

waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

berekening basisdrainage in DEMGEN

AFGEHANDELD

verslag onderzoek naar aanpak en problemen

---

R 1230-R 80/001

september 1980

R1230-B



bibliotheek  
postbus 177 - 2600 MH Delft  
waterloopkundig laboratorium/v

**BB**

**WL**

**EXPL**

---

berekening basisdrainage in DEMGEN

verslag onderzoek naar aanpak en problemen

---

R 1230-R 80/001

september 1980



## INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding.....</u>	1
<u>2</u> <u>Toepassing basisdrainagefuncties in Plotwatermodel.....</u>	3
2.1      Enige begrippen.....	3
2.2      Karakterisering basisdrainagefuncties en de toepassing ervan in het Plotwatermodel.....	5
2.3      Problemen met de basisdrainagefuncties.....	8
2.4      Mogelijke oorzaken van problemen/afwijkingen.....	10
<u>3</u> <u>Aktiviteiten met betrekking tot basisdrainage in de PAWN-studie</u>	13
3.1      Bepaling representatieve grondwaterreeksen per grondwaterregio	13
3.2      Basisdrainagefuncties (1e versie).....	18
3.3      Analyse gemeten afvoeren in grondwaterregio's 2 en 5.....	21
3.4      Andere basisdrainagefuncties.....	24
3.5      Relatie gemeten beekafvoer - neerslagoverschot.....	28
3.6      Citaten uit andere rapporten.....	30
<u>4</u> <u>Nadere analyse grondwaterregio 5 - distrikt 17.....</u>	32
4.1      Grondwaterstanden in grondwaterregio 5.....	32
4.2      Relatie waargenomen afvoer - berekende distriktlozing voor distrikt 17 (Dinkel).....	32
4.3      Relatie afvoer - neerslagoverschot voor distrikt 17.....	34
4.4      Invloed basisdrainagefuncties op aktuele verdamping en droogte- schade.....	35
4.5      Basisdrainagefuncties afgeleid uit waargenomen grondwater- standen en afvoeren.....	36
<u>5</u> <u>Konklusies, aanbevelingen.....</u>	57
<u>6</u> <u>Referenties.....</u>	60

Bijlage A: Statistische kengetallen van gegenereerde representatieve  
          grondwaterreeksen

Bijlage B: Koëfficiënten van de drie versies basisdrainagefuncties

## Lijst van Figuren

	blz.	
2.1	Voorbeeld basisdrainagefunctie	4
2.2	Struktuur Plotwatermodel	5
3.1	Grondwaterregio's van PAWN	15
3.2	Voorbeeld relatie berekende drainage en waargenomen grondwaterstand (AVWGL) voor grondwaterregio 5.	20
3.3	Bepaling koëfficiënt basisdrainagefuncties	25
4.1	Verloop waargenomen grondwaterstanden voor gebied met ondiep water en met diep grondwater. Grondwaterregio 5, jaar 1976	41
4.2	Verloop waargenomen grondwaterstanden. Grondwaterregio's 5, jaar 1975	42
4.3	Samenhang waargenomen grondwaterstanden in gebied met ondiep en met diep grondwater. Grondwaterregio 5, jaar 1975/1976.	43
4.4	Waargenomen en berekende grondwaterstanden (2e en 3e versie basisdrainagefuncties, grondwaterstanden). Grondwaterregio 5, HILO = 1, jaar 1976	44
4.5	Waargenomen en berekende grondwaterstanden (2e en 3e versie basisdrainagefuncties, grondwaterstanden). Grondwaterregio 5, HILO = 2, jaar 1976.	45
4.6	Vergelijking waargenomen afvoer met berekende distriktslozing op het distributiesysteem. Distrikt 17 Dinkel, jaar 1975.	46
4.7	Vergelijking waargenomen afvoer met berekende distriktslozing op het distributiesysteem. Distrikt 17 Dinkel, jaar 1975.	47
4.8	Waargenomen en berekende grondwaterstanden (3e versie basisdrainagefuncties). Distrikt 17 Dinkel, HILO = 1, jaar 1975.	48
4.9	Waargenomen en berekende grondwaterstanden (3e versie basisdrainagefuncties). Distrikt 17 Dinkel, HILO = 2, jaar 1975.	49
4.10	Verband tussen waargenomen afvoer van de Dinkel en waargenomen grondwaterstanden in grondwaterregio 5 voor het gebied HILO = 1, 1975 en 1976.	50
4.11	Waargenomen en berekende afvoer met nieuwe basisdrainagefunctie van de Dinkel, distrikt 17, jaar 1976.	51
4.12	Waargenomen en berekende afvoer van de Dinkel, distrikt 17, jaar 1975. Aangepaste beginvoorwaarden.	52



Lijst van Figuren (vervolg)

	blz.
4.13 Waargenomen en berekende grondwaterstanden. Distrikt 17 Dinkel, HILO = 1, jaar 1975. Nieuwe basisdrainagefunctie.	53
4.14 Waargenomen en berekende grondwaterstanden. Distrikt 17 Dinkel, HILO = 2, jaar 1975. Nieuwe basisdrainagefunctie.	54
4.15 Basisdrainagefuncties voor gebied met HILO = 1. Grondwaterregio 5, distrikt 17 Dinkel.	55
4.16 Basisdrainagefuncties voor gebied met HILO = 2. Grondwaterregio 5, distrikt 17 Dinkel.	56

## Lijst van Tabellen

	blz.	
3.1	Verdeling van putten over de grondwaterregio's	16
3.2	Korrelatie gemeten grondwaterstanden en afvoer bij splitsing in afvoeren	23
3.3	Korrelatie gemeten grondwaterstanden en afvoer bij splitsing in grondwaterstanden	23
3.4	Percentage afvoer bij grondwaterstanden kleiner dan gemiddelde	24
3.5	Verschil in gemiddelde grondwaterstand tussen 1e en 2e versie basisdrainagefuncties	26
3.6	Verschillen resultaten 2e en 3e versie basisdrainagefuncties	28
3.7	Berekende gewasfactoren Oude IJssel	29
4.1	Vergelijking waargenomen en berekende afvoer en gewasfaktor voor distrikt Dinkel	35
4.2	Verschillen in aktuele verdamping en gewasschade voor verschillende basisdrainagefuncties	36
4.3	Resultaten regressie basisdrainagefuncties distrikt Dinkel	38
4.4	Resultaten regressie basisdrainagefunctie van de Regge	38



## 1 Inleiding

In dit verslag worden de in het kader van de PAWN-studie verrichte werkzaamheden gerapporteerd ten aanzien van de modellering van de basisdrainage, d.i. de uitstroming van grondwater vanuit de ondergrond naar het oppervlaktewater. Bij de in de PAWN-studie toegepaste berekeningswijze van de basisdrainage in het DEMGEN model zijn enkele belangrijke gebreken gekonstateerd die aanzienlijke invloed kunnen hebben op sommige resultaten van PAWN vooral met betrekking tot maatregelen in de hoge gronden. Besloten is daarom het fenomeen van basisdrainage aan een nader onderzoek te onderwerpen waarbij gedacht wordt aan een gefaseerde aanpak:

- Inventarisatie van huidige aanpak en problemen.
- Onderzoek naar de invloed van vereenvoudigde aannamen met betrekking tot het fysisch gebeuren en van het gehanteerde aggregatieniveau; uitvoeren van gevoeligheidsonderzoek.
- Verbetering van de berekeningswijze van de basisdrainage (op basis van het in de vorige fase verkregen inzicht).
- Vergelijking van het verbeterde DEMGEN model met meer gedetailleerde modellen als GELGAM en PREDIS voor een bepaald stroomgebied.

Dit verslag bevat de rapportage van de eerste fase en geeft een aanzet tot de volgende fase. Beoogd wordt een handvat aan te reiken voor de gedachtenvorming over hoe het vervolg van het basisdrainage-onderzoek vorm moet worden gegeven. De nota is geschreven in TOW-H kader.

Van de inhoud van dit verslag wordt in onderstaande een korte samenvatting gegeven. In hoofdstuk 2 worden de problemen aangeduid, die bij de thans gehanteerde berekeningswijze van de basisdrainage optreden en wordt een opsomming gegeven van de mogelijke oorzaken van deze problemen. Voorafgaande hieraan worden enige begrippen geïntroduceerd en wordt een beknopte beschrijving gegeven van het modelgedeelte, waarin de berekening van de basisdrainage wordt uitgevoerd (Plotwatermodel).

De verschillende activiteiten met betrekking tot basisdrainage (t/m begin 1980) komen aan de orde in hoofdstuk 3. Het gaat daarbij om de volgende zaken:

- opdeling van het gebied van de hoge gronden in grondwater- of drainageregio's;

- vaststelling van representatieve grondwaterreeksen voor deze regio's;
- afleiding van de verschillende versies van de basisdrainagefuncties; en
- globale analyse van de resultaten.

Een meer gedetailleerde analyse van de met de basisdrainagefuncties berekende afvoeren en grondwaterstanden wordt gegeven in hoofdstuk 4. De analyse betreft de grondwaterregio nr. 5 en het distrikt Dinkel. Afgeleid worden onder meer nieuwe basisdrainagefuncties, gebaseerd op gemeten afvoeren en waargenomen grondwaterstanden. Deze analyse vormt een eerste aanzet van de volgende fase van het basisdrainage-onderzoek.

In hoofdstuk 5 tenslotte wordt een aantal konklusies geformuleerd ten aanzien van de huidige stand van zaken en wordt een aantal aspecten genoemd, waaraan in het verdere onderzoek aandacht moet worden besteed.



## 2 Toepassing basisdrainagefuncties in het Plotwatermodel

### 2.1 Enige begrippen

Van een aantal begrippen, welke bij de bestudering van de basisdrainagefuncties een rol spelen, wordt in onderstaande een korte omschrijving gegeven. Voor een meer volledige beschrijving van de betreffende modellering wordt verwezen naar Vol. XII van de PAWN-rapportage [1].

Een distrikt is een gebied waarvan alle delen in dezelfde situatie verkeren met betrekking tot de watervoorziening vanuit en de waterlozing op het distributiesysteem. Uit oogpunt van waterbeheer kan een distrikt dus opgevat worden als een hydrologische eenheid.

Een subdistrikt is een deel van een distrikt met een bepaalde karakterisering ten aanzien van de bodem, en wel:

- een bepaalde combinatie van grondsoort voor de wortelzone en de ondergrond; en
- een waarde van de parameter HILO, welke correspondeert met "lage gronden" (lowlands, HILO = 0) c.q. "hoge gronden" (highlands) met ondiep grondwater (HILO = 1), respectievelijk diep grondwater (HILO = 2).

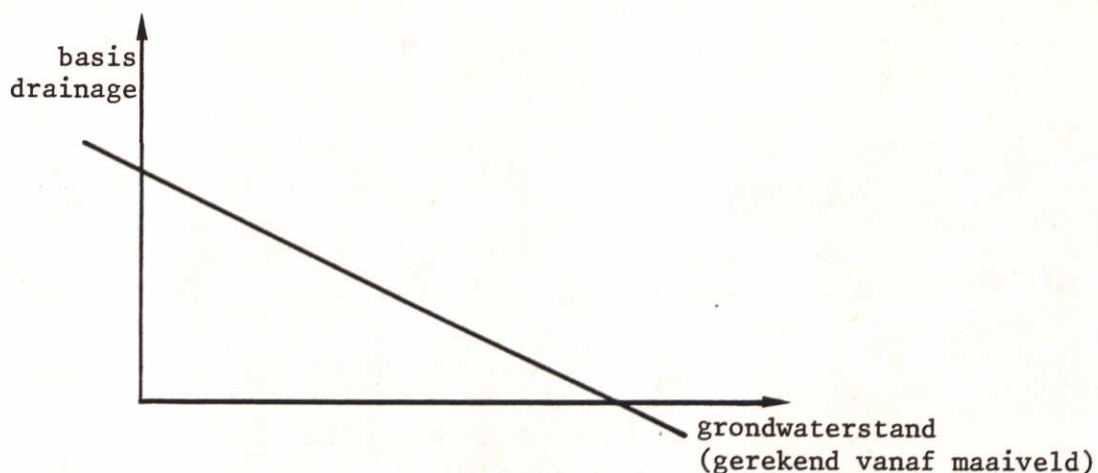
Een plot is een gedeelte van een subdistrikt gekenmerkt door een zeker type gewas en een bepaald type berekening (i.c. géén berekening, berekening met oppervlaktewater of berekening met grondwater).

Met de "hoge gronden" (highlands) worden bedoeld die gebieden in Nederland, waarvan het maaiveld meer dan 2 m boven N.A.P. ligt en waarbij geen absolute peilbeheersing van de sloten plaatsvindt. Bij deze hoge gronden wordt onderscheid gemaakt tussen delen met ondiep grondwater (het langjarig gemiddelde van de grondwaterstand minder dan 1 m onder het maaiveld) aangeduid met de code HILO = 1; en delen met diep grondwater, waarbij de gemiddelde grondwaterstand meer dan 1 m beneden maaiveld ligt, aangeduid met HILO = 2.

Onder basisdrainage wordt verstaan de uitstroming van water uit de verzadigde zone naar het oppervlaktewater onder invloed van de zwaartekracht in het

gebied van de hoge gronden. De aard van deze drainage is vrij gekompliceerd: een belangrijke beïnvloedende faktor vormen de geologische kenmerken van de watervoerende lagen. Het gebied van de hoge gronden is daarom onderverdeeld in een 17-tal zogeheten drainage-regio's of grondwaterregio's. Elk van deze regio's is als min of meer homogeen beoordeeld ten aanzien van de geohydrologische factoren die de drainage beïnvloeden.

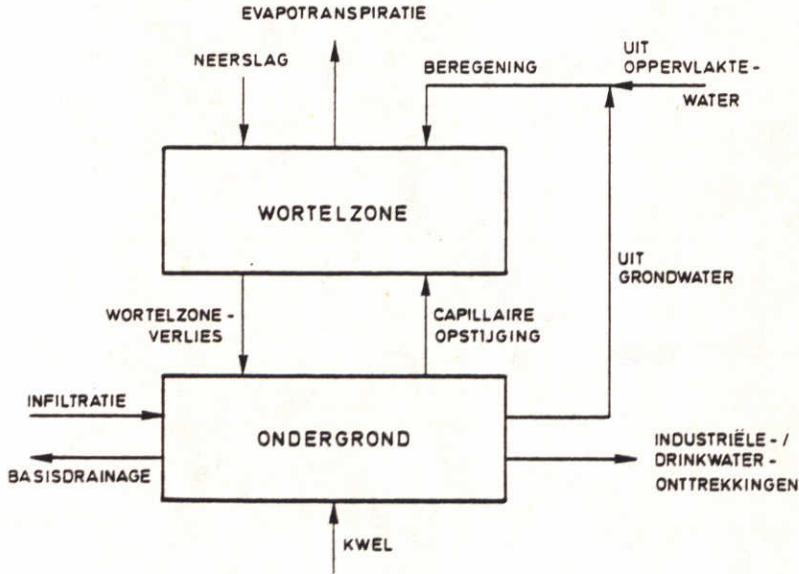
Voor elk van de drainage-regio's zijn voor de delen met ondiep (HILO = 1) respectievelijk diep grondwater (HILO = 2) zogeheten basisdrainagefuncties afgeleid. Deze leggen een verband tussen de basisdrainage vanuit een bepaalde grondwaterregio en de in deze regio aanwezige grondwaterstand. Hiervoor is steeds een lineair verband verondersteld (zie fig. 2.1).



Figuur 2.1 Voorbeeld basisdrainagefunctie

Dit functionele verband tussen de grondwaterstand en de uitstroming naar het oppervlaktewater wordt toegepast in het zogeheten Plotwatermodel. Met behulp van het Plotwatermodel worden binnen een plot de optredende waterstromen berekend in relatie tot de meteorologische omstandigheden en het oppervlaktewatersysteem. Het model verbindt de grondwaterstromen in de verzadigde en onverzadigde zône met het waterverbruik door het gewas. Een belangrijke rol daarbij speelt de berekening van de vochtspanning in de wortelzône. De structuur van het plotwatermodel is aangegeven in figuur 2.2.





Figuur 2.2 Structuur Plotwatermodel

## 2.2 Karakterisering basisdrainagefuncties en de toepassing ervan in het Plotwatermodel

In het Plotwatermodel worden twee zônes onderscheiden (zie Fig. 2.2): de effectieve wortelzône en de ondergrond (zowel verzadigd als onverzadigd). Water kan langs verschillende wegen de zônes binnenkomen en verlaten, terwijl ook waterstromen tussen de beide zônes kunnen optreden.

Gegeven de regenval en de potentiële verdamping voor een bepaald tijdsinterval (decade) worden met het Plotwatermodel de volgende toestands- en stromingsgroottheden berekend:

### o Toestandsgroottheden

- grondwaterstand (deze wordt gemeten vanaf de onderzijde van de wortelzône);
- vochtspanning op het grensvlak van wortelzône en de ondergrond en het gemiddelde vochtgehalte in de wortelzône; en
- het vochttekort in de wortelzône respectievelijk in de ondergrond.

o Stromingsgrootheden

- aktuele verdamping;
- capillaire opstijging van ondergrond naar wortelzône; en
- drainage.

De toestandsgrootheden worden uitgedrukt in mm (per eenheid van oppervlakte) en de stromingsgrootheden in mm/dag.

Tussen de grootheden bestaan verschillende relaties; bij de afleiding van de vergelijkingen die deze relaties beschrijven spelen de volgende aannamen een rol:

1. Potentiële evapotranspiratie is gedefinieerd als het produkt van de openwater verdamping en een (tijdafhankelijke) gewasfaktor.
2. Basisdrainage wordt verondersteld een (lineaire) funktie te zijn van uitsluitend de grondwaterstand.
3. Aangenomen wordt, dat de capillaire opstijging tesamen met het grondwater-niveau het bodemvochtprofiel van de ondergrond volledig vastleggen (volgens theorie van Rijtema, [2]). Uit de capillaire opstijging en het grondwater-niveau kan dan het bodemvochttekort in de ondergrond worden afgeleid. Omgekeerd kan uit bekende waarden voor het bodemvochttekort in de ondergrond en de capillaire opstijging de waarde van het grondwaterniveau worden vastgesteld.
4. Aangenomen wordt, dat de vochtspanning op het grensvlak volledig wordt bepaald door het vochtgehalte in de wortelzône.
5. De aktuele evapotranspiratie wordt geacht een funktie te zijn van de potentiële evapotranspiratie en de vochtspanning op het grensvlak tussen ondergrond en wortelzône.
6. Regenval die tot oververzadiging van de wortelzône zou leiden, wordt aangenomen door de wortelzône naar de ondergrond te stromen.

Gezien het complexe karakter van de relaties is het niet mogelijk een analytische oplossing voor het probleem te bepalen. De relaties worden geformuleerd voor diskrete tijdstappen. De toestandsgrootheden geven de waarde van de betreffende grootheid aan het einde van de betreffende tijdstap. De stromingsgrootheden geven de hoeveelheden water aan, welke in het beschouwde tijdsinterval uit de ondergrond c.q. de wortelzône zijn verdwenen, respektievelijk



zijn binnengestroomd.

Wanneer stromings- en/of toestandsgrootheden afhangen van andere toestandsgrootheden, dan wordt voor deze toestandsgrootheden de gemiddelde waarde voor met beschouwde tijdsinterval aangehouden. Het gemiddelde is daarbij gedefinieerd als de helft van de som van de waarden aan het begin en het einde van het beschouwde interval. Alleen voor de vochtspanning wordt, gelet op het sterke, niet-lineaire karakter van het verband, het gemiddelde bepaald als functie van het gemiddelde vochtgehalte in de wortelzone.

Voor de bepaling van de waarden van de toestands- en stromingsgrootheden zijn naast de opgelegde randvoorwaarden (regenval en potentiële evapotranspiratie) nog beginvoorwaarden nodig van:

- het vochttekort in de wortelzone respectievelijk de ondergrond aan het begin van de eerste tijdstap; en
- het grondwaterniveau bij het begin van de eerste tijdstap.

Met behulp van substitutie is het mogelijk om de vergelijkingen die de bovengenoemde processen beschrijven te vereenvoudigen tot vier basisvergelijkingen met vier onbekenden:

- waterbalans wortelzone :  $\psi_n = F(\text{CAPRISE}_n)$
- waterbalans ondergrond :  $\text{SSD}_n = G(\text{CAPRISE}_n, \text{GWL}_n)$
- vochtprofiel ondergrond :  $\text{GWL}_n = H(\text{CAPRISE}_n, \text{SSD}_n)$
- capillaire opstijging :  $\text{CAPRISE}_n = J(\psi_n, \text{GWL}_n)$

waarin:

- $\psi_n$  : vochtspanning aan onderkant wortelzone aan eind van tijdstap n
- $\text{CAPRISE}_n$  : capillaire opstijging gedurende tijdstap n
- $\text{SSD}_n$  : vochttekort in ondergrond aan eind van tijdstap n
- $\text{GWL}_n$  : grondwaterstand aan eind van tijdstap n

De functies F, G, H en J zijn afhankelijk van de beginvoorwaarden van de variabelen en de opgelegde randvoorwaarden als regen, verdamping, enz.

