

## Groot Mijdrecht: beschrijving Triwaco – ModflowSWI model

Auteurs: Willem Jan Zaadnoordijk, Toine Vergroesen, Jouke Velstra  
Royal Haskoning, Deltares, Acacia Water  
Rotterdam, september 2008.

### Inhoud

1	Inleiding .....	4
2	Grondslag .....	5
2.1	Veranderingen ten opzichte van de vorige versie van het model.....	6
2.2	modelinstrument, rekennetwerk en schematisatie.....	6
2.3	De diepere ondergrond van het model.....	9
2.4	De bovenlaag van het model .....	15
2.4.1	Wellen in Groot Mijdrecht.....	15
2.4.2	Gekozen model concept voor de wellen.....	19
2.4.3	Basis informatie voor de bovenlaag van het model .....	21
2.4.4	Schematisering van het oppervlaktewaterstelsel.....	27
2.4.5	Neerslagoverschot.....	36
2.4.6	Randvoorwaarden.....	37
2.4.7	Onttrekkingen.....	38
2.5	zoet-zoutverdeling.....	38
3	Calibratie en betrouwbaarheidsanalyse.....	41
3.1	Calibratie .....	42
3.2	Betrouwbaarheidsanalyse.....	54
4	Vergelijking met oude model .....	57
5	Literatuur.....	62

### Tabellen

Tabel 1	Gebruikte waarden van de gewasfactoren.....	36
Tabel 2	Stationaire afwijkingen (berekende waarde – gemeten waarde) [m].....	47
Tabel 3	Gemeten grondwaterstanden in maart vergeleken met berekende GHG waarden. Gemeten laagste grondwaterstanden in periode mei-juni 2008 op twee percelen in Mijdrecht Noord vergeleken met berekende GLG. ....	51
Tabel 3	Vergelijking van berekende fluxen met die van de 2007 versie van het model.....	61

### Figuren

Figuur 2.1	Geohydrologische model schematisering .....	5
Figuur 2.2	Modelgebied en netwerk-detail van de vorige versie van het model .....	7
Figuur 2.3	Modelgebied en netwerk huidige modelversie (Triwaco4 – Modflow-SWI).....	8
Figuur 2.4	Verbreidingsgebied van de GMN-databank (IWACO, 1992 – 1998) .....	10
Figuur 2.5	ligging van de geohydrologische modelbasis (TH5).....	11
Figuur 2.6	Ligging van de basis van watervoerend pakket 4 (TH4) .....	11
Figuur 2.7	Ligging van de basis van watervoerend pakket 3 (TH3) .....	12
Figuur 2.8	Dikte en weerstandscoefficiënt bovenste slechtdoorlatende laag .....	13
Figuur 2.9	Hydraulische weerstand onderste slechtdoorlatende laag .....	14
Figuur 2.10	doorlatendheden van watervoerende pakketten 2/3, 4 en 5.....	15
Figuur 2.11	Beeld van een wel in de polder Groot Mijdrecht.....	16
Figuur 2.12	Principe van wellen in de polder groot Mijdrecht.....	17
Figuur 2.13	Potentiële waterdruk (uit WL   Delft Hydraulics, 2007).....	18
Figuur 2.14	Alternatieve drains bestaande uit samengebonden takken .....	18
Figuur 2.15	Ontstaan en werking van een wel.....	19

Figuur 2.16 Gebruikte maaiveld data (AHN 2004, gecorrigeerd voor gebouwen en sloten).....	21
Figuur 2.17 Maaiveld in het grondwatermodel.....	22
Figuur 2.18 Verschil in maaiveld tussen het vorige model (links) en het huidige model (rechts).....	23
Figuur 2.19 Bodemniveau in de Vinkeveense Plassen en Botshol.....	23
Figuur 2.20 Ligging van de gebruikte boorpunten met informatie over de deklaag (bron: TNO).....	24
Figuur 2.21 Dikte van de kleilaag in de deklaag.....	25
Figuur 2.22 Overgewicht van de deklaag ten opzichte van water: vergelijking tussen het vorige model (links) en het huidige model (rechts).....	26
Figuur 2.23 Weerstand van de deklaag.....	27
Figuur 2.24 Minimum waarde van het slootboderniveau in het onderzoeksgebied.....	28
Figuur 2.25 Drainageweerstand van het primaire slotenstelsel in het onderzoeksgebied.....	30
Figuur 2.26 Infiltratieweerstand van het primaire slotenstelsel in het onderzoeksgebied.....	31
Figuur 2.27 Rivieren in het model.....	32
Figuur 2.28 Ligging van gebruikte bodemprofielen (bron: Waternet).....	32
Figuur 2.29 Ingevoerde breedte van de perceelsslots.....	33
Figuur 2.30 Waterpeilen van de model-rivieren.....	34
Figuur 2.31 Gemiddelde polderpeilen in het model.....	34
Figuur 2.32 Niveau van de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag.....	35
Figuur 2.33 Voortschrijdend jaargemiddelde neerslagoverschot.....	36
Figuur 2.34 Neerslagoverschot voor stationaire berekeningen.....	37
Figuur 2.35 VES metingen gebruikt voor het ontwikkelen van grensvlakken van gelijke zoutgehalten.....	39
Figuur 2.36 Het grondwatersysteem onder Groot Mijdrecht (bron: Appelo & Willemsen, 1987).....	40
Figuur 2.37 5000 mg Cl-/l en 500 mg Cl-/l grensvlak voor Modflow-SWI.....	41
Figuur 2.38 West – Oost profiel met de 5000 mg Cl-/l en 500 mg Cl-/l grensvlakken.....	41
Figuur 3.1 Q(h) relatie uit veldproef in perceelssloot.....	43
Figuur 3.2 Calibratie resultaten: wellend gebied en zoutgehalte uitgemalen water.....	44
Figuur 3.3 Gemeten chloridegehalte van het uitgemalen water.....	44
Figuur 3.4 Overzicht van het calibratieresultaat voor het gebied midden in Groot Mijdrecht Noord.....	46
Figuur 3.5 Overzicht van de oude stroomgeulen in de omgeving van Groot Mijdrecht.....	47
Figuur 3.6 Stationaire check voor de peilbuisfilters in de bovenlagen van het model.....	49
Figuur 3.7 Niet-stationaire vergelijking met freatische meetpunten nabij (boven) en in (onder) Groot Mijdrecht.....	50
Figuur 3.8 Grensvlak artefacten: ontstaan brak water in zoete deel door numerieke onnauwkeurigheid.....	53
Figuur 3.9 Grensvlak artefacten: onafhankelijk bewegen grensvlakken per laag.....	53
Figuur 3.10 Grensvlak 5000 mg Cl-/l huidige situatie: initiële ligging en berekende ligging na 1 jaar.....	54
Figuur 3.11 Effect van de keuze van wel factor op de strategie.....	55
Figuur 3.12 Invloed uniforme i.p.v variabele dichtheid op berekende gws en kwel.....	56
Figuur 3.13 Invloed uniforme i.p.v variabele dichtheid op gws- en kwel verandering PdV.....	57
Figuur 4.1 Grondwaterstand berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts).....	58

Figuur 4.2 Stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts).....	59
Figuur 4.3 Kwel en wegzijging berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts).....	59
Figuur 4.4 Stijging van de grondwaterstand door strategie Plas berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts) .....	60
Figuur 4.5 Toename van de waterduk over de deklaag door strategie Plas berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts)	60
Figuur 4.6 Verandering van de kwel en wegzijging door strategie Plas berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts).....	61

# 1 Inleiding

Polder Groot Mijdrecht is een diepe droogmakerij ten westen van de Vinkeveense Plassen. De polder ligt in de provincie Utrecht in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) en in de gemeente de Ronde Venen. De polder kent een aantal waterproblemen. Deze problemen betreffen de zoute kwel, spontane wellen en opbarstgevaar van de bodem, bodemdaling en het tekort aan waterbergend vermogen.

De provincie Utrecht is, samen met het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht, in het gebied van Groot Mijdrecht al enige jaren bezig een verkenning uit te voeren naar de toekomst van deze droogmakerij. In het kader van deze verkenning is een aantal strategieën opgesteld en uitgewerkt. Voor de bepaling van de hydrologische effecten van deze strategieën is gebruik gemaakt van een al bestaand grondwatermodel. De eerste versie van dat grondwatermodel stamt uit 1994. In 2002 is het grondwatermodel sterk verbeterd en geschikt gemaakt voor de bepaling van de hydrologische effecten van de aanleg van "Het Parklandschap" in het zuiden van de polder Groot Mijdrecht. In dat model zijn voor het eerst de wellen in groot Mijdrecht aangebracht. Het model voor het Parklandschap is in 2004, en later in 2006 nog eens, aangepast voor de berekening van de effecten van voornoemde strategieën.

In 2007 heeft een onafhankelijke commissie ("commissie Remkes") de juistheid en de volledigheid van de tot dan toe verrichte studies onderzocht. De commissie heeft eind januari 2008 haar verslag aan de provincie aangeboden en aan de plaatselijke bevolking gepresenteerd.

Wat het grondwatermodel betreft komt de Commissie tot de conclusie dat het model voor de huidige situatie geschikt is. Ook strategieën die niet sterk afwijken van de huidige situatie kunnen redelijk met het grondwatermodel worden berekend. Voor strategieën die sterk afwijken van de huidige situatie acht de Commissie het model minder geschikt. De Commissie geeft in haar rapport een aantal aanbevelingen voor verbetering van de grondwatermodellering.

Op basis van het advies van de commissie Remkes heeft de Provincie Utrecht besloten het grondwatermodel op de volgende onderdelen aan te passen:

1. Aanpassen modelconcept zodat met dichtheidsafhankelijke stroming gerekend kan worden. Daarbij dient gebruik te worden gemaakt van het SWI pakket van MODFLOW
2. Onderzoek naar wellen en verbetering modelconcept voor de wellen. Het onderzoek naar de wellen moet nauw gekoppeld worden aan dat van het grondwatermodel. Immers de wellen vormen een substantieel onderdeel van de watertoevoer naar de polder. Dit moet leiden tot een betere onderbouwing van de wellen in het modelconcept.

## **Dit rapport**

Voor u ligt de rapportage van het grondwatermodel. Hierin worden de opbouw en werking van het model (de gehanteerde concepten) beschreven. Verder komt de calibratie van het model aan de orde, en wordt het model vergeleken met de vorige versie van het model.

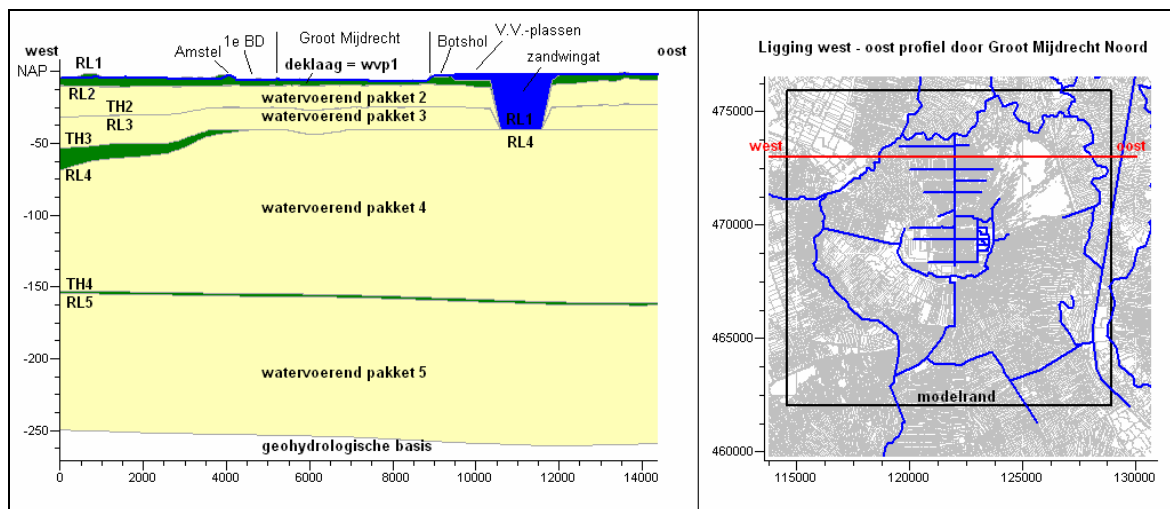
De rapportage van het grondwatermodel vormt onderdeel van een drietal deelrapporten, waar verder nog deel van uitmaken:

- Hoofdrapport: beschrijving en resultaten van de doorgerekende strategieën.
- Veldonderzoeksrapport: beschrijving en resultaten van het uitgevoerde veldwerk.

## 2 Grondslag

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de data (inclusief de interpretatie daarvan) die zijn gebruikt om het grondwatermodel voor het onderzoek in Groot Mijdrecht Noord op te bouwen. Het uitgangspunt voor het vernieuwde model vormt het model dat eerder gebruikt is voor Groot Mijdrecht en ook door de Commissie Remkes onder de loep genomen is (WL | Delft Hydraulics, 2007). Het model is aangepast met verbeterde informatie van de bestaande invoer (zoals een beter maaiveldsbestand) en voorzien van een nieuwe schematisatie met een aangepast rekennetwerk.

Het model is opgebouwd uit onderdelen die afkomstig zijn uit regionale schematisaties en onderdelen die specifiek voor dit model zijn aangebracht, de meer lokale schematisatie. De diepere ondergrond is afkomstig uit de regionale schematisatie. Het topsysteem, de deklaag en alles wat daarmee samenhangt, is voor het model Groot Mijdrecht Noord nieuw ontwikkeld. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de gekozen geohydrologische schematisering.



**Figuur 2.1 Geohydrologische model schematisering**

Het rechterdeel van deze figuur geeft een overzicht van de ligging van het grondwatermodel Groot Mijdrecht Noord. De dunne zwarte lijn is de modelrand. De dikke blauwe lijnen zijn de watergangen die als lijnelementen (“rivieren”) in het model zijn opgenomen. Hierover later meer. De linkerkant van deze figuur geeft voor een west-oost lopende doorsnede een overzicht van de gehanteerde geohydrologische schematisering. In het model wordt ieder watervoerend pakket gedefinieerd door een parameter RL aan de bovenkant en een parameter TH aan de onderkant. Het getal bij deze parameters geeft het nummer van het watervoerend pakket aan. De nummering loopt van boven naar beneden. De tussenliggende lagen zijn in het model gedefinieerd als slecht doorlatende pakketten met een hydraulische weerstand. Door deze lagen is

alleen verticale stroming mogelijk. Scheidende laag 1 bevindt zich tussen TH1 en RL2, scheidende laag 2 tussen TH2 en RL3, etc.

In het model Groot Mijdrecht Noord is de deklaag geschematiseerd als freatisch watervoerend pakket (RL1 – TH1), met een lage doorlatendheid. Aan de onderkant van dit pakket is in het model een dunne “fictieve” scheidende laag (TH1 – RL2) aangebracht, waarin de totale hydraulische weerstand van de deklaag tegen verticale grondwaterstroming is opgenomen.

Het watervoerend pakket onder de deklaag is in het model gesplitst in twee watervoerende pakketten (in het oorspronkelijke model watervoerend pakket 2). De reden hiervoor is dat er bij een van de door te rekenen strategieën een onttrekking in het onderste deel van het pakket moet kunnen worden gesimuleerd.

De doorlatendheden van de watervoerende pakketten 2, 3, 4 en 5, de ligging, de dikte en de hydraulische weerstanden van de slechtdoorlatende lagen en de diepte van de geohydrologische basis zijn afkomstig uit de regionale schematisering. De overige parameters zijn grotendeels afkomstig uit nieuwere meer gedetailleerde informatiebestanden. Vooral in de polder Groot Mijdrecht en iets minder ook in de directe omgeving is deze informatie toegesneden op de meer fijschalige lokale omstandigheden.

