

**Redesign DEMGEN:
Een voorstel tot groepering
van grondwatertrappen**

Wageningen, april 1992

**Landbouwniversiteit
Vakgroep Waterhuishouding
Wageningen
rapport 24
ISSN 0926-230X**

**RIZA werkdocument nr. 92.038X
Lelystad**

J.A.P.H. Vermulst

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	iii
SAMENVATTING	v
1. INLEIDING	1
2. GROEPERING VAN GRONDWATERTRAPPEN TOT GRONDWATERKLASSEN	3
3. PARAMETER-OPTIMALISATIE KOPPELINGSMECHANISME NAGROM-DEMGEN EN BASISDRAINAGEFUNCTIES	7
3.1 inleiding	7
3.2 parameter-optimalisatie voor de agrohydrologische klassenindeling	9
3.3 parameter-optimalisatie voor de natuur-terrestrische klassenindeling	10
4. VERGELIJKING BEREKENINGSRESULTATEN TUSSEN DE AGROHYDROLOGISCHE EN DE NATUUR-TERRESTRISCHE KLASSENINDELING	13
5. GEcombineerde GRONDWATERKLASSENINDELING	17
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	21
LITERATUURLIJST	23
BIJLAGEN	

VOORWOORD

Eén van de taken van het RIZA is het uitvoeren van beleidsanalytische studies t.b.v. beleidsnota's en advisering aan regionale directies. Voor deze studies beschikt zij over een uitgebreid modellen-instrumentarium, waarvan een deel in het kader van de PAWN-studie werd ontwikkeld. Eén van deze modellen is DEMGEN, een agrohydrologisch model voor de onverzadigde zone. DEMGEN had tot doel de landbouwwaterbehoefte te berekenen.

Actuele problemen zoals vermessing en verdroging, stellen andere eisen aan een model voor de onverzadigde zone. Om aan deze eisen te kunnen voldoen wordt bij het RIZA gewerkt aan de ontwikkeling van een nieuw model, waarbij wordt uitgegaan van het model DEMGEN (versie 6.0). Deze ontwikkeling vindt plaats binnen het project HYD*ONVERZA.

Dit werkdocument geeft de resultaten weer van een onderzoek dat in het kader van genoemd project is verricht. Het onderzoek is uitgevoerd door de Landbouwuniversiteit Wageningen in opdracht van het RIZA en vond plaats van 1 november 1991 tot 1 januari 1992.

Een woord van dank gaat uit naar Geo Arnold, begeleider van het onderzoek vanuit het RIZA, Jan-Philip Witte, begeleider vanuit de Landbouwuniversiteit Wageningen, en verder naar Ubo Pakes en Wim de Lange, beiden van het RIZA.

Hank Vermulst

SAMENVATTING

Voor de evaluatie van maatregelen in het kader van de vermessings- en verdrogingsproblematiek heeft het RIZA behoefte aan een model voor de onverzadigde zone. Om dergelijke vraagstukken te kunnen analyseren moet het model aan een aantal eisen voldoen:

- voor een betere bepaling van de t.a.v. natuur belangrijke kwel-of wegzijgingsflux moet het model gekoppeld zijn aan een verzadigde zone-model;
- er moet gebruik worden gemaakt van geografisch gebonden informatie;
- er dient een koppeling plaats te vinden met waterkwaliteitsmodellen (vermesting) en ecohydrologische voorspellingsmodellen (verdroging).

Het RIZA beschikt over het agrohydrologische model DEMGEN (Abrahamse et al., 1982), (Waterloopkundig Laboratorium, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, 1986). Dit model voor de onverzadigde zone, ontwikkeld tijdens de PAWN-studie, lijkt een goed uitgangspunt. Onder de naam 'Redesign DEMGEN' is het RIZA bezig met de ontwikkeling van het nieuwe model voor de onverzadigde zone, dat wordt gebaseerd op de agrohydrologische rekenmodule van DEMGEN (Arnold & Pakes, 1991).

In dit rapport wordt ingegaan op de koppeling van het onverzadigde zone-model DEMGEN aan NAGROM, een regionaal model voor verzadigde grondwaterstroming. NAGROM is ontwikkeld bij RIZA en gebaseerd op MLAEM (Strack, 1988), een programma dat m.b.v. de analytische-elementenmethode grondwaterstromingen kan berekenen.

Om DEMGEN toepasbaar te maken voor vermessings- en verdrogingsstudies werd het noodzakelijk om zowel de invoer als de uitvoer van DEMGEN geografisch gebonden te maken. In de nieuwe, geografisch gebonden opzet (Van der Voet & Witte, 1991), (Vermulst, 1991) wordt de hydrologie (kwel/wegzijging en drainage) bepaald door een bestand met NAGROM-rekeneenheden te combineren met een bestand met gegroepeerde Gt's (grondwaterklassen).

De groepering van grondwatertrappen naar grondwaterklassen heeft een aantal praktische redenen. Eén van de redenen is beperking van de hoeveelheid invoer, dit met het oog op besparing van rekentijd en verbetering van het overzicht over de invoer. Zo levert de groepering van 11 Gt's naar 5 grondwaterklassen een besparing in het aantal simulatie-eenheden voor DEMGEN op van ongeveer 25%. Andere redenen zijn vereenvoudiging van de parameter-optimalisatie t.b.v. de koppeling NAGROM-DEMGEN en het feit dat clustering van Gt's naar grondwaterklassen in een later stadium (na parameter-optimalisatie) niet zonder meer mogelijk is.

De diverse modeltoepassingen stellen verschillende eisen aan de grondwaterklassenindeling. Het RIZA streeft er echter naar om uitgaande van één basisschematisatie verschillende soorten berekeningen uit te voeren. Doel van het hier beschreven onderzoek is dan ook om, uitgaande van verschillende grondwaterklassenindelingen, te komen tot één grondwaterklassenindeling, die geschikt is voor alle modeltoepassingen op landelijke schaal.

Er zijn twee klassenindelingen met elkaar vergeleken: de eerste is gebaseerd op agrohydrologische eigenschappen en is reeds toegepast door Van der Voet & Witte (1991) en Vermulst (1991); de tweede (natuur-terrestrische) klassenindeling is toegepast in het ecohydrologische voorspellingsmodel

DEMNET-2 (Witte et al., 1992) en is voorgesteld door Klijn (1988). De eerste klassenindeling voldoet uitstekend voor het oorspronkelijke doel van DEMGEN, nl. het berekenen van de landbouwwaterbehoefte. Voor verdrogings- en vermessingstoepassingen, alsmede voor berekeningen van verdrassingsscha- de voor de landbouw (als gevolg van natuurtechnische maatregelen) heeft de natuur-terrestrische klassenindeling duidelijk de voorkeur, omdat deze meer klassen onderscheidt in de natte gronden (Gt's I en II).

DEMGEN en NAGROM zijn aan elkaar gekoppeld via de onderrandflux. Fysisch betekent de onderrandflux een kwel vanuit het diepe grondwater naar de ondergrond of een wegzijging vanuit de ondergrond naar het diepe grondwa- ter. Voor DEMGEN is deze (in de tijd constant veronderstelde) flux de onderrandvoorwaarde. De waarde voor de onderrandflux is afkomstig uit NAGROM. Per NAGROM-element berekent NAGROM, uitgaande van de freatische stijghoogte en een weerstand van de bovenlaag (bestaande uit een bodemfysi- sche weerstand en een drainageweerstand), een kwel- of wegzijgingswaarde. Met een verdeelsleutel wordt deze flux gewogen naar de verschillende grondwaterklassen binnen een NAGROM-element. Doel van deze verdeelsleutel is te komen tot een meer gedetailleerde simulatie van kwel-of wegzijging.

De basisdrainage, de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater, wordt in DEMGEN beschreven met zgn. basisdrainagefuncties. Dit zijn geknikte, lineaire relaties tussen drainage en grondwaterstand. Per grondwaterklasse is een basisdrainagefunctie afgeleid.

Om met DEMGEN betrouwbare berekeningen te kunnen maken, is het nodig een aantal parameters in de verdeelsleutel van de onderrandflux en de basis- drainagefuncties te optimaliseren. De parameter-optimalisatie is uitgevoerd door uit berekende grondwaterstanden de grondwaterklasse af te leiden en deze te vergelijken met de aangenomen grondwaterklasse.

Voor beide klassenindelingen (de agrohydrologische en de ecologische) zijn de parameters in het koppelingsmechanisme NAGROM-DEMGEN en in de basisdrai- nagefuncties geoptimaliseerd. De agrohydrologische klassenindeling is reeds geoptimaliseerd in een eerder onderzoek (Vermulst, 1991), en is nu aange- past.

De parameter-optimalisaties zijn gebaseerd op een tweetal fysische aanna- men:

- 1) de kwel is geconcentreerd in de natste gebieden, terwijl de wegzij- ging is geconcentreerd in de droogste gebieden;
- 2) kwel of wegzijging heeft in de natte gebieden veel meer ruimtelijke variatie dan in de droge gebieden.

In eerste instantie zijn de voor beide grondwaterklassenindelingen bereken- de onderrandfluxen met elkaar vergeleken. Deze bleken voor beide klassenin- delingen in grote lijnen overeen te komen. Lokaal traden echter grotere verschillen op (in extreem natte gebieden en in gebieden met Gt's uit de middengroep). Over het algemeen bedroeg het verschil in onderrandflux tussen beide klassenindelingen minder dan 0.2 mm/dag. In extreem natte en in gebieden met Gt's uit de middengroep bedroegen de verschillen gemiddeld 0.8 mm/dag.

In tweede instantie is voor een tweetal deelgebieden in PAWN-district 29 vergeleken wat voor beide klassenindelingen de berekende grondwaterstands-

dalingen zijn als gevolg van een afname van de onderrandflux gemiddeld over het gebied van 0.5 mm/dag. Deze dalingen bleken voor beide klassenindelingen zeer sterk te verschillen. De verschillen bleken het grootst in gebieden met Gt's uit de middengroep. De natuur-terrestrische klassenindeling voegt deze Gt's, in tegenstelling tot de agrohydrologische indeling, bijeen tot één klasse. Daarom mag met enige zekerheid worden verondersteld dat de natuur-terrestrische klassenindeling in gebieden met Gt's uit de middengroep minder nauwkeurig is.

Uiteindelijk is gekozen voor een gecombineerde grondwaterklassenindeling, die is gebaseerd op de natuur-terrestrische indeling. Het verschil met de natuur-terrestrische indeling is dat grondwaterklasse C, bestaande uit Gt's II*, III, III*, V en V*, is gesplitst in twee grondwaterklassen op grond van de GHG. De keuze voor een 'verticale' splitsing tussen Gt's III en V enerzijds en Gt's II*, III* en V* anderzijds is ingegeven door het feit dat zowel voor vermessing als voor verdrassingsberekeningen de GHG het meest significant is.

In tegenstelling tot de berekeningen voor de agrohydrologische en natuur-terrestrische klassenindeling, die zijn uitgevoerd met DEMGEN 5.1, zijn de berekeningen voor de gecombineerde klassenindeling uitgevoerd met DEMGEN 6.0. Dit heeft vrijwel geen invloed op de berekeningsresultaten.

De parameter-schatting voor de gecombineerde grondwaterklassenindeling komt grotendeels overeen met die van de natuur-terrestrische. Het enige verschil is dat voor grondwaterklasse D gebruik gemaakt is van de mogelijkheid in DEMGEN 6.0 om buisdrainage te simuleren. Bij toetsing op alle simulatie-eenheden in district 29 met grondwaterklasse C of D met een oppervlakte groter dan 50 ha bleek in 84% van de gevallen de oorspronkelijk ingevoerde grondwaterklasse juist te worden voorspeld.

1. INLEIDING

Voor de evaluatie van maatregelen in het kader van de vermessings- en verdrogingsproblematiek heeft het RIZA behoefte aan een model voor de onverzadigde zone. Om dergelijke vraagstukken te kunnen analyseren moet het model aan een aantal eisen voldoen:

- voor een betere bepaling van de t.a.v. natuur belangrijke kwel-of wegzijgingsflux moet er een koppeling plaatsvinden met een verzadigde zone-model;
- er moet gebruik worden gemaakt van geografisch gebonden informatie;
- er dient een koppeling plaats te vinden met waterkwaliteitsmodellen (vermessing) en ecohydrologische voorspellingsmodellen (verdroging).

Het RIZA beschikt over het agrohydrologische model DEMGEN (Abrahamse et al., 1982), (Waterloopkundig Laboratorium, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, 1986). Dit model voor de onverzadigde zone, ontwikkeld tijdens de PAWN-studie, lijkt een goed uitgangspunt. Onder de naam 'Redesign DEMGEN' is het RIZA bezig met de ontwikkeling van het nieuwe model voor de onverzadigde zone, dat wordt gebaseerd op de agrohydrologische rekenmodule van DEMGEN (Arnold & Pakes, 1991).

In dit rapport wordt ingegaan op de koppeling van het onverzadigde zone-model DEMGEN aan NAGROM, een regionaal model voor verzadigde grondwaterstroming. NAGROM is ontwikkeld bij RIZA en gebaseerd op MLAEM (Strack, 1988), een programma dat m.b.v. de analytische-elementenmethode grondwaterstromingen kan berekenen.

De PAWN-schematisatie, die t.b.v. DEMGEN werd ontwikkeld, is slechts gedeeltelijk plaatsgebonden. In deze schematisatie is Nederland opgedeeld in 80 geografisch bepaalde PAWN-districten, die overeenkomen met afwateringseenheden. Binnen een district wordt onderscheid gemaakt in subdistricten en plots. Subdistricten en plots zijn verzamelingen van alle oppervlakken binnen een district met bepaalde overeenkomende eigenschappen en zijn dus niet plaatsgebonden. Deze slechts gedeeltelijk plaatsgebonden opzet vloeit voort uit het oorspronkelijke doel van de PAWN-studie, nl. berekening van de waterbehoefte op landelijke schaal.

Vermestings- en verdrogingsstudies vinden plaats op een veel fijner schaalniveau en vereisen nauwkeuriger berekeningen. Om DEMGEN hiervoor toepasbaar te maken is het noodzakelijk om ook binnen districten de invoer geografisch gebonden te maken. Deze geografisch gebonden invoer (Van der Voet & Witte, 1991), (Vermulst, 1991) ontstond door voor district 29 uit de PAWN-schematisatie met het Geografisch Informatiesysteem ARC/INFO een aantal bestanden te combineren. Dit waren bestanden met achtereenvolgens de grenzen van het PAWN-district, de NAGROM-rekeneenheden, grondwaterklassen (gegroepeerde Gt's), bodemfysische eenheden (ontleend aan de door Wösten et al. (1988) bodemfysisch gegeneraliseerde bodemkaart 1:250.000) en landgebruikstypen (ontleend aan de Landelijke Grondgebruiksdatabank Nederland, LGN).