Met behulp van "trial and error" kunnen bovenstaande vergelijkingen worden opgelost, waarna de andere grootheden eenvoudig volgen uit substitutie in de

betreffende vergelijkingen.

De vergelijkingen waaruit de grondwaterstand en de basisdrainage volgen, zien er als volgt uit:

$$GWL_n = H (CAPRISE_n / \Delta T, SSD_n)$$

$$BDRAIN_n = \Delta T * BDFie (GWL_{n-1})$$

met  $\Delta T$  de grootte van het tijdsinterval en BDFie de basisdrainagefunctie.

Voor de basisdrainagefunctie wordt een lineair verband aangenomen:

$$BDRAIN_n = \Delta T \{ a + b * GWL_{n-1} \}$$

De koëfficiënten a en b verschillen per grondwaterregio en bovendien per gebied met diep en ondiep grondwater. De waarde van het grondwaterniveau wordt voor de basisdrainagefuncties gerekend vanaf het maaiveld.

Water komt in hoofdzaak de ondergrond binnen door infiltratie vanuit de wortelzone. Op deze infiltratie zijn de basisdrainagefuncties slechts zeer indirect van invloed, en wel door de mate waarin de basisdrainagefuncties de grondwaterstand bepalen en daarmee de eventuele capillaire opstijging. Op het uit de ondergrond verdwijnende water is de invloed van de basisdrainagefuncties tweërlei: enerzijds de verdeling tussen capillaire opstijging en basisdrainage en daarmee op de totale hoeveelheid basisdrainage, anderzijds op de verdeling van de basisdrainage over de tijd.

### 2.3 Problemen met de basisdrainagefuncties

De in het Plotwatermodel in te voeren basisdrainagefuncties zijn van invloed op:

- de voorspelde grondwaterstanden en daarmee tevens op de capillaire opstijging, de verdamping en de gewasproductie; en
- de uitstroming van het grondwater naar het oppervlaktewater van het betreffende gebied en daarmee op de beschikbaarheid van oppervlaktewater voor berekening in droge tijden.



Aan de gehanteerde basisdrainagefuncties kan meer specifiek de eis worden gesteld, dat met de toepassing van deze functies de volgende aspecten van de grondwaterstanden en de basisdrainage goed worden weergegeven.

- grondwaterstanden: - het verloop in de tijd
  - het minimum en maximum van de grondwaterstand
  - de gemiddelde grondwaterstand over het jaar
- basisdrainage : - het verloop in de tijd
  - totale som in een jaar moet overeenkomen met het berekende neerslagoverschot
  - de hoeveelheid uitstromend water (beschikbaar komend oppervlaktewater) in de droge tijd.

Bij de uitvoering van de PAWN(-I) studie was het niet mogelijk deze zaken tegelijkertijd kloppend te krijgen.

Met de eerste versie basisdrainagefuncties zijn enige verificatieberekeningen uitgevoerd en is enig gevoeligheidsonderzoek gedaan. Op grond hiervan is geconkludeerd, dat het basisdrainageconcept ten aanzien van de voorspelling van de grondwaterstanden voldoet.

Met betrekking tot de basisdrainage deden zich bij het invoeren van deze eerste versie van de basisdrainagefuncties een tweetal problemen voor:

- het langjarig gemiddelde blijkt te hoog; er stroomt dus teveel grondwater uit naar het oppervlaktewater (soms enige tientallen mm's per jaar); en
- de verdeling over de tijd blijkt niet te kloppen; in de droge tijd blijkt teveel water naar het oppervlaktewater uit te stromen.

Dit laatste aspect blijkt verholpen te kunnen worden door een steiler verloop van de basisdrainagefuncties aan te nemen, wat leidt tot een geprononceerdere uitstroming naar het oppervlaktewater. Deze snellere uitstroming gaat gepaard met een afvlakking van het verloop in de grondwaterstand. De berekende extremen in het grondwaterstandsverloop kunnen al gauw enige tientallen cm's gaan afwijken van de "waargenomen" waarden. De over het jaar gemiddelde grondwaterstand wordt door het steiler worden van de basisdrainagefuncties slechts weinig beïnvloed.

Voor de overschatting van het langjarig gemiddelde van de drainage wordt in paragraaf 2.4 een aantal mogelijke oorzaken genoemd.

N.B. Gelet op het feit dat het moeilijk zo niet onmogelijk zal zijn om met een simpel model concept als nodig in het Plotwatermodel aan alle gestelde eisen ten aanzien van de voorspelde grondwaterstand en basisdrainage tegelijkertijd te voldoen, lijkt het zinvol een volgorde van belangrijkheid in deze eisen aan te brengen. Deze volgorde kan overigens per regio verschillend zijn. Daarnaast verdient het aanbeveling te specificeren welke afwijkingen van de "waargenomen" grondwaterstanden en welke afwijkingen van de gemeten afvoeren nog als toelaatbaar worden beschouwd. Bepalend daarbij zijn de nauwkeurigheid waarmee bijvoorbeeld afvoeren en neerslag-overschot vastgesteld kunnen worden en de gevoeligheid van bijvoorbeeld de gewasproductie voor afwijkingen ten opzichte van de "waargenomen" waarden.

#### 2.4 Mogelijke oorzaken van problemen/afwijkingen

Afwijkingen worden geconstateerd wanneer de berekende waarden verschillen van de waargenomen waarden. De waargenomen waarden kunnen evenwel op hun beurt weer verschillen van de werkelijk opgetreden waarden. Twee mogelijke "foutenbronnen" zijn dus van belang:

- metingen, waarnemingen
- berekeningen

##### 2.4.1 Metingen, waarnemingen

Mogelijke bronnen van afwijkingen zijn:

- grondwaterstanden:
  - de samengestelde tijdreeksen voor de grondwaterregio's zijn niet voldoende representatief voor de gehele regio.
- afvoeren:
  - betrouwbaarheid afvoermetingen, éénmaal daags een waterstand bepaald, welke omgerekend wordt in een debiet.
  - wegzijging uit open leidingen.
  - grondwaterstroming nabij meetpunt (stuw?).



• regenval en open water verdamping:

- fouten in de bepaling hiervan bij het weerstation.
- ruimtelijke spreiding ervan, met andere woorden het niet representatief zijn voor de gehele regio.

• stroomgebied:

- onzekerheid in de definiëring van de precieze grenzen en het oppervlak.
- diepe grondwaterstromingen, dat wil zeggen niet in rekening gebrachte waterstromen tussen verschillende regio's.

#### 2.4.2 Berekeningen

Afwijkingen kunnen veroorzaakt worden door:

• grondwateronttrekkingen:

- alleen wanneer er sprake is van konstante onttrekkingen in de tijd, die weer op het oppervlaktewater van de betreffende regio worden geloosd in hetzelfde tijdsinterval, treden er geen problemen op; deze onttrekkingen kunnen dan in de basisdrainagefunctie ingebouwd zitten. Is er sprake van andere onttrekkingen dan levert dit verschillen op tussen de waargenomen en de berekende afvoer, respektievelijk grondwaterstand.

• oppervlaktewateronttrekkingen en -lozingen:

- het niet in rekening brengen van deze verschijnselen kan leiden tot verschillen in berekende en waargenomen afvoer.

• basisdrainagefuncties:

- mogelijk afhankelijk van meer parameters dan alleen de grondwaterstand.
- andere relatie dan het aangenomen lineaire verband.

• aggregatieniveau:

- vraag is of met het verwaarlozen van de plaatselijk optredende verschillen in grondsoort, doorlatendheid, aanwezigheid van watervoerende lagen, topografie e.d. de werkelijkheid niet te veel geweld wordt aangedaan; met andere woorden of het aggregatieniveau niet te hoog is.

• verdamping:

- onzekerheid in de vaststelling van de potentiële evapotranspiratie uit de openwaterverdamping en de (tijdsafhankelijke) gewasfaktor.
- onzekerheid in de vaststelling van de aktuele evapotranspiratie uit de potentiële evapotranspiratie en de vochtspanning op het grensvlak van de ondergrond en de wortelzone. (Ter illustratie: bij een jaarsom van de

neerslag van  $R = 750$  mm en een openwater verdamping van  $E_o = 700$  mm geeft een gewasfaktor van  $f = 0.7$  een neerslagoverschot ( $\approx$  drainage) van 260 mm. Bij een gewasfaktor van  $f = 0.6$  bedraagt de drainage 330 mm; dat is ruim 25% meer.)

• bodem:

- er wordt één homogene grond representatief gesteld met een bepaalde bergingskarakteristiek en een bepaalde pF-curve.
- onzekerheid in de werkelijke hoeveelheid geborgen water bij een bepaald grondwaterniveau; bovendien onzekerheid in het werkelijk aanwezige bodemvochttekort.
- onzekerheid in de vochtspanning op het grensvlak en daarmee in de capillaire opstijging en de aktuele evapotranspiratie.

• rekenschema Rijtema:

- toepassing methode van Rijtema is beperkt tot doorlatende gronden met een relatief hoog grondwaterniveau (de Laat [7], blz. 19).
- infiltratie (negatieve capillaire opstijging) wordt met de formules van Rijtema slecht weergegeven (korrektie op vochtspanning grensvlak).
- quasi-stationaire methode van Rijtema mag eigenlijk niet gebruikt worden in perioden waarbij een verdampingsoverschot wordt gevolgd door een neerslagoverschot (de Laat, [7], blz. 25), en omgekeerd.

• grondwaterstand:

- gevoeligheid van de vaststelling van de grondwaterstand voor onzekerheden in de bepaling van het bodemvochttekort (samenhang met bodemvochtprofiel).
- het gedurende zekere tijd konstant blijven van de berekende grondwaterstand; het sterkst speelt dit bij de steilste basisdrainagefuncties. (Dit konstant blijven is een gevolg van aannamen gedaan om de problemen van het rekenschema van Rijtema bij omslaan van nat naar droog en omgekeerd op te vangen).



### 3 Aktiviteiten met betrekking tot basisdrainage in de PAWN-studie

#### 3.1 Bepaling representatieve grondwaterreeksen per grondwaterregio

Deze en de volgende paragraaf beschrijven stapsgewijs de werkwijze waarlangs de in de PAWN-studie gebruikte basisdrainagefuncties zijn afgeleid. Eerst zijn representatieve grondwaterstandreeksen per grondwaterregio bepaald (deze par.) die vervolgens gebruikt zijn voor de afleiding van de basisdrainagefuncties (par. 3.2).

#### Gebruikte gegevens:

- Uitgangspunt vormen de waarnemingen van 693 putten uit het archief van TNO-DGV. Deze 693 waarnemingenreeksen vormen slechts een gedeelte van het totale grondwatergegevensbestand.
- De 693 putten zijn zo goed mogelijk over het land verspreid: gestreefd is naar 1 put per kaartblad voor de lage gronden en 2 putten per kaartblad voor de hoge gronden.
- De waarnemingen zijn afkomstig van vier soorten putten:
  - landbouwbuizen (L)
  - peilputten (P)
  - welputten (W)
  - brandputten (B)
- De waarnemingen beslaan een periode van 28 jaar: 1950-1977.
- De frekwentie van waarnemen kan bij de 693 putten uiteenlopen; de precieze datum van waarnemen kan afwijken van de gewenste, waarnemingen kunnen zo nu en dan ontbreken, of zelfs over een grotere periode in het geheel afwezig zijn.
- Voor elk van de 693 putten zijn ondermeer bekend:
  - x- en y-koördinaten ter nadere plaatsbepaling op de kaartbladen van TNO-DGV;
  - hoogteligging van het maaiveld en van de put (dit is het niveau ten opzichte waarvan de grondwaterstand wordt bepaald); en
  - het aantal gegevens in de gehele waarnemingenreeks.

#### Selektie

Het uiteindelijk doel is het verkrijgen van een reeks van grondwaterstanden

met een periode van een  $\frac{1}{2}$  maand (één waarneming halverwege de maand en één aan het eind). Wanneer de precieze datum van waarnemen afwijkt, zijn die waarnemingen gehanteerd, die het dichtst bij het midden en het eind van de beschouwde maand liggen. Is er geen waarneming beschikbaar die binnen een marge van 4 dagen van de bewuste datum ligt dan wordt de waarneming als ontbrekend beschouwd.

Van de 693 putten zijn er 224 uitgeselecteerd. Criteria hierbij zijn:

- ligging van de put in het gebied van de hoge gronden;
- aantal waarnemingen per put; en
- betrouwbaarheid van de waarnemingen (statistische toetsen).

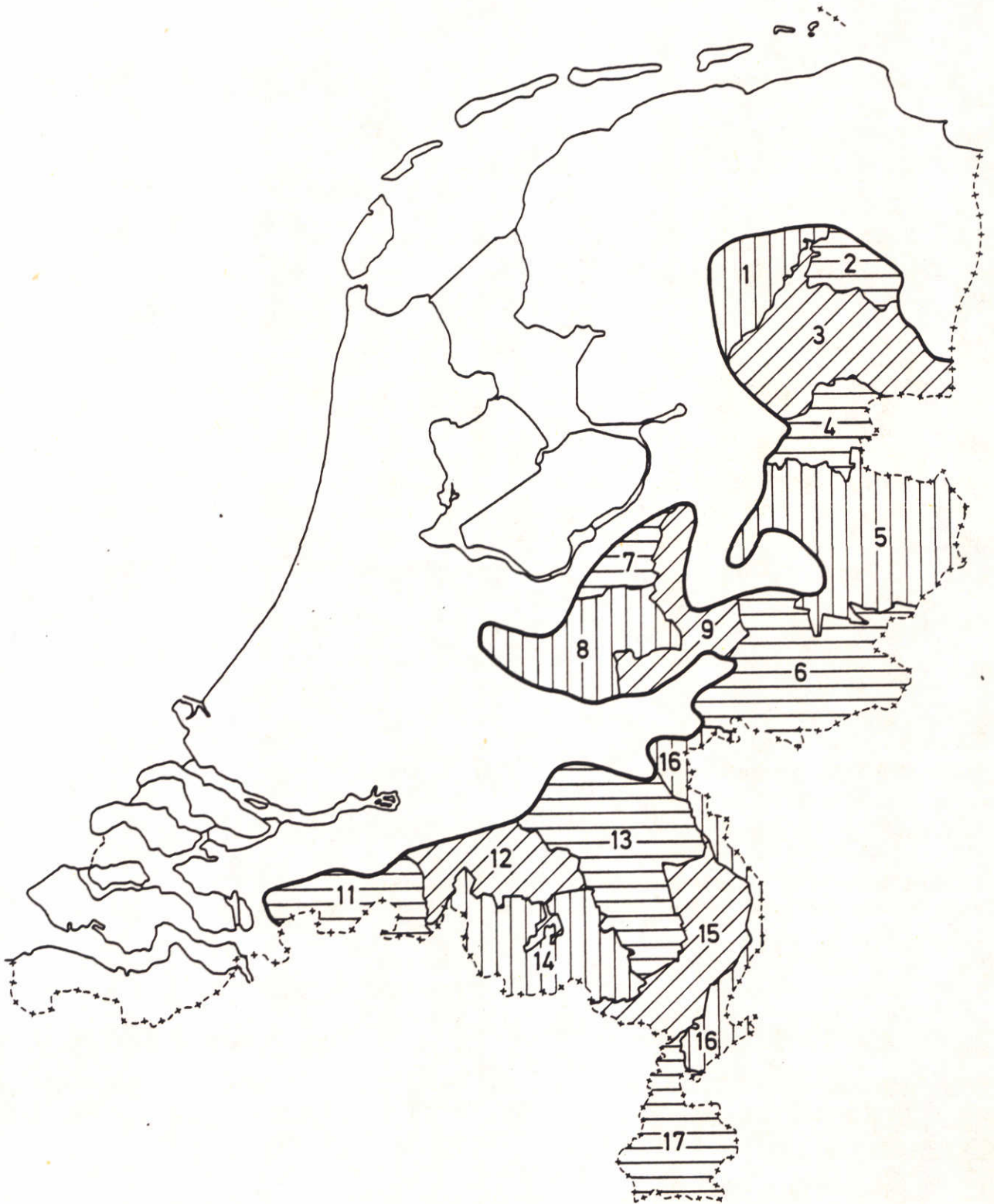
Deze 224 putten worden verondersteld representatief te zijn voor het grondwaterstandsverloop in het gebied van de hoge gronden. Voor elk van de putten is nagegaan tot welk van de 17 onderscheiden grondwaterregio's (zie fig. 3.1) de betreffende put behoort. Het aantal putten per regio is vastgesteld, en tevens het gemiddelde van de hoogteligging van het maaiveld bij de verschillende putten van één regio. Voor elk van de 224 putten is vervolgens de gemiddelde grondwaterstand t.o.v. het maaiveld over de periode van 1953-1977 vastgesteld. Per grondwaterregio worden de putten verdeeld in diep grondwater ( $\overline{GWS} > 100$  cm) en ondiep grondwater ( $\overline{GWS} < 100$  cm). Op de hoge gronden met diep grondwater (HILO = 2) hebben 158 van de 224 putten betrekking; de overige 66 putten gelden voor de hoge gronden met ondiep grondwater. De verdeling van de putten over de grondwaterregio's is aangegeven in tabel 3.1.

#### Bewerking

De verschillende waarnemingsreeksen worden nu per regio samengenomen tot een voor de betreffende grondwaterregio representatieve tijdreeks van grondwaterstanden voor de periode 1953-1977. Dit samennemen geschiedt door de grondwaterstanden t.o.v. maaiveld van de verschillende putten in de grondwaterregio per periode rekenkundig te middelen. Voorafgaand hieraan dienen voor de ontbrekende waarden in de tijdreeksen van de verschillende putten "nieuwe" waarden gegenereerd te worden. Hierbij wordt informatie gebruikt over de andere putten in de betreffende regio in dezelfde periode en informatie over de betreffende put in overeenkomstige perioden in andere jaren.

De procedure voor het genereren van nieuwe waarden ziet er, meer in detail, als volgt uit:





Figuur 3.1 Grondwaterregio's van PAWN

Grondwaterregio's	GWS $\leq$ 100 cm	GWS $>$ 100 cm
GH 1	6	2
GH 2	3	5
GH 3	3	10
GH 4	3	2
GH 5	11	11
GH 6	2	18
GH 7	2	3
GH 8	6	10
GH 9	4	6
GH 10	7	5
GH 11	3	11
GH 12	4	9
GH 13	7	17
GH 14	2	14
GH 15	2	14
GH 16	1	10
GH 17	-	11
	66	158

Tabel 3.1 Verdeling van putten over de grondwaterregio's

1. De tijdreeks voor elke put met 600 (= 24 x 25) waarnemingen (inclusief de ontbrekende waarden) wordt per maand gestandaardiseerd tot een gemiddelde 0 en een standaardafwijking 1.
2. De gestandaardiseerde waarnemingen worden per regio gegroepeerd en vervolgens per tijdstap (periode) rekenkundig gemiddeld. Ontbreken voor een bepaalde regio en een bepaalde tijdstap de waarnemingen voor alle putten, dan wordt aan het gemiddelde de waarde 0 toegekend.
3. Aan de ontbrekende waarde in de tijdreeks van een put wordt nu het bij de betreffende tijdstap behorende gemiddelde van de gestandaardiseerde waarnemingen van de andere putten in de betreffende regio toegekend.
4. Per put worden dan de gestandaardiseerde waarden met de bij de betreffende maand behorende standaardafwijking vermenigvuldigd.
5. De onder 4 gevonden waarden (afwijkingen van het gemiddelde) worden per regio gegroepeerd en rekenkundig gemiddeld, waarna het regio-gemiddelde voor de betreffende maand erbij opgeteld wordt.
6. Resultaat is één tijdreeks voor elke grondwaterregio bestaande uit 600 "geldige waarnemingen" voor de periode 1953-1977.



Resultaten

Voor elk van de 17 grondwaterregio's is voor zowel het gedeelte met ondiep grondwater (HILO = 1) als dat met diep grondwater (HILO = 2) een representatieve tijdreeks van 600 waarnemingen afgeleid. Voor regio GH 17 is er slechts sprake van diep grondwater.

De tijdreeksen voor beide gebieden zijn ondergebracht in twee datasets. De opbouw van elke dataset is als volgt:

YEAR	GH1 ..... GH 17	No.
53	o o o o o o	1/24
.	o o o o	.
.	o o	.
.	o o	.
77	o	1/24

No. geeft de periode in het jaar aan. Totaal zijn er 600 tijdstappen (25 jaar van 24 perioden) en 19 variabelen in de dataset (600 \* 19 matrix).

Opmerkingen

- . Alle putten worden in gelijke mate representatief voor de regio verondersteld. Denkbaar zou zijn om een gewogen gemiddelde te bepalen (gewicht = voor de put representatieve oppervlakte).
- . Aantal putten per regio loopt sterk uiteen. Voor een aantal regio's is het aantal putten bijzonder gering, waardoor de representativiteit voor een hele regio twijfelachtig wordt. Stel bijvoorbeeld, dat in de buurt van de put grondwateronttrekkingen plaatsvinden; de gevolgen hiervan worden nu, gerelateerd aan de gehele regio, sterk overschat. Het omgekeerde kan ook voorkomen.
- . Het is de vraag of met het bepalen van een regiogemiddelde niet te veel informatie verloren gaat. Afwijkingen naar beneden van het ruimtelijk gemid-

delde geven juist de problemen (schade), welke door hogere waarden niet gekompenseerd worden. Vraag is dus of met het gekozen aggregatieniveau niet een te optimistische schatting van de schade wordt gekregen.