## **2.1 Veranderingen ten opzichte van de vorige versie van het model**

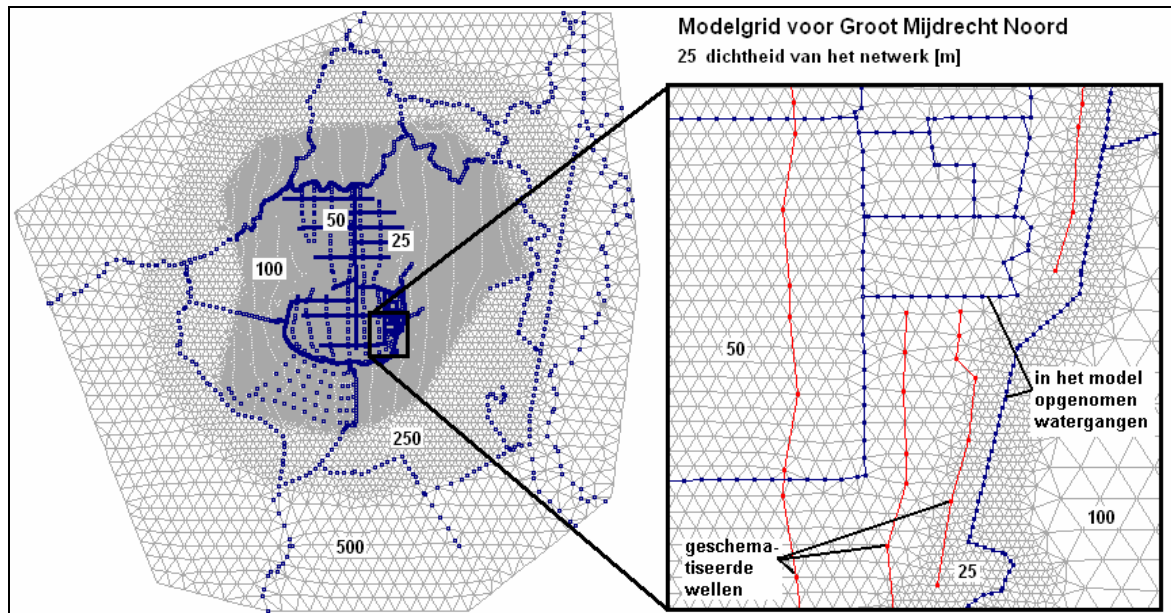
De veranderingen ten opzichte van de vorige versie van het model zijn te verdelen in een drietal categorieën:

1. Andere rekentechnieken:
  - a. Eindige Differenties i.p.v. Eindige elementen
  - b. Vierkante rekencellen i.p.v. driehoekige rekencellen
2. Andere oplossingsconcepten:
  - a. Wellenregel i.p.v. opgelegde wellen
  - b. Variabele dichtheid (zoet / zout) i.p.v. uniforme dichtheid (zoet)
  - c. Vijf watervoerende pakketten i.p.v. vier
  - d. Samenstelling van de deklaag gebaseerd op kleidikte i.p.v. veendikte
  - e. Hoofdwatergangen in deklaag i.p.v. in watervoerend pakket
  - f. Alle perceelsloten in model opgenomen i.p.v. representatieve sloten
  - g. Kleinere model oppervlak
3. Andere data:
  - a. Actueler maaiveld bestand
  - b. Verbeterd waterpeilen bestand
  - c. Verbeterd deklaag boringen bestand
  - d. Data voor chloride en dichtheid
  - e. Aanvullend veldonderzoek

## **2.2 modelinstrument, rekennetwerk en schematisatie**

De vorige versie van het model is gemaakt in de modelleromgeving Triwaco3 (Royal Haskoning, 2004) met de simulator Flairs. In bovenaanzicht is dit model in driehoeken geschematiseerd (driehoekige eindige-elementen). Hiermee kan het netwerk efficiënt

verdicht worden. Met name langs de rand van Groot Mijdrecht waar grote gradiënten optreden, is daarvan gebruik gemaakt (Figuur 2.2).



**Figuur 2.2 Modelgebied en netwerk-detail van de vorige versie van het model**

In de vorige versie van het model is expliciet opgegeven in welke watergangen wellen optreden. Naast de hoofdwatergangen zijn daartoe (in Groot Mijdrecht, in Wilnis Veldzijde en in Polder Derde Bedijking) representatief wellende perceelsloten in het model geschematiseerd. In de huidige versie van het model is ervoor gekozen het model zelf te laten berekenen of een watergang welt. De methode waarmee dat gebeurt, wordt verderop in dit document beschreven. Mede daarom is ervoor gekozen om voor de polder Groot Mijdrecht en alle nabijgelegen droogmakerijen alle perceelsloten in het model op te nemen.

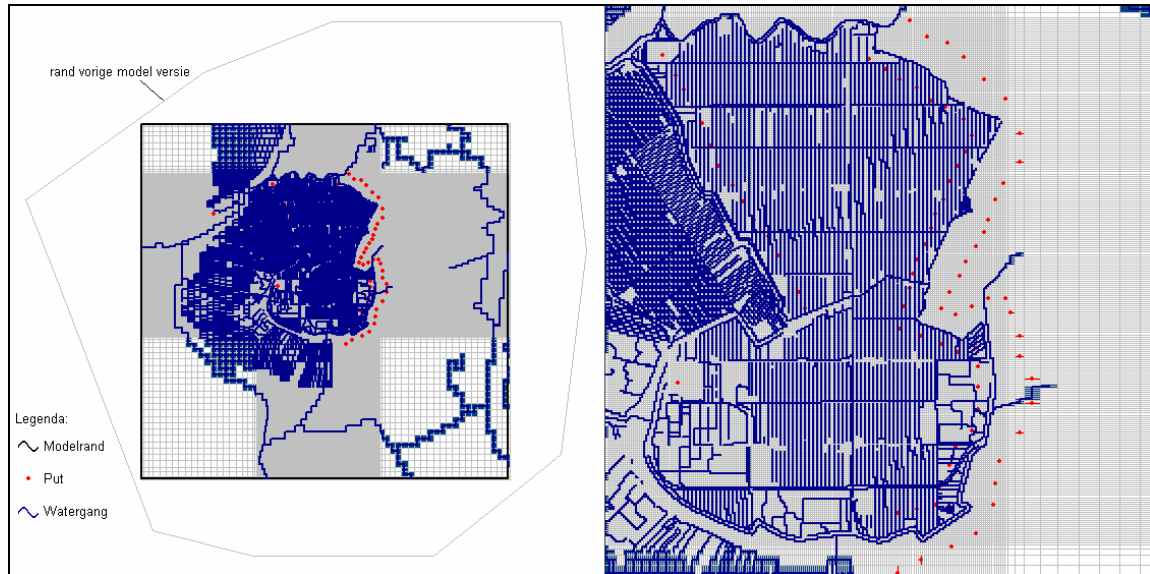
Daarnaast houdt het vorige model geen rekening met de zoet-zoutverdeling in het grondwater. De zoet-zoutverdeling heeft invloed op de zoutbelasting van het oppervlaktewater en op grondwaterstroming (doordat de dichtheid van het grondwater varieert met het zoutgehalte). Bovendien zal de zoet-zoutverdeling veranderen bij de strategieën, en daarmee verandert ook de zoutbelasting van het oppervlaktewater.

Om de invloed van dichtheidverschillen en de verandering van de zoet-zoutverdeling te kunnen simuleren is door Provincie Utrecht gekozen voor een andere simulator: Modflow SWI (Bakker & Schaars, 2004). Dit programma is een aangepaste versie van Modflow2000 van de Amerikaanse geologische dienst USGS (Harbaugh et al., 2000).

Een en ander heeft als consequentie dat niet langer gebruik gemaakt kan worden van een driehoekig rekenrooster. Het huidige model maakt gebruik van rechthoekige cellen. Hierbij kan minder efficiënt verdicht worden, zodat een zelfde netwerkdichtheid op de rand van Groot Mijdrecht (25 meter) automatisch leidt tot een toename van het aantal rekencellen. Omdat de randen van het modelgebied (vorige versie) geen rechthoek vormen, en om het aantal rekencellen nog enigszins te beperken is ervoor gekozen het

modelgebied kleiner te maken. Door de randvoorwaarden te baseren op het vorige model, levert dit geen noemenswaardige extra onnauwkeurigheden in de berekeningsresultaten op.

Figuur 2.3 geeft een overzicht van de ligging van het huidige model.



**Figuur 2.3 Modelgebied en netwerk huidige modelversie (Triwaco4 – Modflow-SWI)**

Bij vergelijking van Figuur 2.2 en Figuur 2.3 valt op dat in de huidige modelversie veel meer waterlopen (blauwe lijnen) en putten (rode punten) zijn opgenomen. Zoals reeds vermeld, zijn naast de hoofdwatervgangen alle perceelstoten van Groot Mijdrecht en de nabijgelegen droogmakerijen expliciet in het huidige model opgenomen. De extra putten in het huidige model zijn opgenomen ten behoeve van een van de door te rekenen strategieën.

Het aldus verkregen rekennetwerk bevat 69441 cellen (293 rijen en 237 kolommen), 1891 rivieren en 85 putten. De celgrootte loopt uiteen van 25 bij 25 meter in en rondom Groot Mijdrecht tot 250 bij 250 meter in de hoeken van het model. De manier waarop het rekengrid is opgebouwd houdt echter ook in dat er ook rechthoekige cellen van 25 bij 250 meter voorkomen. Dit is terug te zien bij de presentatie van de rekenresultaten.

### Aandachtspunten

1. Een probleem bij deze manier van schematiseren is dat model-rivieren (rivers) automatisch naar het midden van de cel worden getrokken. Dat betekent dat de coördinaten van de rivierpunten maximaal de helft van de celdiameter kunnen verschuiven. Bij allocatie van parameterwaarden voor deze rivieren kan dat problemen geven. Zeker bij interpolatie (en dus ook extrapolatie) van parameterwaarden die gebonden zijn aan X-, Y-coördinaten van de punten waar ze gemeten zijn. Bij de huidige versie van het model leverde dit problemen op die er bij de vorige versie van het model niet waren. Met name voor de uiteinden van de rivieren. Tijdens de modelbouw kwamen negatieve waarden voor rivierbreedte en bodemweerstand duidelijk aan het licht. Deze waren er nog



- relatief eenvoudig uit te halen, en te vervangen door een defaultwaarde. Voor de waarden voor de aldus verkregen waterpeilen is dat niet het geval.
2. Het automatisch toekennen van parameterwaarden, die zijn gebaseerd op vlakken (bv. waterbalansgebieden) aan de rekencellen kan problemen geven. Zeker bij de grote peilverschillen waar we in dit gebied mee te maken hebben. Zo kan een “rivier” uit het hoge peilgebied naar het midden van een cel “getrokken” worden, die in het lage peilgebied ligt, en omgekeerd. Feitelijk komt het er op neer dat deze manier van modelleren (rechthoekige cellen met rivieren in de celmiddens) voor een aantal modelparameters een andere manier van discretiseren van de modelinvoer vereist dan bij de vorige versie van het model het geval was (driehoekige cellen met rivieren op de hoekpunten).

Beide aandachtspunten vereisen een enorm grote nauwkeurigheid van de maker van het model. Dit is bij de bouw van de huidige versie van het model een zeer tijdrovende zaak gebleken.

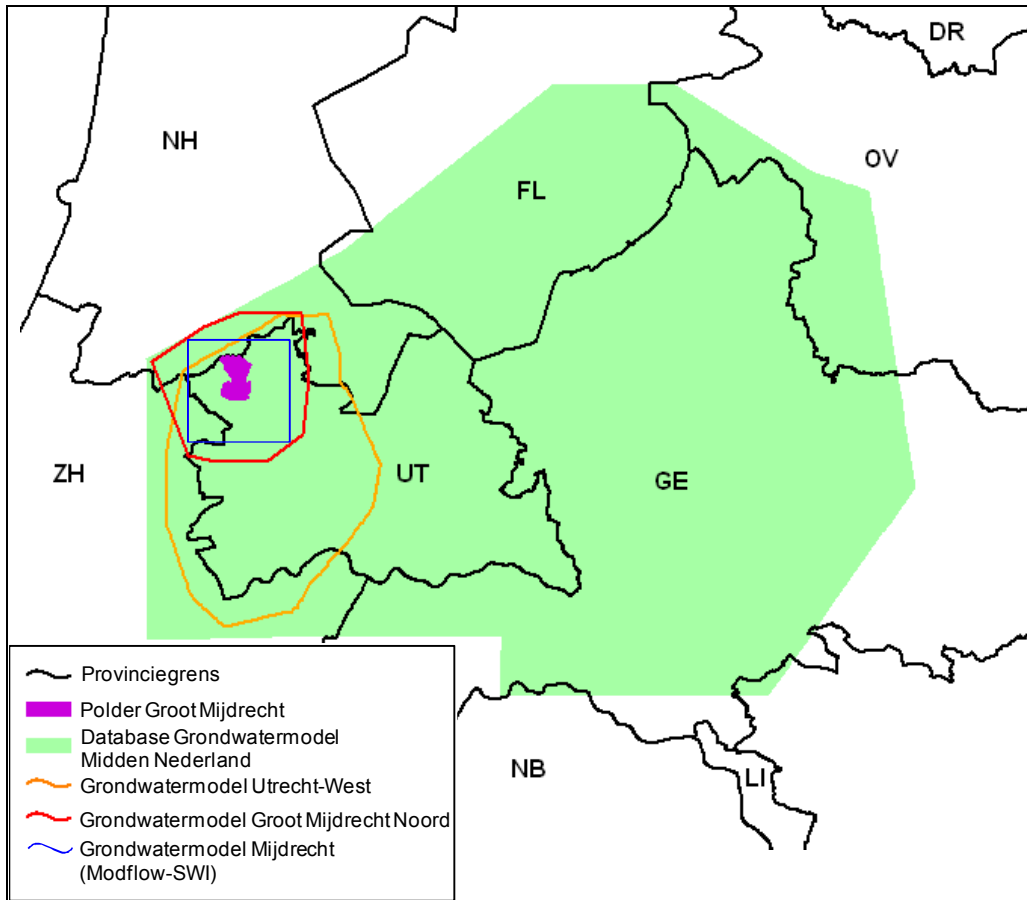
### **Modelleeromgeving**

MODFLOW-SWI is opgenomen in de huidige versie van de TRIWACO modelleeromgeving versie 4 (Royal Haskoning, 2008). Dit vereenvoudigt de omzetting van de invoer de vorige versie van het model naar de huidige versie van het model, en maakt het een stuk eenvoudiger de randvoorwaarden van het kleinere (huidige) model uit het grotere (vorige) model te halen.

### **2.3 De diepere ondergrond van het model**

Voor de diepere ondergrond is gebruik gemaakt van de GMN-databank, die begin jaren 90 van de vorige eeuw door het toenmalige IWACO is opgezet (IWACO, 1992). In latere modelstudies (o.a. IWACO, 1994 en IWACO, 1998) is deze databank geactualiseerd. Figuur 2.4 geeft een overzicht van de ligging van het gebied dat door deze databank beschreven wordt.