De groepering van grondwatertrappen (Gt's) naar grondwaterklassen heeft een aantal praktische redenen. Dit zijn o.m. beperking van de hoeveelheid rekeneenheden, vereenvoudiging van de parameter-optimalisatie t.b.v. de koppeling NAGROM-DEMGEN en het feit dat een clustering van Gt's naar grondwaterklassen in een later stadium (na de parameter-optimalisatie) niet

zonder meer mogelijk is. Dit zal verder worden toegelicht in hoofdstuk 2.

Doel van het hier beschreven onderzoek is om uitgaande van een tweetal grondwaterklassenindelingen te komen tot één indeling, die het best tegemoet komt aan de verschillende modeltoepassingen op landelijke schaal.

Beide grondwaterklassenindelingen worden uitgebreid beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 worden voor beide klassenindelingen de parameter-optimalisaties beschreven, die nodig zijn alvorens betrouwbare berekeningen te uit te kunnen voeren. Na vergelijking van de berekeningsresultaten van beide klassenindelingen (hoofdstuk 4) is een gecombineerde grondwaterklassenindeling opgesteld (hoofdstuk 5). Om in het vervolg betrouwbare berekeningen te kunnen maken is ook voor deze nieuwe klassenindeling een parameter-optimalisatie uitgevoerd (eveneens hoofdstuk 5). Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek volgen in hoofdstuk 6.

2. GROEPERING VAN GRONDWATERTRAPPEN TOT GRONDWATERKLASSEN

Het grootste probleem van het combineren van ARC/INFO-bestanden tot unieke simulatie-eenheden voor DEMGEN is dat dit aantal simulatie-eenheden extreem groot wordt (Vermulst, 1991). Combinatie van de bestanden met NAGROM-elementen, bodemfysische eenheden en landgebruikstypen (afgeleid uit de LGN door per pixel van 250 * 250 m het overheersende landgebruik aan te nemen) met een bestand met grondwatertrappen leidt voor district 29 tot een totaal van 1324 unieke simulatie-eenheden. Dit aantal levert voor berekeningen op zowel regionale als landelijke schaal een aantal praktische problemen op, zoals te lange rekentijden en verlies aan overzicht over de invoer.

Tegemoetkomend aan deze praktische problemen zijn grondwatertrappen (Gt's) gegroepeerd tot grondwaterklassen. Door in het Gt-bestand de 11 grondwatertrappen te groeperen tot 5 grondwaterklassen is een aanzienlijke beperking van het aantal simulatie-eenheden mogelijk. In het hier beschreven onderzoek zijn twee mogelijke clusterings bekeken. Voor district 29 leiden beide clusterings, in combinatie met de overige bestanden tot een totaal van ongeveer 1010 eenheden, een besparing van ruim 300 simulatie-eenheden.

Naast deze besparing van rekeneenheden (omwille van snellere en meer overzichtelijke berekeningen) is ook de vereenvoudiging van de parameter-optimalisatie t.b.v. de koppeling NAGROM-DEMGEN (hoofdstuk 3) een argument om de Gt's te clusteren tot grondwaterklassen. Deze parameter-optimalisatie is nodig om tot een fysisch juiste koppeling van NAGROM en DEMGEN te komen en om de interactie tussen grond- en oppervlaktewater, die in de nieuwe schematisatie is gerelateerd aan de grondwaterklasse, goed te simuleren.

De nieuwe hydrologische schematisatie is gebaseerd op de gedachte dat de invoer op alle fronten zo nauwkeurig en origineel mogelijk dient te zijn. Op deze manier ontstaat een zeer gedetailleerde invoer, die naderhand naar wens kan worden vereenvoudigd (door eenheden of typen samen te voegen op grond van overeenkomst in berekeningsresultaat of op grond van oppervlakte). Het bij voorbaat groeperen van Gt's tot grondwaterklassen lijkt in strijd met dit beginsel. Probleem bij het groeperen van Gt's tot grondwaterklassen is echter dat zowel het koppelingsmechanisme NAGROM-DEMGEN als de basisdrainagefuncties volledig afhangen van de indeling in grondwaterklassen of Gt's. Het naderhand samenvoegen van Gt's tot grondwaterklassen is niet mogelijk zonder opnieuw de parameters in het koppelingsmechanisme NAGROM-DEMGEN en de basisdrainagefuncties te optimaliseren. Gezien de te verwachten lange rekentijden en het gebrek aan overzicht over de invoer is besloten om reeds in de basis-schematisatie een groepering van Gt's tot grondwaterklassen door te voeren.

Zoals reeds vermeld zijn een tweetal Gt-groeperingen met elkaar vergeleken. De eerste groepering is voorgesteld in (Van der Voet & Witte, 1991) en is ook toegepast in (Vermulst, 1991). Het betreft hier de volgende groepering:

- grondwaterklasse A: Gt's I, II, II* en III;
- grondwaterklasse B: Gt's III* en IV;
- grondwaterklasse C: Gt V;
- grondwaterklasse D: Gt's V* en VI;
- grondwaterklasse E: Gt's VII en VII*.

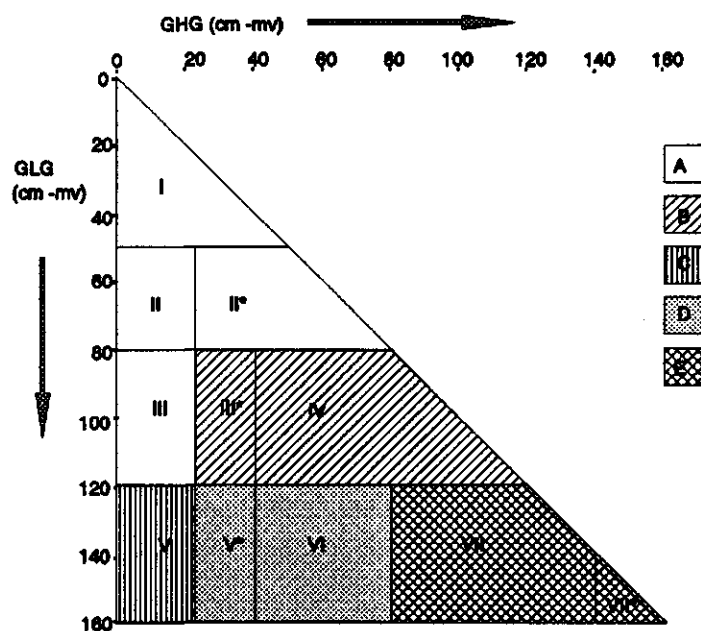
Deze groepering van grondwatertrappen is gebaseerd op agrohydrologische kenmerken. De indeling is erop gericht om voor alle gebieden het grondwa-

terstandsverloop en daarmee samenhangend de drainagefluxen zo nauwkeurig mogelijk te simuleren. Figuur 2.1 toont het verband tussen de oorspronkelijke Gt-indeling en de agrohydrologische indeling in grondwaterklassen. Uit de figuur blijkt dat alle Gt's ongeveer even sterk geclusterd zijn.

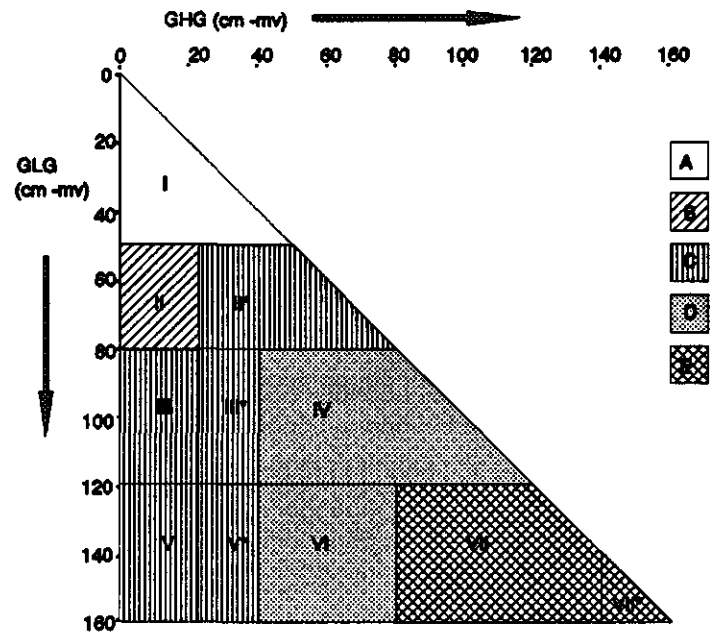
De tweede groepering is voorgesteld in (Klijn, 1988). Deze groepering is toegepast in het ecohydrologische voorspellingsmodel DEMNAT-2 (Witte et al., 1992):

- grondwaterklasse A: Gt I;
- grondwaterklasse B: Gt II;
- grondwaterklasse C: Gt's II*, III, III*, V, V*;
- grondwaterklasse D: Gt's IV en VI;
- grondwaterklasse E: Gt's VII en VII*.

De groepering legt duidelijk nadruk op gebieden die uit natuur-terrestrisch oogpunt het meest interessant zijn. Figuur 2.2 toont het verband tussen de oorspronkelijke Gt-indeling en de natuur-terrestrische grondwaterklassen-indeling. Omdat in deze klassenindeling zowel de extreem natte als de extreem droge Gt's duidelijk minder worden geclusterd dan de Gt's in de categorie daartussen, is deze ook uit vermessingsoogpunt beter geschikt dan de eerste klassenindeling. Voor vermessingsberekeningen zijn nl. vooral extreem hoge grondwaterstanden (i.v.m. oppervlakkige afspoeling van fosfaat en verhoogde uitspoeling van nitraat) en extreem diepe grondwaterstanden (i.v.m. denitrificatie) van belang.



Figuur 2.1: Groepering van GT's op grond van agrohydrologische kenmerken (Van der Voet en Witte, 1991)



Figuur 2.2: Groepering van GT's op grond van natuur-terrestrische kenmerken (Klijn, 1988)

3. PARAMETER-OPTIMALISATIE KOPPELINGSMECHANISME NAGROM-DEMGEN EN BASIS-DRAINAGEFUNCTIES

3.1 inleiding

NAGROM berekent voor een bepaalde vochtsituatie (in dit geval de voorjaars-situatie) de stationaire toestand en levert per NAGROM-element een stationaire onderrandflux aan DEMGEN. Omdat in de meeste gevallen binnen een NAGROM-element verschillende grondwaterklassen voorkomen, worden de onderrandfluxen uitgesplitst in een onderrandflux voor iedere grondwaterklasse binnen één NAGROM-element. Deze uitsplitsing is gebaseerd op een verdeelsleutel. Doel van deze verdeelsleutel is om uitgaande van de gemiddelde onderrandflux over het gehele NAGROM-element de kwel zoveel mogelijk te concentreren in de laagste gebieden (grondwaterklasse A) en de wegzijging zoveel mogelijk te concentreren in de hoogste gebieden (grondwaterklasse E). De verdeelsleutel gaat uit van een sluitende waterbalans per NAGROM-element.

Om de waarde van de onderrandflux te differentiëren naar iedere grondwaterklasse wordt deze onderrandflux uitgesplitst in een vaste term K en een toedelingsfactor V, welke wordt vermenigvuldigd met een sluitfactor R:

$$Q_i = K_i + R \cdot V_i \quad (i = A, B, \dots, E) \quad (3.1)$$

waarin:

Q_i	-	onderrandflux voor grondwaterklasse i	[mm/d]
K_i	-	vaste term voor grondwaterklasse i	[mm/d]
V_i	-	toedelingsfactor voor grondwaterklasse i	[1]
R	-	sluitfactor	[mm/d]

De vaste termen K_i zijn geschatte waarden voor de onderrandflux in iedere grondwaterklasse i. De toedelingsfactoren V_i zorgen, vermenigvuldigd met de sluitfactor R, voor een sluitende waterbalans. Deze waterbalans luidt als volgt:

$$Q_T \cdot H_T = \sum H_i \cdot (K_i + R \cdot V_i) \quad (i = A, B, \dots, E) \quad (3.2)$$

waarin:

Q_T	-	gemiddelde onderrandflux voor het gehele NAGROM-element	[mm/d]
H_T	-	totale oppervlakte v.h. NAGROM-element	[ha]
H_i	-	oppervlakte van grondwaterklasse i binnen het NAGROM-element	[ha]

De sluitfactor R kan worden afgeleid uit de waterbalansvergelijking:

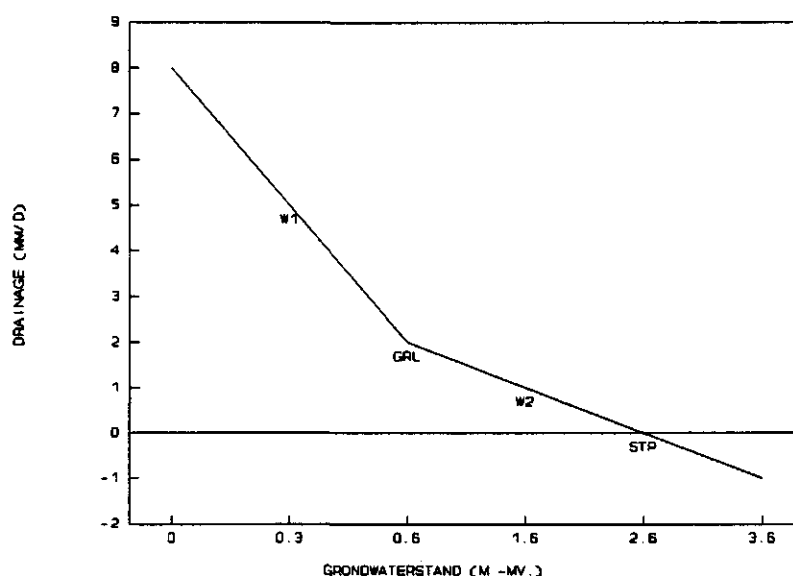
$$R \sum H_i \cdot V_i = Q_T \cdot H_T - \sum H_i \cdot K_i \quad (i = A, B, \dots, E) \quad (3.3)$$

waaruit volgt:

$$R = \frac{Q_T * H_T - \sum K_i * H_i}{\sum V_i * H_i} \quad (i = A, B, \dots, E) \quad (3.4)$$

Fysisch kan de vaste term K_i worden beschouwd als een te verwachten waarde voor de onderrandflux in grondwaterklasse i . De toedelingsfactor V_i is een verhoudingsgetal en bepaalt samen met de oppervlakte H_i de mate waarin het verschil op de waterbalans wordt toegekend aan grondwaterklasse i .