- Invloed van de periode waarmee gewerkt wordt (homogeniteit van het waarnemingsmateriaal). Het blijkt dat de gemiddelden in de loop van de tijd aan het dalen zijn<sup>\*</sup>). Oorzaak: grondwateronttrekkingen en ruilverkavelingen of klimaatsverandering (minder neerslag)?

### 3.2 Basisdrainagefuncties (1e versie)

#### Afleiding

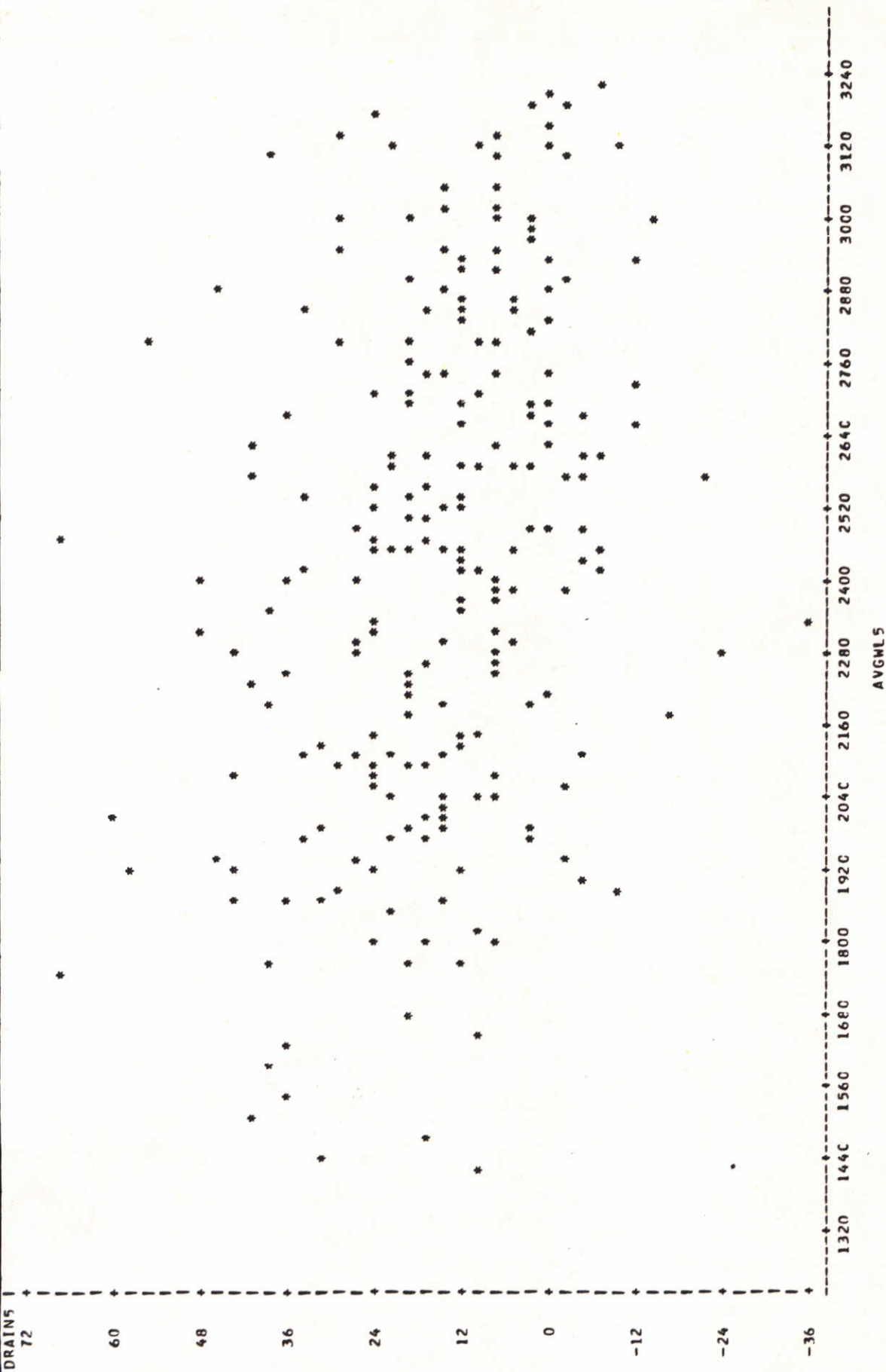
De basisdrainagefuncties leggen per grondwaterregio het verband tussen de heersende grondwaterstand, en de hoeveelheid water, die uit de verzadigde zone uit de ondergrond verdwijnt, anders dan via capillaire opstijging. Voor verdere achtergronden van het basisdrainage-concept wordt verwezen naar paragraaf 2.2.

De eerste versie van de basisdrainagefuncties is afgeleid door middel van calibratie. Hiertoe is een speciale versie van het Plotwatermodel gehanteerd: de "waargenomen" grondwaterstanden in de betreffende grondwaterregio's in de periode van januari 1967-december 1976 zijn in het model ingevoerd en per tijdstap is de bijbehorende drainage berekend. Om het waterverbruik van het gewas te bepalen zijn enige aannamen nodig; zo is ondermeer aangenomen dat over de gehele grondwaterregio's één grondsoort (loamy medium coarse sand; type 7 Rijtema), één gewas (gras) en één worteldiepte (30 cm) aanwezig is. De differentiatie in plots is bij deze calibratie dus achterwege gebleven. Gevolg is, dat de berekende evapotranspiratie zal afwijken van de werkelijke.

De berekende drainage is voor elke tijdstap tussen 1967 en 1976 uitgezet tegen de "waargenomen" grondwaterstand. Dit levert voor vrijwel elke grondwaterregio een puntenwolk op, met andere woorden een duidelijk verband treedt hieruit niet naar voren. Figuur 3.2 geeft als voorbeeld het resultaat voor grondwaterregio 5.

<sup>\*</sup>) Het gemiddelde over de periode 1967-1976 ligt hoger dan het gemiddelde over de periode 1953-1977 (zie ook de bijgevoegde tabellen voor de gemiddelde grondwaterstand over verschillende perioden in bijlage A, tabellen A1 en A2)





Figuur 3.2 Voorbeeld relatie berekende drainage en waargenomen grondwaterstand (AVGWL) voor grondwaterregio 5.  
(Berekende basisdrainagefunctie  $BD = 44.25 - 0.012 \cdot \text{AVGWL}$ ;  $r^2 = 0.10$ )

geraken is een lineaire regressie van de basisdrainage op de grondwaterstand uitgevoerd<sup>\*)</sup>. De waarden van  $r^2$  die dit oplevert zijn bedroevend laag:

- voor diep grondwater (HILO=2) loopt  $r^2$  uiteen van 1 - 20%, met een gemiddelde van ca. 10%;
- voor ondiep grondwater (HILO=1) is de situatie iets beter;  $r^2$  varieert tussen 3 - 45%, met een gemiddelde van ca. 20%.

Deze geringe waarden van  $r^2$  zullen gedeeltelijk kunnen worden toegeschreven aan de wijze waarop de basisdrainage is berekend, n.l. als een sluitpost welke nodig is om de waterbalans van de ondergrond kloppend te maken. Het feit dat de berekende drainage een sluitpost is betekent dat alle onzekerheden die in de berekening aanwezig zijn, zoals in de neerslag, de verdamping (aktueel en potentieel), de grondsoort (berging), de gewasfaktor etc. doorwerken in de basisdrainage.

Dit lijkt bevestigd te worden door de relatie die wordt gevonden wanneer de gemeten afvoeren van een beek worden gecorreleerd aan de gemeten grondwaterstanden in het betreffende stroomgebied. Hierbij worden duidelijk hogere waarden van  $r^2$  gevonden. In par. 3.3 en par. 4.5 wordt hierop teruggekomen.

#### Verifikatie

Er is een vergelijking gemaakt tussen de regionale waterbalansen voor Zuid-Drente en Overijssel voor de jaren 1971, 1975 en 1976 gebaseerd op enerzijds uitgevoerde metingen en anderzijds op resultaten verkregen met het Plotwatermodel, waarin de eerste versie van de basisdrainagefuncties is opgenomen (PAWN Memo MR-324). De vergelijking leert, dat het Plotwatermodel afvoeren (= basisdrainage) genereert, die aanzienlijk hoger zijn dan de feitelijk gemeten. Daarbij blijken de verschillen het grootst te zijn in de drogere jaren, en dan vooral in de drogere perioden. De droge perioden zijn echter met het oog op de beschikbaarheid van oppervlaktewater voor berekening ter voorkoming van droogteschade precies de belangrijkste perioden.

<sup>\*)</sup> De koëfficiënten van deze eerste versie van de basisdrainagefuncties zijn in bijlage B weergegeven.



Opgemerkt zij wel, dat er enige onduidelijkheid bestaat over de definiëring van de grenzen van de stroomgebieden; of deze voor beide gevallen wel precies dezelfde zijn. Dit kan uiteraard de grootte van de gevonden verschillen beïnvloeden, maar neemt niet weg dat de resultaten van de 1e versie van de basisdrainagefuncties ten aanzien van de voorspelling van afvoeren als niet-acceptabel beschouwd moeten worden.

#### Nadere analyse afgeleide basisdrainagefuncties

Onderzocht is, of een splitsing van de grondwaterstanden in grondwaterstanden groter dan gemiddelde ( $>\overline{GWS}$ ) en grondwaterstanden kleiner dan gemiddelde ( $<\overline{GWS}$ ) betere resultaten oplevert. Achtergrond van deze gedachte is dat het merendeel van de basisdrainage plaatsvindt bij grondwaterstanden  $<\overline{GWS}$  (gerekend vanaf maaiveld). Deze splitsing blijkt geen betere resultaten op te leveren, in tegendeel zelfs, de waarden van  $r^2$  worden nog veel kleiner dan wanneer alle grondwaterstanden gezamenlijk worden genomen. Dit viel achteraf overigens te verwachten, want het enige wat met de splitsing bereikt wordt is dat men twee puntenwolken krijgt met elk een geringer aantal waarnemingen.

Een splitsing, die mogelijk betere resultaten oplevert, is het opdelen van het jaar in twee, of mogelijk nog meer perioden. Om dan vervolgens voor elke regio een basisdrainagefunctie per periode af te leiden. Met deze splitsing wordt meer recht gedaan aan het in de tijd optredende verloop van grondwaterstand en drainage. Voor de gewenste opdeling in perioden kan een analyse van gemeten beekafvoeren mogelijk een aanwijzing geven.

#### 3.3 Analyse gemeten afvoeren in grondwaterregio's 2 en 5

Voor deze twee regio's zijn via distrikt Zuidoost van directie Waterhuishouding en Waterbeweging van RWS voor uiteenlopende perioden dagelijkse afvoermetingen beschikbaar:

GH2	: Drentse Aa	- 1975 - 1978
GH5	: Regge	- 1974 - 1978
	Dinkel	- 1975 - 1978

Deze dagelijkse waarnemingen zijn omgezet in halfmaandelijke gemiddelde afvoeren. De halfmaandelijke afvoeren van de twee beken binnen regio 5 zijn per tijdstap bij elkaar opgeteld. Het afvoerverloop van elk van de beide

regio's voor de jaren 1975 - 1976 moet nu binnen redelijke marges overeenstemmen met de berekende basisdrainage. Voor de beschouwde periode zijn de met de eerste versie van de basisdrainagefuncties berekende basisdrainage, de "waargenomen" grondwaterstanden voor de beide regio's en de gemeten afvoeren van de regio's in alle mogelijk combinaties tegen elkaar uitgezet. Het blijkt, dat alleen de "waargenomen" grondwaterstanden en de gemeten afvoeren een redelijke mate van samenhang vertonen. De berekende waarden van  $r^2$  bedragen hierbij:

$$\text{GH2: } r^2 = 0.83$$

$$\text{GH5: } r^2 = 0.74$$

Twee opmerkingen hierbij:

1. De drie grootheden hebben niet alle betrekking op hetzelfde gebied. De "waargenomen" grondwaterstanden slaan op het gebied met HIL0=2, terwijl de afvoeren betrekking hebben op de gehele grondwaterregio, dus met inbegrip van de HIL0=1 gedeelte. Verder verschilt de berekende basisdrainage enigszins van de oorspronkelijke versie. Vermoedelijke oorzaak hiervan is een iets andere versie van het Plotwatermodel.
2. De vraag is of de afvoeren van de verschillende beken binnen één grondwaterregio zo zondermeer per tijdstap bij elkaar mogen worden opgeteld. Op de totale hoeveelheid water, die in een jaar wordt afgevoerd zal het niet zozeer uitmaken; het verloop in de tijd kan door de verschillen worden beïnvloed. Dit aspect hangt weer nauw samen met het gekozen aggregatieniveau.

De gemeten afvoeren zijn vervolgens per regio gesplitst in afvoeren groter en afvoeren kleiner dan de gemiddelde afvoer. Deze beide groepen gemeten afvoeren zijn per regio uitgezet tegen de "waargenomen" grondwaterstanden. De waarden van  $r^2$  die hierbij worden gevonden zijn wat lager, dan wanneer alle afvoercijfers tegelijk gehanteerd worden.



regio	$r^2$ -waarden	
	$afv < \overline{afv}$	$afv > \overline{afv}$
GH2	0.69	0.55
GH5	0.52	0.18

Tabel 3.2 Korrelatie gemeten grondwaterstanden en afvoer bij splitsing in afvoeren

Behalve in afvoeren groter en kleiner dan gemiddeld, is er ook een splitsing aangebracht in grondwaterstanden groter en kleiner dan het gemiddelde. Dit levert de volgende waarden voor  $r^2$  op.

regio	$r^2$ -waarden	
	$GWS > \overline{GWS}$	$GWS < \overline{GWS}$
GH2	0.60	0.63
GH5	0.15	0.63

Tabel 3.3 Korrelatie gemeten grondwaterstanden en afvoer bij splitsing in grondwaterstanden

Voor het diepe grondwater blijkt alleen regio 2 een aanvaardbare waarde van  $r^2$  op te leveren; dit is (toevallig?) ook de regio waarvan de gemeten afvoer door slechts één beek wordt weergegeven. Voor regio 5 gaat het om twee beken, waarvan de afvoeren bij elkaar opgeteld zijn.

Onderzocht is verder welk percentage van de afvoer plaats vindt bij grondwaterstanden kleiner dan het gemiddelde. Deze percentages worden hieronder gegeven. Het aantal perioden met grondwaterstand groter of kleiner dan het

gemiddelde is niet gelijk, de tweede kolom bevat de percentages waarbij een correctie op het aantal perioden is uitgevoerd.

Regio	Percentage afvoer bij $GWS < \overline{GWS}$	
	zonder correctie	met correctie
GH2	65	71
GH5	72	76

Tabel 3.4 Percentage afvoer bij grondwaterstanden kleiner dan gemiddelde

### 3.4 Andere basisdrainage-funkties

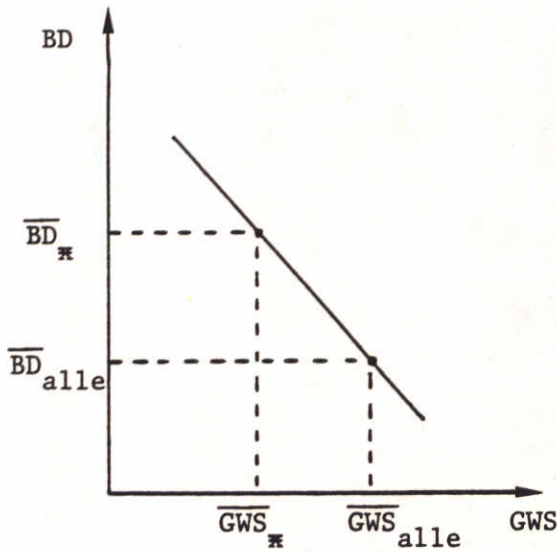
#### Afleiding tweede versie

De basisdrainagefunkties voor de gebieden met ondiep grondwater (HILO=1) zijn in de tweede versie gelijk gebleven aan de eerste versie. Voor de gebieden met HILO=2 is uitgegaan van de veronderstelling dat 80% van de afvoer plaats vindt bij grondwaterstanden kleiner dan de gemiddelde.

N.B. Uit de analyse van de afvoeren van de grondwaterregio's 2 en 5 volgt, dat dit percentage per regio kan verschillen en dat bovendien de 80% wat aan de hoge kant lijkt. Daarnaast heeft de analyse van de afvoeren betrekking op de gehele grondwaterregio en de nieuw af te leiden BD-funkties slechts op het deel met HILO=2.

Deze veronderstelling (van 80%) legt het tweede punt vast. Het eerste punt volgt uit de gemiddelde grondwaterstand en de gemiddelde basisdrainage, berekend over alle perioden. Door deze punten is een lijn bepaald welke de nieuwe basisdrainagefunkties geeft.





$$\overline{BD}_n \cdot \frac{N_n}{N_{tot}} = 0.8 \overline{BD}_{alle}$$

$\overline{GWS}_n$  = gemiddelde van de grondwaterstanden kleiner dan het "overall"-gemiddelde

$n_n$  = aantal waarnemingen met  $GWS < \overline{GWS}_{alle}$

$n_{tot}$  = totaal aantal waarnemingen

Figuur 3.3 Bepaling koëfficiënt basisdrainagefuncties

De koëfficiënten van deze tweede versie van de basisdrainagefuncties zijn voor de verschillende regio's in bijlage B opgenomen.

Vergelijking van de eerste en tweede versie van de basisdrainagefuncties wordt bemoeilijkt door het feit dat het punt met gemiddelde grondwaterstand en gemiddelde basisdrainage over alle perioden, niet voor beide versies gelijk is. Dit is eenvoudig te verifiëren door de gemiddelde grondwaterstand van de 1e versie in te vullen in de 2e versie; de "gemiddelde" basisdrainage die dit levert wijkt af van de eerder gevonden gemiddelde basisdrainage. Oorzaak hiervan is weer vermoedelijk een enigszins andere versie van het Plotwatermodel. Uitgaande van dezelfde gemiddelde basisdrainage voor de tweede versie als voor de eerste versie, is nagegaan welke verschillen dit oplevert in de gemiddelde grondwaterstand voor het gebied met HILO=2. De resultaten hiervan zijn gegeven in tabel 3.5 op de volgende bladzijde.

Kenmerkend verschil tussen beide versies is het steilere verloop van de functies voor HILO=2 bij de tweede versie (zie bijlage B). Het resultaat hiervan is een meer geprononceerde uitstroming van het grondwater: de drainage in de winter neemt toe, en die in de zomer neemt af.

Grondwaterregio	BD (1e versie)	GWL (1e versie)	GWL (2e versie)	D-GWL
1	1.0025	2025	1998	27
2	0.9844	1929	1895	34
3	0.9879	2180	2093	87
4	0.9945	2515	2485	30
5	0.9988	2431	2335	96
6	0.9694	1983	1881	102
7	0.9385	1504	1492	12
8	1.0666	4073	3897	176
9	1.0970	6950	6962	-12
10	0.9466	1625	1549	76
11	0.7720	2672	2716	-44
12	0.8096	1936	1941	- 5
13	0.8047	2070	2041	29
14	0.7897	1694	1671	23
15	0.8687	2951	2771	180
16	0.8826	3661	3553	108
17	1.0528	8653	8315	338

Tabel 3.5 Verschil in gemiddelde grondwaterstand tussen 1e en 2e versie basisdrainagefuncties (bij gelijkblijvende gemiddelde basisdrainage voor de gebiedsdelen met HIL0=2)

Toelichting:

BD (1e versie) = basisdrainage behorend bij de gemiddelde grondwaterstand (GWL 1e versie)

GWL (1e versie) = waargenomen gemiddelde grondwaterstand over de periode 1967 - 1976

GWL (2e versie) = grondwaterstand behorend bij de 2e versie van de basisdrainagefuncties en de gemiddelde basisdrainage BD (1e versie)

D-GWL =  $GWL (1e\ versie) - GWL (2e\ versie)$



Afleiding derde versie basisdrainagefuncties

Om de uitstroming naar het oppervlaktewater te versnellen is onderzocht, wat de invloed is van nog steilere basisdrainagefuncties. Deze derde versie is als volgt afgeleid:

- De gemiddelde basisdrainage is per grondwaterregio vastgesteld op basis van het neerslagoverschot<sup>\*)</sup>; komen er meerdere weerstations in één regio voor, dan is hiervoor een gemiddelde genomen. Met behulp van de tweede versie van de basisdrainagefuncties is vastgesteld bij welke grondwaterstand deze "gemiddelde" basisdrainage optreedt. Hiermee is één punt vastgelegd.
- Door dit punt is vervolgens een lijn bepaald, waarvan de steilheid twee maal zo groot is als in de tweede versie.