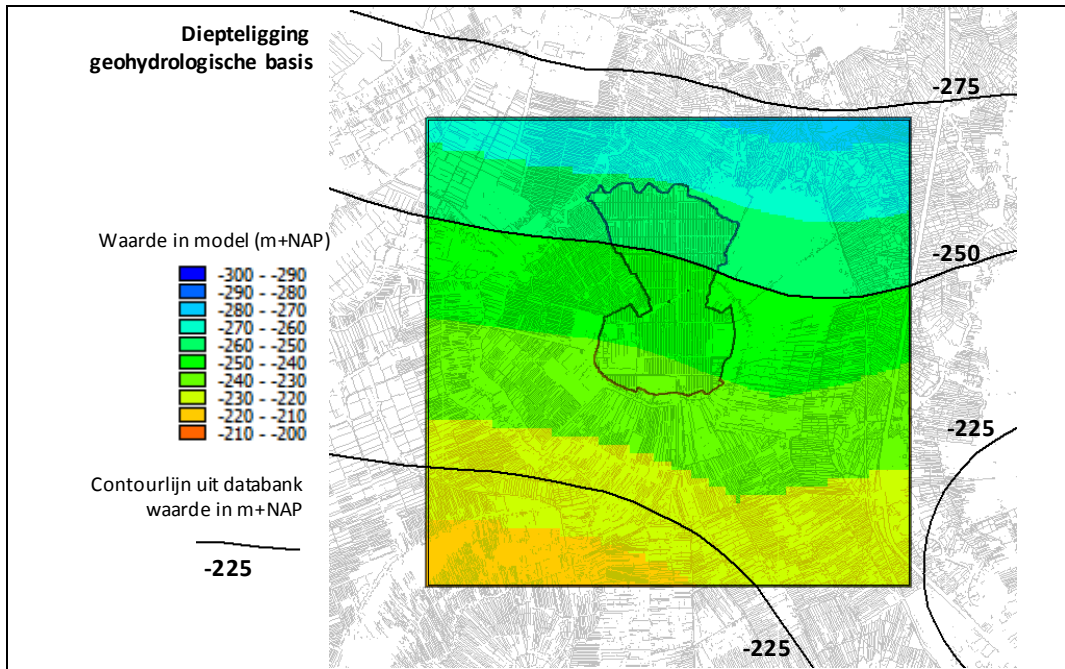
In deze figuur zijn ook de later ontwikkelde grondwatermodellen Utrecht-West (IWACO, 1998), en Groot Mijdrecht Noord (WL | Delft Hydraulics, 2007) opgenomen. De eerder ontwikkelde modellen De Ronde Venen (IWACO, 1994 en Royal Haskoning, 2002), Parklandschap (Royal Haskoning & WL | Delft Hydraulics, 2003), en Wateropgave (WL | Delft Hydraulics, 2004), hebben allen dezelfde modelrand als het in de figuur weergegeven model Groot Mijdrecht Noord. Het in dit document beschreven model Mijdrecht (Modflow-SWI) is aangegeven door het blauwe vierkant.



**Figuur 2.4** Verbreidingsgebied van de GMN-databank (IWACO, 1992 – 1998)

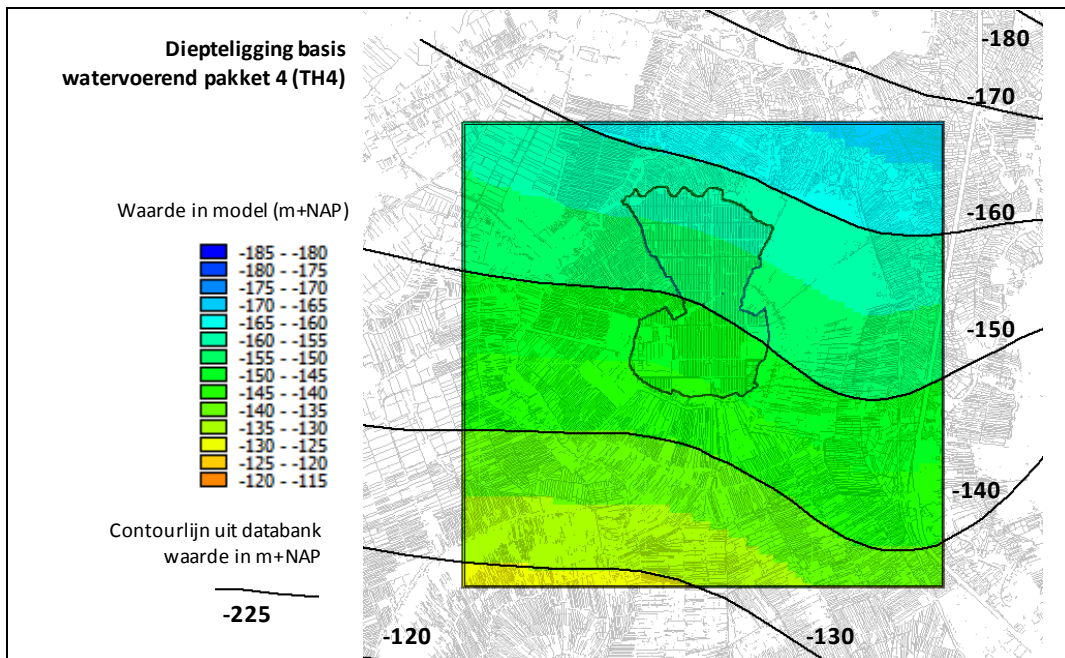
De lijnen in Figuur 2.5 tot en met Figuur 2.10 zijn afkomstig uit de GMN-databank. Deze waarden zijn aan het modelgrid toegekend. Dat heeft tot de gekleurde vlakken tussen de gekleurde contourlijnen geleid in deze zelfde figuren geleid. Voor de duidelijkheid de gekleurde vlakken tussen de contourlijnen geven de range tussen de contourwaarden aan; het zijn dus in principe geen constante waarden. In het algemeen spreken deze figuren voor zich.

Figuur 2.5 geeft een overzicht van de diepteligging van de geohydrologische modelbasis. Door en onder deze basis is in het model geen grondwaterstroming mogelijk. De geohydrologische modelbasis is tevens de onderkant van model watervoerend pakket 5.



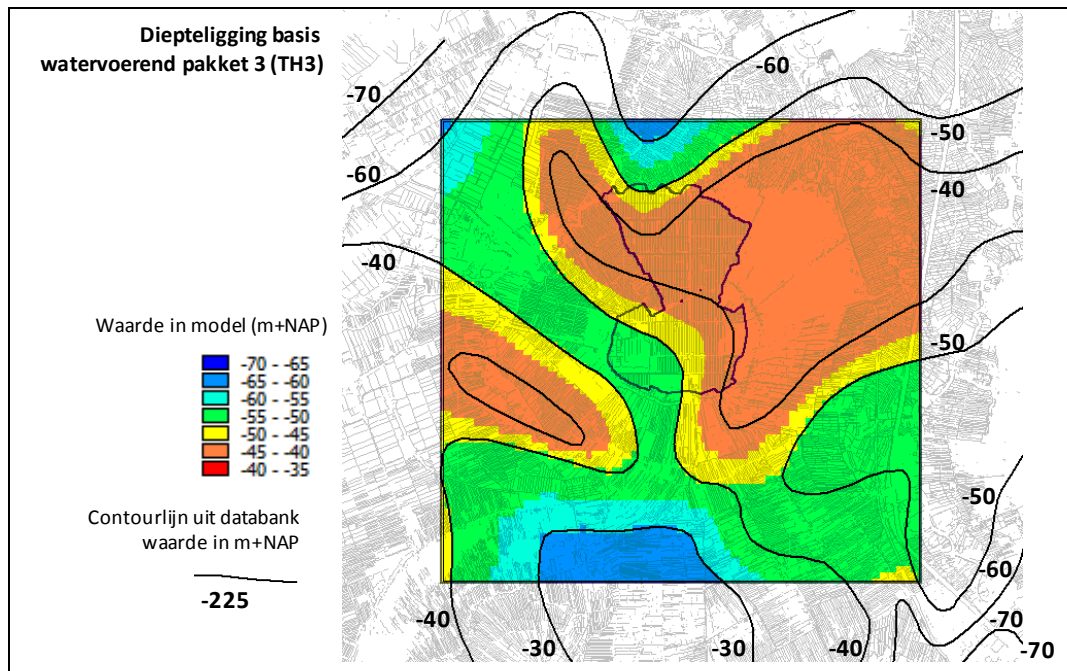
**Figuur 2.5** ligging van de geohydrologische modelbasis (TH5)

Figuur 2.6 geeft een overzicht van de diepteligging van de onderkant van model watervoerend pakket 4. De in het model opgenomen scheidende laag tussen de watervoerende pakketten 4 en 5 is geschematiseerd als een 2 m dikke laag met een hydraulische weerstand.



**Figuur 2.6** Ligging van de basis van watervoerend pakket 4 (TH4)

Figuur 2.7 geeft de diepteligging van de onderkant van model watervoerend pakket 3.

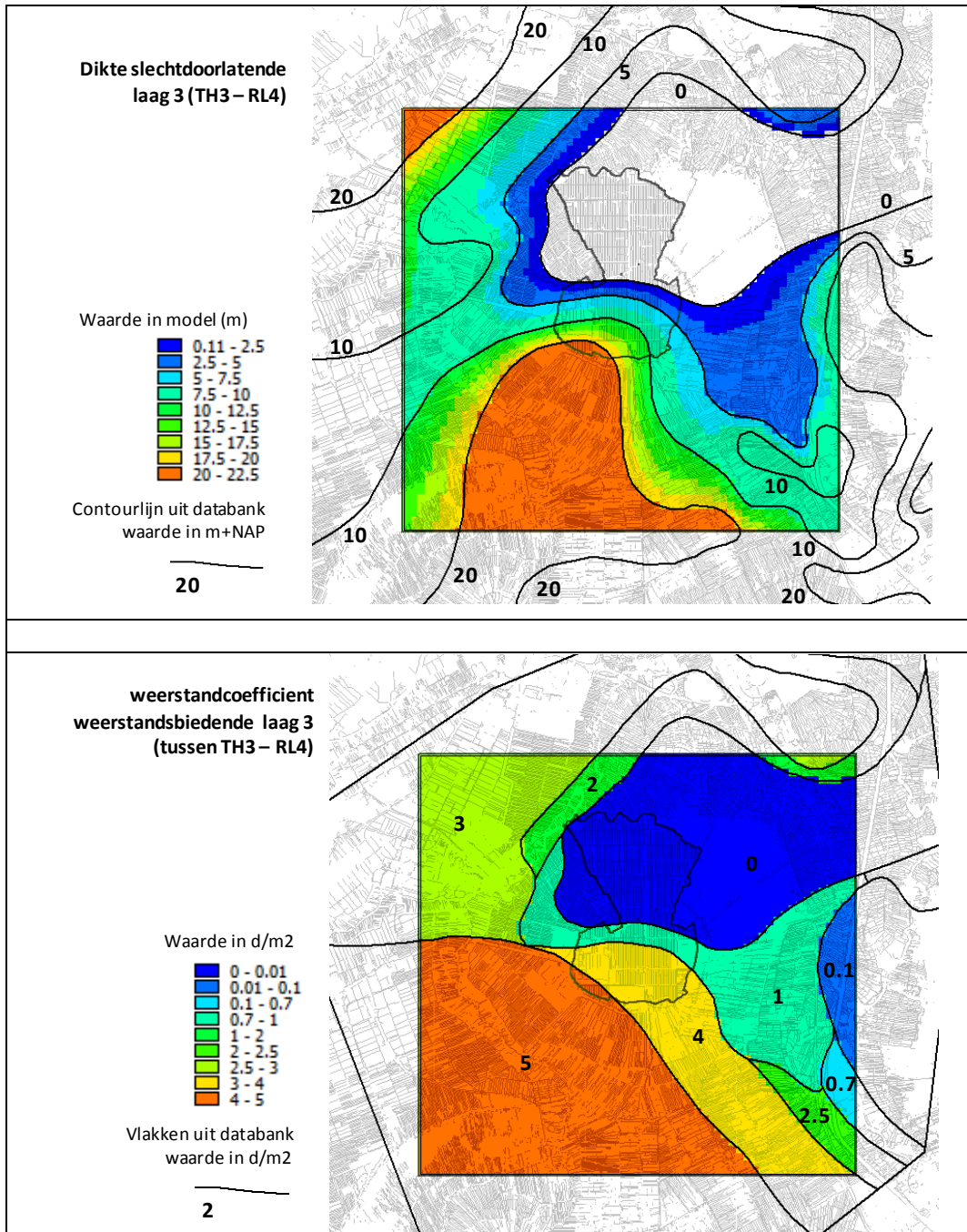


**Figuur 2.7 Ligging van de basis van watervoerend pakket 3 (TH3)**

Figuur 2.7 laat zien dat de basis van (model) watervoerend pakket 3 ter plekke van de Vinkeveense Plassen op NAP – 40 m ligt. In de Vinkeveense Plassen liggen een aantal diepe zandgaten. Het diepste zandgat ligt in het noordoosten van de Vinkeveense Plassen. De bodem van dit gat ligt (in het model) op NAP – 40 m. Dat is gelijk aan de diepteligging van de onderkant van watervoerend pakket 3. In het model is voor de minimale waarde voor de dikte van een modellaag (watervoerend pakket of scheidende laag) 10 cm aangehouden. De reden daarvoor is dat alle modellagen dan in het gehele model aanwezig zijn. Figuur 2.1 laat zien dat er onder de bodem van het zandgat (RL1) zes van deze dunne modellagen aanwezig zijn: de deklaag ( watervoerend pakket 1: RL1 – TH1 en slechtdoorlatende laag 1: TH1 – RL2), watervoerend pakket 2 (RL2 – TH2), slechtdoorlatende laag 2 (TH2 – RL3), watervoerend pakket 3 (RL3 – TH3) en de bovenste slechtdoorlatende laag (TH3 – RL4). Dat betekent dat de waarde van parameter TH3 ter plekke van het zandgat in het model 50 cm onder de bodem van het zandgat ligt.

Figuur 2.8 laat zien dat de bovenste slechtdoorlatende laag (3) in de noordoostelijke helft van het onderzoeksgebied ontbreekt. Binnen het veldonderzoek (Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord) zijn drie diepe sonderingen, twee in Mijdrecht Noord en één in Mijdrecht Zuid, uitgevoerd. In alle drie worden dunne slechtdoorlatende laagjes aangetroffen op een diepte van circa 30 tot 40 m onder maaiveld. Vergelijking met boringen in REGIS-II leert dat het leemlaagjes betreft en niet worden toegekend aan de slechtdoorlatende laag die in het onderzoeksgebied ontbreekt.





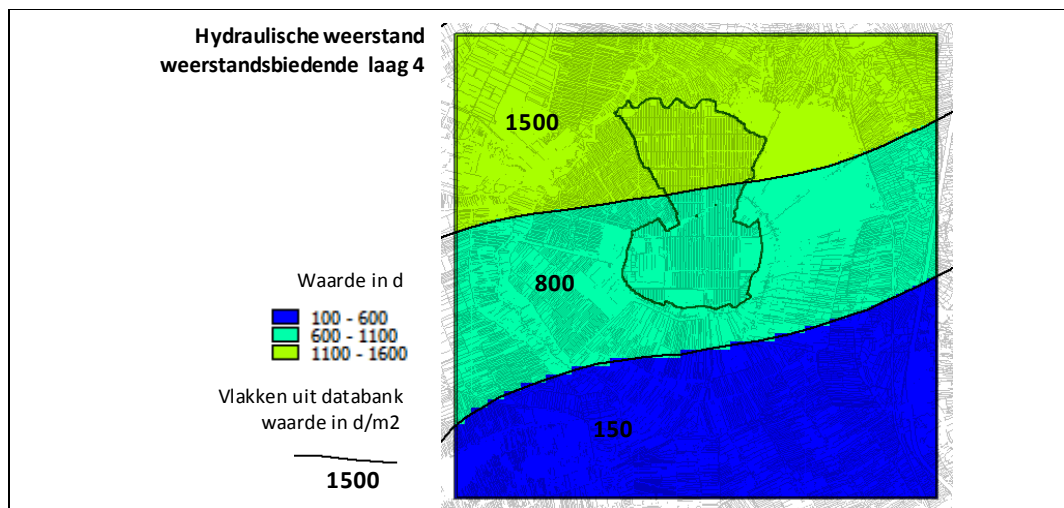
**Figuur 2.8 Dikte en weerstandcoëfficiënt bovenste slechtdoorlatende laag**

In gebieden waar de slechtdoorlatende laag afwezig is, bestaat de geschematiseerde weerstand slechts uit de verticale weerstand van de helft van de watervoerende pakketten aan de onder en bovenzijde daarvan. In de andere gebieden komt daar de hydraulische weerstand van de scheidende laag zelf bij, volgens:

$$C_3 = AS_3 \cdot d_{c3} \cdot \{(MV - TH_3) + \frac{1}{2} \cdot d_{c3}\} + \frac{1}{10} \cdot k_3 \cdot \frac{1}{2} \cdot d_{wvp3} + \frac{1}{10} \cdot k_3 \cdot \frac{1}{2} \cdot d_{wvp3} + \frac{1}{10} \cdot k_4 \cdot \frac{1}{2} \cdot d_{wvp4}$$