De interactie tussen grondwater en oppervlaktewater wordt in DEMGEN berekend met zgn. basisdrainagefuncties. Dit zijn geknikte, lineaire relaties tussen de grondwaterstand enerzijds en de drainage/infiltratie anderzijds. Per grondwaterklasse is een basisdrainagefunctie afgeleid. Figuur 3.1 toont een voorbeeld van een geknikte basisdrainagefunctie.



Figuur 3.1: geknikte basisdrainagefunctie

Fysisch kan de grondwaterstand in het knikpunt, GRL, worden voorgesteld als de diepte van het ondiepe ontwateringsstelsel (bijv. diepte van greppels), terwijl de grondwaterstand in het snijpunt met de x-as, STP, overeenkomt met de ontwateringsbasis in het diepe ontwateringsstelsel (afwateringskanalen, beken). Richtingscoëfficiënten $W1$ en $W2$ komen overeen met de drainageweerstanden ($1/d$) voor respectievelijk het ondiepe en het diepe ontwateringsstelsel.

Optimalisatie van de parameters in de verdeelsleutel (K_i en V_i) en de parameters in de basisdrainagefuncties (GRL, STP, $W1$ en $W2$) vond plaats door uit berekende grondwaterstanden de grondwaterklasse af te leiden en deze te vergelijken met de aangenomen grondwaterklasse. Gegeven een op een aantal fysische aannamen gebaseerde schatting voor parameters K_i en V_i in de verdeelsleutel, zijn de parameters GRL, STP, $W1$ en $W2$ in de basisdrainagefuncties gecalibreerd. De optimalisatie vond plaats voor alle simulatie-

eenheden in PAWN-district 29 met een oppervlakte groter dan 50 ha.

3.2 parameter-optimalisatie voor de agrohydrologische klassenindeling

De parameter-optimalisatie voor de agrohydrologische klassenindeling is reeds uitgevoerd in (Vermulst, 1991). Probleem van deze parameterschatting was echter dat hij niet geheel beantwoordde aan wat fysisch aannemelijk was. In het hier beschreven onderzoek is getracht een fysisch beter te verdedigen parameter-optimalisatie uit te voeren.

De verdeelsleutel van de NAGROM-onderrandflux over de verschillende grondwaterklassen is gebaseerd op een tweetal fysische aannamen:

- 1) de kwel is geconcentreerd in de natste gebieden, terwijl de wegzijging is geconcentreerd in de droogste gebieden;
- 2) in bepaalde gevallen kan de wegzijging in de natte gebieden groter zijn dan die in de droge gebieden. Dit kan het geval zijn bij onttrekking van grondwater. In de hoge gebieden immers wordt de infiltratie-flux voornamelijk bepaald door het neerslagoverschot en kan er in geval van grondwateronttrekking niet meer dan dit neerslagoverschot infiltreren. In de natte gebieden kan in dat geval behalve dit neerslagoverschot ook aangevoerd oppervlaktewater infiltreren. Ook treedt dit verschijnsel uitgebreid op in Laag-Nederland, waar door inpolderingen de kwel is geconcentreerd in de diepst ontwaterde gebieden (lager gelegen, maar diep ontwaterde droogmakerijen) en de infiltratie vooral optreedt in de minder diep ontwaterde gebieden (de hoger gelegen, maar minder diep ontwaterde veenweidegebieden).

De eerste fysische aanname vindt haar weerslag in de schatting van de vaste termen: voor de lage gebieden een te verwachten kwel, in de hoge gebieden een te verwachten wegzijgingsflux. De wegzijgingsflux in de hoogste gebieden (grondwaterklasse E) wordt volledig bepaald door het neerslagoverschot, waarvoor in deze studie een waarde van 0.7 mm/dag is aangenomen. De vaste termen zijn zo gekozen, dat ze voor geheel district 29 resulteren in een sluitende waterbalans. Voor district 29 in zijn geheel moet dus gelden:

$$\sum A_i * K_i = 0 \quad (i = A, B, \dots, E) \quad (3.5)$$

waarin:

A_i = oppervlakte van grondwaterklasse i binnen PAWN-district 29 [ha]

De tweede fysische aanname bepaalt de keuze van de toedelingsfactoren. Doordat in de hoge gebieden de infiltratie vnl. wordt bepaald door het neerslagoverschot, zal er weinig ruimtelijke variatie voorkomen in deze infiltratie-flux (meer dan het neerslagoverschot kan immers niet infiltreren). In de lage gebieden is door interactie met het oppervlaktewater wel een grote ruimtelijke variatie mogelijk in kwel of infiltratie. Aangenomen is dus dat de toedelingsfactor in grondwaterklasse A het grootst is en in grondwaterklasse E bijna gelijk aan nul.

Op grond van deze aannamen zijn de parameters in de verdeelsleutel geschat. Voor grondwaterklasse A, B, C, D en E zijn vaste termen gekozen van respectievelijk 1.5, 0.9, 0.1, -0.4 en -0.7 mm/d en toedelingsfactoren van

respectievelijk 1.0, 0.6, 0.1, 0.05 en 0.01. Voor de uitwerking van deze verdeelsleutel wordt verwezen naar bijlage 1.

De basisdrainagefuncties die zijn afgeleid in (Vermulst, 1991) zijn zoveel mogelijk in tact gelaten. De aangepaste waarden van de parameters in de verdeelsleutel zorgden er echter voor dat in bepaalde gevallen de oude basisdrainagefuncties niet meer juist waren. Na toetsing op alle simulatie-eenheden in district 29 met een oppervlakte groter dan 50 ha bleek dat dit het geval was voor de basisdrainagefuncties voor grondwaterklassen B en C. Deze functies zijn dan ook aangepast. Tabel 3.1 toont de parameters van de nieuwe basisdrainagefuncties voor de agrohydrologische grondwaterklassenindeling.

Tabel 3.1: basisdrainagefuncties voor PAWN-district 29 voor de agrohydrologische grondwaterklassenindeling

	GRL (mm-mv)	W1 (1/d)	STP (mm-mv)	W2 (1/d)
grwkl. A	-	-	550	0.0100
grwkl. B	700	0.0100	800	0.0067
grwkl. C	500	0.0182	1000	0.0013
grwkl. D	600	0.0025	1400	0.0010
grwkl. E	1800	0.0005	5000	0.0001

Bijlage 2 toont de resultaten van de berekeningen na parameter-optimalisatie van de verdeelsleutel van de onderrandflux en de basisdrainagefuncties. Voor de met een kruis (X) aangemerkte eenheden valt de berekende grondwatertrap buiten de aangenomen grondwaterklasse. Dit is het geval bij slechts 16 van de 191 eenheden (8.3 %).

3.3 parameter-optimalisatie voor de natuur-terrestrische klassenindeling

De parameter-optimalisatie voor de natuur-terrestrische klassenindeling is gebaseerd op dezelfde twee fysische aannamen als in §3.2.

Bij de schatting van de verdeelsleutel is ervoor gezorgd dat de vaste termen hierin gemiddeld overeenkomen met die van de verdeelsleutel voor de agrohydrologische klassenindeling. Om dit mogelijk te maken zijn voor de verdeelsleutel voor de agrohydrologische klassenindeling de vaste termen per grondwaterklasse uitgesplitst in een vaste term per grondwatertrap. Dit is gedaan door aan te nemen dat de vaste term per grondwaterklasse een over het oppervlak gewogen gemiddelde is van de vaste termen van de grondwatertrappen waaruit de grondwaterklasse is opgebouwd. Voor de uitwerking van deze afleiding wordt verwezen naar bijlage 3. De toedelingsfactoren voor de natuur-terrestrische verdeelsleutel zijn geschat op basis van de tweede fysische aanname (toedelingsfactor afnemend van nat naar droog). De afgeleide waarden voor de vaste termen K_i zijn voor klassen A t/m E achtereenvolgens 1.8, 1.65, 1.05, -0.05 en -0.70 mm/dag; de gekozen toedelingsfactoren V_i zijn achtereenvolgens 1.0, 0.8, 0.5, 0.10 en 0.01. Voor de uitwerking van deze verdeelsleutel wordt verwezen naar bijlage 4.

Een eerste schatting voor de basisdrainagefuncties voor de natuur-terrestrische klassenindeling is afgeleid uit de basisdrainagefuncties voor de agrohydrologische klassenindeling. Hierbij is aangenomen dat de gemiddelde parameterwaarden over grondwaterklassen A, B en C voor beide klassenindelingen aan elkaar gelijk moeten zijn. Voor de peilen is gebruik gemaakt van

een naar oppervlakte gewogen gemiddelde, voor de weerstanden van een naar oppervlakte harmonisch gemiddelde. Onder peil wordt hier verstaan het gemiddelde van parameters GRL en STP, onder weerstand het harmonische gemiddelde van $1/W_1$ en $1/W_2$ (in dagen). Voor grondwaterklassen D en E werden in beginsel de basisdrainagefuncties voor de agrohydrologische klassenindeling aangenomen. Uitwerking van deze beginschatting is opgenomen in bijlage 5.

Na toetsing op alle simulatie-eenheden in district 29 met een oppervlakte groter dan 50 ha (voor de natuur-terrestrische klassenindeling 213 eenheden) zijn de beginwaarden verder aangepast. Voor grondwaterklassen A en B werd alleen het peil aangepast (225 resp. 400 mm -mv. i.p.v. 350 resp. 500 mm -mv.), voor grondwaterklasse C werd alleen de weerstand aangepast (150 dagen i.p.v. 105 dagen). Voor grondwaterklasse D werden zowel peil als weerstand aangepast. Deze aanpassingen lijken fysisch niet onrealistisch. Tabel 3.2 toont de geoptimaliseerde basisdrainagefuncties voor de natuur-terrestrische klassenindeling.

Tabel 3.2: basisdrainagefuncties voor PAWN-district 29 voor de natuur-terrestrische grondwaterklassenindeling

	GRL (mm-mv)	W1 (1/d)	STP (mm-mv)	W2 (1/d)
grwkl. A	-	-	225	0.0100
grwkl. B	-	-	400	0.0100
grwkl. C	500	0.0100	900	0.0033
grwkl. D	900	0.0067	1400	0.0010
grwkl. E	1800	0.0005	5000	0.0001

Bijlage 6 toont de resultaten van de berekeningen na optimalisatie van verdeelsleutel en basisdrainagefuncties. In 22 van de 213 gevallen valt de berekende grondwatertrap buiten de aangenomen grondwaterklasse. Het foutenpercentage (ongeveer 10%) ligt slechts een weinig hoger dan dat van de agrohydrologische klassenindeling (8.3%) en is dan ook als acceptabel beschouwd.

4. VERGELIJKING BEREKENINGSRESULTATEN TUSSEN DE AGROHYDROLOGISCHE EN DE NATUUR-TERRESTRISCHE KLASSENINDELING

De hoofddoelstelling van Redesign DEMGEN is het toepasbaar maken van het model voor berekeningen t.b.v. verdrogings- en vermessingsvraagstukken. Zowel voor verdrogingsberekeningen als voor vermessingsberekeningen is de natuur-terrestrische grondwaterklassenindeling het meest geschikt. In voorgaande onderzoeken (Van der Voet & Witte, 1991), (Vermulst, 1991) is steeds de agrohydrologische klassenindeling toegepast. Om meer inzicht te krijgen in de invloed van de Gt-groepering op de berekeningsresultaten van DEMGEN is een aantal vergelijkingen uitgevoerd.

De grondwaterklassenindeling draagt op twee manieren bij aan de berekeningsresultaten: ten eerste bepaalt de grondwaterklassenindeling de manier waarop de door NAGROM berekende onderrandflux wordt uitgesplitst over de diverse grondwaterklassen, ten tweede bepaalt de grondwaterklasse het verloop van de basisdrainage (per grondwaterklasse is immers een basisdrainagefunctie afgeleid).

In eerste instantie is voor beide grondwaterklassenindelingen de door NAGROM berekende en per grondwaterklasse uitgesplitste onderrandflux afgeleid. Dit resulteerde in 2 kaartjes met per combinatie van NAGROM-element en grondwaterklasse een onderrandflux. Deze kaartjes zijn weergegeven in figuren 4.1 en 4.2. Uit deze figuren blijkt allereerst dat de kwel/wegzijgingsverdeling in grote lijnen overeenkomt. De grootste verschillen komen, zoals te verwachten, voor in de extreem natte gebieden (Gt I en II), waar de natuur-terrestrische klassenindeling een duidelijk gedifferentieerder beeld geeft en in de gebieden met Gt's uit de midden-groep (Gt III en V). In de laatste gebieden geeft de agrohydrologische klassenindeling een duidelijk gedifferentieerder beeld. Over het algemeen is het verschil in onderrandflux tussen beide klassenindelingen kleiner dan 0.2 mm/dag. In de extreem natte gebieden en in gebieden met Gt's uit de middengroep kan dit verschil echter oplopen tot ongeveer 0.8 mm/dag.

Opvallend in zowel figuur 4.1 als figuur 4.2 is dat voor bepaalde beekdalen, waarvan het vrijwel zeker is dat het gebieden zijn met een sterke kwel, een sterke infiltratieflux wordt berekend. Dit is vooral te zien bij de uit ecologisch oogpunt zeer waardevolle Hierdense Beek (ten zuidoosten van Harderwijk) en de bovenloop van de Schuitenbeek (in deelgebied I). Deze fout vloeit voort uit een te grove NAGROM-schematisatie. Los hiervan is het de vraag of voor dit soort gebieden (bovenlopen van beken in pleistoceen Nederland) de aanname dat de nattere gebieden meer ruimtelijke variatie in kwel-of wegzijging hebben, nog wel geldt. In dit soort gebieden is de aanvoer van oppervlaktewater immers te verwaarlozen en zal nooit veel meer dan het neerslagoverschot kunnen infiltreren. Het strekt dan ook tot aanbeveling om t.b.v. de koppeling tussen DEMGEN en DEMNAT-2 in de verdeelsleutel van de onderrandflux onderscheid te maken tussen peilbeheerste gebieden en vrij afwaterende gebieden.