Deze procedure is toegepast zowel op het gebied met HIL0=2 als dat met HIL0=1. De resultaten hiervan zijn gegeven in bijlage B.

Ter vergelijking van de tweede en derde versie van de basisdrainagefuncties is voor de jaren 1967 en 1976 voor beide versies voor de subdistrikten 15 t/m 57 en 111 t/m 140 per subdistrikt en per decade de gemiddelde grondwaterstand (een gewogen gemiddelde over de plots) bepaald en is bovendien het jaarlijkse gemiddelde bepaald. De verschillen in de jaarlijkse gemiddelden zijn vrij gering: hooguit een tiental centimeters. Dit verschil kan mede veroorzaakt zijn, door het verschil in de gemiddelde basisdrainage van de beide versies.

Overigens betekent dit resultaat alleen dat het jaarlijkse gemiddelde van de grondwaterstand slechts weinig afhankelijk is van de steilheid van de basisdrainagefuncties. Een konsekwentie van het steiler verloop van de basisdrainagefuncties is, dat het verloop van de fluktuaties in de grondwaterstand afgezwakt wordt. Dit kan geïllustreerd worden aan het verschil tussen het jaarlijkse gemiddelde en de hoogste decade-waarde als gegeven in tabel 3.6.

---

\*) Neerslagoverschot daarbij gedefinieerd als:  $N - 0.7 * E_0$ .

		2e versie	3e versie
subdistrikt 33 jaar 1976	jaarl. gem.	1070	974
	hoogst dec.	1316	1120
	verschil	246	146
subdistrikt 34 jaar 1976	jaarl. gem.	2641	2554
	hoogst dec.	2942	2694
	verschil	301	140

Tabel 3.6 Verschillen resultaten 2e en 3e versie basisdrainagefuncties

De steilere functies geven dus minder grote afwijkingen naar beneden te zien dan de flauwere basisdrainagefuncties.

### 3.5 Relatie gemeten beekafvoer - neerslagoverschot

Voor een 15-tal beken, waarvan in de periode 1974-1978 een redelijke hoeveelheid meetgegevens voorhanden zijn, is de relatie onderzocht tussen de gesommeerde jaarafvoer en het neerslagoverschot. Daartoe is uit het maandelijkse gemiddelde ( $m^3/s$ ) het jaargemiddelde bepaald (eveneens in  $m^3/s$ ); wat vervolgens is omgezet in mm/jaar voor het beschouwde stroomgebied.

Om enig inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de waarnemingen is nagegaan welke gewasfactor nodig is om overeenstemming tussen de gemeten jaarafvoer en het neerslagoverschot te bewerkstelligen. Het neerslagoverschot is gedefinieerd als:  $N - f \cdot E_p$ , met

$N$  = jaarsom van neerslag voor het representatief weerstation.

$E_p$  = jaarsom verdamping open water voor dat weerstation.

$f$  = gewasfactor.

Gemiddeld over 5 jaar ligt de benodigde gewasfactor voor de meeste beken tussen de 0.54 en 0.75, met een uitschieter naar beneden van 0.36 en naar boven van 0.98. De gewasfactor is voor het merendeel van de beken gemiddeld



genomen niet onredelijk; voor de afzonderlijke jaren zijn de resultaten minder goed. De Oude IJssel bijvoorbeeld, heeft een gemiddelde gewasfaktor van 0.72, welke is samengesteld uit de volgende waarden:

	N	E	afvoer	benodigde gewasfaktor f
1974	856	665	267	0.89
1975	618	695	182	0.63
1976	509	764	96	0.54
1977	781	625	152	1.01

Tabel 3.7 Berekende gewasfactoren Oude IJssel

Doorgaans worden waarden van 0.6-0.7 als redelijk beschouwd, met voor bijzonder droge jaren wellicht nog iets lagere waarden. Voor een groot aantal jaren treden aanzienlijke afwijkingen op ten opzichte van deze "redelijke" waarden. Deze verschillen zullen ondermeer veroorzaakt zijn door:

- aanvulling of afstroming van de grondwatervoorraad (berging);
- onzekerheden in de gemeten rivierafvoer;
- onzekerheden in de definiëring van de grenzen van het stroomgebied + oppervlakte;
- "meetfouten" in neerslag en verdamping; en
- ruimtelijke spreiding van neerslag en verdamping.

Wordt bijvoorbeeld een benodigde gewasfaktor van 0.9 gevonden, dan kan dat betekenen dat:

- er in werkelijkheid meer is afgevoerd dan is gemeten, bijv. onderloopsheid van een stuw; of
- dat van de gehanteerde weergegevens de neerslag te hoog en/of de verdamping te laag is.

Een verschil van 0.1 in de gewasfaktor geeft een verschil in de afvoer van 60-70 mm/jaar; een verschil wat procentueel, gezien op de jaarsom van de drainage, aanzienlijke vormen kan aannemen.

### 3.6 Citaten uit andere rapporten

Afsluitend volgen onderstaand een aantal opmerkingen met betrekking tot basisdrainage uit diverse rapporten:

Uit de C-briefing over PAWN van december '79:

- Met de aanpak kunnen alleen gemiddelde effecten over grotere drainagegebieden en langere tijdsperioden worden gemodelleerd.
- Lokale effecten van onttrekkingen kunnen met genoemde aanpak niet tot uitdrukking worden gebracht.

Uit de Technische Evaluatie PAWN [3]:

- De basisdrainagefuncties, bepaald door calibratie op gemeten grondwaterstanden uit het TNO-archief, hebben een matige nauwkeurigheid, veroorzaakt door:
  - . het zeer hoge aggregatieniveau van de grondwatergebieden; en
  - . de grote spreiding in de resultaten.
- De voorspelling van de grondwaterstand is redelijk goed.
- Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar het gebruik van basisdrainagefuncties bij voorspelling van de beekafvoeren op de hoge gronden:
  - . recalibratie waarbij ook de gemeten beekafvoeren in de beschouwing worden betrokken; en
  - . vergelijking van het basisdrainage - concept met meer gedetailleerde modellen (GELGAM van de prov. Gelderland of GROMULA van WL) voor een beperkt proefgebied.

Uit Water naar Drente [4]:

- Er bestaat een nog vrijwel niet bestudeerd verband tussen de grondwaterstand en de mate van afvoer van de beken. Het neerslagoverschot komt via het grondwater vertraagd tot afstroming.
- De nauwkeurigheid van de afvoergegevens is diskutabel, enerzijds door onvolkomenheden in de meet-methode, anderzijds doordat de omvang van een aantal stroomgebieden niet goed bekend is. Uit berekeningen volgen standaarddeviaties in de gemiddelden van ca. 40%.
- De afvoeren van beken in hetzelfde gebied zullen gekorreleerd zijn. Is deze correlatie erg groot, dan kan hiervan gebruik worden gemaakt, om voor bepaalde beken waarbij voor bepaalde perioden waarnemingen ontbreken deze



volgens het aangenomen verband te genereren.

Uit Nota ICW 1116 (Ernst/Feddes) [5]:

- Bij hoge zandgronden en bij grondwaterstanden dieper dan 75 cm beneden maaiveld, bestaat er een redelijk lineair verband tussen grondwaterstand en afvoer.

Uit Regionaal geohydrologisch onderzoek in de provincie Drente [6]:

- Daar zowel horizontale als radiale weerstand met afnemende grondwaterstand toenemen, blijkt wel, dat de drainageweerstand ook moet toenemen met afnemende grondwaterstand en dat de relatie afvoer-grondwaterstand op theoretische gronden niet lineair kan zijn.

#### 4 Nadere analyse grondwaterregio 5 - distrikt 17

##### 4.1 Grondwaterstanden in grondwaterregio 5

De waarnemingen van verschillende putten zijn samengesteld tot één voor de betreffende grondwaterregio representatieve reeks, zowel voor het gebied met HILO=1 als HILO=2. Onderzocht is in hoeverre het verloop van de grondwaterstanden in beide gebieden overeenstemt (zie figuren 4.1 t/m 4.3 achteraan dit hoofdstuk). Deze overeenstemming blijkt vrij redelijk, hoewel de spreiding in figuur 4.3 niet onaanzienlijk is.

In de figuren 4.4 en 4.5 zijn voor het jaar 1976 voor het gebied met HILO=1 en HILO=2 de waargenomen grondwaterstanden uitgezet tegen de met de tweede respectievelijk derde versie van de basisdrainagefuncties berekende waarden. De berekende grondwaterstanden zijn bepaald door over de verschillende subdistrikten te middelen (een oppervlakte gewogen gemiddelde). Uit beide figuren blijkt, dat na de 15e decade de diepte van de grondwaterstand systematisch wordt onderschat. De in het begin van het jaar optredende verschillen worden in belangrijke mate veroorzaakt door het inspeelverschijnsel.

Verder blijkt, dat met de derde versie (steilste versie) deze onderschatting het grootst is. De verschillen tussen de waargenomen waarden en de berekende waarden zijn voor HILO=2 groter dan voor HILO=1. De diepste grondwaterstand in het gebied HILO=2 wordt met de derde versie van de basisdrainagefuncties met ca. 0.50 m onderschat.

##### 4.2 Relatie waargenomen afvoer - berekende distriktlozing voor distrikt 17

###### (Dinkel)

De gemeten afvoer van het riviertje de Dinkel is voor 1976 uitgezet tegen de lozing van distrikt 17 (Dinkel) op het distributiesysteem, zoals berekend met de tweede, respectievelijk derde versie van de basisdrainagefuncties (zie figuur 4.6). De distriktlozing is opgebouwd uit de berekende basisdrainage (heeft verreweg het grootste aandeel), de stedelijke afvoer, en de regenval minus verdamping van open water.



Het met de derde versie van de basisdrainagefuncties berekende afvoerverloop blijkt bijzonder goed overeen te stemmen met het waargenomen verloop; dit ondanks het feit, dat het grondwaterstandsverloop (zie figuur 4.5) slecht gerepresenteerd wordt<sup>\*)</sup>. Alleen in de laatste paar decaden treden sterke verschillen in de afvoeren op, deze worden veroorzaakt door een te snel opkomen van de grondwaterstand, wat weer een gevolg is van het onderschatten van de maximale diepte welke de grondwaterstand aan het einde van de droge tijd bereikt. Het konstant houden van de grondwaterstand, een truc om de problemen te omzeilen, die het rekenschema van Rijtema geeft bij overgang van neerslagoverschot naar verdampingoverschot, speelt hierbij een belangrijke rol. Vergelijking tussen het berekende afvoerverloop met de tweede en derde versie van de basisdrainage functies leert, dat de derde versie (de steilste) tot een meer geprononceerde uitstroming van grondwater naar het oppervlaktewater leidt. Zowel de topafvoeren als de lage afvoeren worden beter weergegeven dan met de tweede versie.

Het berekende en het waargenomen afvoerverloop voor 1975 zijn uitgezet in figuur 4.7. De overeenkomst is minder goed dan voor 1976, met name de lage afvoeren in de "droge periode" (15 t/m 30 decade) worden te sterk overschat. In figuur 4.8 en 4.9 is voor 1975 een vergelijking gemaakt tussen de waargenomen en de met de derde versie van de basisdrainagefuncties berekende grondwaterstanden voor de gebiedsdelen met HILO=1 en HILO=2. Het grondwaterstandsverloop voor HILO=1 is niet geweldig, maar stemt toch in grote trekken overeen. Opvallend zijn de sterke stijgingen van de grondwaterstand bij de 3e, 9e en 33e decade; deze perioden vallen samen met perioden van intensieve neerslag (> ca. 40 mm/decade). In werkelijkheid reageert de grondwaterstand niet zo snel op deze grote neerslaghoeveelheden (zie waargenomen grondwaterstandsverloop). Deze verschillen hangen waarschijnlijk samen met de wijze waarop de grondwaterstand uit het bodemvochttekort wordt afgeleid.

Voor het gebied met HILO=2 is de overeenkomst tussen de berekende en waargenomen grondwaterstand vrij slecht; door de steile basisdrainagefunctie wordt het grondwaterstandsverloop teveel afgevlakt.

<sup>\*)</sup> Op de afvoeren van het HILO=2 - gebied is een reductie van 60 mm/jaar toegepast ( $\approx 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$  voor distrikt 17).

Daar de "standaard" beginvoorwaarden vrij sterk afwijken van de waargenomen grondwaterstanden zijn voor 1975 deze beginvoorwaarden aangepast:

voor HILO=1 400 mm i.p.v. 800 mm; en

voor HILO=2 1900 mm i.p.v. 2400 mm.

Deze aangepaste beginvoorwaarden betekenen een kleine verbetering: de invloed ervan is tussen de 10e en 15e decade wel uitgedempt (fig. 4.9).

Om een goede weergave van zowel de grondwaterstanden als de afvoeren te krijgen, moeten aan de steilheid van de basisdrainagefuncties tegenstrijdige eisen worden gesteld: voor het afvoerverloop is een steile functie vereist, terwijl voor de grondwaterstanden een tamelijk flauwe functie benodigd is.

#### 4.3 Relatie afvoer - neerslagoverschot voor distrikt 17

Onderzocht is welke gewasfactor nodig is, om overeenstemming te bewerkstelligen tussen de gemeten c.q. berekende afvoer en het neerslagoverschot. De benodigde gewasfactor is bepaald uit:

$$f = \frac{N - \text{afvoer}}{E_o}, \quad \text{met } N = \text{neerslag}$$
$$E_o = \text{openwater verdamping}$$

Voor de neerslag en verdamping zijn de cijfers gehanteerd van het weerstation KNMI nr. 6:

	N (mm/jaar)	E <sub>o</sub> (mm/jaar)
1975	651	665
1976	567	735

De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in tabel. 4.1\*)

\*) Op de berekende afvoeren van het HILO=2 gebied is hier een reductie van 60 mm/jaar toegepast. Voor distrikt 17 komt dit neer op een vermindering van de distriktslozing met 0.3 m<sup>3</sup>/s.



Jaar		afvoer (in mm/jaar)	benodigde gewasfaktor
1975	waargenomen	255.4	0.59
	3e versie BD-fies	230.7	0.63
	3e versie BD-fies met aangep. beginw.	251.1	0.60
1976	waargenomen	150.4	0.57
	2e versie BD-fies	186.1	0.52
	3e versie BD-fies	163.2	0.55

Tabel 4.1 Vergelijking waargenomen en berekende afvoer en gewasfaktor voor distrikt 17

Gekonkludeerd kan worden, dat er op jaarbasis een goede overeenstemming bestaat tussen de gemeten afvoer en de met de derde versie van de basisdrainagefuncties berekende afvoer. De gevonden waarden voor de gewasfaktor lijken niet onredelijk.

#### 4.4 Invloed basisdrainagefuncties op aktuele verdamping en droogteschade

Voor het jaar 1976 is onderzocht hoe de aktuele verdamping en de droogteschade afhangen van de ingevoerde versie van de basisdrainagefuncties. Beschouwd zijn TOT-A-P, dat is de totale aktuele verdamping in een jaar als percentage van de potentiële verdamping en PER-DAM, dat is de vermindering in de gewasproduktie (tengevolge van droogteschade) uitgedrukt als percentage van de potentiële gewasproduktie. De resultaten zijn voor de drie versies van de basisdrainagefuncties weergegeven in tabel 4.2.

PLOT	GEWAS	1e versie BD		2e versie BD		3e versie BD	
		TOT-A-P	PER-DAM	TOT-A-P	PER-DAM	TOT-A-P	PER-DAM
254	"NATUUR"	66.5	-	66.5	-	69.0	-
255	GRAS	74.8	36.5	74.8	36.5	76.6	33.7
256	"NATUUR"	60.0	-	60.0	-	60.0	-
257	GRAS	71.3	44.1	71.3	44.1	71.3	44.2
258	AARDAPPEL	78.6	65.2	78.6	65.1	78.6	65.0
259	GRANEN	72.8	73.1	72.9	73.0	72.9	73.0
260	TARWE	78.3	59.8	78.3	59.7	78.3	59.6

Tabel 4.2 Verschillen in aktuele verdamping en gewasschade voor verschillende basisdrainagefuncties

Alleen die plots van distrikt 17 zijn opgenomen, waarbij geen kunstmatige berekening is toegepast. Voor de natuurgebieden (plots 254 en 256) is de droogteschade niet gekwantificeerd. Vergelijking van de resultaten van de drie versies van de basisdrainagefuncties leert, dat de optredende verschillen marginaal zijn.

De plots 254 en 255 hebben betrekking op het HIL0=1 gebied, dat wil zeggen op het gebied waarvan de gemiddelde grondwaterstand minder dan 1 m onder het maaiveld ligt. Hier kan de capillaire opstijging nog een redelijke bijdrage leveren aan het bodemvocht in de wortelzone. Voor de plots 256 - 260 (HIL0=2 gebied) is deze bijdrage te verwaarlozen.

#### 4.5 Basisdrainagefuncties afgeleid uit waargenomen grondwaterstanden en afvoeren

Uit de analyse van het berekende verloop van afvoer en grondwaterstand volgt, dat een ander verband dan de gehanteerde lineaire betrekking tussen grondwaterstand en basisdrainage mogelijk betere resultaten oplevert. Bij een geringe diepte van het grondwater is een steiler verloop van de basisdrainagefunctie gewenst, terwijl bij een grotere diepte juist een flauwer verloop



benodigd is. Dit betekent, dat de basisdrainagefunctie een soort hyperbool- of paraboolvorm moet aannemen. Een dergelijk hyperbolisch of parabolisch verband sluit ook beter aan bij het in de praktijk aanwezige (zie figuur 4.10).

#### 4.5.1 Afleiding basisdrainagefuncties voor distrikt 17 (Dinkel)

De gemeten halfmaandelijks gemiddelde afvoeren van het riviertje de Dinkel zijn voor de jaren 1975 en 1976 voor de overeenkomstige perioden uitgezet tegen de waargenomen grondwaterstanden in de grondwaterregio 5. Het verband tussen grondwaterstand en afvoer is met een viertal verschillende functies benadert:

1. een lineair verband,

$$BD = a + b * GWS$$

2. een hyperbolisch verband,

$$BD = a (1/GWS)^b$$

3. een staand parabolisch verband,

$$BD = a * GWS^2 + b * GWS + c$$

4. een liggend parabolisch verband,

$$GWS = a' * BD^2 + b' * BD + c' * BD$$

$$\text{of } BD = a - \sqrt{(GWS/b + c)}$$

Van de beide parabolen wordt slechts één tak gehanteerd, daarbuiten wordt de waarde konstant gehouden. De koëfficiënten van de verschillende functies zijn met behulp van een regressieberekening vastgesteld.

De gevonden waarden zijn opgenomen in tabel 4.3, tevens is daarbij aangegeven hoe goed het aangenomen verband voldoet (waarde van  $r^2$ ). Voor de basisdrainage is de dimensie mm/dag, voor de grondwaterstand is de dimensie mm.

HILO=	VERBAND	a	b	c	r <sup>2</sup>
1	lineair	9.742	-0.00747	--	0.725
	hyperbolisch	8.878 * 10 <sup>9</sup>	3.3495	--	0.847
	staand parabolisch	7.912 * 10 <sup>-6</sup>	-2.267 * 10 <sup>-2</sup>	16.221	0.819
	liggend parabolisch	3.4252	72.7194	-6.5567	0.857
2	lineair	5.277	-0.00172	--	0.708
	hyperbolisch	2.037 * 10 <sup>23</sup>	6.9796	--	0.860
	staand parabolisch	1.4348 * 10 <sup>-6</sup>	-9.005 * 10 <sup>-3</sup>	14.207	0.772
	liggend parabolisch	10.0447	12.1199	-154.7549	0.854

Tabel 4.3 Resultaten regressie basisdrainagefuncties distrikt Dinkel

#### 4.5.2 Homogeniteit grondwaterregio 5

Voor het riviertje de Regge, waarvan het stroomgebied goeddeels overeenstemt met distrikt 18, zijn op dezelfde wijze als voor de Dinkel lineaire en hyperbolische BD-functies afgeleid gebaseerd op waargenomen afvoeren en grondwaterstanden. Het stroomgebied van de Regge ligt ook geheel binnen grondwaterregio 5. De koëfficiënten van de afgeleide functies zijn weergegeven in tabel 4.4.

HILO=	VERBAND	a	b	r <sup>2</sup>
1	lineair	4.817	-0.00308	0.76
	hyperbolisch	1.853 * 10 <sup>4</sup>	1.3801	0.84
2	lineair	3.946	-0.00115	0.74
	hyperbolisch	2.289 * 10 <sup>9</sup>	2.7738	0.83

Tabel 4.4 Resultaten regressie basisdrainagefunctie van de Regge  
(GWS in mm, en BD in mm/dag)

Vergelijken we de basisdrainagefuncties afgeleid op basis van de afvoeren van



de Dinkel met die op basis van de afvoeren van de Regge, dan blijkt dat deze sterk verschillen. Dit is het eenvoudigst te zien aan de lineaire functies: de functie voor de Dinkel is voor het gebied met HIL0=2 ongeveer 1.5 maal zo steil als die voor de Regge en voor het gebied met HIL0=2 zelfs ruim twee maal zo steil.