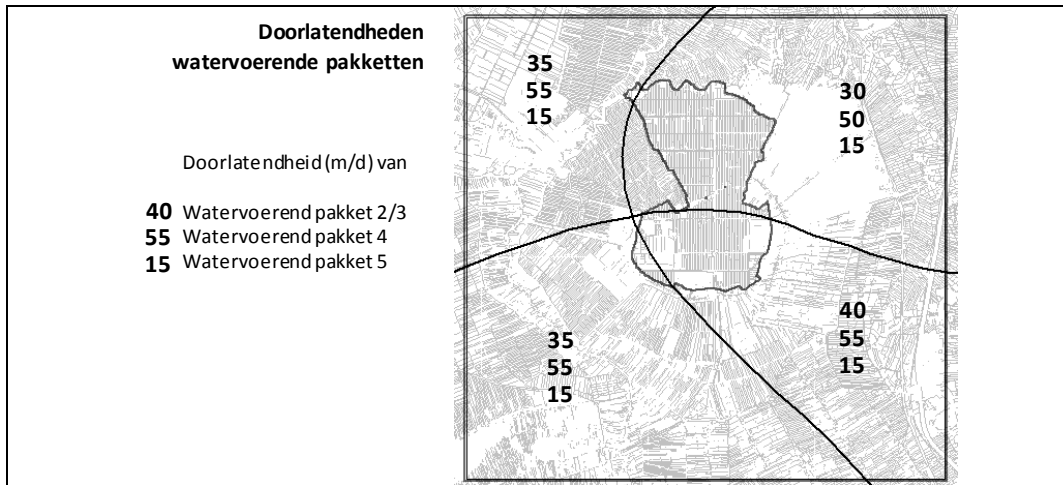
Waarin:	$C_3$	= weerstand van de derde slechtdoorlatende laag [d]
	$AS_3$	= weerstandscoefficiënt van de derde slechtdoorlatende laag, afhankelijk van de dikte en diepteligging van de laag [ $d/m^2$ ]
	$d_{c3}$	= dikte van de derde slechtdoorlatende laag [m]
	MV	= niveau van het maaiveld [m+NAP]
	$TH_3$	= niveau van de bovenzijde van de derde slechtdoorlatende laag [m+NAP]
	$K_2$	= doorlatendheid van het tweede watervoerend pakket [m/d]
	$k_3$	= doorlatendheid van het derde watervoerend pakket [m/d]
	$k_4$	= doorlatendheid van het vierde watervoerend pakket [m/d]
	$d_{wvp2}$	= dikte van het tweede watervoerend pakket [m]
	$d_{wvp3}$	= dikte van het derde watervoerend pakket [m]
	$d_{wvp4}$	= dikte van het vierde watervoerend pakket [m]

De dikte van de onderste slecht doorlatende laag ( $TH_4 - RL_5$ ) is geschematiseerd als een twee meter dikke laag met een hard opgelegde weerstand, die zich bevindt rond de overgang van grofzandigere naar fijnzandigere grond. Deze overgang ligt in het onderzoeksgebied op een diepte van globaal 150 tot 175 m. De reden is de onduidelijkheid en discontinuïteit van voorkomen van meerdere storende lagen in het zand waaruit het watervoerend pakket 5 is opgebouwd (beperkt aantal boringen tot deze diepte). Deze slechtdoorlatende laag heeft daarom feitelijk slechts een schematische waarde. Deze laag heeft nagenoeg geen invloed op de waterprocessen die zich rond de deklaag afspelen. Laterale verschillen in samenstelling van deze laag hebben geleid tot differentiatie in waarden van de hydraulische weerstand van deze laag (Figuur 2.9).



**Figuur 2.9** Hydraulische weerstand onderste slechtdoorlatende laag

De doorlatendheden van de watervoerende pakketten in het model zijn afkomstig uit de GMN databank. Figuur 2.10 geeft een overzicht van de waarden van deze doorlatendheden. Gedurende de calibratie is er geen reden geweest deze doorlatendheden aan te passen. Hun invloed op de hydrologie in Groot Mijdrecht en omgeving wordt pas merkbaar als deze doorlatendheden in grootte orde veranderen.



**Figuur 2.10** doorlatendheden van watervoerende pakketten 2/3, 4 en 5

## **2.4 De bovenlaag van het model**

Het onderzoek dat ten grondslag ligt aan de ontwikkeling van het model voor Groot Mijdrecht Noord (Royal Haskoning & WL | Delft Hydraulics, 2003) vereiste een andere modelaanpak dan tot dan toe gebruikt was in deze regio. Het model moest uitspraken kunnen doen over de seizoensfluctatie in de grondwaterstand (GHG en GLG), maar ook over effecten van maatregelen op de waterbalans van de polder.

De modellen die tot dan toe voor dit gebied ontwikkeld waren voldeden niet aan beide vereisten. Tijdens de calibratie van het stationaire grondwatermodel Utrecht-West is de waarde van de weerstand van de deklaag teruggebracht naar slechts 10 dagen (IWACO, 1998). Dit was nodig om met het destijds gekozen modelconcept het effect van deze polder op de omgeving te kunnen kwantificeren.

Met een dergelijk concept kan de waargenomen dynamiek in de grondwaterstand in deze polder (lokaal tot meer dan 1 meter) niet worden beschreven. Daarnaast is staat de gecalibreerde waarde van de hydraulische weerstand in de deklaag (10 dagen) in geen verhouding tot de dikte van deze deklaag (enkele meters). Verder geven de meeste peilbuizen in de polder Groot Mijdrecht, waarvan het filter in het watervoerend pakket onder de deklaag steekt, een nagenoeg constante stijghoogte weer (een variatie van 5 tot 10 cm in 8 jaar tijd). Dit laatste, in combinatie met de grote potentiële drijvende kracht (het verschil tussen het waterpeil van de Vinkeveense Plassen en dat van de sloten in Groot Mijdrecht bedraagt ruim 4,5 meter) duidt op kortsluiting, en dus op wellen.

### **2.4.1 Wellen in Groot Mijdrecht**

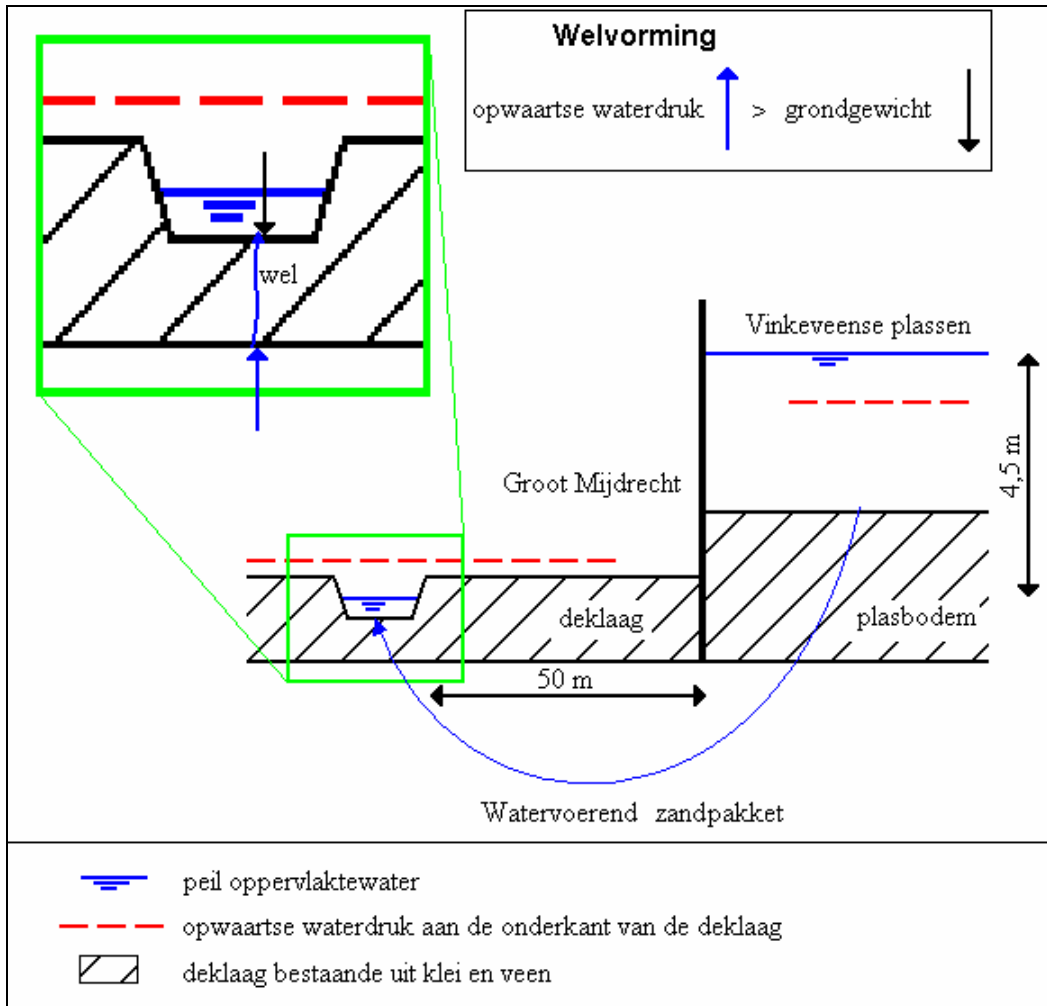
Figuur 2.11 laat een foto zien van een wel, zoals die is aangetroffen in een sloot in de polder Groot Mijdrecht.



**Figuur 2.11** Beeld van een wel in de polder Groot Mijdrecht

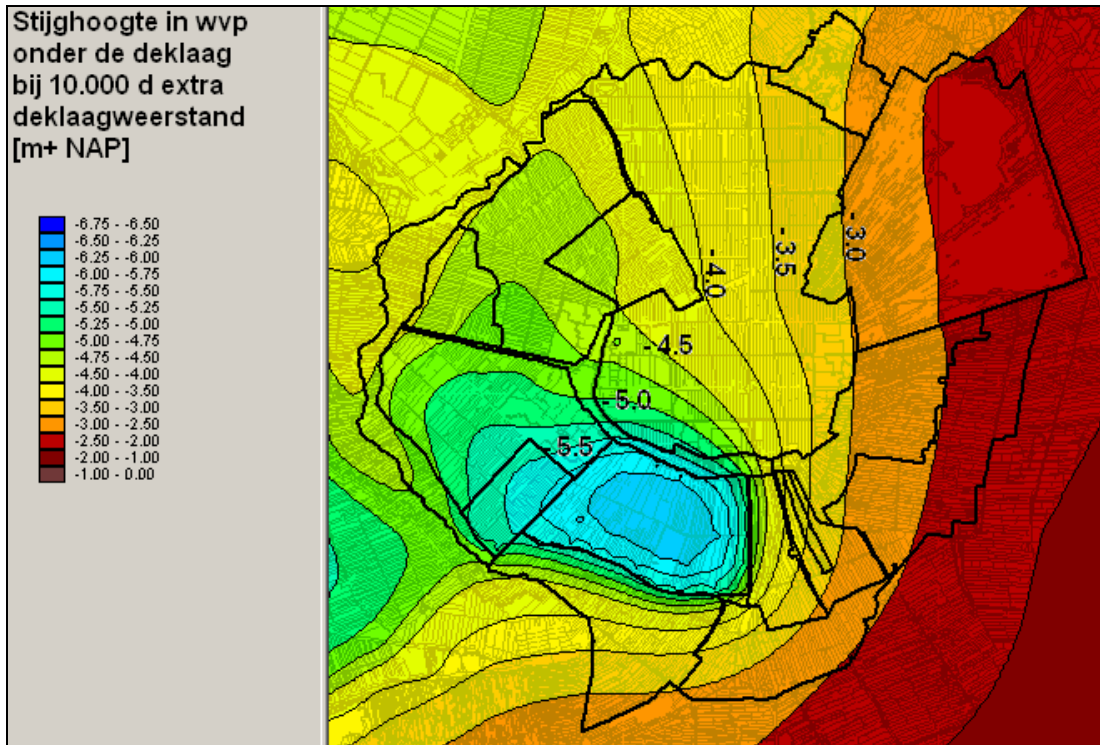
Figuur 2.12 geeft het principe van de wellen in Groot Mijdrecht globaal weer. De stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag wordt niet hoger dan nodig is om een opwaartse druk te creëren die het mogelijk maakt de deklaag op te lichten en “vrij” naar de sloten te stromen. De tegendruk die daarbij moet worden overwonnen bestaat uit het “overgewicht” van de bodem (t.o.v. water) en de “bodem”-ruwheid in het ontstane wel-“kanaaltje”. Deze tegendruk is het kleinst onder de sloten, omdat daar zowel de afstand die moet worden afgelegd, als de tegendruk van het freatische grondwater het kleinst zijn.





**Figuur 2.12 Principe van wellen in de polder groot Mijdrecht**

De potentiële waterdruk onder de deklaag is overigens vele malen groter dan nodig is om de wellen te laten ontstaan. De stijghoogte in het watervoerend pakket die bij deze potentiële waterdruk hoort, kan pas ontstaan als de deklaag in Groot Mijdrecht waterdicht gemaakt wordt. Een eenvoudige berekening die met de vorige versie van het grondwatermodel al was gedaan, laat zien dat de stijghoogte in Groot Mijdrecht Noord dan meerdere meters omhoog komt (Figuur 2.13). Dat betekent dat het dichten van afzonderlijke wellen in Groot Mijdrecht onbegonnen werk is. Feitelijk zou dan de hele deklaag waterdicht gemaakt moeten worden. In dat theoretische geval zou de onderliggende waterdruk de deklaag in zijn geheel doen opdrijven.



**Figuur 2.13** Potentiële waterdruk (uit WL | Delft Hydraulics, 2007)

Mede om te voorkomen dat er ook wellen in de percelen tussen de sloten optreden, zijn sommige percelen nabij de oostrand van de polder voorzien van een drainage bestaande uit bossen samengebonden takken (Figuur 2.14, links).



**Figuur 2.14** Alternatieve drains bestaande uit samengebonden takken

Deze takkenbossen zijn (in meerdere lagen op elkaar) in de grond aangebracht. De uitstroomopening van de bovenste laag eindigt in de sloot (Figuur 2.14, rechts). Op de foto is duidelijk te zien dat het water er uitstroomt. Naar alle waarschijnlijkheid is dit grondwater dat naar deze drain welt, en dus ook een vorm van wellend water.

## 2.4.2 Gekozen model concept voor de wellen

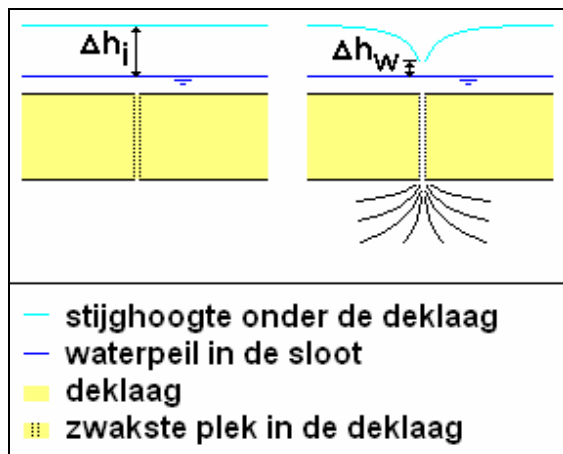
### Ontstaan en werking van wellen: een theorie

Een wel in een gebied met een holocene deklaag ontstaat in principe het eerst op de zwakste plaats in deze deklaag. Meestal liggen de zwakste plekken in de sloten, omdat de deklaag daar ingesneden is. Daarnaast is de opwaartse waterdruk onder een drainerende sloot meestal het hoogst omdat de waterdruk aan de bovenzijde van de deklaag er het laagst is. De sloot draineert immers, zeker in een gebied met sterke kwel.