In tweede instantie is voor een tweetal deelgebieden in PAWN-district 29 vergeleken wat voor beide klassenindelingen de berekende grondwaterstandsdalingen zijn als gevolg van een afname van de kwel ofwel een toename van de wegzijging gemiddeld over het gebied van 0.5 mm/dag. Grondwaterstandsdalingen zijn immers, naast kwel en wegzijgingswaarden, van belang voor natuur-terrestrische berekeningen. Het eerste deelgebied bestaat voornamelijk uit Gt's uit de middengroep en is gelegen ten zuidoosten van Nijkerk

(zie figuur 4.1). Het komt overeen met het in (Vermulst, 1991) gedefinieerde deelgebied verdroging. Het tweede deelgebied bestaat voornamelijk uit gronden met Gt's I en II en is gelegen ten noordwesten van Nijkerk.

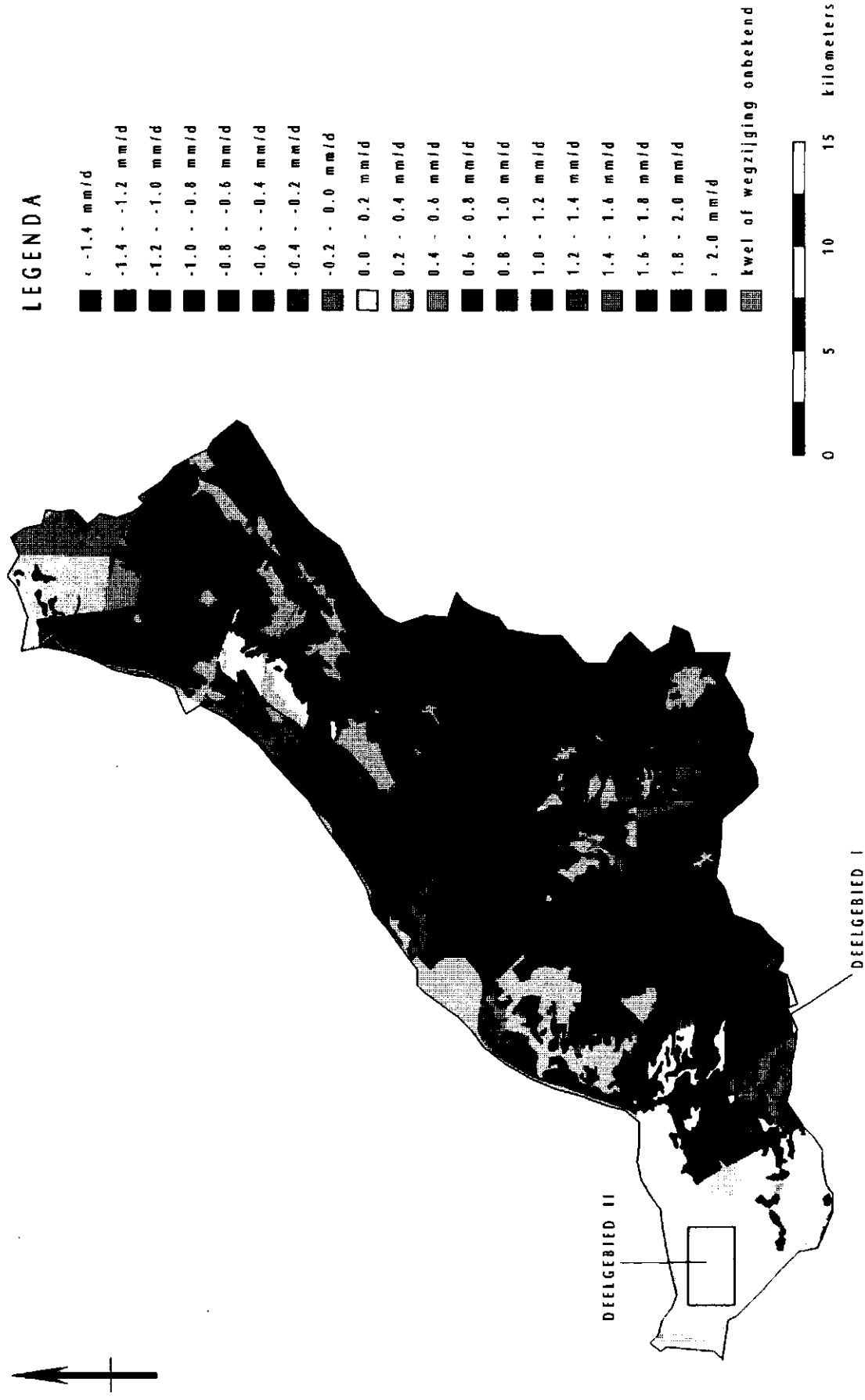
Voor beide deelgebieden is de daling van de GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) berekend na een afname van de onderrandflux gemiddeld over het gebied van 0.5 mm/dag. De vergelijking van de berekeningsresultaten voor deelgebied I is opgenomen in figuur 4.3, die voor deelgebied II in figuur 4.4.

Figuur 4.3 laat een groot verschil zien in berekende grondwaterstandsdalingen tussen beide klassenindelingen. Gemiddeld liggen de dalingen berekend op grond van de natuur-terrestrische klassenindeling, 75 tot 100 % hoger dan die berekend op grond van de agrohydrologische klassenindeling. NAGROM-element 44 valt vrijwel geheel binnen de grenzen van deelgebied I. De gemiddelde kwel of wegzijging voor dit NAGROM-element moet voor beide klassenindelingen gelijk zijn. Omdat de verdeelsleutel voor beide klassenindelingen verschillend is, kunnen er verschillen in berekende dalingen optreden. Het feit, dat voor alle grondwaterklassen in NAGROM-element 44 grotere dalingen worden berekend, kan echter alleen worden verklaard door een verschil in basisdrainagefuncties.

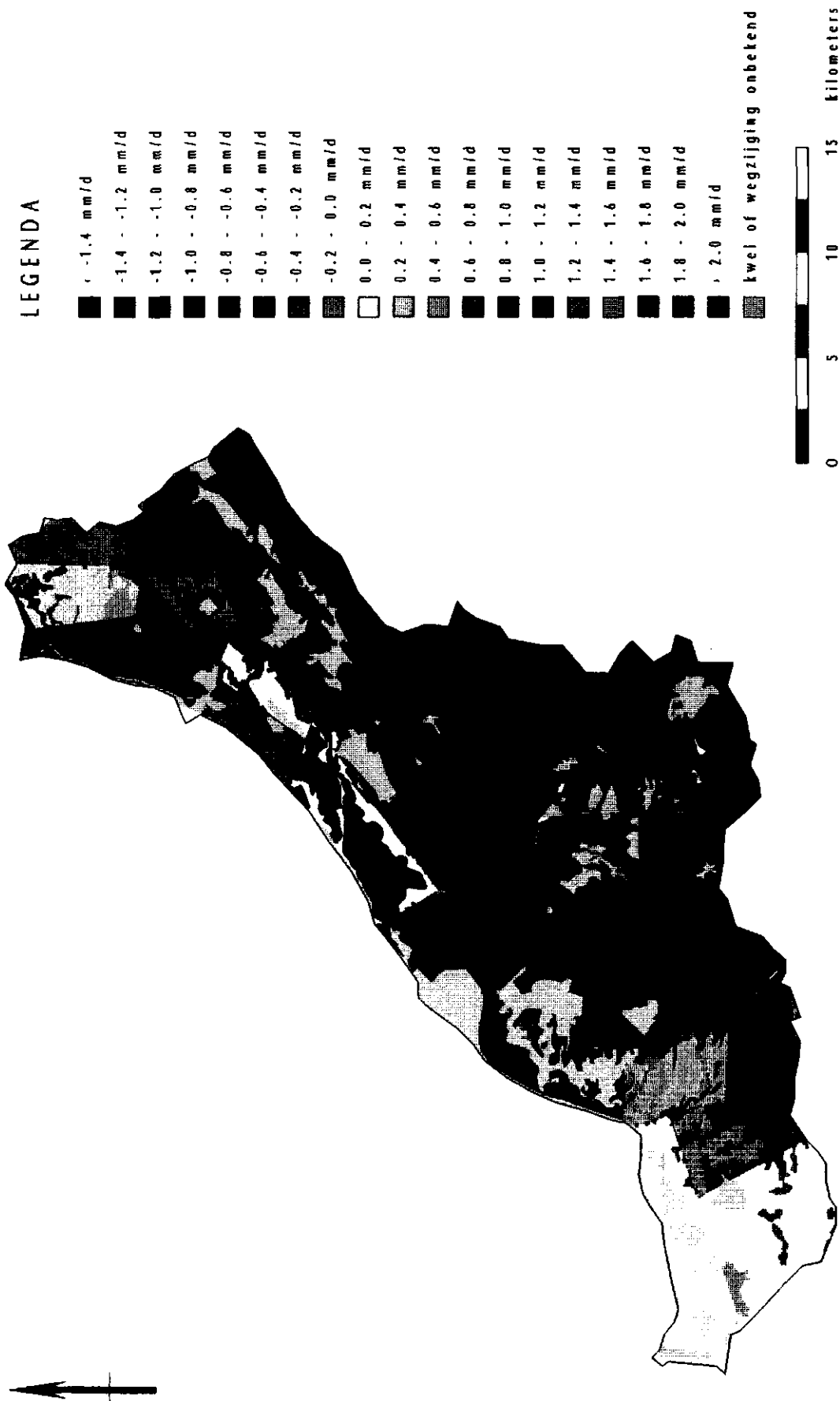
Waarschijnlijk ligt de oorzaak vooral in de basisdrainagefunctie van grondwaterklasse C van de natuur-terrestrische klassenindeling. Deze heeft nl. een hogere drainageweerstand ($1/(0.5*(0.01+0.0033)) \approx 150$ dagen) dan de basisdrainagefuncties voor grondwaterklassen A (100 dagen) en C ($1/(0.5*(0.0182+0.0013)) \approx 100$ dagen) uit de agrohydrologische klassenindeling. Een hogere drainageweerstand zorgt ervoor dat in geval van afname van kwel of toename van infiltratie minder aanvulling van grondwater vanuit het oppervlaktewater mogelijk is dan bij een lagere weerstand. Grondwaterstandsdalingen nemen dus toe naarmate de drainageweerstand toeneemt.

Figuur 4.4 laat eveneens grote verschillen zien in berekende grondwaterstandsdalingen. Absoluut zijn de verschillen weliswaar een fractie van de verschillen die gevonden zijn in deelgebied I (orde van grootte 20 cm in deelgebied I, orde van grootte 4 cm in deelgebied II), relatief treden ook in deelgebied II fouten op van 75 tot 100 %. Omdat de basisdrainagefuncties voor grondwaterklassen A en B uit de natuur-terrestrische klassenindeling (Gt's I en II) dezelfde drainageweerstand hebben als de basisdrainagefunctie voor grondwaterklasse A uit de agrohydrologische klassenindeling (in beide gevallen 100 dagen), moet de oorzaak van de verschillen nu worden gezocht in de verdeelsleutel van de NAGROM-onderrandflux. De toedelingsfactoren voor grondwaterklassen A en B in de verdeelsleutel voor de natuur-terrestrische klassenindeling (zie hoofdstuk 3) zijn naar verhouding groter dan die voor grondwaterklasse A in de verdeelsleutel voor de agrohydrologische klassenindeling. Een afname van de onderrandflux werkt bij grondwaterklassen A en B uit de natuur-terrestrische klassenindeling dan ook sterker door dan bij grondwaterklasse A uit de agrohydrologische klassenindeling. Dit leidt tot sterkere dalingen bij de natuur-terrestrische klassenindeling.

De conclusie is dat de grondwaterklassenindeling een zeer grote invloed heeft op de berekeningsresultaten. Omdat de natuur-terrestrische klassenindeling meer klassen onderscheidt in het natte traject en de agrohydrologische klassenindeling meer in het midden-traject, kan met enige zekerheid worden verondersteld dat de agrohydrologische klassenindeling minder