Uit deze verschillen kan gekonkludeerd worden dat de beschouwde grondwaterregio toch minder homogeen is als werd verondersteld. Dit zou tevens betekenen dat het gekozen aggregatieniveau te hoog is; de aanwezige verschillen binnen de regio komen onvoldoende tot uitdrukking.

Opgemerkt wordt, dat het afvoerverloop van de Regge zich duidelijk onderscheidt van andere riviertjes in de omgeving. Daar waar de afvoeren van die andere rivieren in de droge periode van 1976 tot vrijwel nul afnemen, is bij de Regge een afvoer van tenminste  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  aanwezig. Dit zou het gevolg kunnen zijn van een konstante lozing (b.v. van een zuiveringsinstallatie) op de Regge. Korrektheid van de afvoercijfers hiervoor, blijkt geen betere resultaten op te leveren.

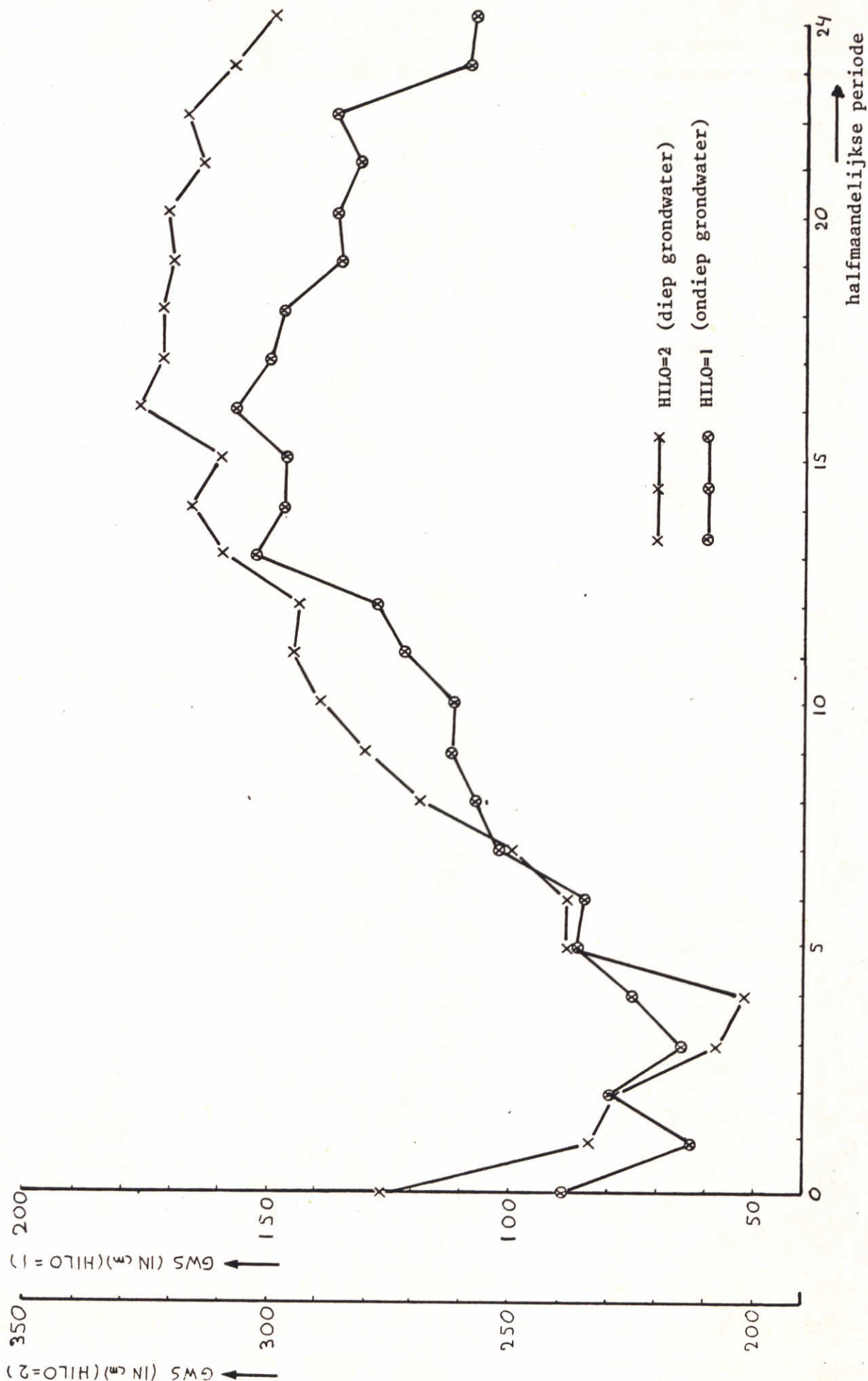
#### 4.5.3 Resultaten van nieuw afgeleide basisdrainagefuncties

In figuur 4.11 en 4.12 is voor de jaren 1976 en 1975 het afvoerverloop weergegeven, zoals dat is berekend met de op basis van de afvoeren van de Dinkel afgeleide lineaire functies. Vergelijking met de met de derde versie van de basisdrainagefuncties berekende, afvoeren (figuren 4.6 en 4.7) leert, dat deze nieuwe functie tot minder goede resultaten leidt. Bij de topafvoeren wordt het berekende verloop aanzienlijk grilliger, terwijl de lage afvoeren sterker overschat worden, dan met de derde versie van de basisdrainagefuncties het geval is.

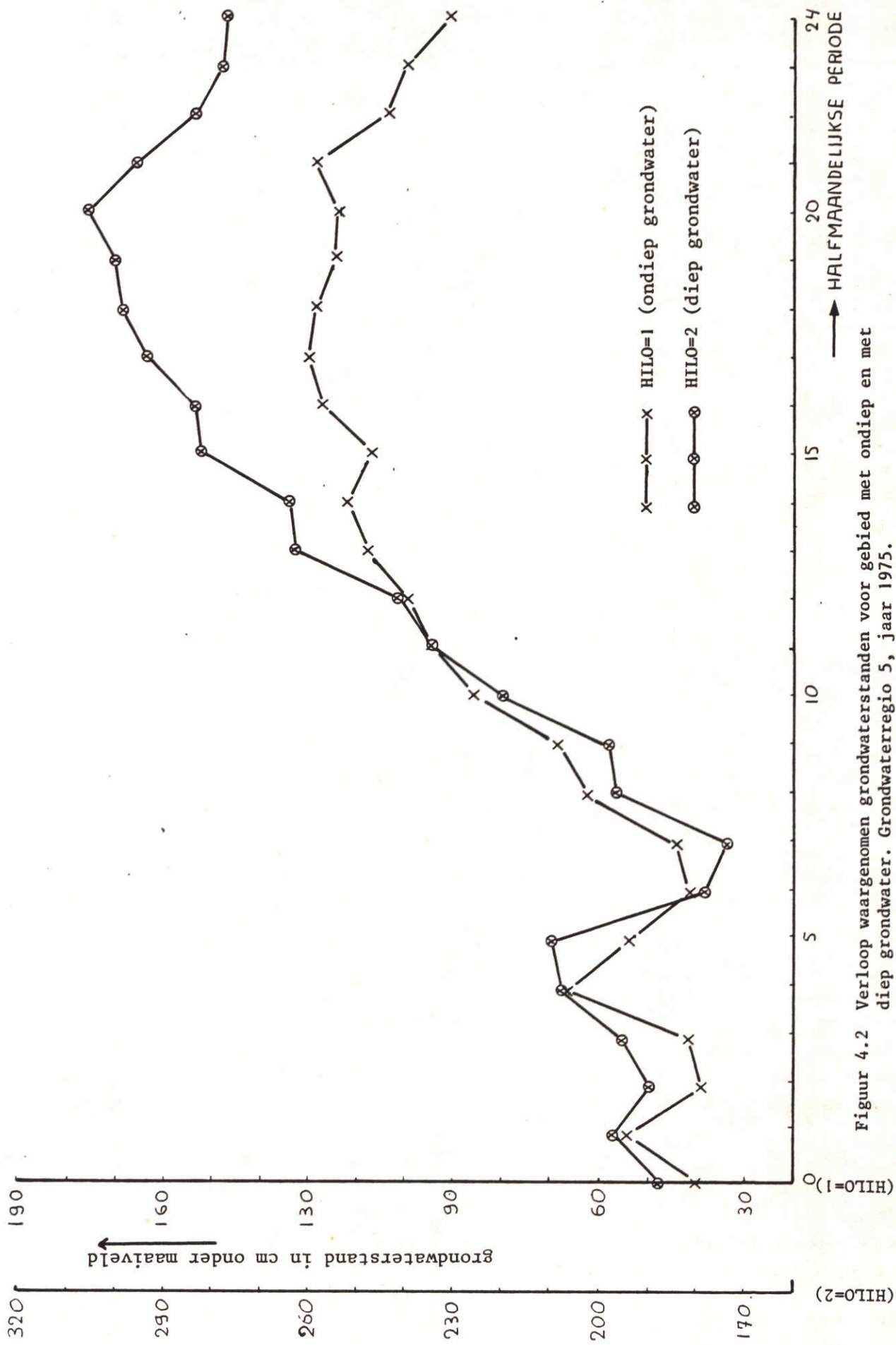
Ook de grondwaterstanden voor HIL0=1 (figuur 4.13) worden met de nieuwe functie slechter weergegeven; vergelijk figuur 4.8. Voor HIL0=2 stemmen de berekende en waargenomen waarden beter overeen (figuur 4.14). De verschillen in het grondwaterstandsverloop, met name de diepteligging van de gemiddelde grondwaterstand, laten zich eenvoudig verklaren uit de basisdrainagefuncties (zie figuur 4.15 en 4.16). Om voor het HIL0=1 gebied dezelfde gemiddelde

basisdrainage te realiseren is bij de nieuw afgeleide funktie een aanzienlijk diepere gemiddelde grondwaterstand nodig dan bij de 3e versie van de basisdrainagefunkties.



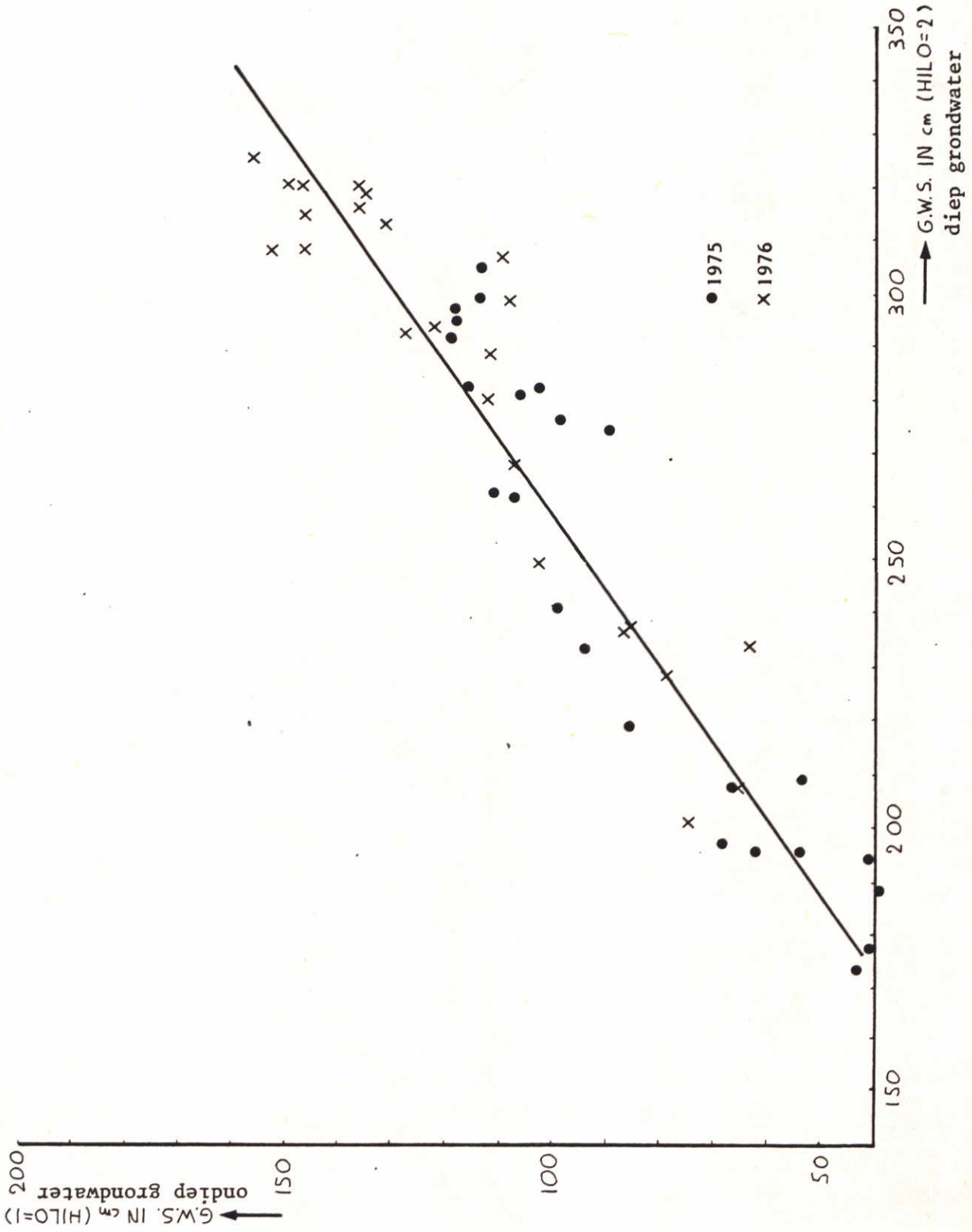


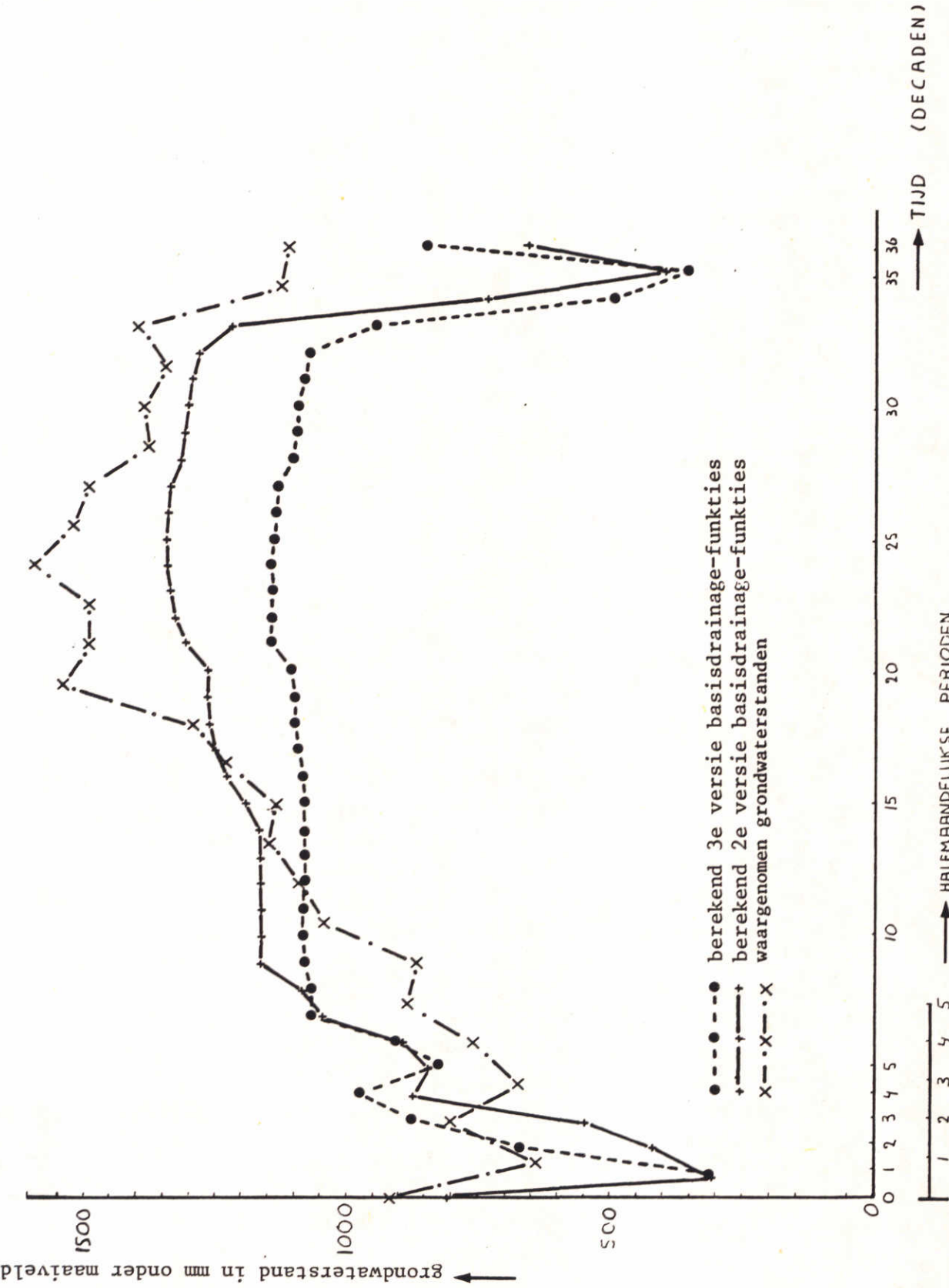
Figuur 4.1 Verloop waargenomen grondwaterstanden voor gebied met ondiep en met diep grondwater. Grondwaterregio 5, jaar 1976.



Figuur 4.2 Verloop waargenomen grondwaterstanden voor gebied met ondiep en met diep grondwater. Grondwaterregio 5, jaar 1975.