Een wel in een sloot ontstaat pas als de waterdruk aan de onderzijde van de deklaag (onder de sloot) groot genoeg wordt om de daarvoor benodigde energie te ontwikkelen. Of deze energie nu nodig is om de tussenliggende bodem los te werken, of op te tillen, of een combinatie van beide wordt hier in het midden gelaten. Als een wel eenmaal is ontstaan, lijkt het zeer waarschijnlijk dat er minder energie nodig is om het aan de gang te houden. Na het ontstaan van de wel gaat de waterdruk onder de deklaag gaat ter plekke van de wel dus wat omlaag.

Een werkende wel veroorzaakt echter een radiale toestroming van grondwater. Hierdoor neemt de stijghoogte in het water onder de deklaag weer toe naarmate de afstand tot de wel toeneemt. Figuur 2.15 geeft dit schematisch weer.

Wellenregel



Figuur 2.15 Ontstaan en werking van een wel

Dat betekent dat er pas op zekere afstand van een wel weer een nieuwe wel kan ontstaan. De onderlinge afstand van wellen zou een zekere mate van evenredigheid moeten hebben met de zwaarte van de deklaag. Een eenvoudige berekening met bodemparameters als in Groot Mijdrecht wees uit dat dit in Groot Mijdrecht waarschijnlijk binnen 1 a 2 meter afstand van een wel al weer mogelijk is. Waarnemingen in het veld wezen dat de wellen in groot Mijdrecht daadwerkelijk op ca. 2 meter afstand van elkaar voorkomen.

### Maatregelen om wellen tegen te gaan

Een stijging van het slootwaterpeil zal pas effect hebben op het aantal wellen en de hoeveelheid water die hieruit komt als de druk in het watervoerend pakket onder de deklaag niet meer mee kan stijgen. In de polder Groot Mijdrecht kan de druk in het

watervoerend pakket nog enkele meters “mee stijgen”. De potentiële overdruk loopt in het oosten van Groot Mijdrecht op tot meer dan 3 meter. Ook een verzwaring van de deklaag werkt dan pas als de potentiële overdruk kan worden overwonnen door de zwaarte van de deklaag. Zolang dat niet het geval is, zal het aantal wellen niet minder worden. De onderlinge afstand van de wellen zal ongeveer gelijk blijven. Alleen aan de westrand van het wellende gebied, waar de potentiële waterdruk relatief het kleinst is, zal bij beide maatregelen een strook ontstaan waar de wellen verdwijnen.

### **Modelleren van wellen**

Wellen werken pas als de opwaartse “overdruk” voldoende groot is. Als we dit het model zelf laten bepalen, moeten we de wellen invoeren als rivier(punt)en met een zeker oppervlak en een peil dat een bepaalde grootte hoger is dan het polderpeil. Bv.:

$$HR2 = HR1 + f * (DV * 0.1 + DK * 0.6 + DZ * 0.6)^g \quad (1)$$

Waarin:

HR2 = stijghoogte in het watervoerend pakket waarboven de wel gaat lopen

HR1 = slootwaterpeil

DV \* 0.1 + DK \* 0.6 + DZ \* 0.6 = het overgewicht van de deklaag t.o.v. water

DV = dikte van het veen in de deklaag onder de sloot

DK = dikte van de klei in de deklaag onder de sloot

DZ = dikte van het zand in de deklaag onder de sloot (of aangebrachte verzwaring)

f en g = wel-factoren

Als door een maatregel het slootpeil (HR1) of de zwaarte van de deklaag (DV, DK en DZ) verandert, kan het model “zelf” bepalen of de wellen hierdoor verdwijnen, of niet.

### **Locatie van de wellen in het model**

In principe zouden wellen in alle watergangen in de droogmakerijen kunnen ontstaan, als de waterdruk maar hoog genoeg is. Een van de bezwaren bij de vorige versie van het model was dat de plekken waar wellen kunnen optreden opgelegd waren. Door nu alle watergangen (hoofdwatervgangen en perceelsslotten) als potentiële wel in het model op te nemen wordt dat bezwaar weggenomen.

In overleg met een aantal deskundigen op het gebied van grondwater in het algemeen, en grondwatermodellering en wellen in het bijzonder is tijdens een workshop over wellen afgesproken dat er uitgegaan wordt van:

- ❖ Een lineaire wellenregel: de factor “g” uit formule (1) wordt op 1 gesteld. Uit het veldwerk bleek dat dit voor Groot Mijdrecht een goede aanname is.
- ❖ Alle perceelsslotten in het model opnemen als potentiële wellen.
- ❖ Calibreren op het wellende gebied: op basis van het uitgevoerde veldwerk is er met name in het centrum van Groot Mijdrecht een aantal vrij scherpe grenzen aan te wijzen tussen wellende sloten en niet wellende sloten.
- ❖ De lengte en de natte omtrek van de watergangen aan te houden als potentieel wellend oppervlak: op die manier blijft de verhouding tussen de wellende oppervlakten afhankelijk van de verhouding van de breedte van de watergangen.
- ❖ Wellen kunnen alleen draineren: in theorie zou de stroming in een wel ook kunnen omdraaien. In Groot Mijdrecht wordt dat voorlopig tamelijk onwaarschijnlijk geacht. Dat betekent dat de wellende watergangen alleen een lage weerstand tegen drainage krijgen, en een “oneindig” hoge weerstand tegen infiltratie.

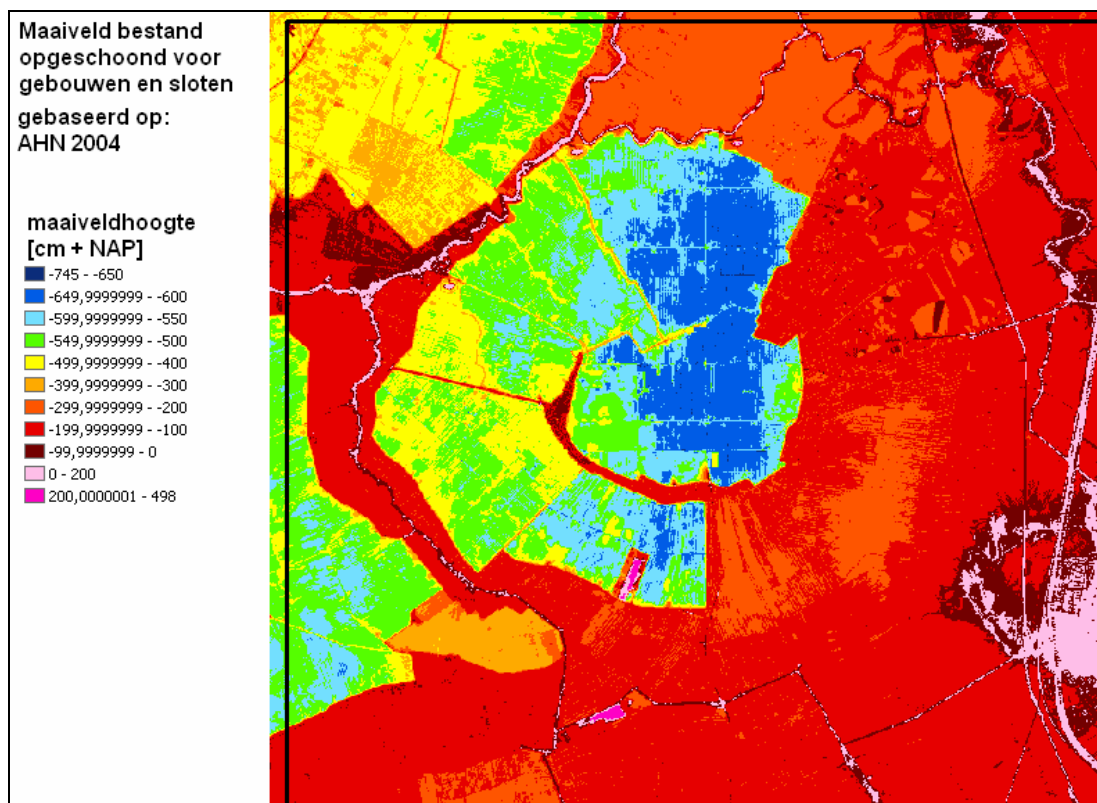
In praktijk kwam het er op neer dat met de wel-factor "f" en de weerstand tegen drainage van een wel (CD2) gecalibreerd is op het wellende gebied en de totale hoeveelheid uitgemalen water uit Groot Mijdrecht (inclusief het bijbehorende zoutgehalte)

### 2.4.3 Basis informatie voor de bovenlaag van het model

Aan de bovenzijde wordt het grondwatermodel begrensd door het zogenaamde topsysteem. Hierin is de relatie van het grondwater met het aanwezige oppervlaktewatersysteem beschreven. Belangrijkste parameters voor het topsysteem zijn de peilen van het oppervlaktewater en het maaiveld. De drainageniveaus zijn (in het algemeen) hiervan afhankelijk. Sloten en drains worden (meestal) aangelegd op een zekere diepte onder maaiveld. De peilen van het oppervlaktewater zijn afkomstig uit de bestanden van het waterschap. De beschrijving van het topsysteem volgt verderop in dit document. Het maaiveld is echter ook van belang voor de schematisering van de geohydrologische pakketten.

#### Maaiveld

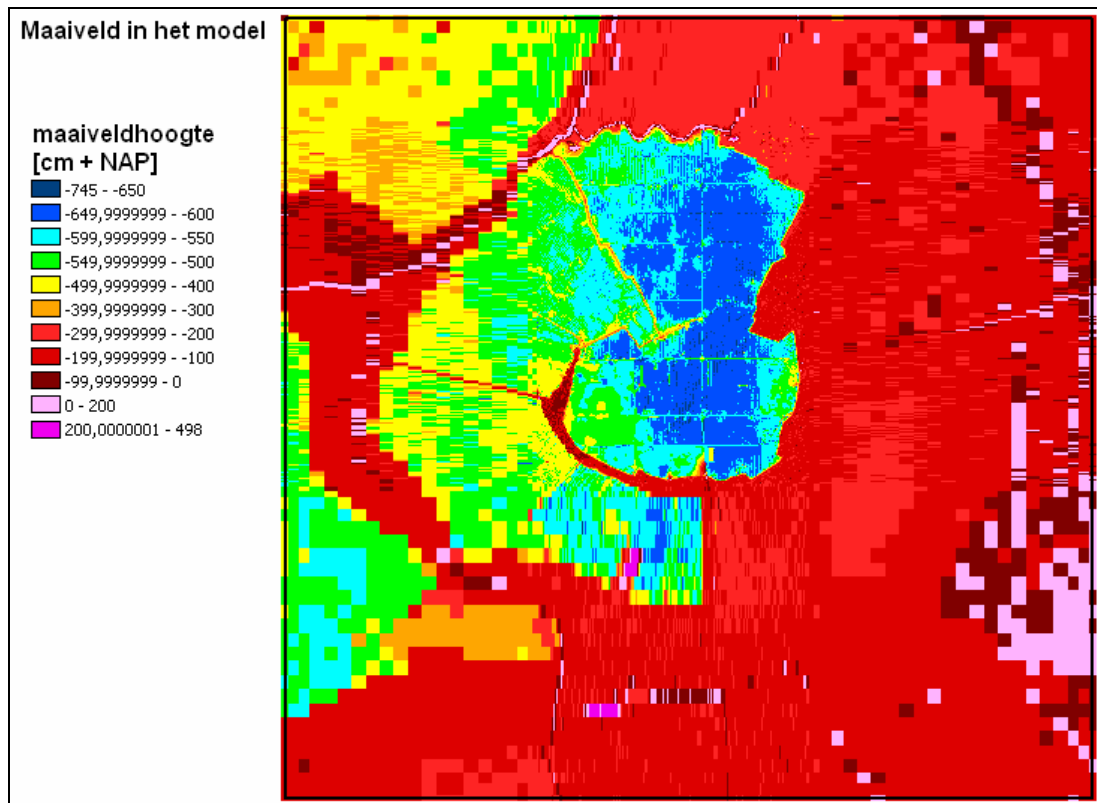
Het maaiveld in het model heeft een actualisatieslag ondergaan ten opzichte van de vorige versie van het model. Er is gebruik gemaakt van het AHN dat gevlogen is in 2004 en gecorrigeerd is in 2005. Via een GIS exercitie zijn uit dit bestand gebouwen en slootkanten (zo veel mogelijk) uitgefilterd. Figuur 2.16 geeft een beeld van de aldus verkregen modelinvoer.



Figuur 2.16 Gebruikte maaiveld data (AHN 2004, gecorrigeerd voor gebouwen en sloten)

De invoer bestaat uit een zogenaamd gridbestand met vierkante cellen van 5 bij 5 meter. De waarden uit dit gridbestand van het maaiveld zijn vervolgens gealloceerd aan het rekengrid van het grondwatermodel. Figuur 2.17 geeft een beeld van het maaiveld zoals dat in het model is aangebracht.

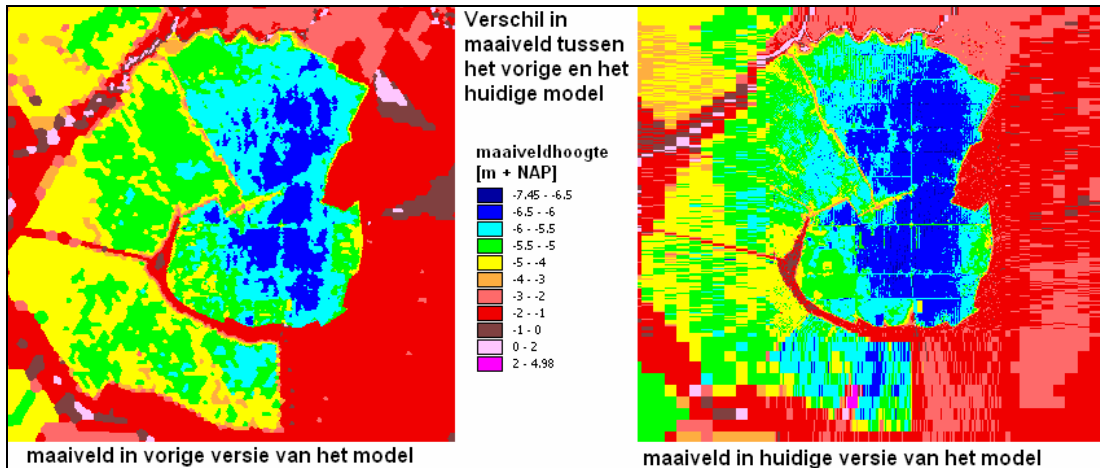
Vergelijking van Figuur 2.17 met Figuur 2.16 laat zien hoe de informatie wordt opgenomen in het modelgrid. Voor Groot Mijdrecht ziet er dat behoorlijk goed uit. Meer naar de randen van het model is duidelijk te zien dat de dimensies van de cellen de opgenomen informatie beïnvloeden.