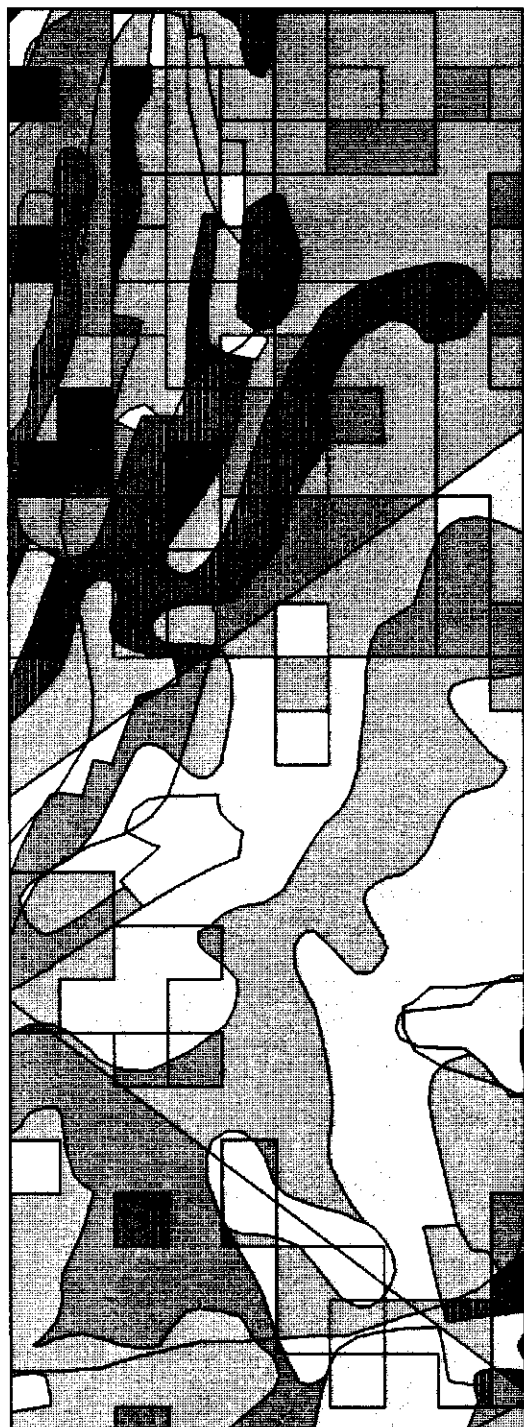


FIGUUR 4.1: KWEL-OF WEGZIJGINGSFLUXEN BIJ AGROHYDROLOGISCHE GT-GROEPERING

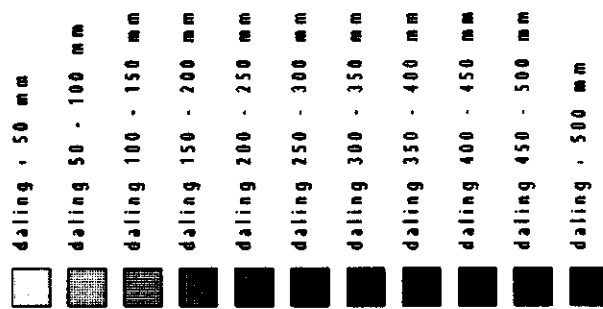


FIGUUR 4.2: KWEL-OF WEGZIIGINGSFLUXEN BIJ NATUUR-TERRESTRIISCHE GT-GROEPERING

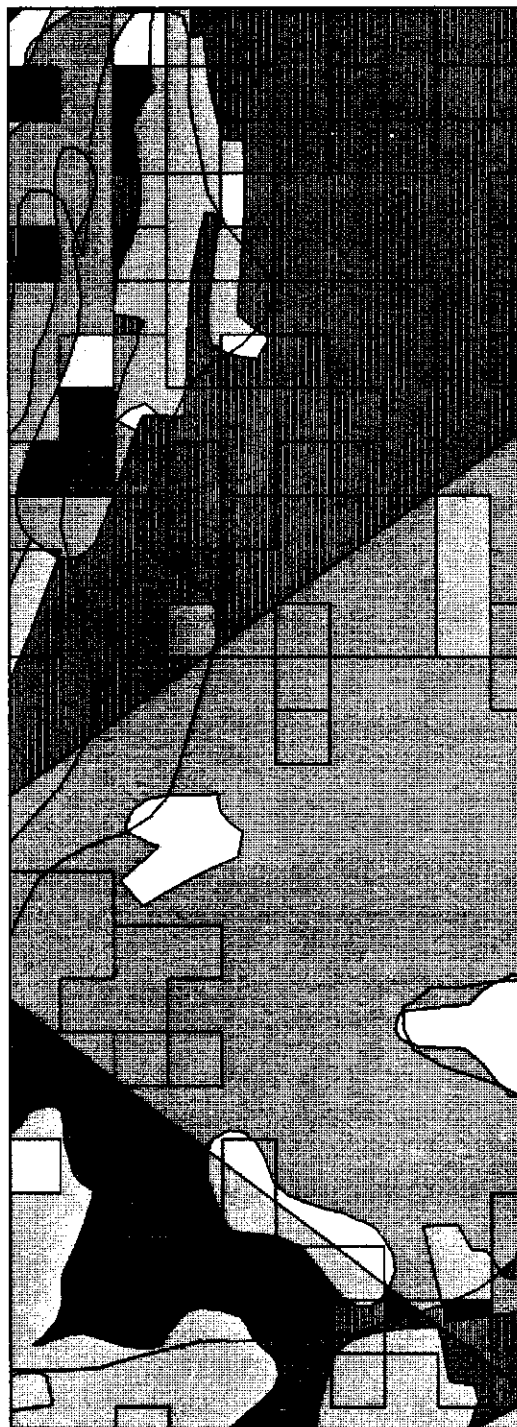
A: GRONDWATERSTANDSDALINGEN BIJ AGROHYDROLOGISCHE GT-GROEPERING



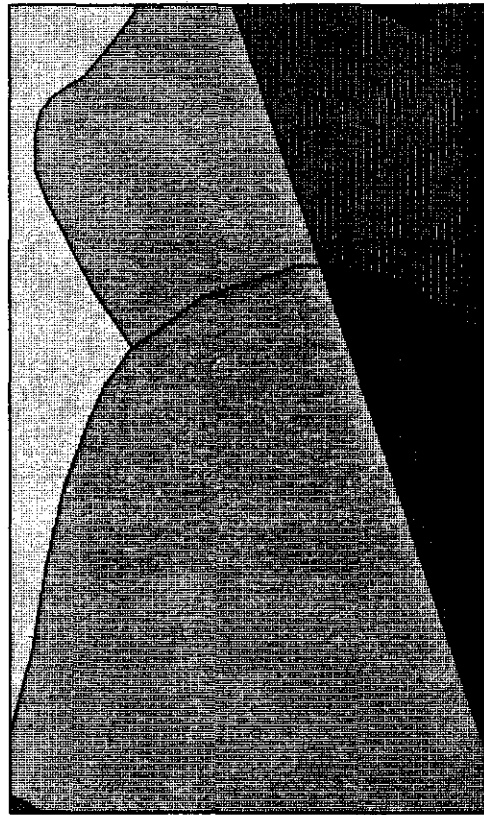
LEGENDA



B: GRONDWATERSTANDSDALINGEN BIJ NATUUR-TERRESTRICHE GT-GROEPERING



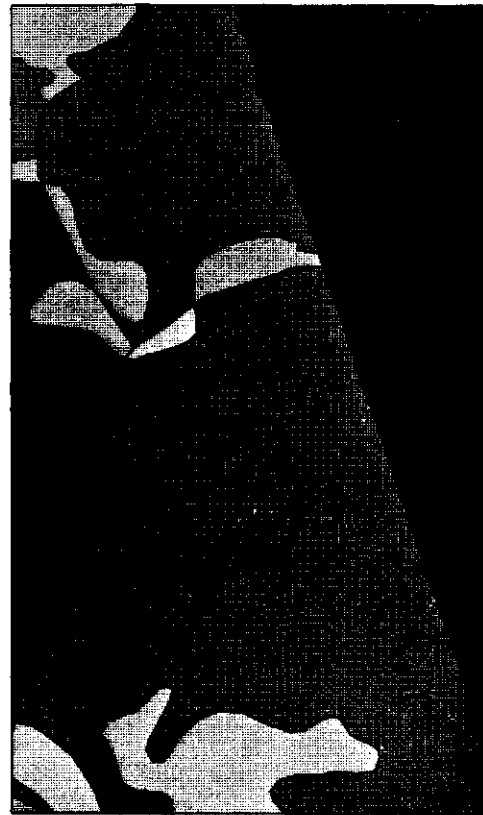
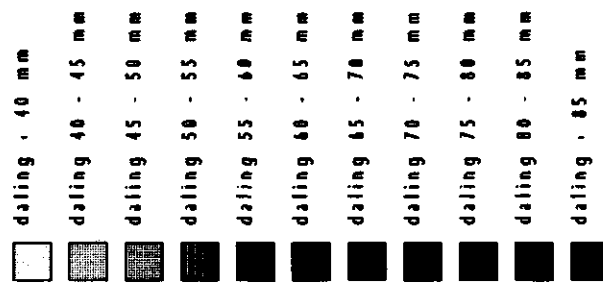
FIGUUR 4.3: VERGELIJKING BEREKENINGSMETHODEN VOOR DEELGEBIED I



A: GRONDWATERSTANDSDALINGEN BIJ

AGROHYDROLOGISCHE GT-GROEPERING

LEGENDA



B: GRONDWATERSTANDSDALINGEN BIJ

NATUUR-TERRESTRISCHE GT-GROEPERING

FIGUUR 4.4: VERGELIJKING BEREKENINGSRÉSULTATEN VOOR DEELGEBIED II

nauwkeurige berekeningsresultaten oplevert in natte gebieden (deelgebied II) en dat de natuur-terrestrische klassenindeling minder nauwkeurige resultaten oplevert in matig natte of matig droge gebieden (deelgebied I). Zonder vergelijking met metingen zijn hierover echter geen harde conclusies te trekken. Het strekt dan ook tot aanbeveling om met beide grondwaterklassenindelingen berekende debieten te vergelijken met gemeten debieten (van bijv. de Schuitenbeek). Verder kan worden gedacht aan het vergelijken van berekende grondwaterstands dalingen als gevolg van een grondwaterwinning uit de praktijk met gemeten grondwaterstands dalingen ter plekke (diverse studies IGG-TNO). Beide opties zijn echter nogal tijdrovend en zijn in deze studie achterwege gebleven.

5. GECOMBINEERDE GRONDWATERKLASSENINDELING

Het RIZA streeft ernaar om uitgaande van één basisschematisatie voor DEMGEN verschillende soorten berekeningen uit te voeren. Doel van het hier beschreven onderzoek was om op grond van berekeningsresultaten beide grondwaterklassenindelingen te combineren tot één. Uit de in hoofdstuk 4 beschreven vergelijkingen van berekeningsresultaten kon de voorzichtige conclusie worden getrokken dat de agrohydrologische klassenindeling aan nauwkeurigheid te wensen overlaat in extreem natte gebieden (Gt's I en II) en dat de natuur-terrestrische klassenindeling in de matig natte/matig droge gebieden minder nauwkeurige resultaten geeft (grondwaterklasse C, bestaande uit Gt's II*, III, III*, V en V*).

Zowel voor verdrogingsberekeningen als voor vermistingsberekeningen had de natuur-terrestrische klassenindeling reeds de voorkeur, dit vanwege het sterke onderscheid in de natte gronden. Het lag dan ook voor de hand een gecombineerde grondwaterklassenindeling te baseren op de natuur-terrestrische. Voor de oorspronkelijke toepassing van DEMGEN echter, het berekenen van de landbouwwaterbehoefte, is de middengroep van de natuur-terrestrische klassenindeling te groot. Ook voor berekeningen t.b.v. verdrassingsschade voor de landbouw (als gevolg van natuurtechnische maatregelen) zou een splitsing van grondwaterklasse C in de natuur-terrestrische indeling wenselijk zijn.

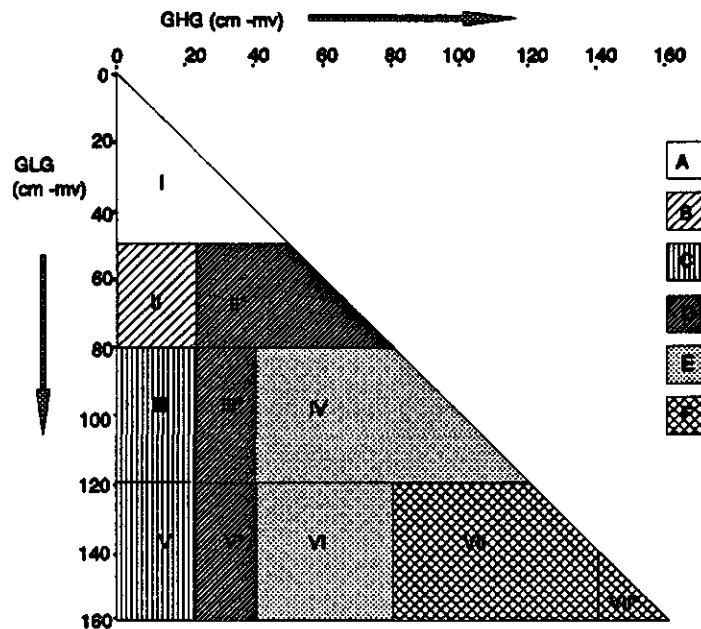
De twee meest voor de hand liggende splitsingen van grondwaterklasse C uit de natuur-terrestrische indeling zijn:

- 1) een 'verticale' splitsing tussen Gt's III en V enerzijds en Gt's II*, III* en V* anderzijds;
- 2) een 'horizontale' splitsing tussen Gt's II*, III en III* enerzijds en Gt's V en V* anderzijds.

De eerste deling is gebaseerd op de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), de tweede op de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

Vanwege het grote verschil in GLG in grondwaterklasse C (variërend van 50 cm -mv. tot 160 cm -mv) is voor het berekenen van de landbouwwaterbehoefte een horizontale splitsing wenselijk. Voor vermistingsberekeningen is echter de GHG het meest van belang, dit i.v.m. afspoeling en snelle drainage van fosfaat. Hetzelfde geldt voor verdrassingsberekeningen. Voor deze toepassingen is een verticale splitsing dus het meest voor de hand liggend. Ook voor verdroging geniet een verticale splitsing de voorkeur: Gt's II*, III* en V* hebben door het verbeteren van de drainage minder grondwaterstandsverloop gekregen en zijn uit natuur-terrestrisch oogpunt veelal minder interessant geworden. Gronden met Gt III en V bezitten, als gevolg van de hoge grondwaterstand in de winter en daarmee samenhangend minder intensief gebruik door de landbouw, in het algemeen meer waardevolle vegetaties.

Rekening houdend met de actualiteit van beleidsvragen omtrent vermisting en verdroging en met het oog op de noodzaak van verdrassingsschade-berekeningen is gekozen voor de natuur-terrestrische grondwaterklassenindeling met een verticale opsplitsing van grondwaterklasse C. Deze indeling in 6 klassen is weergegeven in figuur 5.1. Een overzichtskaart van PAWN-district 29 met de gecombineerde grondwaterklassenindeling is opgenomen in figuur 5.2.



Figuur 5.1: Gecombineerde grondwaterklasse-indeling

In combinatie met de bestanden voor PAWN-district 29 met de NAGROM-elementen, de bodemfysische eenheden en landgebruikstypen op 250 bij 250 m pixels, levert de gecombineerde grondwaterklassenindeling 1217 unieke simulatie-eenheden voor DEMGEN op. Ten opzichte van de agrohydrologische en natuur-terrestrische klassenindelingen (1010 eenheden) betekent dit een toename van ruim 200 unieke eenheden.

De berekeningen voor de gecombineerde klassenindeling zijn uitgevoerd met DEMGEN versie 6.0, in tegenstelling tot de berekeningen voor de agrohydrologische en natuur-terrestrische klassenindelingen, die zijn uitgevoerd met DEMGEN versie 5.1. Versie 6.0 verschilt van versie 5.1 in het feit dat de berekende fluxen voor wortelzone en ondergrond worden uitgesplitst naar fluxen voor 15 segmenten in de verticaal en in het feit dat DEMGEN behalve oppervlakkige afstroming en drainage ook een snelle drainagecomponent berekent. Deze twee aanpassingen zijn gemaakt om DEMGEN beter toepasbaar te maken voor vermistingsberekeningen. Een derde aanpassing is de mogelijkheid om per plot het effect van drainbuizen te simuleren. Voor uitvoeriger informatie over DEMGEN 6.0 wordt verwezen naar de handleiding van DEMGEN 6.0 (Waterloopkundig Laboratorium, 1990). De agrohydrologische berekeningen worden ook in DEMGEN 6.0 nog steeds worden uitgevoerd door voor wortelzone en ondergrond een waterbalans bij te houden. Uitsplitsing van de fluxen naar 15 segmenten is slechts een nabewerking aan het eind van de tijdstap. De berekeningsresultaten van DEMGEN 6.0 verschillen dan ook niet wezenlijk van die van DEMGEN 5.1.