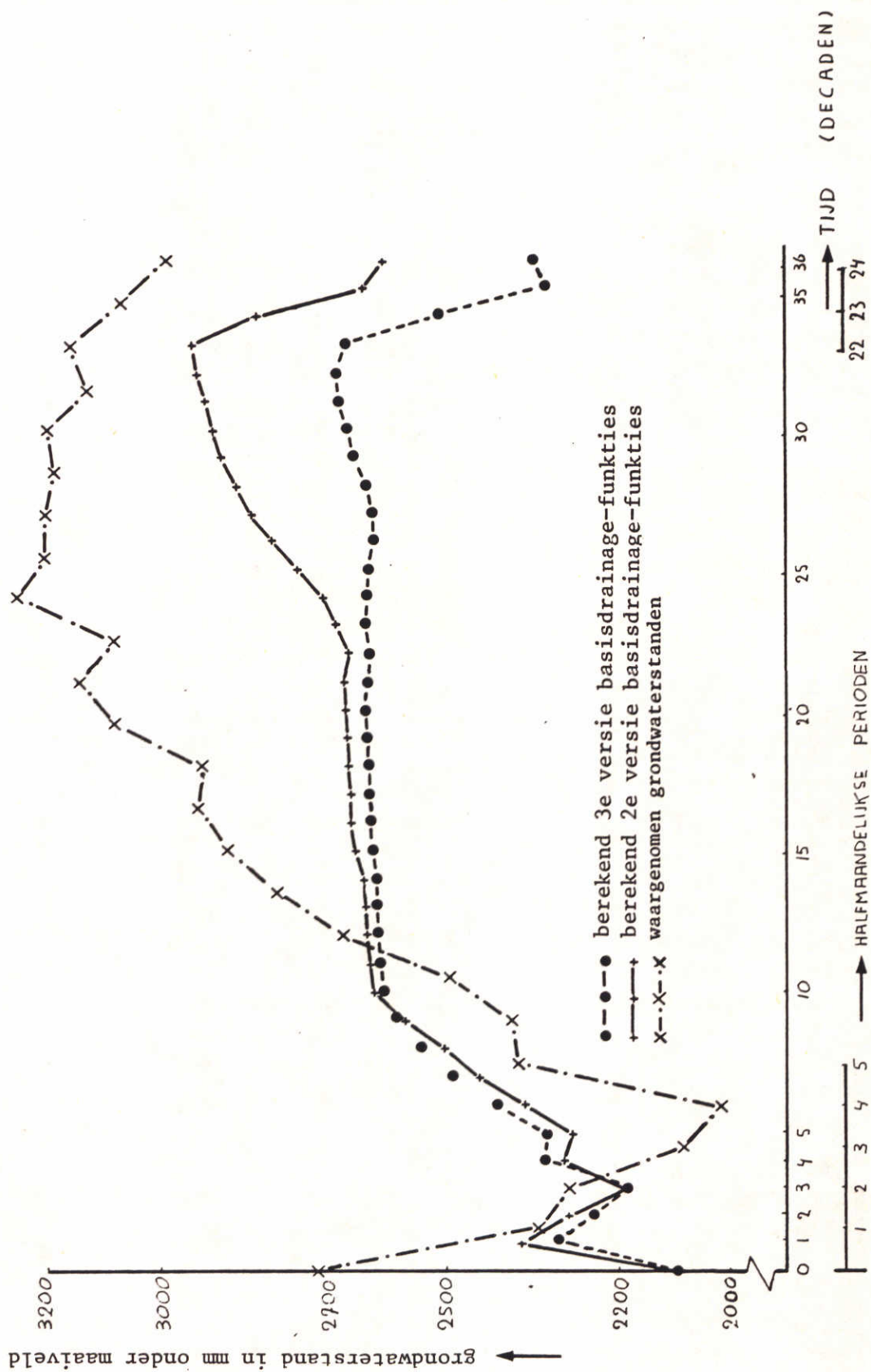




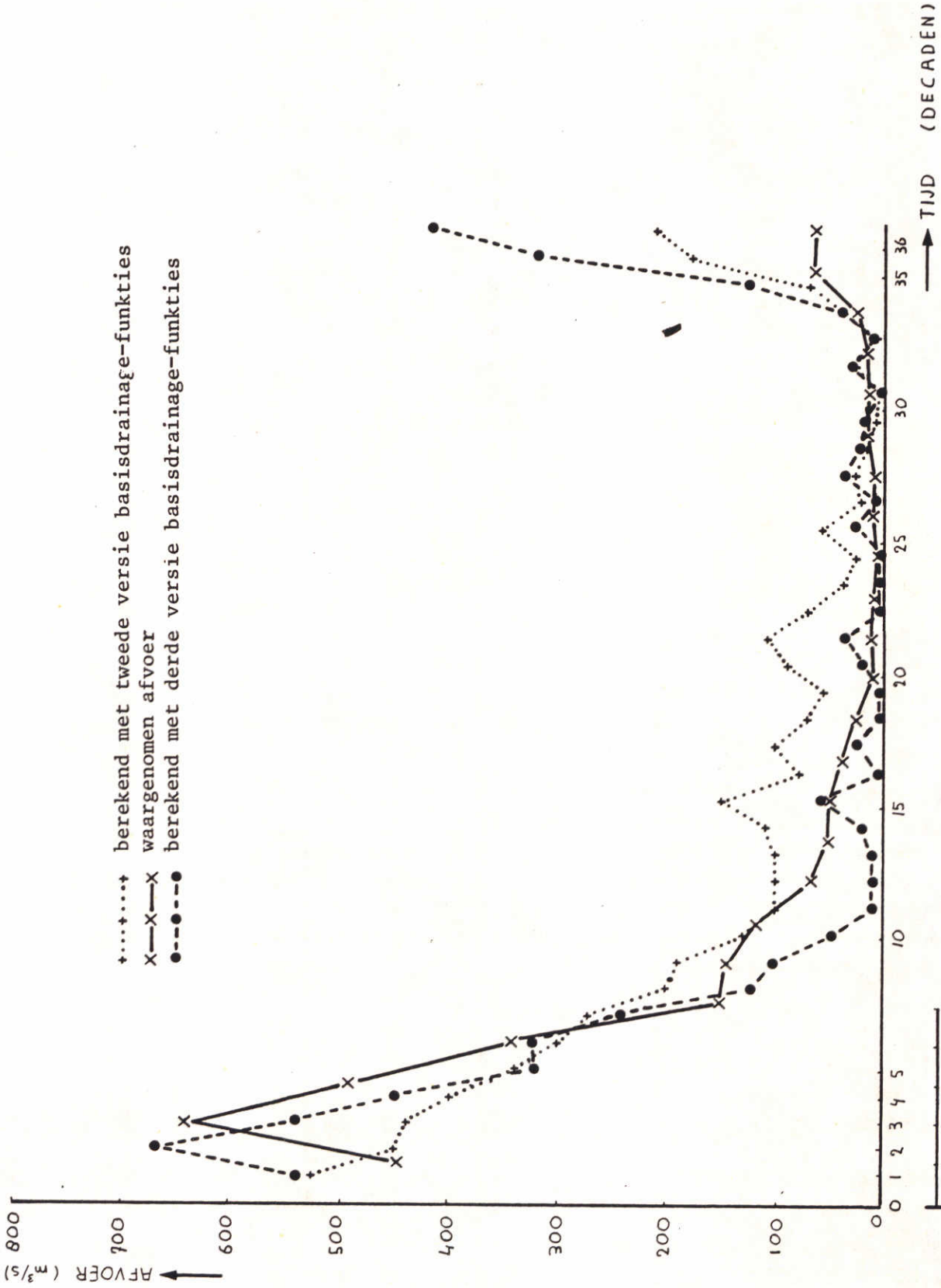


Figuur 4.4 Waargenomen en berekende grondwaterstanden (2e en 3e versie basisdrainagefunkties, grondwaterstanden) Grondwaterregio 5, HILO=1, jaar 1976.



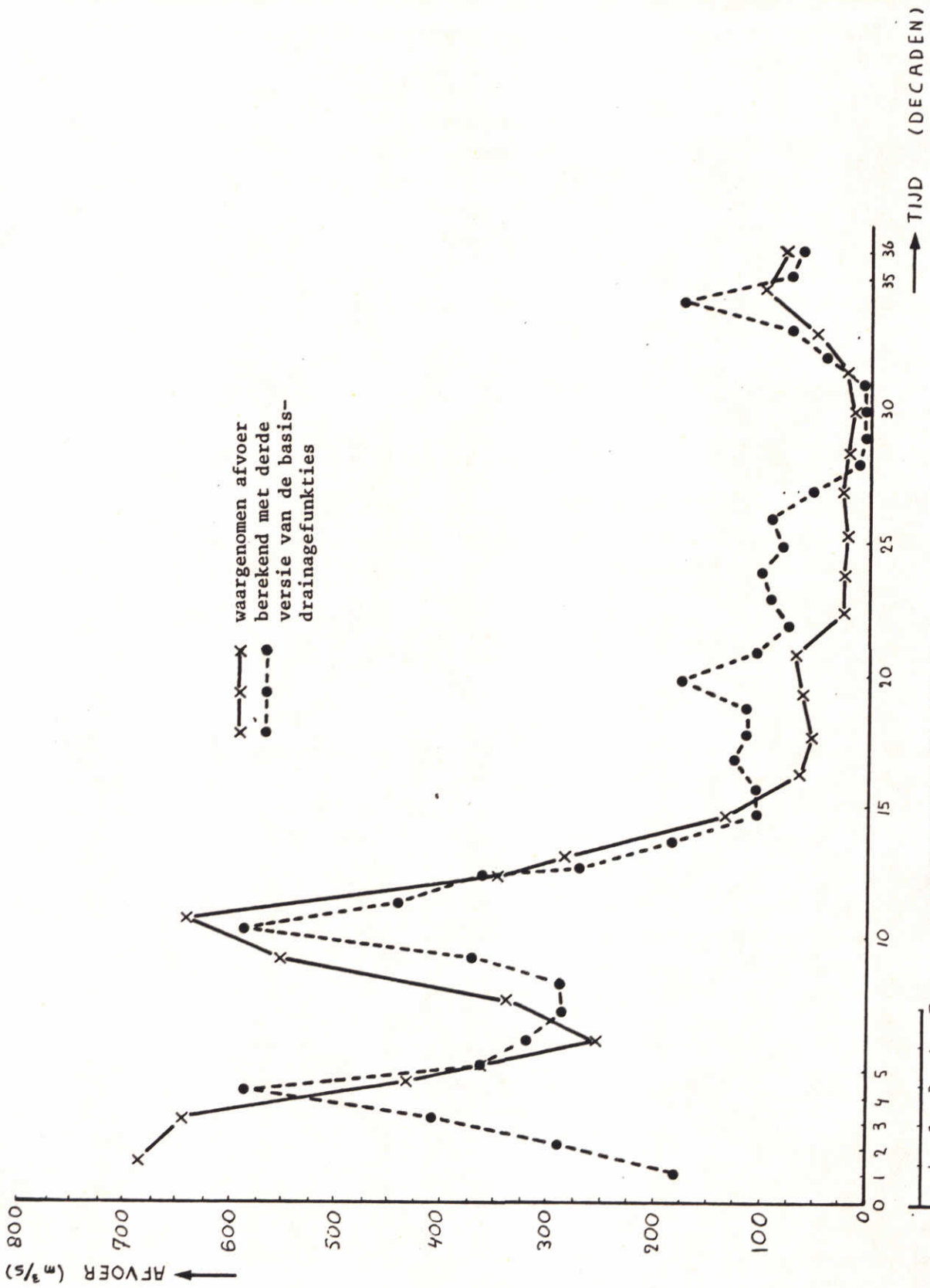


Figuur 4.5 Waargenomen en berekende grondwaterstanden (2e en 3e versie basisdrainagefunkties, grondwaterstanden).  
Grondwaterregio 5, HIL0=2, jaar 1976

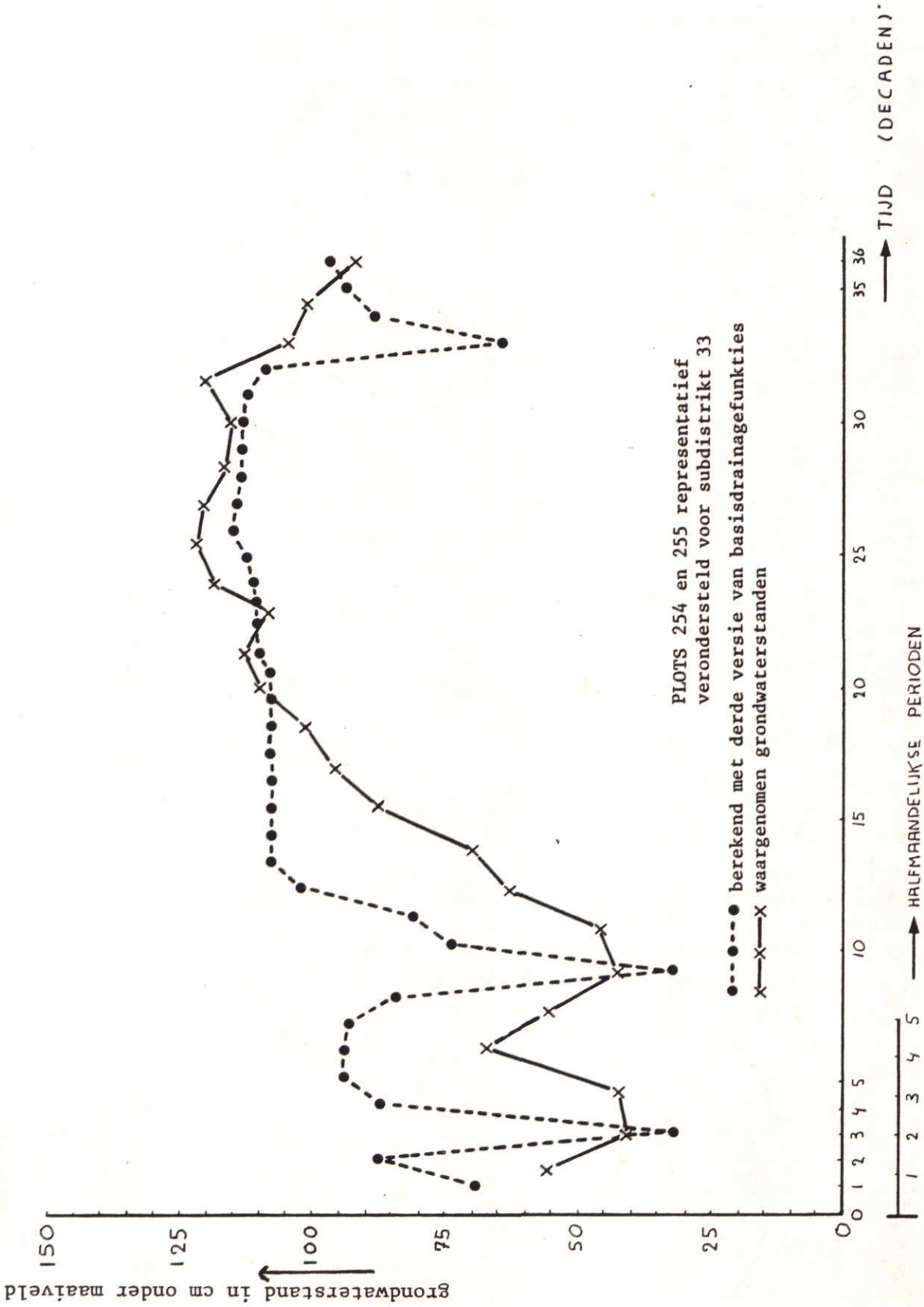


Figuur 4.6 Vergelijking waargenomen afvoer met berekende distriktislozing op het distributiesysteem. Distrikt 17 Dinkel, jaar 1976.



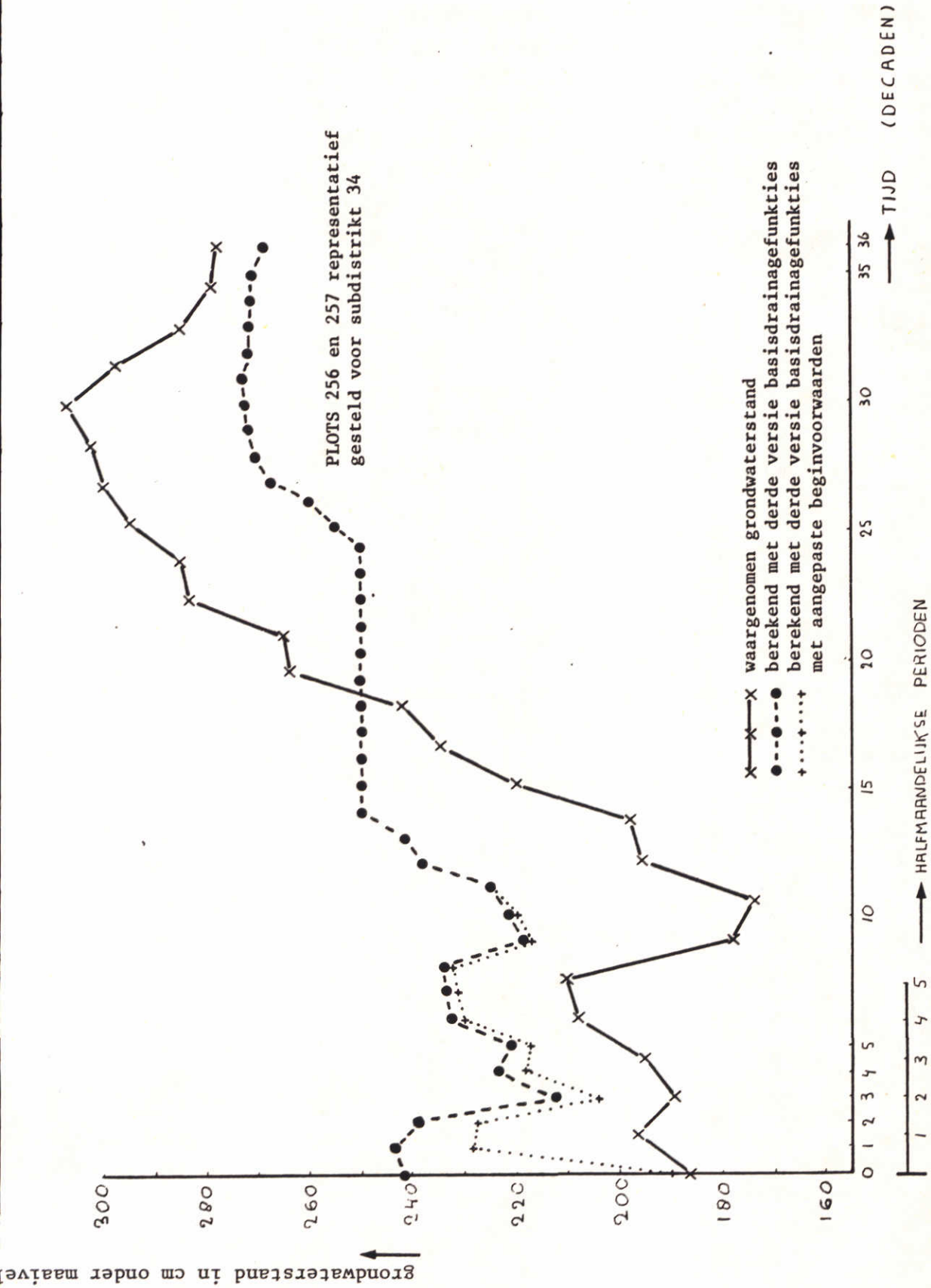


Figuur 4.7 Vergelijking waargenomen afvoer met berekende distriktslozing op het distributiesysteem. Distrikt 17 Dinkel, jaar 1975.

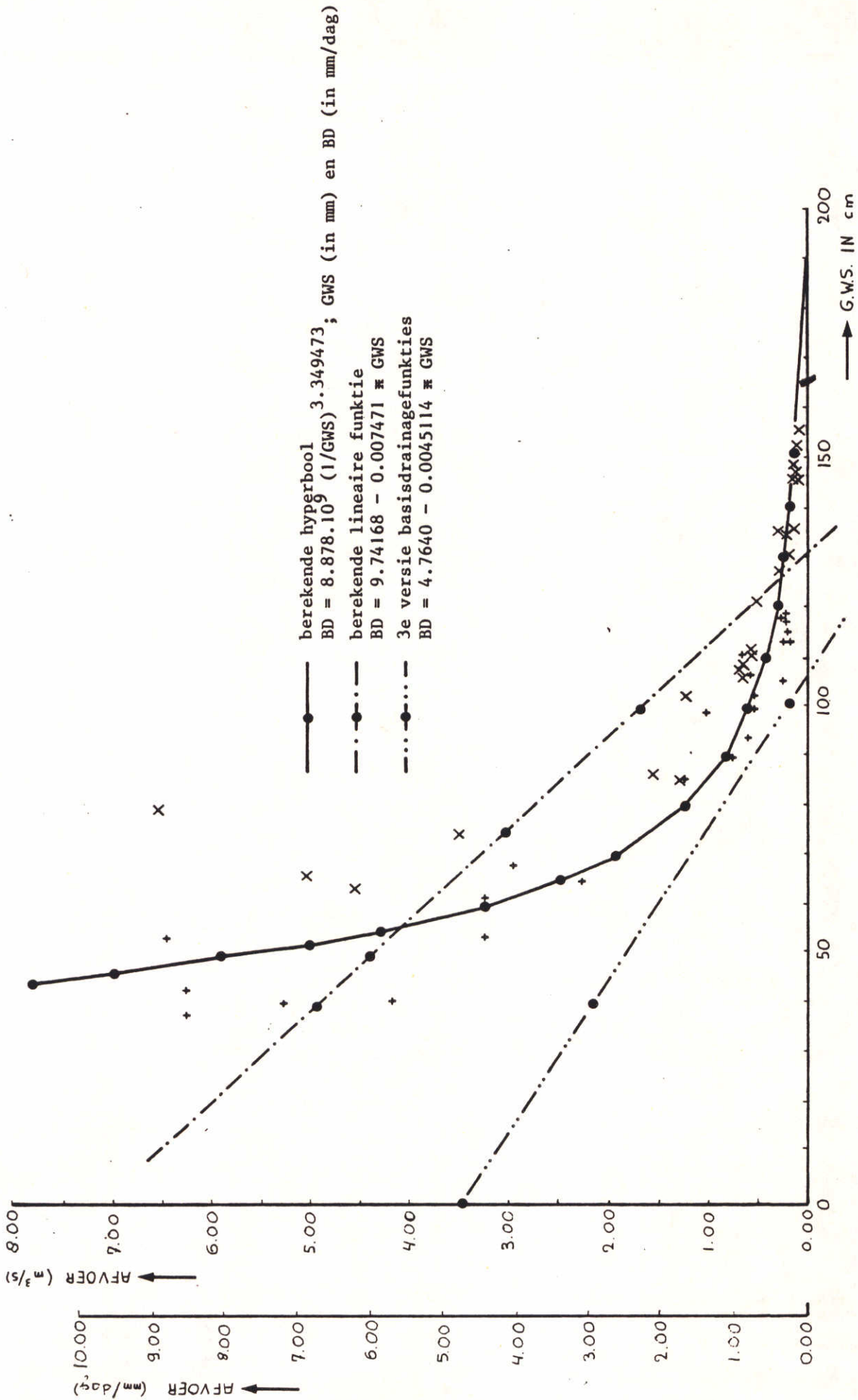


Figuur 4.8 Waargenomen en berekende grondwaterstanden (3e versie basisdrainagefuncties).  
Distrikt 17 Dinkel, HIL0=1, jaar 1975.