**Figuur 2.17** Maaiveld in het grondwatermodel

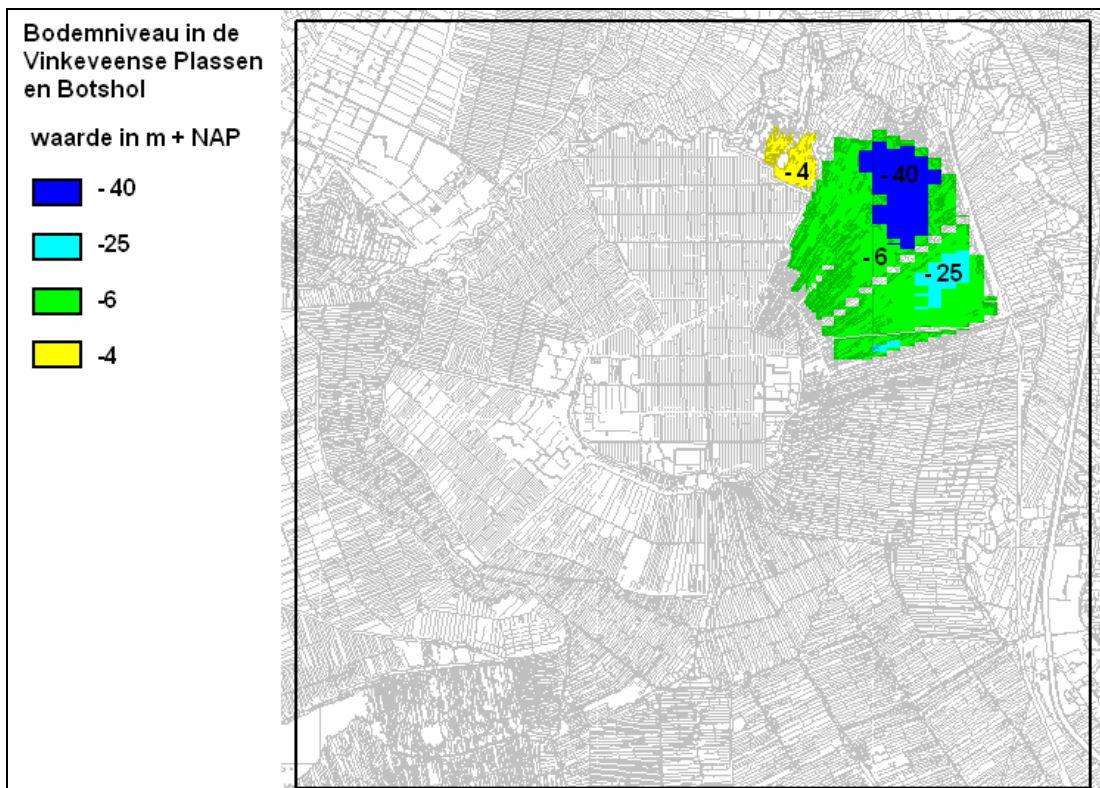
Figuur 2.18 laat voor het gebied rondom Groot Mijdrecht het verschil zien tussen de oude maaiveld-data, die gebruikt is in de vorige versie van het model, en de nieuwe maaiveld-data, die gebruikt zijn in de huidige versie van het model. Algemeen beeld is dat de nieuwste versie van het maaiveld lager is dan de vorige versie. Dit kan deels zijn veroorzaakt door maaivelddaling, maar zal waarschijnlijk grotendeels worden veroorzaakt door de betere correctie (op gewashoogte) die op de laatste versie van het maaiveld is uitgevoerd.





**Figuur 2.18** Verschil in maaiveld tussen het vorige model (links) en het huidige model (rechts)

Voor de waterplassen in de buurt van Groot Mijdrecht (Vinkeveense Plassen en Botshol) is de bodemdiepte van deze plassen in het model gebruikt als maaiveld. Informatie over de bodemdiepte van deze plassen is afkomstig van het waterschap. In de Vinkeveense Plassen liggen drie diepere delen (zandgaten) die tot ver in het watervoerend pakket onder de deklaag insnijden (Figuur 2.19). Op die plekken is de deklaag dus volledig verdwenen. De diepste plas reikt zelfs tot op de basis van het geschematiseerde derde watervoerend pakket.

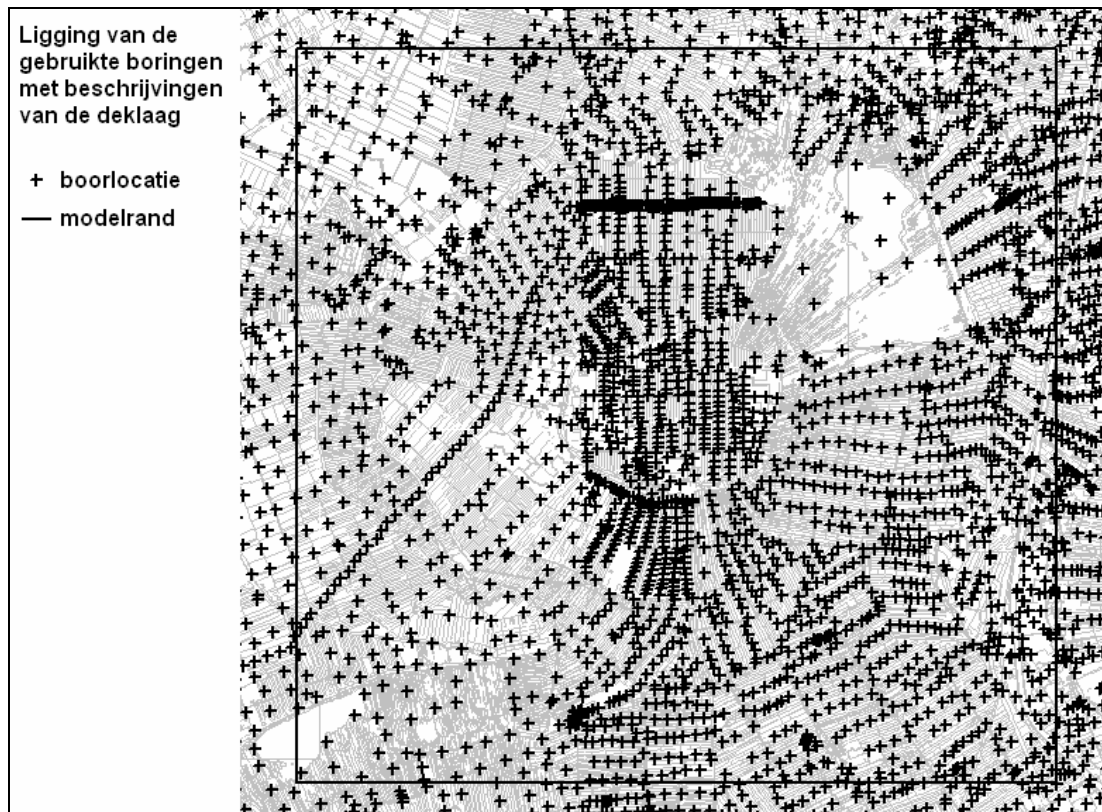


**Figuur 2.19** Bodemniveaue in de Vinkeveense Plassen en Botshol

## Deklaag

De deklaag in Groot Mijdrecht bestaat voornamelijk uit veen en klei. De dikte en samenstelling van de deklaag is van wezenlijk belang voor de lokale grondwaterstroming.

Basis voor de bepaling van de dikte en samenstelling van de deklaag is een zeer uitgebreid bestand van boringen (bron: TNO). Figuur 2.20 geeft een overzicht van de ligging van deze punten.



Figuur 2.20 Ligging van de gebruikte boorpunten met informatie over de deklaag (bron: TNO)

Uit deze bestanden is de onderkant en samenstelling (aandeel veen, aandeel klei) van de deklaag gehaald. Voor de bepaling van dikte en samenstelling van de deklaag zijn daarna de volgende stappen doorlopen:

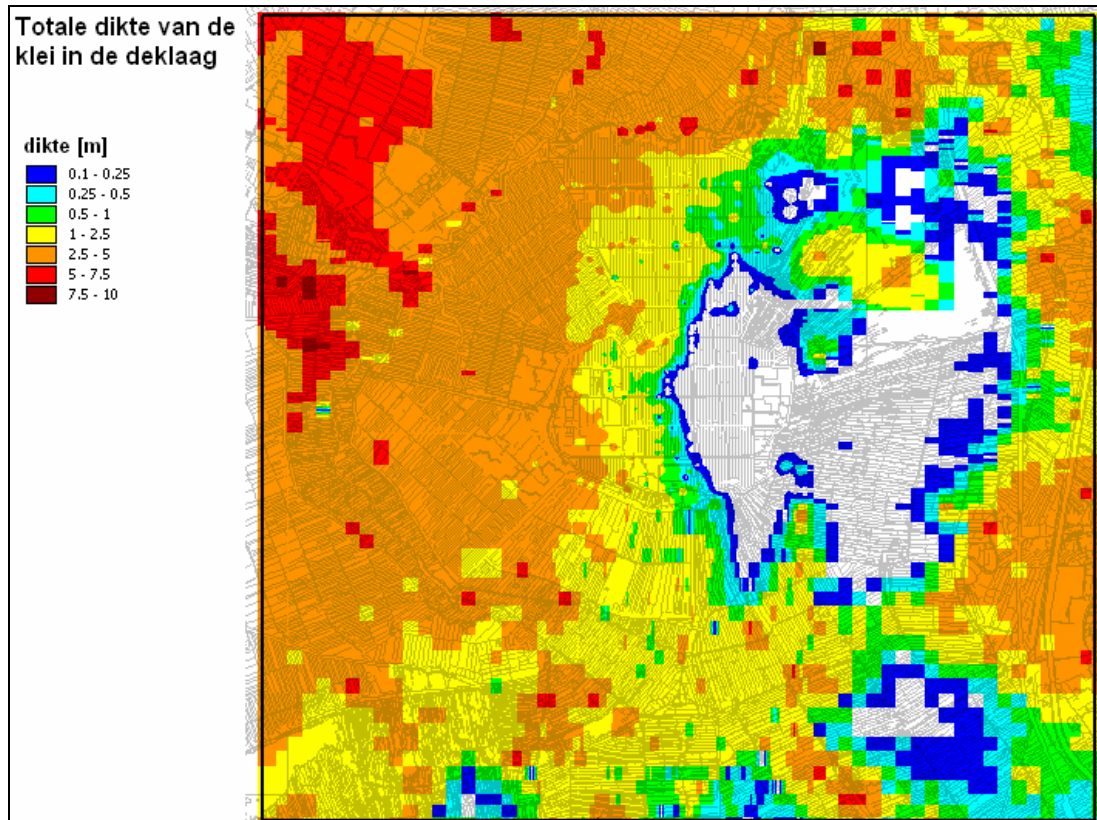
1. De dikte van de deklaag volgt uit het verschil tussen het maaiveld en de onderkant van de deklaag;
2. De dikte van het klei in de deklaag wordt uit de beschikbare bestanden gehaald (Figuur 2.21);
3. Het aandeel klei wordt bepaald uit het quotiënt van de dikte van klei (stap 2) en de dikte van de deklaag (stap 1);
4. Het aandeel veen is 1 minus het aandeel klei.

Deze methode levert een verbetering ten opzichte van de vorige versie van het model, omdat daarbij was uitgegaan van het aandeel veen i.p.v. van het aandeel klei. De reden



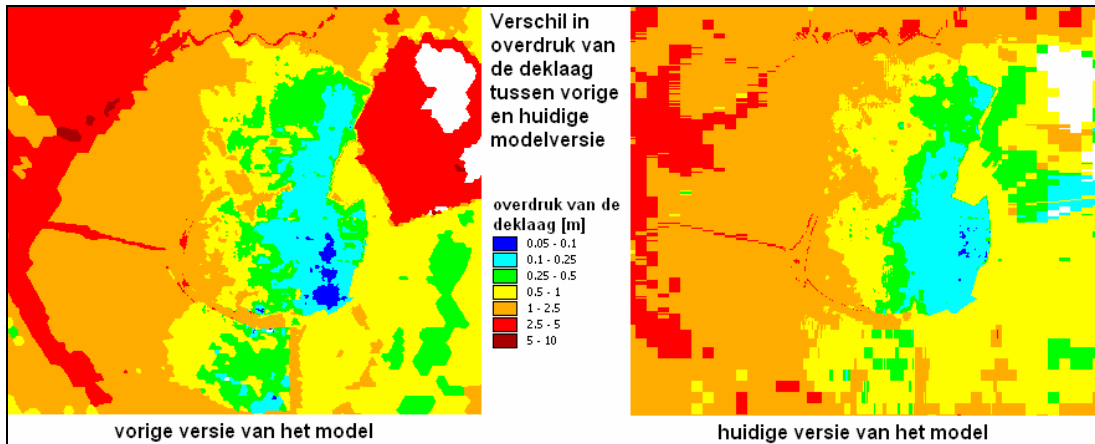
daarvoor was dat er destijds voor het gehele model wel een veendiktekaart beschikbaar was, maar geen kleidiktekaart.

Omdat de datum van veel van de boringen onbekend is, en omdat de periode waarin de boringen uitgevoerd zijn zeer uiteenlopend is, is het beter uit te gaan van de aangetroffen kleidikte. Het aanwezige veen in de deklaag kan in de loop der tijd immers zijn afgenomen. Dat blijkt ook uit de maaiveldddaling, die in deze regio gemiddeld in de orde van een halve tot een hele cm per jaar heeft bedragen over de afgelopen 50 jaar.



**Figuur 2.21 Dikte van de kleilaag in de deklaag**

Figuur 2.22 laat zien wat het effect is van het gebruik van de nieuwe data en het nieuwe concept op de zwaarte van de deklaag. Deze figuur geeft het overgewicht van de deklaag ten opzichte van water weer. Dit is een indicatie van de druk die (gedeeltelijk) moet worden overwonnen om wellen te laten ontstaan. Hierover later meer. In Groot Mijdrecht is deze druk in de huidige versie van het model iets groter dan in de vorige versie van het model.

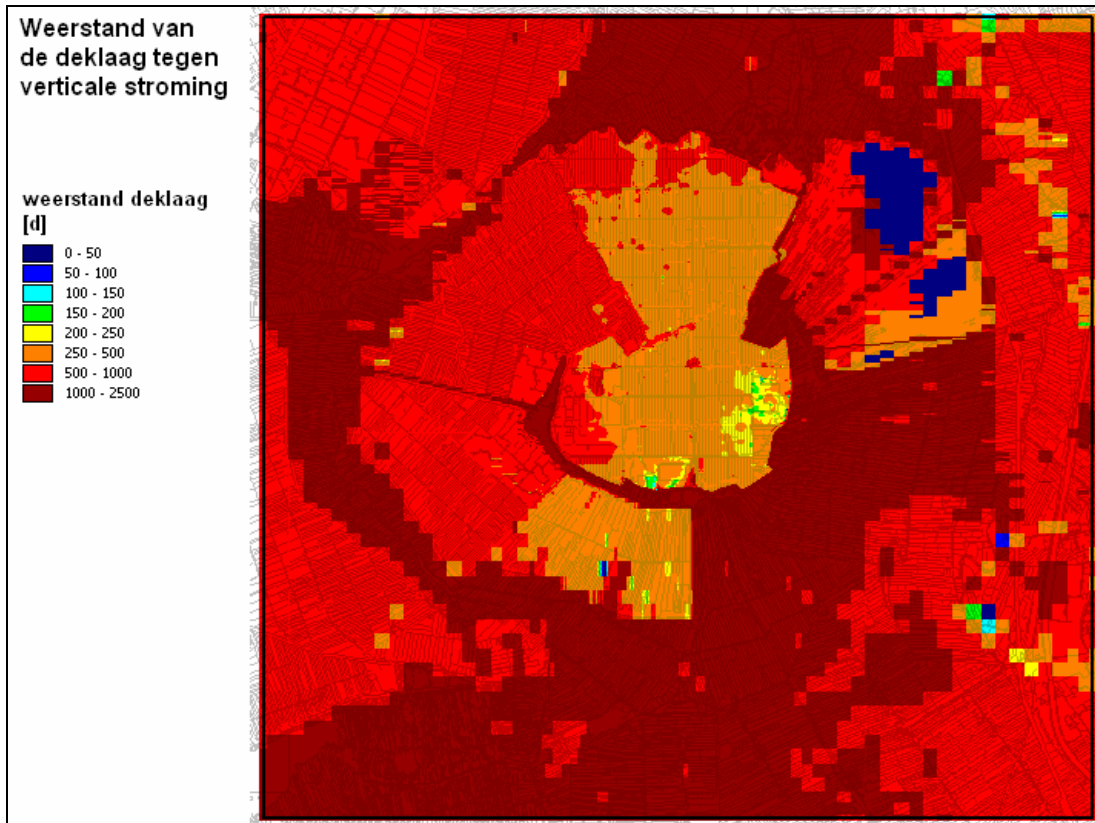


**Figuur 2.22** Overgewicht van de deklaag ten opzichte van water: vergelijking tussen het vorige model (links) en het huidige model (rechts)

Zoals al eerder gemeld is de deklaag in het model Groot Mijdrecht Noord geschematiseerd als freatisch watervoerend pakket, met een lage doorlatendheid. De hydraulische weerstand van de deklaag is geschematiseerd als een dunne “fictieve” slechtdoorlatende laag aan de onderkant van dit pakket is. De totale hydraulische weerstand van de deklaag tegen verticale grondwaterstroming is in deze dunne laag opgenomen.