De parameters in de verdeelsleutel van de NAGROM-onderrandflux voor de gecombineerde klassenindeling zijn identiek aan die voor de natuur-terrestrische klassenindeling. De parameters voor klassen A, B, E en F uit de gecombineerde klassenindeling zijn gelijk aan resp. klassen A, B, D en E uit de natuur-terrestrische indeling. Voor klassen C en D uit de gecombineerde indeling gelden de parameters van klasse C uit de natuur-terrestrische



LEGENDA

- grondwaterklasse A: GT I
- grondwaterklasse B: GT II
- grondwaterklasse C: GT's III en V
- grondwaterklasse D: GT's II., III. en V.
- grondwaterklasse E: GT's IV en VI
- grondwaterklasse F: GT's VII en VIII.
- grondwaterklasse onbekend



FIGUUR 5.2: GECOMBINEERDE GRONDWATERKLASSENINDELING VOOR PAWN-DISTRICT 29

sche indeling.

Hetzelfde geldt voor de basisdrainagefuncties: de functies voor klassen A, B, E en F uit de gecombineerde indeling zijn identiek aan die voor resp. klassen A, B, D en E uit de natuur-terrestrische indeling. Voor klassen C en D uit de gecombineerde indeling geldt de basisdrainagefunctie van klasse C uit de natuur-terrestrische indeling.

Het enige verschil tussen grondwaterklassen C en D in de gecombineerde klassenindeling is dat voor gronden met grondwaterklasse D wordt aangenomen dat ze drainbuizen hebben. Zo'n drainbuis wordt in DEMGEN 6.0 ingevoerd per plot en vormt in feite een derde tak in de basisdrainagefunctie. Voor meer informatie hieromtrent wordt verwezen naar de handleiding van DEMGEN 6.0 (Waterloopkundig Laboratorium, 1990). Voor alle plots met grondwaterklasse D is een draindiepte (DRN) aangenomen van 50 cm -mv. en een drainageweerstand (W3) van 50 dagen (0.02 l/d). Tabel 5.1 geeft een overzicht van de basisdrainagefuncties voor de gecombineerde grondwaterklassenindeling. De parameters GRL, STP en DRN zijn uitgedrukt in mm -mv.

Tabel 5.1: basisdrainagefuncties voor PAWN-district 29 voor de gecombineerde grondwaterklassenindeling

	GRL	W1(l/d)	STP	W2(l/d)	DRN	W3(l/d)
grwkl. A	-	-	225	0.0100	-	-
grwkl. B	-	-	400	0.0100	-	-
grwkl. C	500	0.0100	900	0.0033	-	-
grwkl. D	500	0.0100	900	0.0033	500	0.0200
grwkl. E	900	0.0067	1400	0.0010	-	-
grwkl. F	1800	0.0005	5000	0.0001	-	-

Voor alle eenheden in district 29 met grondwaterklasse C of D en een oppervlakte groter dan 50 ha zijn controle-berekeningen gemaakt. Een overzicht van de resultaten van deze berekeningen is opgenomen in bijlage 7. Van de in totaal 13 eenheden met grondwaterklasse C viel in 2 gevallen de berekende Gt buiten de oorspronkelijk aangenomen grondwaterklasse, voor grondwaterklasse D was dit in 3 van de 18 gevallen. Voor alle grondwaterklassen samen viel in 19 van de 197 gevallen de berekende grondwaterklasse buiten de oorspronkelijk aangenomen grondwaterklasse. Dit foutenpercentage (10.4 %) is als acceptabel beschouwd.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies:

- 1) Groepering van Gt's is nodig om de hoeveelheid invoer voor DEMGEN binnen de perken te houden, dit omwille van besparing van rekentijd en behoud van overzicht over de invoer. Groepering van 11 Gt's naar 5 grondwaterklassen zorgt voor een beperking van het aantal simulatie-eenheden voor PAWN-district 29 van ruim 1300 eenheden tot ruim 1000 eenheden. Naast het beperken van het aantal eenheden is ook het vereenvoudigen van de parameter-optimalisatie een reden om Gt's te groeperen. De groepering van Gt's tot grondwaterklassen is reeds in de basisschematisatie doorgevoerd omdat groepering van Gt's achteraf niet mogelijk is zonder de parameter-optimalisatie voor de koppeling NAGROM-DEMGEN te herhalen.
- 2) De oorspronkelijk aangenomen groepering van Gt's op grond van agrohydrologische kenmerken is minder geschikt voor toepassingen van DEMGEN in verdrogings- en vermessingsstudies, omdat de natte grondwatertrappen te sterk worden geclusterd. Voor deze studies is de in (Klijn, 1988) voorgestelde natuur-terrestrische Gt-groepering meer geschikt.
- 3) Voor beide grondwaterklassenindelingen bleek een op twee fysische aannamen gebaseerde parameter-optimalisatie zeer wel mogelijk. Bij de toetsing van beide parameter-schattingen werd in 90% van de gevallen de oorspronkelijk ingevoerde grondwaterklasse juist voorspeld.
- 4) Uit vergelijking van berekeningsresultaten tussen beide grondwaterklassenindelingen voor een tweetal deelgebieden binnen district 29 bleek dat de grondwaterklassenindeling een zeer grote invloed heeft op de uitkomsten van DEMGEN.
- 5) Met enige zekerheid mag worden aangenomen dat de agrohydrologische grondwaterklassenindeling minder nauwkeurige resultaten oplevert in de natte Gt's (I en II), en dat de natuur-terrestrische klassenindeling voor de Gt's in de middengroep (Gt's II*, III, III*, V en V*) minder nauwkeurige resultaten oplevert.
- 6) Gezien het feit dat zowel voor verdrogingstoepassingen als voor vermessingstoepassingen de natuur-terrestrische klassenindeling de voorkeur geniet, is voor een gecombineerde grondwaterklassenindeling gekozen die gebaseerd is op de natuur-terrestrische. Met het oog op uit te voeren berekeningen van verdrassingsschade voor de landbouw en ook met het oog op verbetering van de berekeningsresultaten voor verdrogings- en vermessingstoepassingen, is gekozen voor een splitsing van grondwaterklasse C uit de natuur-terrestrische indeling op grond van GHG ('verticale' splitsing tussen Gt's III en V enerzijds en Gt's II*, III* en V* anderzijds).
- 7) Deze gecombineerde grondwaterklassenindeling in 6 grondwaterklassen leidt, in combinatie met de overige invoer voor PAWN-district 29 tot een totaal van ruim 1200 simulatie-eenheden voor DEMGEN. Ten opzichte van de oorspronkelijke klassenindelingen betekent dit een toename van ongeveer 200 eenheden. Voor district 29 levert de gecombineerde

Gt-groepering dus slechts een besparing van 100 rekeneenheden op. Voor andere districten kan dit aantal echter veel groter zijn.

- 8) Implementatie van de gecombineerde grondwaterklassenindeling in de nieuwe versie DEMGEN 6.0, bleek zeer vlot mogelijk. Daarbij is grotendeels gebruik gemaakt van de parameter-optimalisatie voor de natuur-terrestrische klassenindeling. Voor grondwaterklasse D (Gt's II*, III* en V*), de landbouwkundig verbeterde gronden, is aangenomen dat ze buisdrainage hebben.

Aanbevelingen voor verder onderzoek:

- 1) Voorgesteld wordt de berekeningsresultaten van verschillende grondwaterklassenindelingen te vergelijken met gemeten waarden. Hierbij kan worden gedacht aan vergelijking van berekende afvoeren met gemeten afvoeren (van bijv. de Schuitenbeek of de Hupselse Beek). Daarnaast kan worden gedacht aan het vergelijken van berekende grondwaterstandsdalingen als gevolg van een grondwateronttrekking uit de praktijk met gemeten grondwaterstanden ter plekke (gegevens IGG-TNO).
- 2) Verder onderzoek is gewenst naar de optimale opzet van een nieuw DEMGEN. Hierbij moet worden gedacht aan de volgende punten:
 - mogelijkheid tot implementatie van 6 basisdrainagefuncties binnen een district (nu maximaal 2);
 - automatische data-overdracht tussen NAGROM en DEMGEN;
 - automatische uitwisseling van in- en uitvoergegevens van DEMGEN tussen ARC/INFO en DEMGEN (bijv. in de vorm van een menu-structuur).
- 3) Gezien het feit dat de rekentijden van DEMGEN versie 6.0 verdubbeld zijn t.o.v. die van DEMGEN 5.1 en gezien de hoeveelheid voor landelijke berekeningen door te rekenen invoer strekt het tot aanbeveling om DEMGEN te implementeren op een SUN-werkstation.
- 4) Onderzoek naar de mogelijkheden tot beperking van het aantal NAGROM-elementen (in de ruimtelijke invoer van DEMGEN) strekt tot aanbeveling.
- 5) Het strekt tot aanbeveling om t.b.v. de koppeling tussen DEMGEN en DEMNAT-2 in de verdeelsleutel van de onderrandflux onderscheid te maken tussen peilbeheerste gebieden en vrij afwaterende gebieden. Met de huidige verdeelsleutel worden voor de uit natuur-terrestrisch oogpunt vaak interessante geïsoleerde kwelgebieden (vnl. bovenlopen van beken, zoals de Hierdense Beek) verkeerde waarden berekend.

LITERATUURLIJST

- 1) Abrahamse, A.H., G. Baarse en E. van Beek; PAWN - volume XII, Rand Corporation, Santa Monica, USA, 1982;
- 2) Arnold, G.E. en U. Pakes; Projektplan HYD*ONVERZA (Redesign DEMGEN: ontwikkeling van een model voor de onverzadigde zone), RIZA, Lelystad, 1991;
- 3) Klijn, F.; Ecoseries, aanzet tot een standplaatstypologie, CML, Leiden, 1988;
- 4) Strack, O.D.L.; Groundwater mechanics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1988;
- 5) Vermulst, J.A.P.H.; Redesign DEMGEN, toetsing van het nieuwe hydrologische concept en generalisatie van de invoer voor PAWN-district 29, RIZA, Lelystad, 1991;
- 6) Voet, P. van der en J.P.M. Witte; Hydrologische schematisering van PAWN-district 29 (Noordwest Veluwe) met een geografisch informatie-systeem - een haalbaarheidsonderzoek, Landbouwuniversiteit Wageningen, Wageningen, 1991;
- 7) Waterloopkundig Laboratorium, Rijkswaterstaat - Dienst Binnenwateren/RIZA; Programma documentatie DEMand GENerator, Delft/Lelystad, 1986;
- 8) Waterloopkundig Laboratorium; CERES: koppeling DEMGEN met waterkwaliteitsmodellen, Delft, 1990;
- 9) Witte, J.P.M., C.L.G. Groen en J.G. Nienhuis; Het eco-hydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2, Projectgroep DEMNAT-2, 1992 (in voorbereiding);
- 10) Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst; Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250.000, ten behoeve van de PAWN-studie, Stichting voor bodemkartering, Wageningen, 1988.

Bijlage 1: Uitwerking verdeelsleutel van de NAGROM-onderrandflux voor de agrohydrologische grondwaterklassenindeling

K_A	-	1.50;	V_A	-	1.00;
K_B	-	0.90;	V_B	-	0.60;
K_C	-	0.10;	V_C	-	0.10;
K_D	-	-0.40;	V_D	-	0.05;
K_E	-	-0.70;	V_E	-	0.01;

NB: de cursief aangegeven onderrandfluxen gelden voor combinaties van NAGROM-element en grondwaterklasse met een oppervlakte gelijk aan 0 en zijn dus niet relevant.

NAGROM- element	Q_{tot} (mm/d)	Q_A (mm/d)	Q_B (mm/d)	Q_C (mm/d)	Q_D (mm/d)	Q_E (mm/d)
18	-0.63	-0.73	-0.44	-0.12	-0.51	-0.72
19	0.19	0.29	0.17	-0.02	-0.46	-0.71
20	-0.21	-0.19	-0.12	-0.07	-0.48	-0.72
21	-0.38	-0.41	-0.24	-0.09	-0.50	-0.72
22	0.38	0.42	0.25	-0.01	-0.45	-0.71
23	-0.35	0.47	0.28	0.00	-0.45	-0.71
24	-0.92	-1.67	-1.00	-0.22	-0.56	-0.73
25	0.83	1.00	0.60	0.05	-0.42	-0.70
26	-0.73	-0.90	-0.54	-0.14	-0.52	-0.72
27	-0.34	-0.30	-0.18	-0.08	-0.49	-0.72
28	-0.56	-0.63	-0.38	-0.11	-0.51	-0.72
29	-0.03	0.21	0.13	-0.03	-0.46	-0.71
30	-0.70	-0.64	-0.38	-0.11	-0.51	-0.72
31	1.98	6.64	3.99	0.61	-0.14	-0.65
32	1.93	2.81	1.69	0.23	-0.33	-0.69
33	-0.70	0.26	0.15	-0.02	-0.46	-0.71
34	-1.36	-60.5	-36.3	-6.10	-3.50	-1.32
35	-0.70	-0.21	-0.13	-0.07	-0.49	-0.72
36	-0.70	0.55	0.33	0.00	-0.45	-0.71
37	-0.38	-0.32	-0.19	-0.08	-0.49	-0.72
38	-0.88	-1.09	-0.65	-0.16	-0.53	-0.73
39	0.03	0.03	0.02	-0.05	-0.47	-0.71
40	0.10	0.11	0.07	-0.04	-0.47	-0.71
41	0.10	0.16	0.10	-0.03	-0.47	-0.71
42	0.29	1.76	1.05	0.13	-0.39	-0.70
43	0.18	0.80	0.48	0.03	-0.44	-0.71
44	-0.57	-1.12	-0.67	-0.16	-0.53	-0.73
45	-0.90	-2.82	-1.69	-0.33	-0.62	-0.74
46	-0.70	-0.14	-0.08	-0.06	-0.48	-0.72
47	-0.70	-0.86	-0.52	-0.14	-0.52	-0.72
48	-0.70	-1.54	-0.92	-0.20	-0.55	-0.73
49	-0.70	0.35	0.21	-0.01	-0.46	-0.71
51	-0.70	0.43	0.26	-0.01	-0.45	-0.71

**Bijlage 2: Berekeningsresultaten na herziening van verdeelsleutel en
basisdrainagefuncties voor de agrohydrologische klassenindeling**