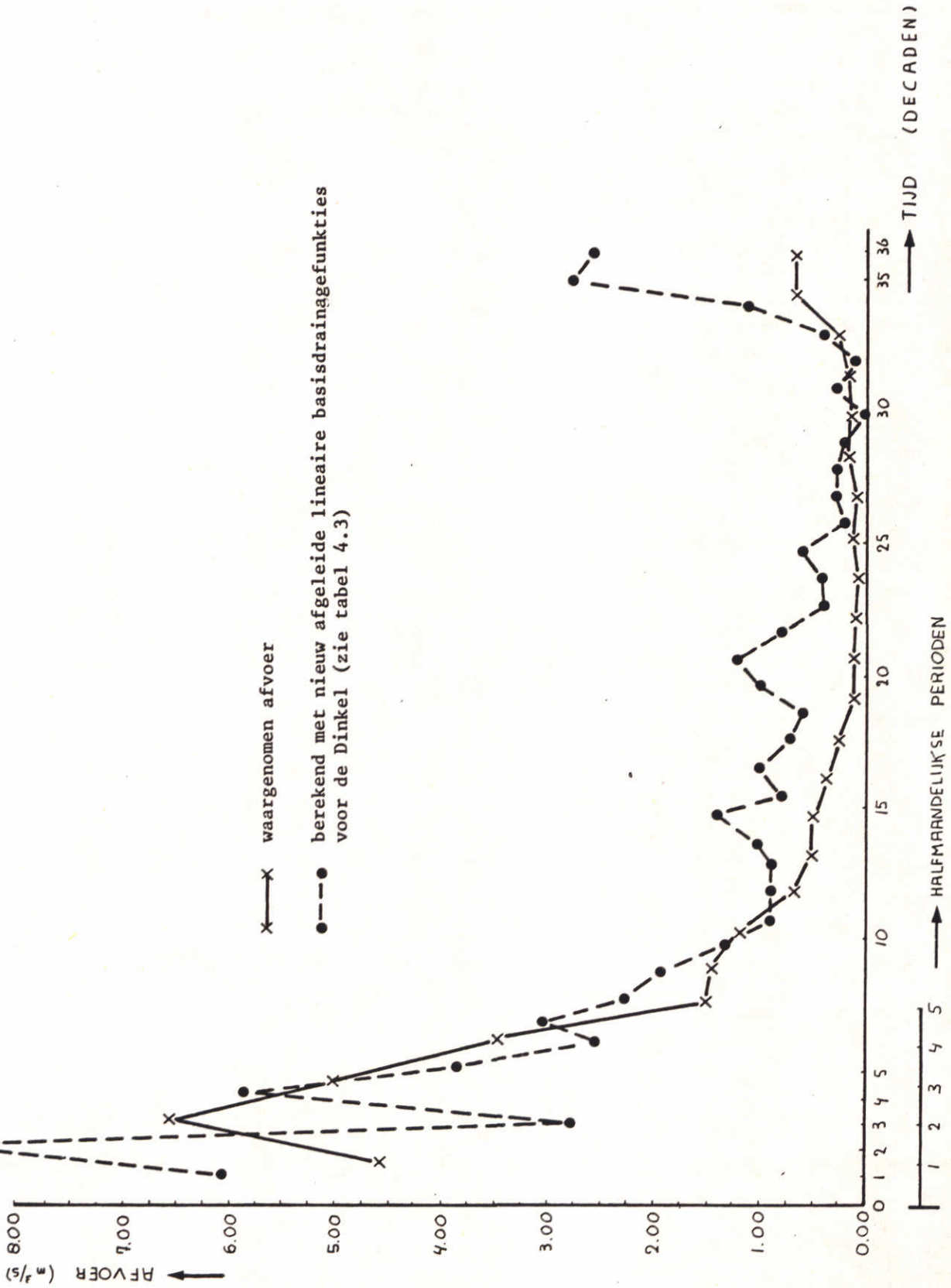


Figuur 4.9 Waargenomen en berekende grondwaterstanden (3e versie basisdrainagefunkties).  
Distrikt 17 Dinkel, HILO=2, jaar 1975

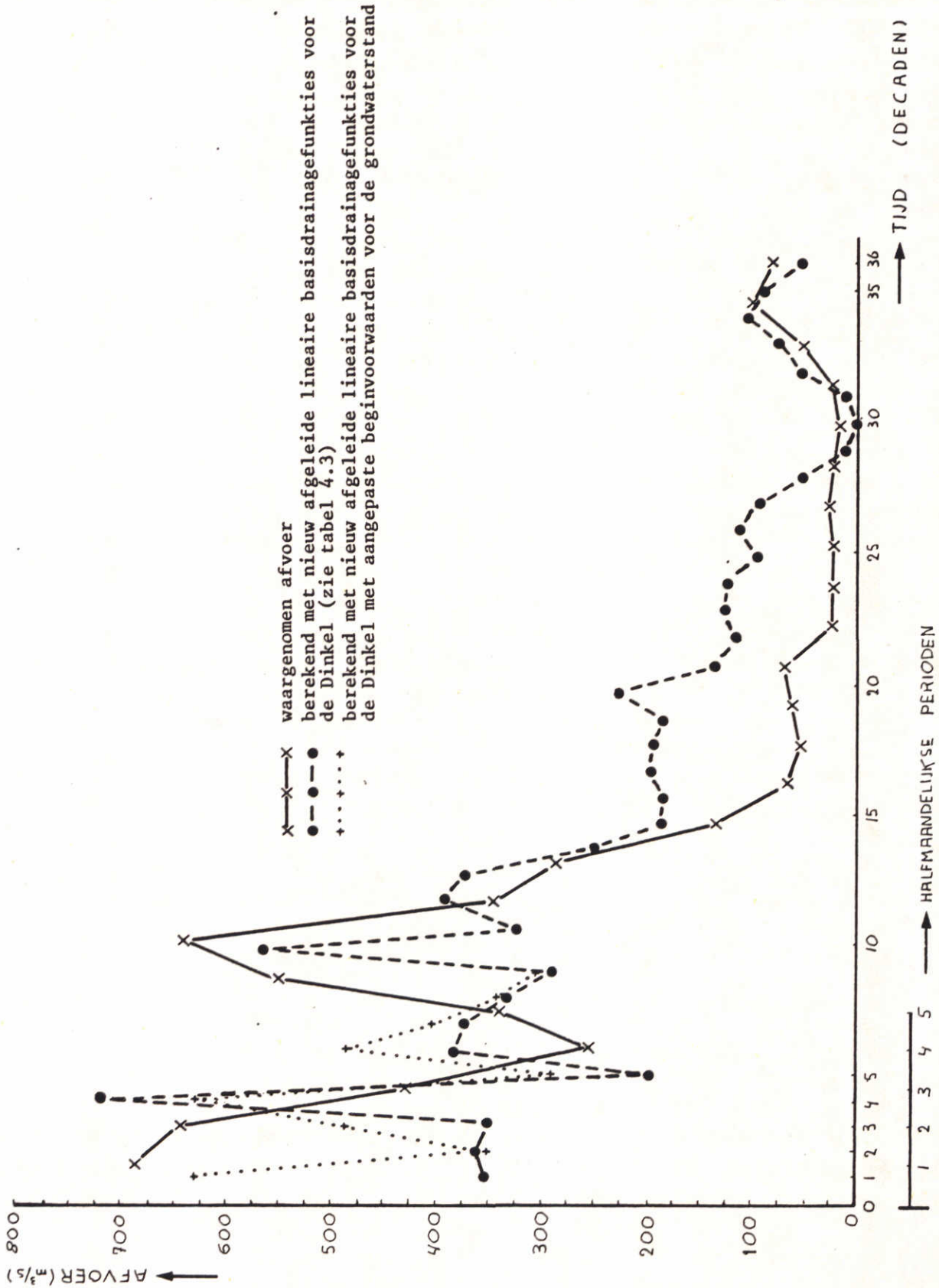


Figuur 4.10 Verband tussen waargenomen afvoer van de Dinkel en waargenomen grondwaterstanden in grondwaterregio 5 voor het gebied H10=1, jaar 1975 en 1976



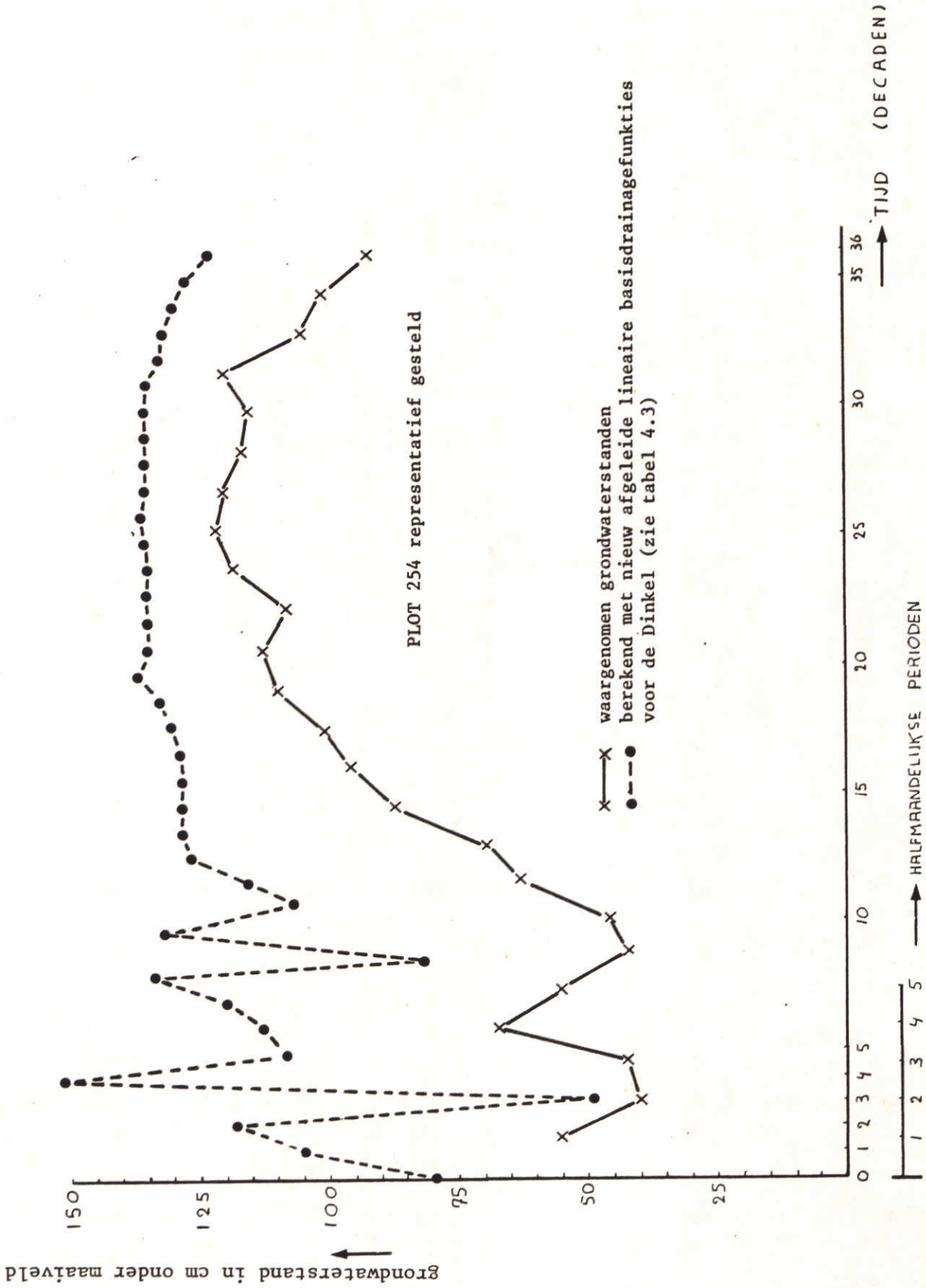


Figuur 4.11 Waargenomen en berekende afvoer met nieuwe basisdrainagefunctie van de Dinkel, distrikt 17, jaar 1976.

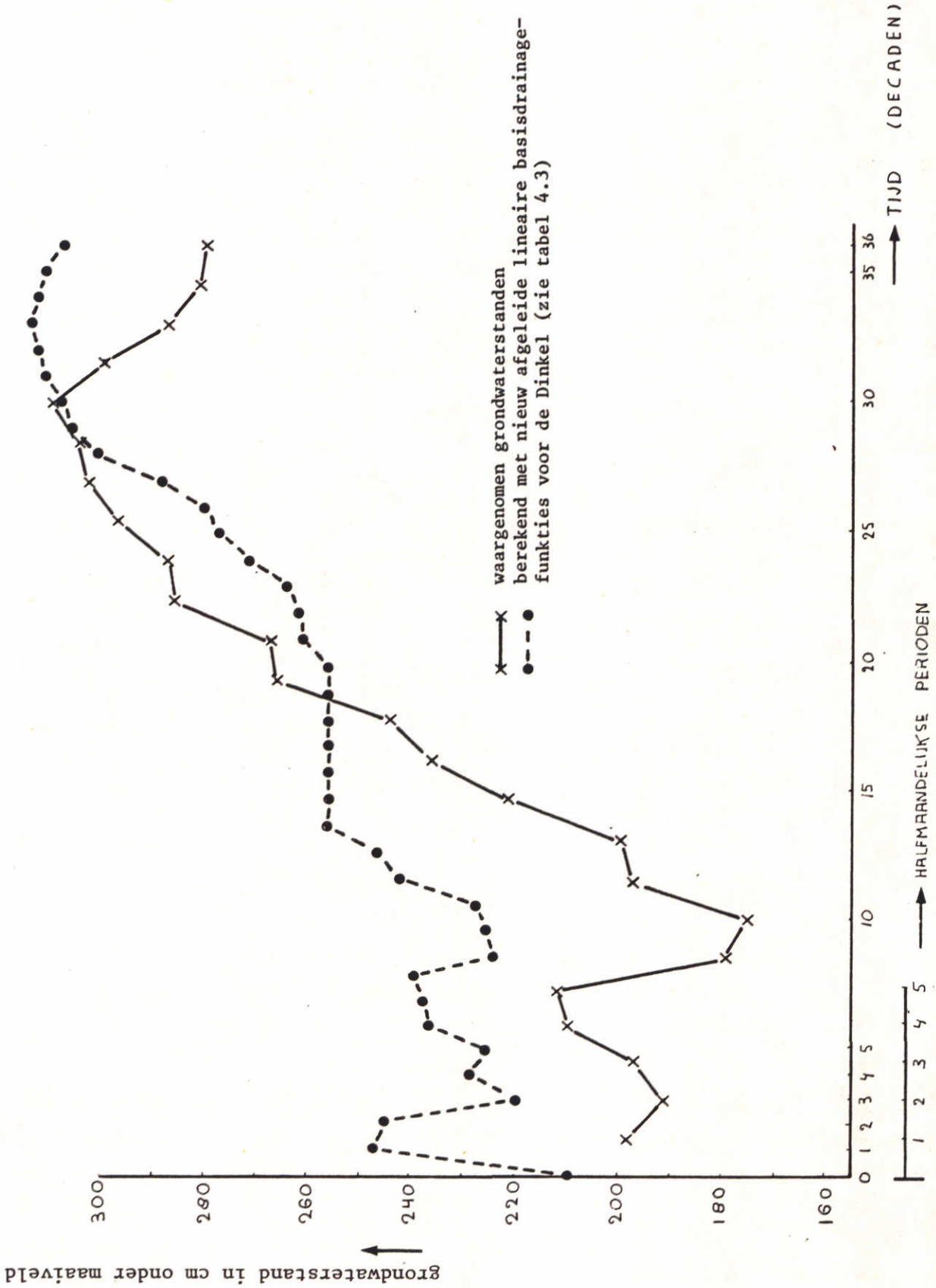


Figuur 4.12 Waargenomen en berekende afvoer van de Dinkel, distrikt 17, jaar 1975. Aangepaste beginvoorwaarden.

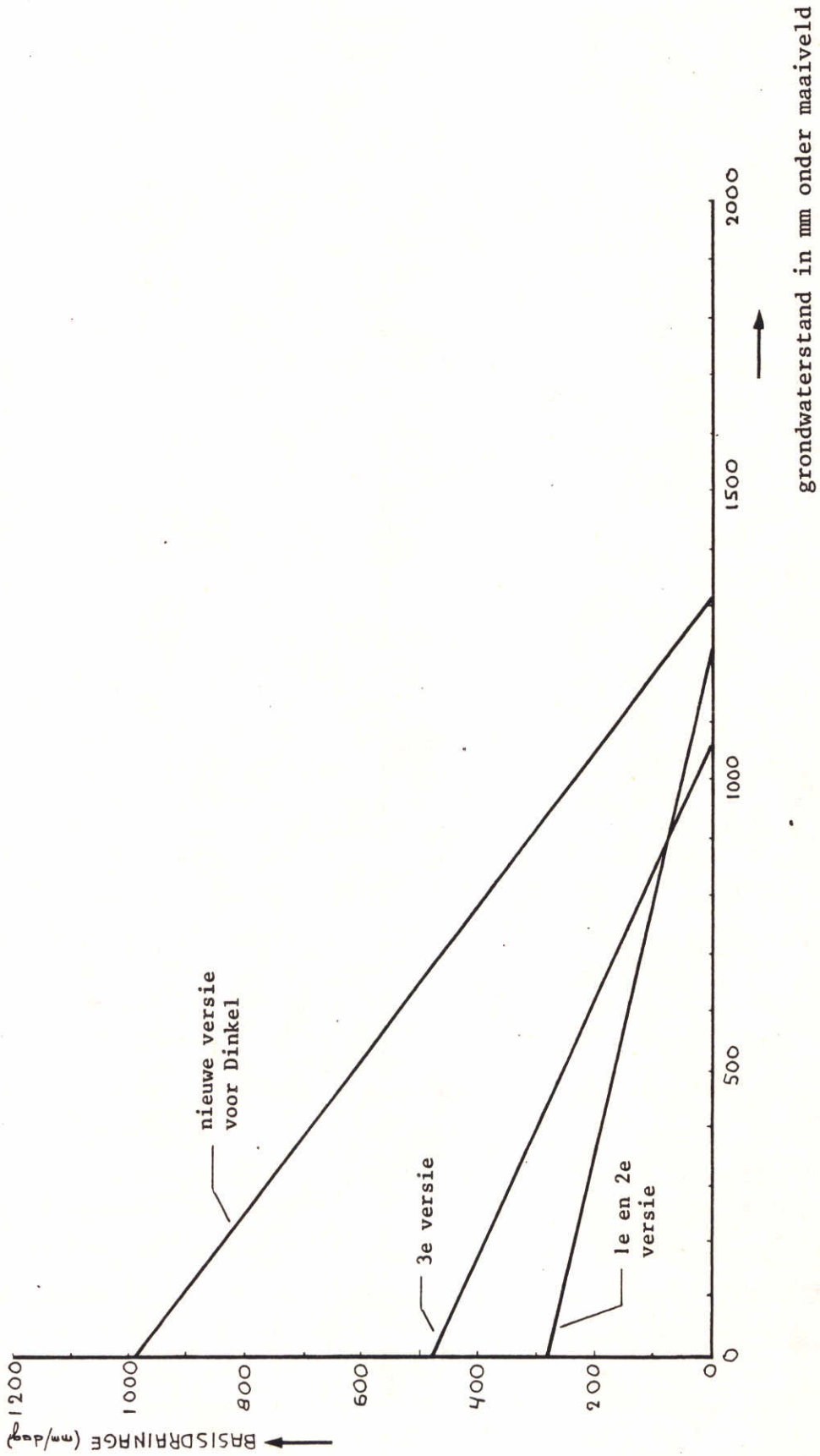




Figuur 4.13 Waargenomen en berekende grondwaterstanden. Distrikt 17 Dinkel, HILO=1, jaar 1975. Nieuwe basisdrainagefunctie.

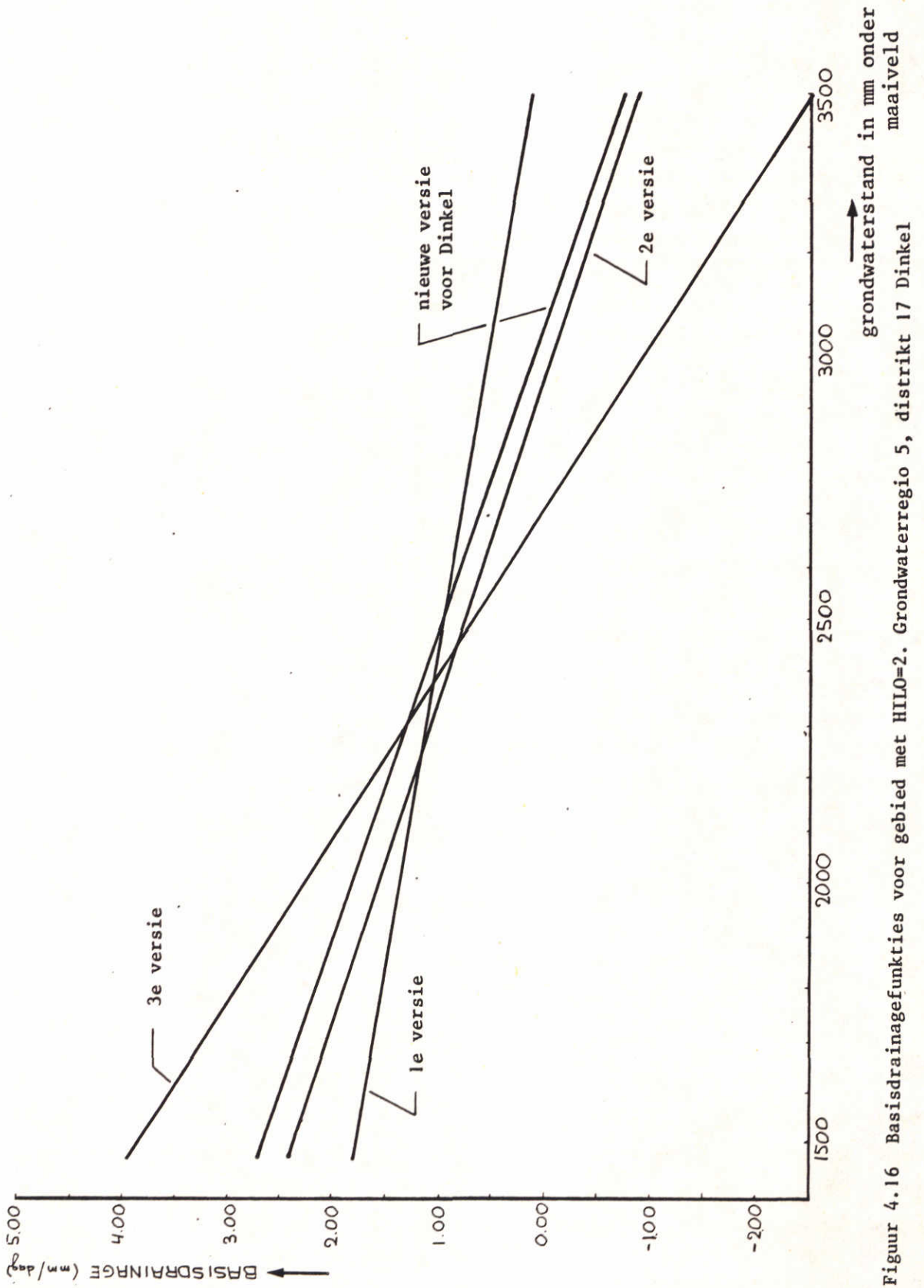


Figuur 4.14 Waargenomen en berekende grondwaterstanden. Distrikt 17 Dinkel, HILO=2, jaar 1975. Nieuwe basisdrainage-functie.