De waarde van de hydraulische weerstand is bepaald door de dikte van de deklaag onder de slootbodem te vermenigvuldigen met een weerstandscoefficiënt. Deze weerstandscoefficiënt bestaat uit het aandeel klei vermenigvuldigen met de weerstandscoefficiënt voor klei opgeteld bij het aandeel veen vermenigvuldigen met de weerstandscoefficiënt voor veen. In de vorige versie van het model was aanvankelijk voor de weerstandscoefficienten voor veen en klei 10 respectievelijk 100 dagen per meter dikte aangehouden. Gedurende de toenmalige calibratie zijn deze waarden beiden opgeschroefd naar 200 dagen per meter dikte. Dat heeft dus geleid tot een uniforme weerstandscoefficiënt voor de deklaag. De reden daarvoor was dat de gemeten verschillen tussen freatische grondwaterstand en de stijghoogte onder de deklaag zowel binnen de grenzen van Groot Mijdrecht als in de directe omgeving duiden op een hogere waarde van de deklaagweerstand. In de huidige versie van het model zijn de waarden van deze weerstandcoëfficiënten overgenomen.

Figuur 2.23 laat de aldus verkregen waarde van de hydraulische weerstand van de deklaag zien. In Groot Mijdrecht bedraagt deze weerstand gemiddeld zo'n 300 tot 400 dagen. Dat betekent dat de freatische grondwaterstand (in de deklaag) in het model redelijk onafhankelijk van de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag kan operen. Uit de paar peilbuizen in deze polder blijkt dat dit ook daadwerkelijk het geval is.



Figuur 2.23 Weerstand van de deklaag

#### 2.4.4 Schematisering van het oppervlaktewaterstelsel

De relatie tussen grond- en oppervlaktewater wordt in het grondwatermodel geregeld via drainagesystemen (vlakken) en zogenaamde rivieren (lijnen). De belangrijkste watergangen zijn in dit model als rivieren opgenomen. De overige watergangen zijn in de drainagesystemen verwerkt.

##### Drainagesystemen

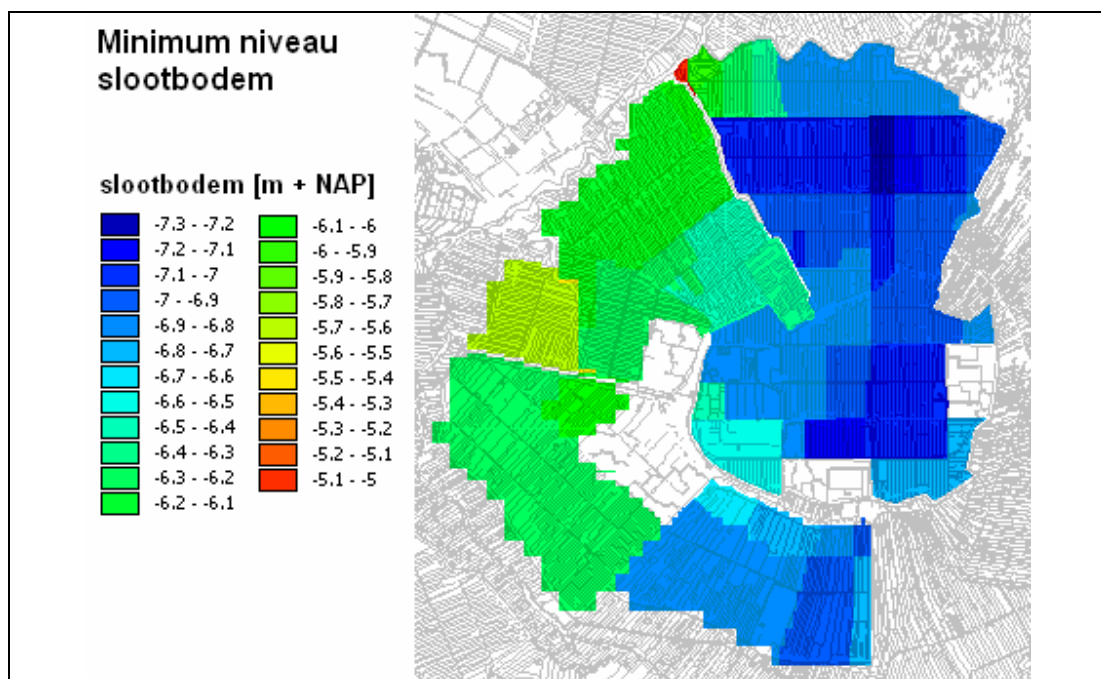
In het modelgebied zijn drie drainagesystemen gedefinieerd:

1. Sloten
2. Greppels
3. Maaiveld

Alle drie de systemen hebben een eigen niveau waarop ze draineren (en eventueel infiltreren) alsmede afzonderlijke weerstanden tegen drainage en infiltratie. Daarnaast zijn er gebieden, waar een vast peil (polders, met winter- en zomerpeil) gehandhaafd wordt. Pas als het gehandhaafde vaste peil boven het niveau van een drainagesysteem uitkomt, kan het betreffende systeem ook infiltreren. Wat betreft het greppelsysteem is er vanuit gegaan dat er alleen greppels liggen in de polders en dat tussen iedere twee poldersloten één greppel aanwezig is. Zowel de bodems van de sloten, als de bodems van de greppels zijn, voor wat de invoer betreft, gerelateerd aan maaiveld. De bodems

van de sloten in poldergebied buiten Groot Mijdrecht zijn in het model gezet op 0.3 m onder polderpeil. In de overige gebieden buiten Groot Mijdrecht is een slootbodem van 1 meter onder maaiveld aangehouden. In de polder Groot Mijdrecht is een slootbodem van 1.5 meter onder maaiveld aangehouden. De reden voor deze afwijkende waarde is dat tijdens de calibratie van de vorige versie van het model bleek dat door de sterke maaiveldgradiënt aan de rand van de polder een grotere waarde dan gebruikelijk nodig was.

Ten opzichte van de vorige versie van het model is hier een verbetering overheen gegaan. Omdat het voor de wellenregel van belang is hoeveel deklaag er tussen de bodem van de perceelsloten en het watervoerend pakket aanwezig is, is voor het onderzoeksgebied een minimumniveau van de slootbodem opgelegd. Figuur 2.24 geeft een overzicht van de waarde van dit minimum niveau.



**Figuur 2.24** Minimum waarde van het slootbodem niveau in het onderzoeksgebied

Het minimum niveau is bepaald op basis van:

- ❖ Zomer- en winterpeilen;
- ❖ Gemeten slootbodem niveau in de hoofdwatervangsten;
- ❖ Google maps (voert de sloot water of niet);
- ❖ Waarnemingen in het veld.

Er is bij de bepaling van de minimum slootbodem vanuit gegaan dat de slootbodem van een perceelsloot 10 tot 20 cm hoger ligt dan de bodem van de hoofdwatervangst waar deze perceelsloot op uitkomt. Het niveau ligt in principe onder het gehandhaafde polderpeil. Het kan echter niet te veel onder water liggen, omdat de waargenomen slootdiepte hooguit enkele dm bedraagt.

Voor de diepte van de greppels is in het hele model een waarde van 25 cm aangehouden, met uitzondering van open water, natte natuur en verhard gebied. Voor deze gebieden is aangenomen dat er geen greppels aanwezig zijn.

Vanwege de ruwheid van het maaiveld is gesteld dat er pas drainage optreedt als het water 5 cm boven gemiddeld maaiveld staat. Er is aangenomen dat er alleen infiltratie kan optreden vanuit de poldersloten, niet vanuit de greppels en vanaf het maaiveld.

### Drainageweerstand

De weerstand tegen drainage wordt bepaald door de onderlinge afstand van de drainerende middelen en de doorlatendheid en dikte van de drainerende laag, volgens:

	$w_d = L^2 / 8 \cdot (k_{\text{boven}}D_{\text{boven}} + k_{\text{onder}}D_{\text{onder}})$	
Waarin:	$w_d$	= drainageweerstand [d]
	$L$	= onderlinge afstand van de drainerende middelen [m]
	$k_{\text{boven}}$	= horizontale doorlatendheid van de bovenste drainerende laag [m/d]
	$D_{\text{boven}}$	= dikte van de bovenste drainerende laag [m]
	$k_{\text{onder}}$	= horizontale doorlatendheid van de onderste drainerende laag [m/d]
	$D_{\text{onder}}$	= dikte van de onderste drainerende laag [m]

De dikte van de drainerende laag is verdeeld in een drainerende dikte boven en een drainerende dikte onder het drainagemiddel. In dit model is de vereenvoudiging gebruikt dat voor beide meewerkende dikten 1 meter is aangenomen. Voor de bepaling van de verticale doorlatendheid van beide drainerende lagen is, in gebieden waarin het drainagemiddel in de deklaag ligt, gewerkt met de reciproke waarde (1 / waarde) van de weerstandsfactor van de deklaag. Voor de bepaling van de horizontale doorlatendheid van de bodem is voor de bovenste drainerende laag de verticale doorlatendheid vermenigvuldigd met 100, en voor de onderste drainerende laag met 10 (beide tot een maximum doorlatendheid van 10 m/d). De reden voor dit gehanteerde verschil is de aanname dat uitgaande van een constant bodemmateriaal de bovenlaag van de bodem vaak losser gepakt is dan de lagen daaronder.

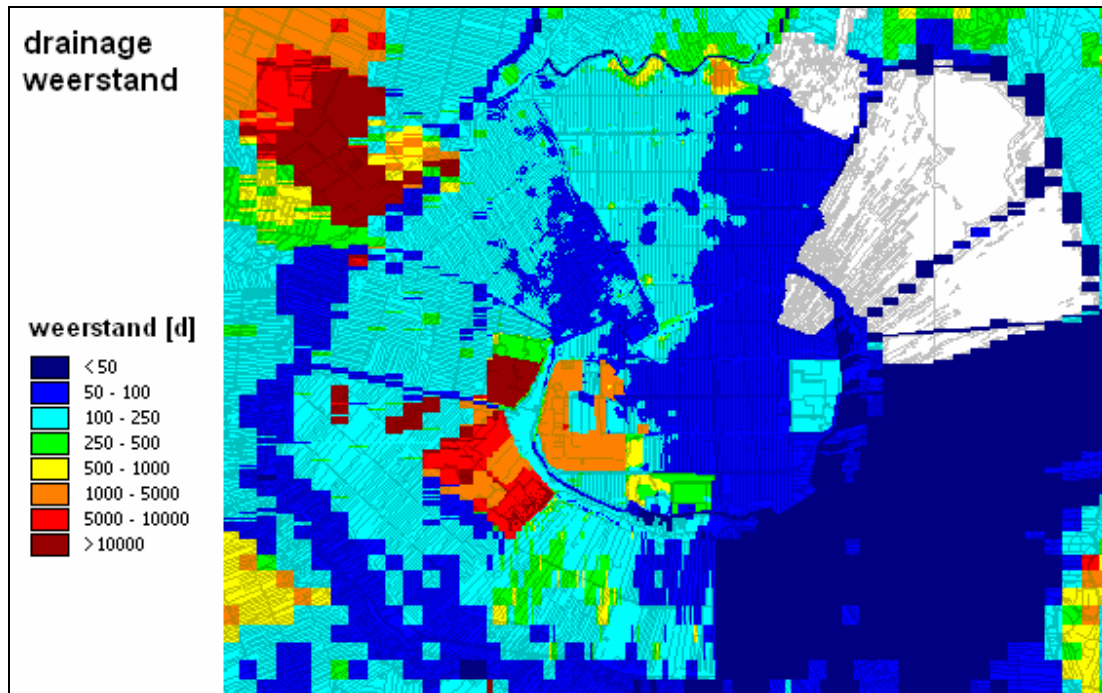
Dezelfde formule is gehanteerd voor de bepaling van de weerstand tegen infiltratie van deze watergangen. Het verschil met de bepaling van de weerstand tegen drainage zit hem in de meewerkende dikte. Voor de bepaling van de weerstand tegen infiltratie is er vanuit gegaan, dat alleen de onderste grondlaag meedoet. De grondwaterstand staat dan immers onder het drainageniveau.

In verharde gebieden (stedelijk gebied en kassen) in de polder is in het algemeen de slootafstand groter dan in landelijke gebieden. In het model is dit gegeven verdisconteerd door de slootafstand te delen door het kwadraat van (1 – aandeel verhard gebied). Hier zit geen wetenschappelijke onderbouwing achter. Deze methode is slechts toegepast om tot een uniforme oplossing voor het gehele modelgebied te komen en het kwadraat leverde in dit geval de beste resultaten. Het aandeel verhard ligt in het onderzoeksgebied in het algemeen op 20 tot 30%. Alleen voor het industrieterrein in de polder Groot Mijdrecht is een hogere waarde (50%) aangehouden.

Voor de gebieden met open water is de slootafstand op 0 gezet, voor de gebieden met natte natuur op 1 m (resultierend in een drainageweerstand van 0 respectievelijk heel



klein). Omdat het rekeninstrument waarmee de huidige versie van het model wordt doorgerekend moeite heeft met weerstanden van 0 dagen is voor de drainageweerstand een minimum waarde van 1 dag gehanteerd, Figuur 2.25 en Figuur 2.26 geven het resultaat van deze schematisering voor de weerstand tegen drainage respectievelijk infiltratie van het primaire ontwateringsstelsel.

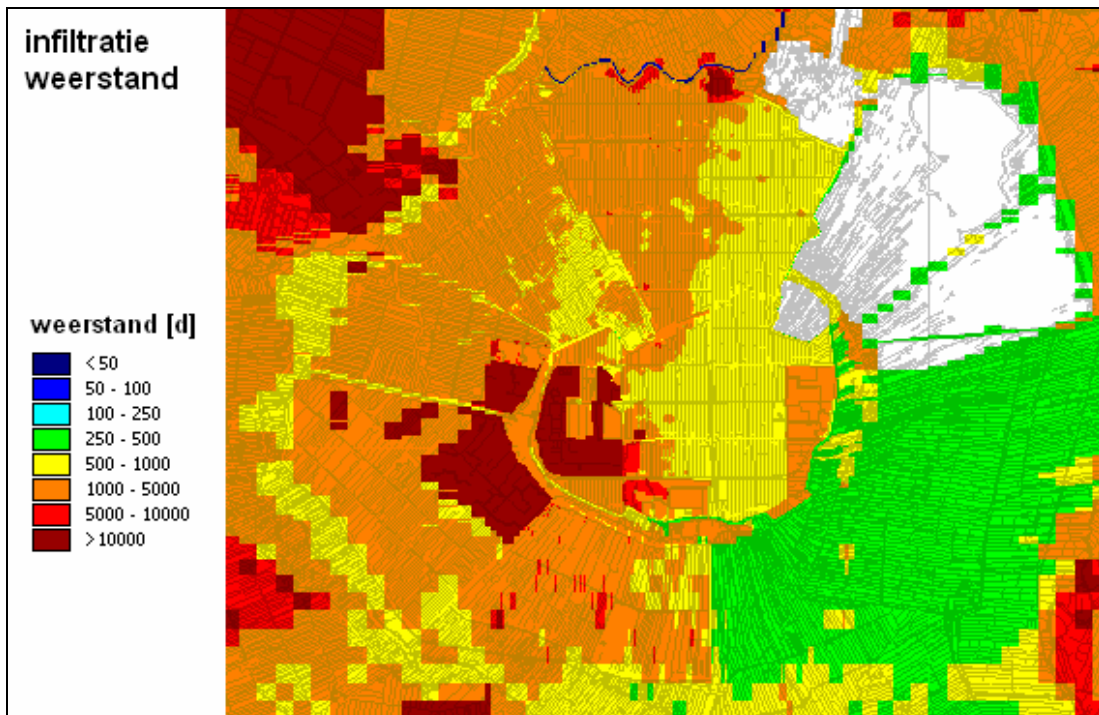


Figuur 2.25 Drainageweerstand van het primaire slotenstelsel in het onderzoeksgebied

***Kanttekening bij drainageweerstand in stedelijk gebied***

*In het algemeen wordt de drainage in verharde gebieden geregeld via drains. Het niveau, de dichtheid en de mate van functioneren van deze drains is in het verharde gebied in dit model echter niet bekend. Daarom is er in dit model geen rekening mee gehouden. Dat kan in het algemeen hebben geleid tot te hoge waarden van de drainageweerstand en daarmee (vooral in natte perioden) tot te hoge berekende waarden van de grondwaterstand in deze gebieden. Voor de meeste verharde gebieden in dit model zal dit waarschijnlijk meevallen door de aanwezigheid van veel oppervlaktewater in het model.*

De drainageweerstand voor de greppels is gesteld op een vierde (halve afstand) van bovenbeschreven drainageweerstand van het primaire stelsel. Voor de weerstand tegen drainage over maaiveld is 0,1 dag aangehouden.