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
18A0301	232.82	A	III	
18A0401	130.84	A	III	
18A1901	58.45	A	III	
18B1801	76.40	B	III*	
19A0301	219.87	A	II	
19A0401	540.57	A	II	
19A1901	52.76	A	II	
19A2001	77.86	A	II	
19B0401	54.28	B	III*	
19B2001	95.90	B	III*	
20A0301	70.28	A	II	
20A0401	402.42	A	II	
20A1801	119.55	A	II	
20A1901	56.73	A	II	
20B0401	64.52	B	III*	
20D1901	51.80	D	VI	
21A0301	357.70	A	III	
21A0401	67.70	A	III	
21A1801	110.47	A	II	
21A1901	78.77	A	III	
21B1801	120.44	B	III*	
22A0401	245.71	A	II	
23D1201	90.73	D	VI	
24A1201	54.17	A	III	
24B1201	105.29	B	IV	
24B1901	53.93	B	IV	
24D1201	151.40	D	VI	
24E1201	142.93	E	VII*	
25A0201	308.06	A	II	
25A1301	104.00	A	II	
25A1901	86.39	A	II	
25B1201	83.99	B	III	X
25B1301	174.97	B	III	X
26A0401	135.34	A	III	
26A1201	93.42	A	III	
26A1301	118.62	A	III	
26A1901	176.08	A	III	
26B1201	243.57	B	III*	
26B1301	75.61	B	III*	
26D1201	68.99	D	VI	
27A0401	274.67	A	III	
27B0901	58.79	B	III*	
28D1201	78.87	D	VI	
29A1301	171.04	A	II	
29B0901	124.53	B	III*	
29B1201	86.64	B	III*	
29B1301	280.75	B	III*	
29D1201	118.52	D	VI	
29E1201	59.60	E	VII*	
30D0901	56.92	D	VI	
30D1201	110.33	D	VI	
30E0701	86.91	E	VII*	
30E0714	341.23	E	VII*	

bijklage 2 - vervolg

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
30E0715	203.32	E	VII	
30E1201	239.73	E	VII*	
30E1412	979.65	E	VII	
30E1414	377.67	E	VII*	
30E1415	791.77	E	VII	
31B1001	67.39	B	II	X
31D1001	54.83	D	V*	
31E1201	53.30	E	VII*	
32A0201	307.64	A	II	
32A0401	402.78	A	II	
32A0901	232.47	A	II	
32A1001	50.06	A	II	
32A1301	251.78	A	II	
32B0401	83.16	B	III	X
32B0901	315.37	B	III	X
32B1001	156.47	B	III	X
32B1201	56.77	B	III	X
32B1301	66.20	B	III	X
32D0901	57.24	D	VI	
33D1001	67.91	D	VI	
33D1201	85.87	D	VI	
33E0701	176.72	E	VII*	
33E0707	129.16	E	III*	X
33E0714	2287.70	E	VII*	
33E0715	327.78	E	VII	
33E0812	80.06	E	VII	
33E0813	57.74	E	VII*	
33E0814	969.15	E	VII*	
33E0815	231.24	E	VII	
33E1001	92.30	E	VII*	
33E1201	293.71	E	VII*	
33E1412	1094.13	E	VII	
33E1413	70.01	E	VII*	
33E1414	1773.13	E	VII*	
33E1415	455.35	E	VII	
34E0707	59.45	E	VII	
34E1201	68.69	E	VII*	
35E0707	112.24	E	III*	X
35E0714	1175.54	E	VII*	
35E0715	295.67	E	VII	
35E0814	150.86	E	VII*	
35E1201	179.43	E	VII*	
35E1213	76.42	E	VII*	
35E1214	54.94	E	VII*	
35E1401	80.27	E	VII	
35E1414	397.77	E	VII*	
35E1415	259.80	E	VII	
36E0714	555.77	E	VII*	
36E1414	175.86	E	VII*	
37A1201	92.97	A	III	
37A1301	124.85	A	III	
37B1201	58.84	B	III*	
38A1301	71.00	A	III	
38A1901	141.66	A	III	

bijlage 2 - vervolg

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
39A0401	315.67	A	II	
39A1801	73.07	A	II	
40A0401	518.13	A	II	
40A1201	83.96	A	III	
40A1801	723.33	A	II	
40A1901	760.44	A	II	
41A0401	158.77	A	II	
41A0901	414.61	A	III	
41A1201	477.91	A	III	
41A1301	1060.87	A	II	
41A1313	55.23	A	II	
41A1901	334.53	A	II	
41D1201	139.32	D	VI	
41D1301	52.53	D	VI	
42A0901	88.64	A	II	
42A1201	168.51	A	II	
42A1301	82.32	A	II	
42D0901	59.35	D	VI	
42D1201	484.91	D	VI	
42D1301	67.34	D	VI	
42E1201	111.20	E	VII*	
43A0901	52.73	A	II	
43A1201	363.99	A	II	
43A1301	207.35	A	II	
43C1201	337.30	C	V	
43D1201	207.37	D	VI	
43D1301	76.23	D	VI	
43E1201	132.00	E	VII*	
44A0901	193.60	A	III	
44C0901	240.62	C	V	
44C0914	69.44	C	V	
45A0901	52.31	A	III*	X
45C0901	232.90	C	V	
45C0914	68.01	C	V	
45C0915	58.10	C	III	X
45C1201	75.46	C	V	
45D0901	80.41	D	VII	X
45D1201	79.14	D	VII	X
46E0814	105.89	E	VII*	
46E0815	64.87	E	VII	
46E0901	127.85	E	VII*	
46E0912	53.26	E	VII	
46E0913	60.50	E	VII*	
46E0914	398.65	E	VII*	
46E0915	128.99	E	VII	
46E1001	76.33	E	VII*	
46E1201	370.63	E	VII*	
46E1213	78.15	E	VII*	
46E1214	72.93	E	VII*	
46E1401	329.34	E	VII	
46E1412	299.07	E	VII	
46E1413	1206.66	E	VII*	
46E1414	1496.79	E	VII*	
46E1415	492.12	E	VII	

bijlage 2 - vervolg

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
47A1001	68.64	A	III	
47B1001	76.94	B	III*	
48C1001	81.94	C	V	
48C1401	56.62	C	III	X
48D1013	71.11	D	VII	X
48D1401	66.64	D	VI	
48E1201	53.39	E	VII*	
49E0712	56.77	E	VII	
49E0714	259.76	E	VII*	
49E0812	243.46	E	VII	
49E0814	240.50	E	VII*	
49E1001	107.14	E	VII*	
49E1014	74.15	E	VII*	
49E1201	131.45	E	VII*	
49E1214	91.66	E	VII*	
49E1401	241.26	E	VII	
49E1412	469.47	E	VII	
49E1413	948.76	E	VII*	
49E1414	3104.62	E	VII*	
49E1415	703.04	E	VII	
51E0714	84.06	E	VII*	
51E0801	85.71	E	VII*	
51E0814	94.18	E	VII*	
51E0901	145.28	E	VII*	
51E0914	433.39	E	VII*	
51E0915	205.72	E	VII	
51E1201	115.25	E	VII*	
51E1401	152.71	E	VII	
51E1413	56.35	E	VII*	
51E1414	164.51	E	VII*	

Bijlage 3: Afleiding vaste termen in de verdeelsleutel voor de natuur-terrestrische klassenindeling

Bij de afleiding is aangenomen dat de vaste term voor iedere grondwaterklasse is opgebouwd uit een naar oppervlakte gewogen gemiddelde van de vaste termen voor de grondwatertrappen waaruit de grondwaterklasse bestaat. De vaste termen voor de grondwaterklassen van de agrohydrologische klassenindeling worden opgesplitst in vaste termen per GT. Uitgaande van de vaste termen per GT kunnen de vaste termen voor iedere grondwaterklasse van de natuur-terrestrische klassenindeling worden afgeleid.

Grondwaterklasse A (van de agrohydr. klassenindeling) bestaat uit GT's I, II, II* en III. Grondwaterklasse A heeft binnen district 29 een oppervlakte van 14601 ha, bestaande uit 1739 ha met GT I, 5597 ha GT II, 2262 ha GT II* en 5003 ha GT III. Voor grondwaterklasse A werd een vaste term van 1.5 mm/d afgeleid. Er moet dus gelden:

$$(1739 \cdot K_I + 5597 \cdot K_{II} + 2262 \cdot K_{II*} + 5003 \cdot K_{III}) / 14601 = K_A = 1.5 \text{ mm/d}$$

Verder is aangenomen dat:

$$\begin{aligned} K_{II} &= 0.9 \cdot K_I ; \\ K_{II*} &= 0.8 \cdot K_I ; \\ K_{III} &= 0.7 \cdot K_I . \end{aligned}$$

Door substitutie zijn vaste termen per GT af te leiden:

$$K_I = (14601 \cdot 1.5) / (1739 + 0.9 \cdot 5597 + 0.8 \cdot 2262 + 0.7 \cdot 5003) = 1.812 \approx 1.80 \text{ mm/d}$$

$$K_{II} = 0.9 \cdot K_I = 0.9 \cdot 1.81 = 1.63 \approx 1.65 \text{ mm/d}$$

$$K_{II*} = 0.8 \cdot K_I = 0.8 \cdot 1.81 = 1.449 \approx 1.45 \text{ mm/d}$$

$$K_{III} = 0.7 \cdot K_I = 0.7 \cdot 1.81 = 1.268 \approx 1.25 \text{ mm/d}$$

Grondwaterklasse B bestaat uit GT's III* en IV en heeft binnen district 29 een oppervlakte van 3593 ha, bestaande uit 1405 ha met GT III* en 2188 ha met GT IV. Er moet dus gelden:

$$(1405 \cdot K_{III*} + 2188 \cdot K_{IV}) / 3593 = K_B = 0.90 \text{ mm/d}$$

Verder is aangenomen dat:

$$K_{IV} = 0.75 \cdot K_{III*} .$$

Uit deze twee vergelijkingen zijn vaste termen voor GT III* en IV af te leiden:

$$K_{III*} = (3593 \cdot 0.9) / (1405 + 0.75 \cdot 2188) = 1.061 \approx 1.05 \text{ mm/d}$$

$$K_{IV} = 0.75 \cdot K_{III*} = 0.75 \cdot 1.061 = 0.79 \approx 0.80 \text{ mm/d}$$

Grondwaterklasse C bestaat alleen uit GT V. De vaste term voor GT V is dus gelijk aan die van grondwaterklasse C:

$$K_V = K_C = 0.10 \text{ mm/d}$$

Grondwaterklasse D bestaat uit GT's V* en VI. In district 29 komt V* in het geheel niet voor. Daarom moet de vaste term voor GT VI gelijk zijn aan die van grondwaterklasse D:

$$K_{VI} = K_D = -0.40 \text{ mm/d}$$

Grondwaterklasse E bestaat uit GT's VII en VII*. Aangenomen is dat de vaste termen van beide GT's aan elkaar gelijk zijn. Er moet dus gelden:

$$K_{VII} = K_{VII*} = K_E = -0.70 \text{ mm/d.}$$

Bijlage 4: Uitwerking verdeelsleutel van de NAGROM-onderrandflux voor de natuur-terrestrische grondwaterklassenindeling

K_A	-	1.80;	V_A	-	1.00;
K_B	-	1.65;	V_B	-	0.80;
K_C	-	1.05;	V_C	-	0.50;
K_D	-	-0.05;	V_D	-	0.10;
K_E	-	-0.70;	V_E	-	0.01;

NB: de cursief aangegeven onderrandfluxen gelden voor combinaties van NAGROM-element en grondwaterklasse met een oppervlakte gelijk aan 0 en zijn dus niet relevant.

NAGROM- element	Q_{tot} (mm/d)	Q_A (mm/d)	Q_B (mm/d)	Q_C (mm/d)	Q_D (mm/d)	Q_E (mm/d)
18	-0.63	-1.38	-0.89	-0.54	-0.37	-0.73
19	0.19	0.22	0.39	0.26	-0.21	-0.72
20	-0.21	-0.58	-0.26	-0.14	-0.29	-0.72
21	-0.38	-0.85	-0.47	-0.27	-0.31	-0.73
22	0.38	0.32	0.47	0.31	-0.20	-0.71
23	-0.35	-0.43	-0.13	-0.06	-0.27	-0.72
24	-0.92	-3.54	-2.63	-1.62	-0.58	-0.75
25	0.83	1.62	1.51	0.96	-0.07	-0.70
26	-0.73	-1.74	-1.19	-0.72	-0.40	-0.74
27	-0.34	-0.75	-0.39	-0.22	-0.30	-0.73
28	-0.56	-1.50	-0.99	-0.60	-0.38	-0.73
29	-0.03	0.09	0.28	0.19	-0.22	-0.72
30	-0.70	-1.23	-0.77	-0.47	-0.35	-0.73
31	1.98	10.81	8.86	5.56	0.85	-0.61
32	1.93	4.06	3.46	2.18	0.18	-0.68
33	-0.70	-0.01	0.20	0.15	-0.23	-0.72
34	-1.36	-56.0	-44.6	-27.9	-5.84	-1.28
35	-0.70	-0.54	-0.22	-0.12	-0.28	-0.72
36	-0.70	0.96	0.98	0.63	-0.13	-0.71
37	-0.38	-0.78	-0.42	-0.24	-0.31	-0.73
38	-0.88	-1.88	-1.30	-0.79	-0.42	-0.74
39	0.03	0.00	0.21	0.15	-0.23	-0.72
40	0.10	0.02	0.22	0.16	-0.23	-0.72
41	0.10	-0.02	0.19	0.14	-0.23	-0.72
42	0.29	1.82	1.67	1.06	-0.05	-0.70
43	0.18	0.51	0.62	0.41	-0.18	-0.71
44	-0.57	-1.44	-0.95	-0.57	-0.37	-0.73
45	-0.90	-2.34	-1.67	-1.02	-0.46	-0.74
46	-0.70	-0.40	-0.11	-0.05	-0.27	-0.72
47	-0.70	-1.41	-0.92	-0.56	-0.37	-0.73
48	-0.70	-1.84	-1.26	-0.77	-0.41	-0.74
49	-0.70	0.08	0.28	0.19	-0.22	-0.72
51	-0.70	0.27	0.42	0.28	-0.20	-0.72

Bijlage 5: Afleiding beginwaarden voor de basisdrainagefuncties voor de natuur-terrestrische klassenindeling

Aangenomen is dat de gemiddelde parameterwaarden over grondwaterklassen A, B en C voor beide klassenindelingen aan elkaar gelijk moeten zijn. Enerzijds het naar oppervlakte gewogen gemiddelde peil over grondwaterklassen A, B en C en anderzijds de naar oppervlakte harmonisch gemiddelde weerstand over grondwaterklassen A, B en C moeten voor beide klassenindelingen gelijk zijn. Voor grondwaterklassen D en E wordt in eerste instantie aangenomen dat de basisdrainagefuncties voor de natuur-terrestrische klassenindeling gelijk zijn aan die van de agrohydrologische klassenindeling.

Het gewogen gemiddelde peil over grondwaterklassen A, B en C moet voor beide klassenindelingen gelijk zijn. Dit peil is het gemiddelde van de parameters GRL en STP, of als GRL gelijk is aan 0, aan STP. In de agrohydrologische klassenindeling heeft grondwaterklasse A een oppervlakte van 14601 ha, grondwaterklasse B 3593 ha en grondwaterklasse C 1814 ha. In de natuurterrestrische klassenindeling heeft grondwaterklasse A 1739 ha, grondwaterklasse B 5638 ha en grondwaterklasse C 10588 ha. Volgens de eerder gestelde aanname moet dus gelden:

$$\frac{14601 \cdot P_{aa} + 3593 \cdot P_{ba} + 1814 \cdot P_{ca}}{14601 + 3593 + 1814} = \frac{1739 \cdot P_{an} + 5638 \cdot P_{bn} + 10588 \cdot P_{cn}}{1739 + 5638 + 10588} \quad (1)$$

waarin:

P_{aa}, P_{ba}, P_{ca} = gemiddelde peil voor grondwaterklassen A, B en C in de agrohydrologische grondwaterklassenindeling [mm -mv];
 P_{an}, P_{bn}, P_{cn} = gemiddelde peil voor grondwaterklassen A, B en C in de natuur-terrestrische grondwaterklassenindeling [mm -mv];

Substitueren van het linkerlid van vergelijking (1) met de waarden voor P_{aa}, P_{ab} en P_{ac} van resp. 550, 750 en 750 mm -mv. levert een waarde op van 604 mm -mv. Via trial and error zijn waarden voor P_{an}, P_{bn} en P_{cn} gevonden van resp. 350, 500 en 700 mm -mv., die na substitutie in het rechterlid van vergelijking (1) eveneens de waarde 604 mm -mv opleveren.

De tweede aanname was dat de naar oppervlakte harmonisch gemiddelde weerstand over grondwaterklassen A, B en C voor beide klassenindelingen gelijk moet zijn. Onder weerstand, uitgedrukt in dagen, wordt hier verstaan de reciproke van het rekenkundige gemiddelde van parameters W_1 en W_2 in de basisdrainagefuncties, of als W_1 gelijk is aan 0, de reciproke van W_2 . Volgens deze aanname moet gelden:

$$\frac{14601 + 3593 + 1814}{14601/R_{aa} + 3593/R_{ba} + 1814/R_{ca}} = \frac{1739 + 5638 + 10588}{1739/R_{an} + 5638/R_{bn} + 10588/R_{cn}} \quad (2)$$

waarin:

R_{aa}, R_{ba}, R_{ca} = gemiddelde weerstand voor grondwaterklassen A, B en C in de agrohydrologische grondwaterklassenindeling [d];
 R_{an}, R_{bn}, R_{cn} = gemiddelde weerstand voor grondwaterklassen A, B en C in de natuur-terrestrische grondwaterklassenindeling [d];

Substitueren van het linkerlid van vergelijking (2) met de waarden voor R_{aa}, R_{ba} en R_{ca} van resp. 100, 120 en 102 dagen levert een harmonisch

gemiddelde weerstand op van 103 dagen. Via trial and error zijn waarden

voor Ran, Rbn en Rcn gevonden van resp. 100, 100 en 105 dagen, die na substitutie in het rechterlid van vergelijking (2) eveneens een harmonisch gemiddelde weerstand van 103 dagen opleveren.

Uit de waarden voor Pan, Pbn, Pcn, Ran, Rbn en Rcn zijn initiële waarden af te leiden voor de parameters GRL, STP, W1 en W2 van de basisdrainagefuncties voor grondwaterklassen A, B en C van de natuur-terrestrische klassenindeling. Voor grondwaterklassen A en B is gekozen voor een ongeknikte basisdrainagefunctie, voor grondwaterklasse C voor een geknikte functie. Voor grondwaterklassen D en E uit de natuur-terrestrische klassenindeling zijn in eerste instantie de basisdrainagefuncties van grondwaterklassen D en E uit de agrohydrologische klassenindeling aangenomen. De onderstaande tabel toont de initiële waarden voor de basisdrainagefuncties voor de natuur-terrestrische klassenindeling.

	GRL (mm-mv)	W1 (1/d)	STP (mm-mv)	W2 (1/d)
grwkl. A	-	-	350	0.0100
grwkl. B	-	-	500	0.0100
grwkl. C	500	0.0100	900	0.0090
grwkl. D	600	0.0025	1400	0.0010
grwkl. E	1800	0.0005	5000	0.0001

Na toetsing op alle simulatie-eenheden in district 29 met een oppervlakte groter dan 50 ha zijn deze beginwaarden verder aangepast tot de waarden in tabel 3.2 in paragraaf 3.3.

Bijlage 6: Berekeningsresultaten na parameter-optimalisatie voor de natuur-terrestrische klassenindeling (Klijn, 1988)

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
18B0301	133.62	B	II	
18B0401	118.89	B	II	
18C0301	138.23	C	V*	
18D1801	70.48	D	VI	
19B0301	108.76	B	II	
19B0401	391.25	B	II	
19C0301	63.89	C	III	
19C0401	148.38	C	III	
19D0401	55.55	D	VI	
19D2001	88.29	D	VI	
20B0301	62.35	B	II	
20B0401	116.51	B	II	
20B1801	101.85	B	II	
20C0401	287.31	C	V	
20D0401	79.92	D	VI	
20D1901	56.74	D	VI	
21B0301	200.23	B	II	
21B0401	67.70	B	II	
21B1901	78.77	B	II	
21C0301	160.10	C	V	
21C1801	94.22	C	III	
21D1801	130.89	D	VI	
22B0401	161.66	B	II	
22C0401	82.41	C	III	
23D1201	90.73	D	VI	
24D0201	59.46	D	VII	X
24D1201	256.69	D	VII	X
24D1901	78.37	D	VII	X
24E1201	142.93	E	VII*	
25B0201	85.66	B	I	X
25C0201	224.05	C	III	
25C1201	63.65	C	III	
25C1301	188.47	C	III	
25D1201	76.28	D	VI	
25D1301	88.39	D	VI	
26B0401	135.34	B	II	
26B1901	78.47	B	II	
26C1201	169.22	C	V*	
26C1301	75.55	C	V*	
26C1901	108.33	C	V*	
26D1201	224.56	D	VI	
26D1301	86.94	D	VI	
27B0401	188.42	B	II	
27C0401	113.82	C	V	
27C0901	55.61	C	V	
27D0401	50.36	D	VI	
27D1601	63.36	D	VI	
28D1201	89.42	D	VI	
29B1301	77.18	B	II	
29C0901	82.39	C	III	
29C1301	305.90	C	III	
29D0901	59.10	D	VI	
29D1201	184.72	D	VI	

Bijlage 6 - vervolg

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
29D1301	89.02	D	VI	
29E1201	59.60	E	VII*	
30D0901	56.92	D	VI	
30D1201	147.88	D	V*	X
30E0701	86.91	E	VII*	
30E0714	341.23	E	VII*	
30E0715	203.32	E	VII	
30E1201	239.73	E	VII*	
30E1412	979.65	E	VII	
30E1414	377.67	E	VII*	
30E1415	791.77	E	VII*	
31C1001	60.57	C	I	X
31D1001	93.22	D	VI	
31E1201	53.30	E	VII*	
32B0201	290.39	B	I	X
32B0401	277.26	B	I	X
32B0901	164.58	B	I	X
32B1301	123.20	B	I	X
32C0401	174.84	C	II	X
32C0901	210.74	C	III	
32C1001	75.59	C	III	
32C1301	176.39	C	III	
32D0401	53.55	D	VI	
32D0901	229.76	D	VI	
32D1001	133.01	D	VI	
32D1201	73.36	D	VI	
32D1901	52.64	D	VI	
33D1001	69.02	D	VI	
33D1201	109.52	D	VI	
33E0701	176.72	E	VII	
33E0707	129.16	E	III*	X
33E0712	54.74	E	VII	
33E0713	68.88	E	VII*	
33E0714	287.72	E	VII*	
33E0715	327.78	E	VII	
33E0812	80.06	E	VII	
33E0813	57.74	E	VII*	
33E0814	969.15	E	VII*	
33E0815	231.24	E	VII	
33E1001	92.30	E	VII*	
33E1201	293.71	E	VII*	
33E1412	94.13	E	VII	
33E1413	70.01	E	VII*	
33E1414	773.13	E	VII*	
33E1415	455.35	E	VII	
34E0707	59.45	E	VII	
34E1201	68.69	E	VII*	
35D1201	51.80	D	VI	
35E0707	112.24	E	III*	X
35E0714	175.54	E	VII*	
35E0715	295.67	E	VII	
35E0814	150.86	E	VII*	
35E1201	179.43	E	VII*	
35E1213	76.42	E	VII*	

Bijlage 6 - vervolg

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
35E1214	54.94	E	VII*	
35E1401	80.27	E	VII	
35E1414	397.78	E	VII*	
35E1415	259.80	E	VII	
36E0714	555.77	E	VII*	
36E1414	175.86	E	VII*	
37C1201	82.56	C	V	
37C1301	100.75	C	V	
37D1201	72.44	D	VI	
38B1301	57.75	B	II	
38B1901	111.04	B	II	
38D1901	67.12	D	VI	
39A0401	242.07	A	I	
39A1801	73.07	A	I	
39B0401	73.59	B	II	
40A0401	407.03	A	I	
40A1801	565.42	A	I	
40A1901	81.90	A	I	
40B0401	111.09	B	II	
40B1801	144.28	B	II	
40B1901	340.06	B	II	
40C1201	82.00	C	III	
40C1901	338.54	C	V	
41A0401	122.34	A	I	
41B0901	174.72	B	II	
41B1301	286.78	B	II	
41B1901	120.58	B	II	
41C0901	243.58	C	V	
41C1201	477.14	C	V	
41C1301	785.59	C	III	
41C1901	171.74	C	V	
41D1201	139.32	D	VI	
41D1301	52.53	D	VI	
42C0901	94.15	C	III	
42C1201	217.43	C	III	
42C1301	84.07	C	III	
42D0901	59.36	D	VI	
42D1201	484.91	D	VI	
42D1301	67.34	D	VI	
42E1201	111.20	E	VII*	
43B1201	53.11	B	II	
43C0901	80.80	C	III	
43C1201	648.18	C	III	
43C1301	210.69	C	III	
43D1201	207.37	D	VI	
43D1301	76.23	D	VI	
43E1201	132.00	E	VII*	
44C0901	434.22	C	V*	
44C0914	95.90	C	V*	
45C0901	280.41	C	VI	X
45C0913	57.33	C	VI	X
45C0914	86.03	C	VI	X
45C0915	82.20	C	V*	
45C1201	89.47	C	VI	X

Bijlage 6 - vervolg

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
45D0901	80.42	D	VII	X
45D1201	66.66	D	VII	X
46C1201	53.26	C	V	
46E0814	105.89	E	VII*	
46E0815	64.87	E	VII	
46E0901	127.85	E	VII*	
46E0912	53.26	E	VII	
46E0913	60.50	E	VII*	
46E0914	398.65	E	VII*	
46E0915	128.29	E	VII	
46E1001	76.33	E	VII*	
46E1201	370.63	E	VII*	
46E1213	78.15	E	VII*	
46E1214	72.93	E	VII*	
46E1401	329.34	E	VII*	
46E1412	299.07	E	VII	
46E1413	206.66	E	VII*	
46E1414	496.79	E	VII*	
46E1415	492.12	E	VII	
47B1001	59.50	B	II	
47C1001	86.08	C	V*	
48C1001	95.48	C	V*	
48C1401	56.62	C	IV	X
48D1013	71.11	D	VII	X
48D1401	66.64	D	VI	
48E1201	53.39	E	VII*	
49E0712	56.77	E	VII	
49E0714	259.76	E	VII*	
49E0812	243.46	E	VII	
49E0814	240.50	E	VII*	
49E0815	57.65	E	VII	
49E1001	107.14	E	VII*	
49E1014	74.15	E	VII*	
49E1015	85.01	E	VII	
49E1201	131.45	E	VII*	
49E1214	91.66	E	VII*	
49E1401	241.26	E	VII	
49E1412	469.47	E	VII	
49E1413	948.76	E	VII*	
49E1414	104.62	E	VII*	
49E1415	703.04	E	VII	
51E0714	84.06	E	VII*	
51E0715	77.10	E	VII	
51E0801	85.71	E	VII*	
51E0814	94.18	E	VII*	
51E0901	145.28	E	VII*	
51E0914	433.39	E	VII*	
51E0915	205.72	E	VII	
51E1201	115.25	E	VII*	
51E1401	152.71	E	VII	
51E1413	56.35	E	VII*	
51E1414	164.51	E	VII*	

Bijlage 7: Berekeningsresultaten na parameter-optimalisatie voor de gecombineerde grondwaterklassenindeling

DEMCO	OPP. (HA)	GRWKL.	GT (SIM)	
18D0301	134.37	D	V*	
19D0401	125.96	D	III*	
20D0401	271.84	D	V*	
21C1801	91.86	C	III	
21D0301	109.89	D	V*	
22D0401	67.77	D	III*	
25D0201	222.84	D	III*	
25D1301	121.92	D	III*	
26D1201	118.02	D	V*	
26D1901	108.18	D	V*	
27D0401	77.03	D	V*	
27D0901	54.59	D	V*	
29D0901	70.33	D	III*	
29D1301	185.43	D	III*	
32D0401	110.30	D	III	X
32D0901	69.42	D	III	X
32D1301	116.88	D	III	X
37D1301	58.65	D	V*	
40C1901	224.41	C	V	
41C0901	217.70	C	III	
41C1201	398.35	C	III	
41C1301	675.12	C	III	
41C1901	112.09	C	V	
42C1201	80.10	C	III	
42C1301	55.47	C	III	
43C0901	65.83	C	III	
43C1201	492.45	C	III	
43C1301	175.37	C	III	
44C0901	301.94	C	V*	X
45C0901	219.29	C	V*	X
47D1001	62.88	D	V*	