Figuur 4.15 Basisdrainagefuncties voor gebied met H1LO=1. Grondwaterregio 5, distrikt 17 Dinkel





Figuur 4.16 Basisdrainagefuncties voor gebied met H110=2. Grondwaterregio 5, distrikt 17 Dinkel

## 5 Konklusies, aanbevelingen

### 5.1 Konklusies

De basisdrainagefunctie beïnvloedt in belangrijke mate het verloop van de afvoer en de grondwaterstand. Dit is gebleken uit een vergelijking van de resultaten van 3 versies van de basisdrainagefuncties (zie par. 3.2 en 3.4). Daarbij blijken de steilere basisdrainagefuncties (3e versie) waarbij een grotere verandering in de basisdrainage optreedt per eenheid verandering in de grondwaterstand, het afvoerverloop het best te representeren: de topafvoer wordt redelijk goed weergegeven en de lage afvoeren worden minder sterk overschat dan met de andere versies. Het grondwaterstandsverloop daarentegen wordt met de flauwere basisdrainagefuncties (1e en 2e versie) beter benaderd dan met de steilere 3e versie. Met de 3e versie wordt vooral de maximale diepte die de grondwaterstand aanneemt te sterk onderschat, en neemt de grondwaterstand over een tamelijk lange periode een konstante waarde aan, ondanks het feit dat het bodemvochttekort van de ondergrond verandert. Deze beide aspecten treden in gebieden met een diepe grondwaterstand (HIL0=2) sterker naar voren dan bij gebieden met ondiepe grondwaterstand (HIL0=1).

Bij de te stellen eisen aan de steilheid van de (lineaire) basisdrainagefuncties doet zich dus een tegenstrijdigheid voor: betrekkelijk steile voor het goed representeren van het afvoerverloop en vrij flauwe voor het grondwaterstandsverloop. Binnen een lineair verband is hieraan moeilijk tegemoet te komen. Een hyperbolisch of parabolisch verband lijkt beter op zijn plaats; dit wordt door analyse van waargenomen afvoeren en grondwaterstanden bevestigd.

De drainage-karakteristieken van de verschillende distrikten (= stroomgebieden) binnen één als homogeen aangenomen grondwaterregio blijken sterke verschillen te kunnen vertonen. Het gehanteerde aggregatie-niveau, meerdere distrikten zijn samengenomen tot één grondwaterregio, is derhalve, voor een goede voorspelling van het grondwater/drainage gebeuren op distriktsniveau, te hoog. Het ligt dan ook voor de hand om voor de basisdrainage aansluiting te zoeken bij het aggregatieniveau van de distrikten, welke voor het gebied van de hoge gronden grotendeels overeenkomen met stroomgebieden van beken of riviertjes.



## 5.2 Aanbevelingen

- (i) Bij tekenomslag van de waterstromen tussen wortelzone en ondergrond (overgang van capillaire opstijging naar infiltratie en omgekeerd) blijkt de aanname van quasi-stationariteit (het rekenschema van Rijtema) niet aanvaardbaar te zijn. Dit probleem is omzeild, door het enige tijd konstant houden van de grondwaterstand, totdat de waterstromen, het vochttekort in de ondergrond en de grondwaterstand weer in redelijke verhouding tot elkaar staan.

Een meer verfijnde benadering hiervoor lijkt wenselijk, gezien het feit, dat bij de steilere functies de grondwaterstand over zeer lange perioden verkeerd wordt weergegeven, zodat zelfs bij volledige juiste basisdrainagefuncties toch afwijkend afvoerverloop resulteert. Het is wellicht zinvol, om te onderzoeken in hoeverre met de door De Laat [7] voorgestelde procedure om de problemen van het rekenschema van Rijtema op te vangen, betere resultaten worden geboekt. Dit betekent een aanpassing van het Plotwatermodel.

- (ii) Een lager aggregatieniveau dan de thans gehanteerde grondwaterregio lijkt wenselijk om voldoende recht te doen aan de verschillen in drainagekarakteristieken tussen de verschillende distrikten binnen één regio. Wordt hiervoor het niveau van het distrikt gehouden, dan opent dit tegelijkertijd goede mogelijkheden tot verificatieberekeningen: vergelijking van gemeten afvoer van een riviertje of beek met de berekende distriktlozing op het distributiesysteem. Bovendien zullen door de kleinere oppervlakte van een distrikt neerslag- en verdampingscijfers en ook eventueel af te leiden grondwaterreeksen meer representatief zijn voor het beschouwde gebied dan bij de grondwaterregio's het geval was.
- (iii) Wordt voor de basisdrainage een lager aggregatieniveau aangehouden, dan zullen nieuwe basisdrainagefuncties vastgesteld moeten worden. Voor de afleiding van deze functies dient bij voorkeur uitgegaan te worden van gemeten afvoeren en grondwaterstanden. De gemeten afvoeren kunnen daarbij eventueel gekorrigeerd worden voor regenval op en verdamping van open water, en voor stedelijke afvoer, zodat slechts gewerkt wordt met



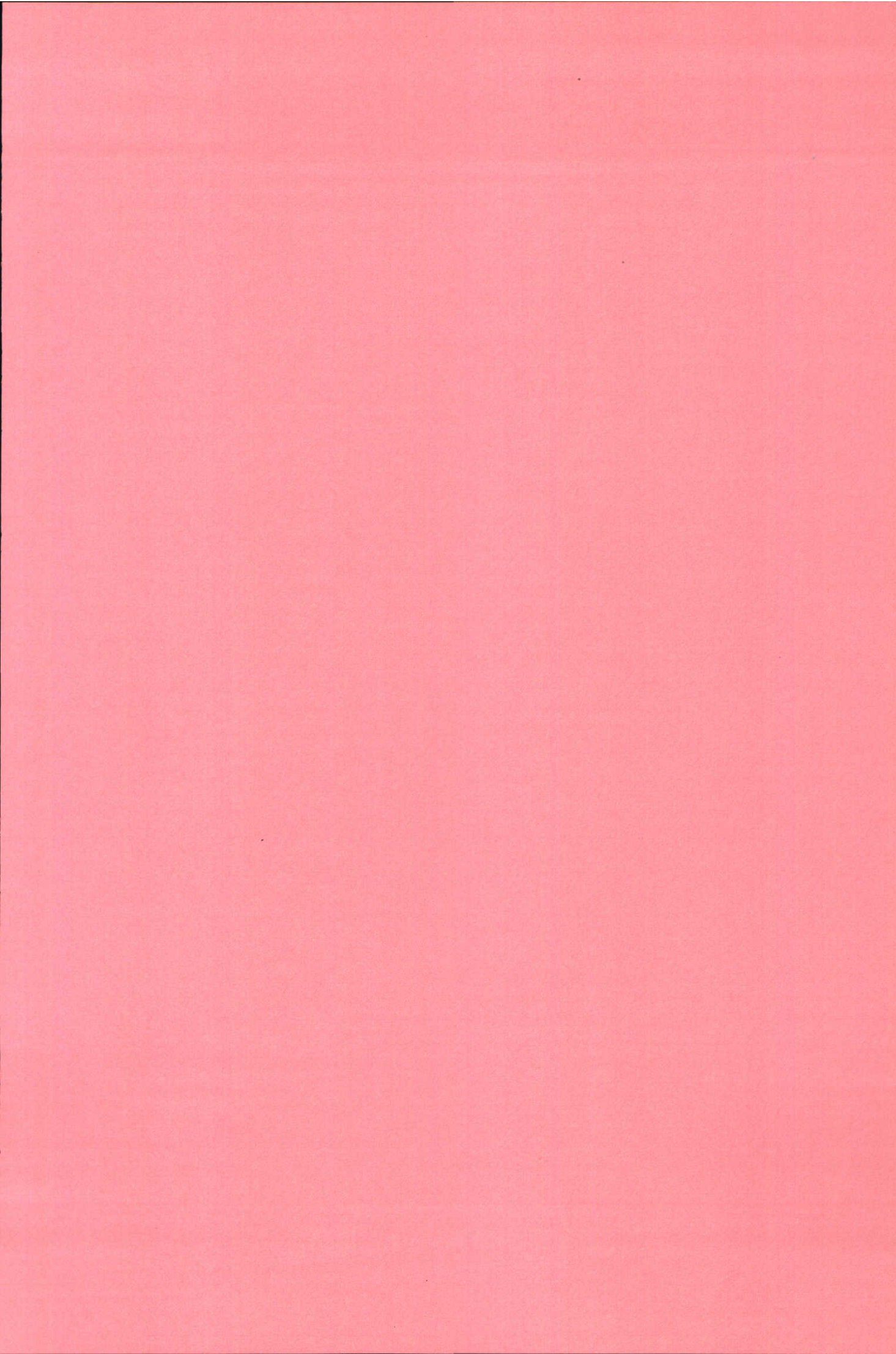
dat gedeelte van de afvoer, dat afkomstig is van de uitstroming van grondwater (= basisdrainage). Een ander verband dan de thans gehanteerde lineaire funktie lijkt daarbij op zijn plaats: het tegen elkaar uitzetten van gemeten afvoeren en grondwaterstanden suggereert dat een parabolisch of hyperbolisch verband een betere benadering vormt.

- (iv) Eén van de problemen van de basisdrainage-aanpak was, dat het langjarig gemiddelde te hoog is (zie paragraaf 2.3). In de huidige versie van het Plotwatermodel is hiervoor gekorrigeerd, door voor het gebied met diepe grondwaterstand (HILO=2) een over het jaar gezien konstante reductie van de basisdrainage toe te passen. De waarde van de reductie is 60 mm/jaar of 1.67 mm/decade. Voor deze korrektie is geen fysische onderbouwing gevonden. Het is twijfelachtig of de overschatting van de basisdrainage voor elk jaar en voor elk regio hetzelfde zal zijn. Nader onderzoek en verbetering van dit onderdeel is dan ook gewenst. Opgemerkt zij, dat bij alle berekeningen tot nu toe, dus ook bij de analyse van de berekende afvoeren en grondwaterstanden van distrikt 17 in hoofdstuk 4, deze reductie van de basisdrainage is toegepast.

6 Referenties

- [1] ABRAHAMSE, A.H., BAARSE, G., BEEK. E. van; Policy Analysis of Water Management for the Netherlands, Vol. XII, Model for Regional Hydrology, Agricultural Water Demands and Damages from Draught and Salinity; Rand Corporation, Delft Hydraulics Laboratory, Verschijnt april 1982.
  
- [2] RIJTEMA, P.E.; Soil Moisture Forecasting; ICW Nota 513, 30 mei 1969.
  
- [3] Waterloopkundig Laboratorium; Technische Evaluatie van het PAWN-instrumentarium; R1230, april 1980.
  
- [4] Werkgroep Watervoorziening Drenthe; Water naar Drenthe; April 1979.
  
- [5] ERNST, L.F., FEDDES, R.A.; Invloed van grondwateronttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand; ICW Nota 1116.
  
- [6] Werkgroep Regionaal Geohydrologisch Onderzoek in de provincie Drenthe; mei 1978.
  
- [7] LAAT, P.J.M. de; A pseudo-state solution of the water movement in the unsaturated zone of the soil; Journal of Hydrology 30, 1976, pp. 19-27.







Bijlage A

Statistische kengetallen van gegenereerde representatieve grondwaterreeksen

Inhoud:

Tabel A1 Gemiddelde grondwaterstand in cm onder maaiveld van "ondiepe" gebieden

Tabel A2 Gemiddelde grondwaterstanden in cm onder maaiveld van "diepe" gebieden

Tabel A3 Beschrijvende statistiek grondwaterstanden HILO=1 1967-1976

Tabel A4 Beschrijvende statistiek grondwaterstanden HILO=2 1967-1976

Grondwater regio	PERIODE									
	1953-1976		1953-1955		1953-1959		1970-1976		1974-1976	
	U	T	U	T	U	T	U	T	U	T
1	67	30	66	28	64	33	75	28	80	34
2	75	24	57	19	58	23	94	17	96	21
3	82	26	67	17	71	24	96	30	99	32
4	82	33	82	29	84	33	93	35	96	39
5	75	30	68	28	67	32	93	28	96	32
6	93	41	80	40	81	41	120	35	124	40
7	49	27	47	21	47	28	62	29	68	34
8	71	27	69	22	69	27	83	29	85	32
9	69	23	77	27	68	25	82	21	85	25
10	73	23	81	25	76	25	73	20	73	24
11	92	36	81	34	82	36	107	38	110	47
12	73	29	82	29	74	32	83	27	85	29
13	80	30	87	32	84	32	87	28	93	31
14	85	30	87	22	82	29	101	27	101	31
15	95	29	94	24	87	28	114	22	118	24
16	99	40	83	25	78	29	142	30	151	15
Gemiddeld	79		76		73		94		98	

Tabel A.1 Gemiddelde grondwaterstanden in cm onder maaiveld  
"Ondiepe" gebieden (HILO=0 en 1)

U = gemiddelde

T = standaard afwijking

Grondwater regio	PERIODE									
	1953-1976		1953-1955		1953-1959		1970-1976		1974-1976	
	U	T	U	T	U	T	U	T	U	T
1	182	36	170	29	167	33	214	27	224	30
2	176	31	154	22	156	24	199	30	205	37
3	200	32	180	25	184	31	226	25	233	29
4	240	35	232	34	229	35	253	28	241	27
5	225	48	223	39	209	46	258	37	260	42
6	185	42	185	37	177	40	207	36	212	41
7	140	23	131	15	130	14	157	21	163	23
8 *	393	44	392	34	391	29	435	38	460	22
9 *	688	32	694	30	685	30	710	27	720	28
10	144	35	122	27	123	28	171	29	170	29
11	240	44	217	29	216	34	278	40	270	48
12	179	44	186	39	171	41	204	37	199	45
13	195	38	199	33	191	36	216	33	216	39
14	150	43	148	35	141	38	180	39	183	48
15	264	49	262	32	245	36	314	37	325	39
16 *	345	35	341	18	327	23	382	30	399	23
17 *	848	61	842	47	837	47	895	43	907	39
Gemiddeld	281		275		269		312		317	
Gemiddeld zonder *	194		185		180		221		223	
Gemiddeld *	569		567		560		606		622	

Tabel A.2 Gemiddelde grondwaterstanden in cm onder maaiveld  
"Diepe" gebieden (HILO=2)

U = gemiddelde

T = standaard afwijking



VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	RANGE	STD ERROR OF MEAN
GRW-D1	705	272	174	1371	1197	18
GRW-D2	921	177	487	1470	983	11
GRW-D3	914	286	447	1621	1165	18
GRW-D4	877	334	207	1772	1565	22
GRW-D5	868	287	224	1566	1342	19
GRW-D6	1105	383	193	1999	1806	25
GRW-D7	558	283	1	1375	1374	18
GRW-D8	784	288	248	1495	1247	19
GRW-D9	754	229	114	1289	1175	15
GRW-D10	701	198	179	1225	1046	13
GRW-D11	1038	365	288	1953	1665	24
GRW-D12	774	284	142	1407	1265	18
GRW-D13	803	281	210	1464	1254	18
GRW-D14	934	281	338	1619	1281	18
GRW-D15	1118	230	515	1615	1100	15
GRW-D16	1271	354	270	1860	1590	23

Tabel A.3 Beschrijvende statistiek grondwaterstanden HILO=1 1967-1976  
Grondwaterstanden in mm (onder maaiveld)

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	RANGE	STD ERROR OF MEAN
GRW-D1	2025	306	1132	2775	1643	20
GRW-D2	1929	287	1288	2757	1469	19
GRW-D3	2180	275	1370	2843	1473	18
GRW-D4	2515	284	1600	3126	1526	18
GRW-D5	2431	425	1324	3251	1927	27
GRW-D6	1983	374	1022	2769	1747	24
GRW-D7	1504	230	803	2094	1291	15
GRW-D8	4073	539	3020	4964	1944	35
GRW-D9	6950	354	6033	8069	2036	23
GRW-D10	1625	315	587	2214	1627	20
GRW-D11	2672	410	1829	3967	2138	26
GRW-D12	1936	400	952	2741	1789	26
GRW-D13	2070	354	1185	2852	1667	23
GRW-D14	1694	411	697	2693	1996	27
GRW-D15	2951	463	1754	3921	2167	30
GRW-D16	3661	364	2819	4479	1660	24
GRW-D17	8653	667	6569	9650	3081	43

Tabel A.4 Beschrijvende statistiek grondwaterstanden HILO=2 1967-1976  
Grondwaterstanden in mm (onder maaiveld)



Bijlage B Koëfficiënten van de drie versies basisdrainagefuncties

Versie 1

Regio	HILO = 1		HILO = 2	
	a	b	a	b
1	2.5707	-.0023565	2.6940	-.0008353
2	5.6378	-.0051499	3.5222	-.0013156
3	2.3517	-.0016139	4.2825	-.0015113
4	1.7559	-.0010133	3.4464	-.0009749
5	2.8010	-.0022557	2.9499	-.0008026
6	2.3940	-.0013541	2.8550	-.0009509
7	2.1435	-.0025006	4.6126	-.0024429
8	2.9729	-.0027422	2.0262	-.0002356
9	2.9839	-.0028935	6.0378	-.0007109
10	2.3828	-.0023534	2.8199	-.0011528
11	1.6546	-.0009830	2.5745	-.0006746
12	2.1399	-.0019739	2.4782	-.0008619
13	1.7866	-.0014588	2.7892	-.0009587
14	2.2237	-.0016728	2.4310	-.0009689
15	3.4167	-.0024100	2.0370	-.0003959
16	1.4571	-.0005723	1.8978	-.0002773
17	0.0000	0.00000	3.0465	-.0002304

Versie 2

1	2.5707	-.0024565	5.1978	-.0021
2	5.6378	-.0051499	5.3434	-.0023
3	2.3517	-.0016139	6.2194	-.0025
4	1.7559	-.0010133	7.9516	-.0028
5	2.8010	-.0022557	4.7346	-.0016
6	2.3940	-.0013541	4.3550	-.0018
7	2.1435	-.0025006	6.1618	-.0035
8	2.9729	-.0027422	6.5220	-.0014
9	2.9839	-.0028935	16.4138	-.0022
10	2.3828	-.0023534	4.3550	-.0022
11	1.6546	-.0009830	5.3891	-.0017
12	2.1399	-.0019739	4.3039	-.0018
13	1.7866	-.0014588	5.0899	-.0021
14	2.2237	-.0016728	3.4625	-.0016
15	3.4167	-.0024100	4.1938	-.0012
16	1.4571	-.0005723	6.5676	-.0016
17	0.0000	0.00000	11.0312	-.0012

Versie 3

1	4.3274	-.0049130	9.5816	-.0042
2	10.4566	-.0102998	9.8678	-.0046
3	3.8654	-.0032278	11.6008	-.0050
4	2.6738	-.0020266	15.0652	-.0056
5	4.7640	-.0045114	8.6312	-.0032
6	4.0180	-.0027082	7.9400	-.0036
7	3.3770	-.0050012	11.4136	-.0070
8	5.0358	-.0054844	12.1340	-.0028
9	5.0578	-.0057870	31.9176	-.0044
10	4.0236	-.0047068	7.9680	-.0044
11	2.5562	-.0019660	10.0252	-.0034
12	3.5728	-.0039478	7.9008	-.0036
13	2.8882	-.0029176	9.4948	-.0042
14	3.7624	-.0033456	6.2400	-.0032
15	6.2634	-.0048200	7.8176	-.0024
16	2.2702	-.0011446	12.4912	-.0032
17	0.0000	0.00000	21.2594	-.0024



p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands