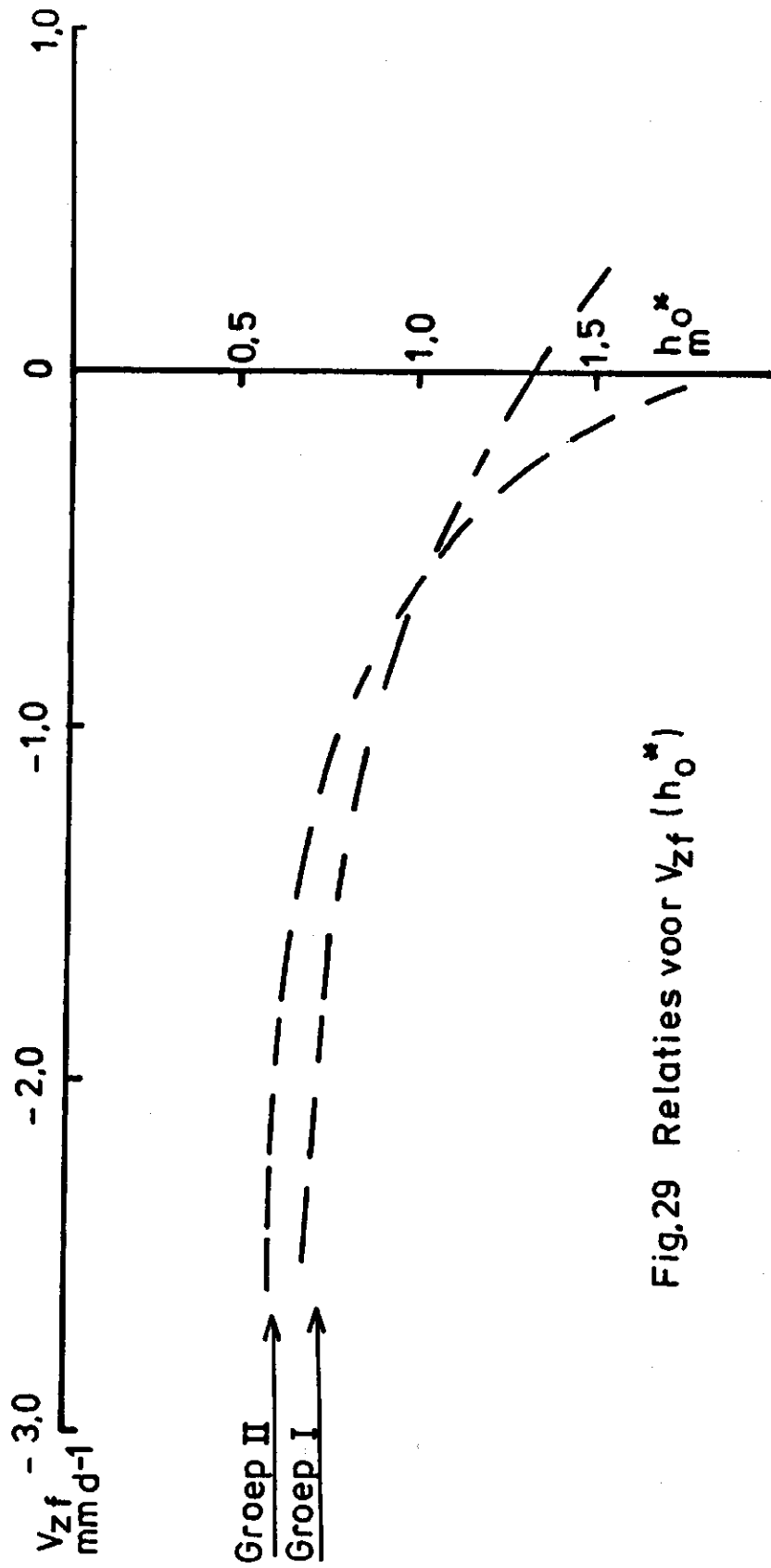


Fig.29 Relaties voor V_{zf} (h_0^*)

Fig30 De invloed van peilbeheersing op de V_{zf} (h_0^*) relatie voor eenheid nr5

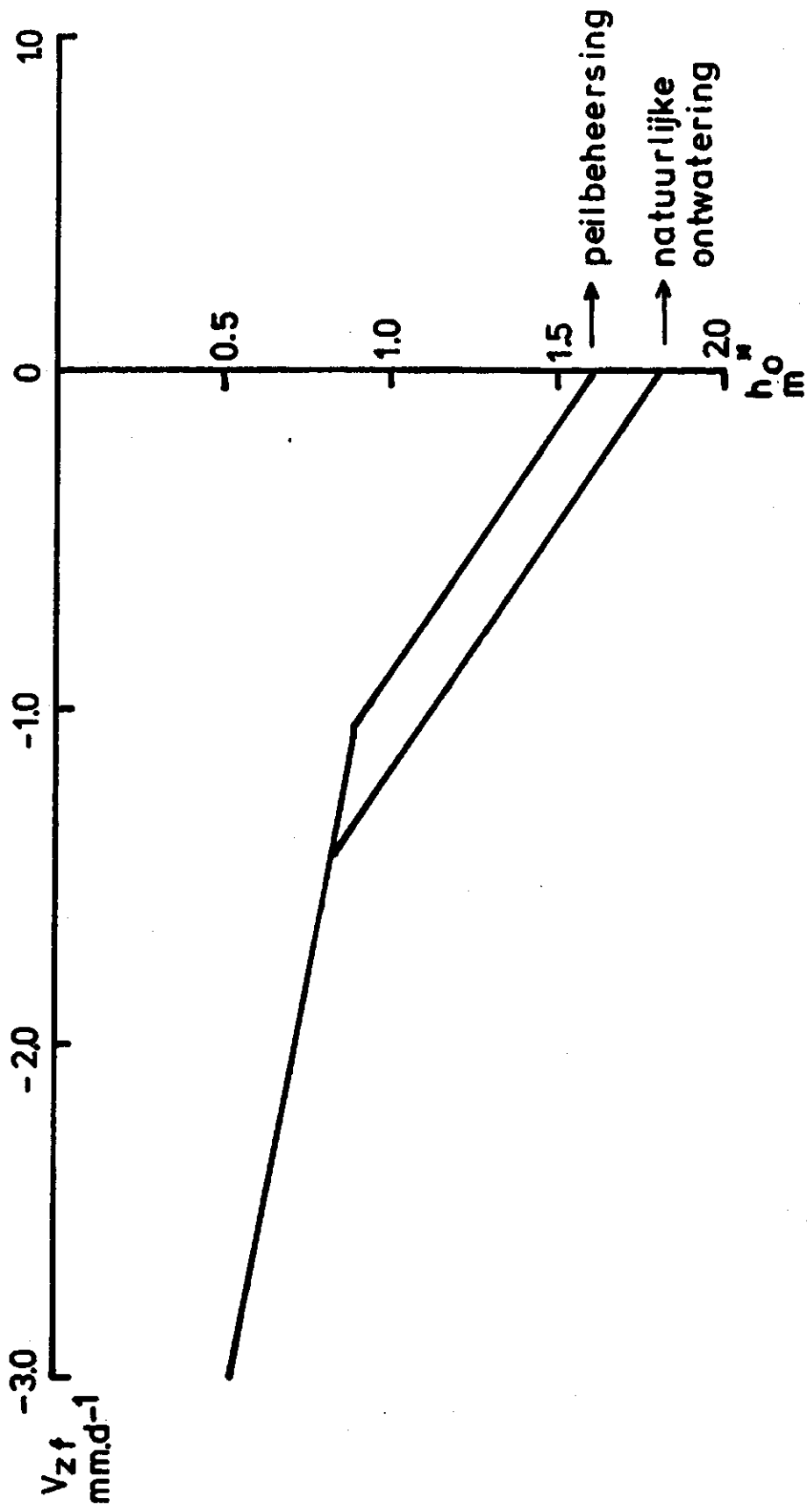


Fig 31 Infiltratieintensiteit in eenheid 44 in afhankelijkheid van beekpeil, grondwaterstand en drainageweerstand