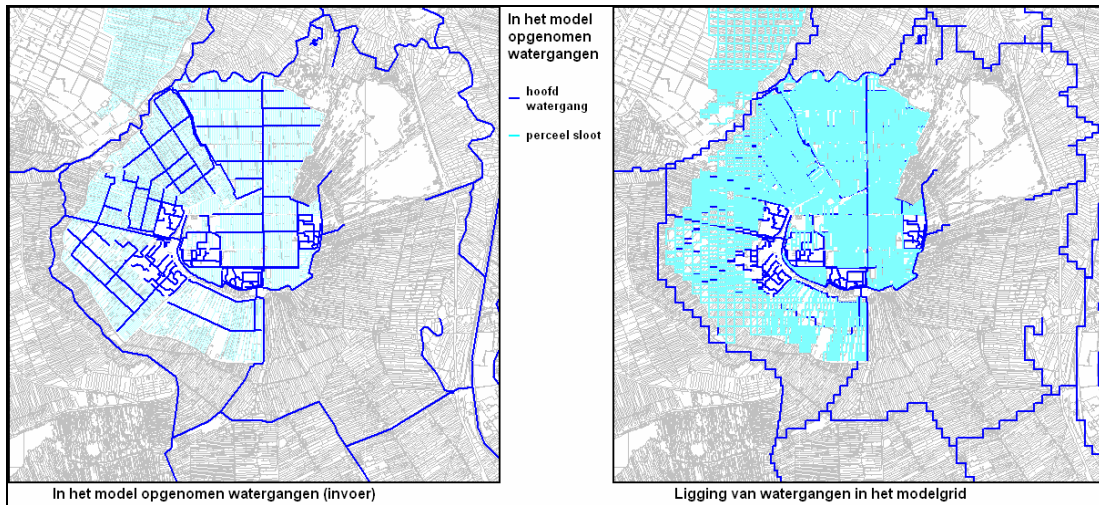
**Figuur 2.26 Infiltratieweerstand van het primaire slotenstelsel in het onderzoeksgebied**

Er wordt vanuit gegaan dat greppels en maaiveld slechts drainerend werken. De infiltratieweerstand voor de greppels en maaiveld is derhalve gesteld op oneindig ( $10^{20}$  d).

### Rivieren

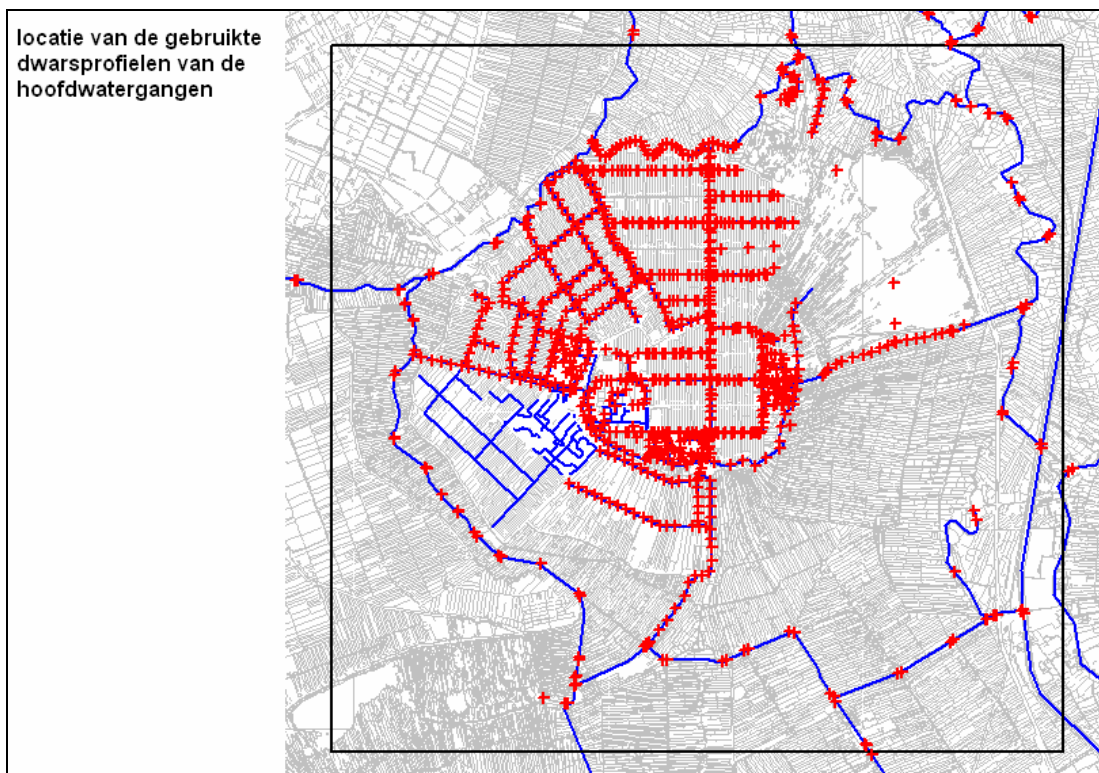
De grotere watergangen die deel uitmaken van de boezem (NAP – 0,40 m) en de tussenboezem (NAP – 2,15 m) in dit gebied zijn als rivieren in het model gedefinieerd. Daarnaast zijn de hoofdwatgangen in de polder Groot Mijdrecht als rivieren in het model opgenomen. Datzelfde is gedaan voor de hoofdwatgangen van de polders Eerste, Tweede en Derde Bedijking en Wilnis Veldzijde. In Figuur 2.27 zijn dit de donkerblauwe lijnen. Ten behoeve van de wellen zijn van de voor dit onderzoek relevante droogmakerijen de perceelssloten in het model opgenomen. In Figuur 2.27 zijn dit de lichtblauwe lijnen.

Figuur 2.27 geeft zowel de exacte ligging van de ingevoerde watergangen weer (links), als de ligging die de watergangen in het model krijgen (rechts). Omdat het model de laatst ingevoerd watergangen “bovenop” legt, zijn de eerst ingevoerde watergangen in het model minder goed zichtbaar. In deze figuur is aan de rand van het model duidelijk te zien dat de watergangen in het model een andere ligging krijgen toegewezen. Voor het midden van het model is dit op deze afbeelding niet goed te zien, maar ook daar treedt dit verschijnsel op. Omdat de celgrootte daar een stuk kleiner is, is de verschuiving van de watergangen aldaar ook een stuk kleiner dan aan de rand van het model.



**Figuur 2.27 Rivieren in het model**

Via invoerparameters wordt er aan de rivieren vervolgens een natte omtrek, een rivierpeil en een weerstand tegen drainage en een tegen infiltratie toegekend. De waarde van deze parameters is afgeleid uit een groot aantal beschikbare dwarsprofielen. Figuur 2.28 geeft een overzicht van de ligging van de gebruikte dwarsprofielen.

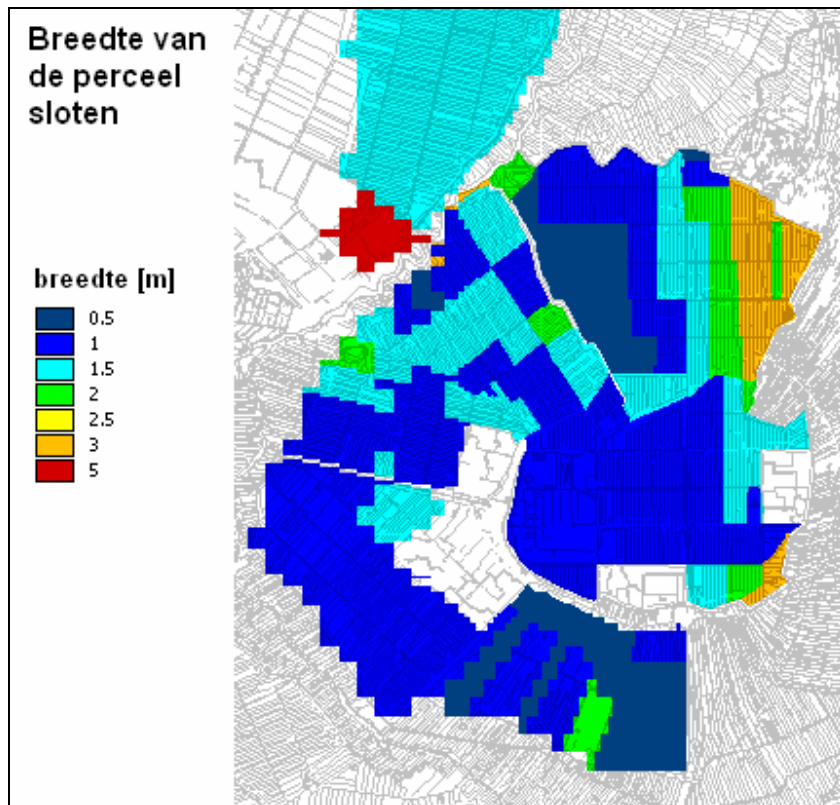


**Figuur 2.28 Ligging van gebruikte bodemprofielen (bron: Waternet)**



De natte omtrek van de hoofdwatgangen is afgeleid uit de dwarsprofielen en de zomer en winterpeilen, die afkomstig zijn van het waterschap.

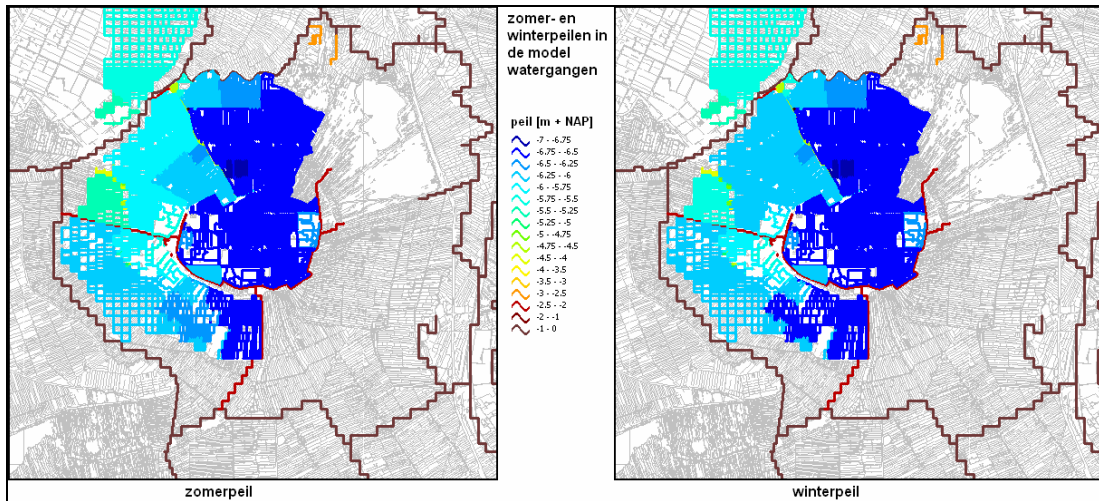
Voor de perceel sloten is een andere methode gehanteerd. Deze sloten zijn alleen opgenomen in het watervoerend pakket 2, alwaar ze wellen of niet wellen. De hoofdwatgangen in de droogmakerijen zijn zowel in de deklaag als in het watervoerend pakket daaronder opgenomen. De breedte (natte omtrek) van de perceel sloten is bepaald op basis van waarnemingen in het veld in combinatie met Google Maps. Figuur 2.29 geeft een overzicht van de in het model ingevoerde waarden.



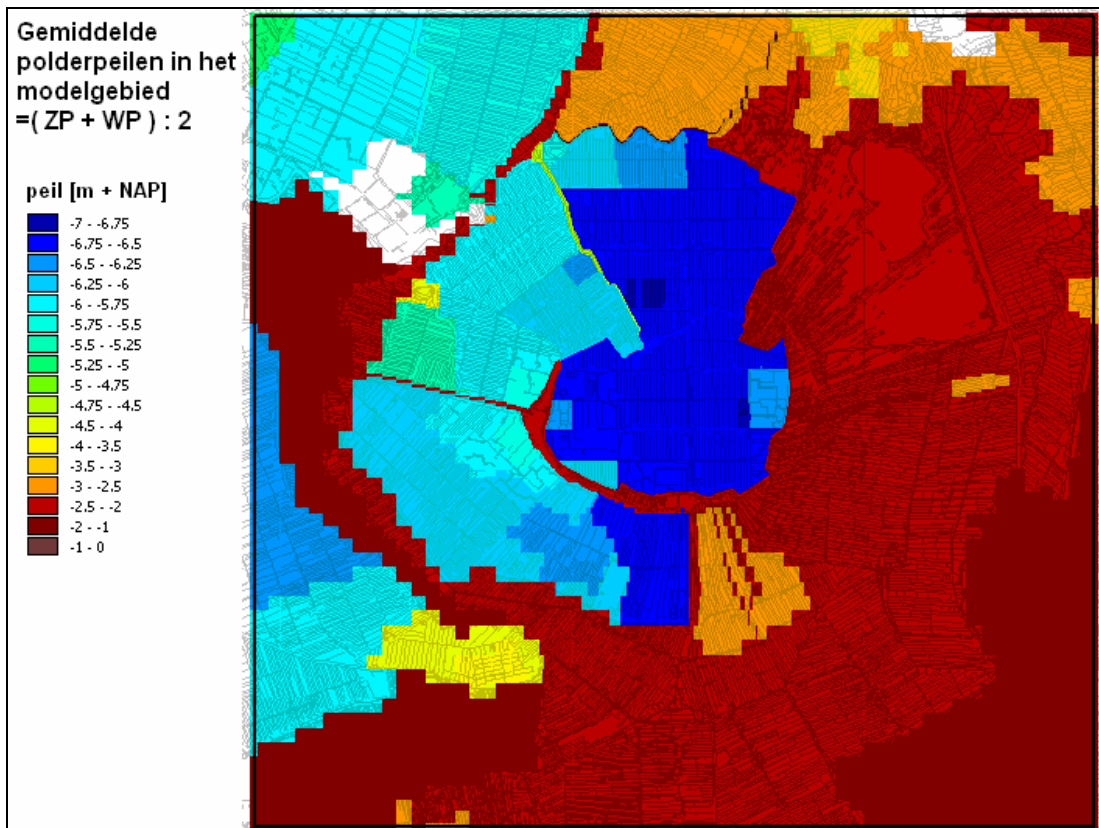
**Figuur 2.29 Ingevoerde breedte van de perceel sloten**

Figuur 2.30 geeft een overzicht van zomer- en winterpeilen van de watgangen die in het model als rivier zijn opgenomen. Bij de niet-stationaire berekeningen is met de zomer- en winterpeilen gewerkt, bij de stationaire berekeningen met het gemiddelde daarvan.

De perceel sloten zijn in het model echter niet als zodanig actief in het eerste watervoerend pakket. De werking van de perceel sloten is opgenomen in het topsysteem. Figuur 2.31 geeft een overzicht van de gemiddelde peilen daarvan. Het betreft de gemiddelde waarden van zomer- en winterpeilen.



Figuur 2.30 Waterpeilen van de model-rivieren

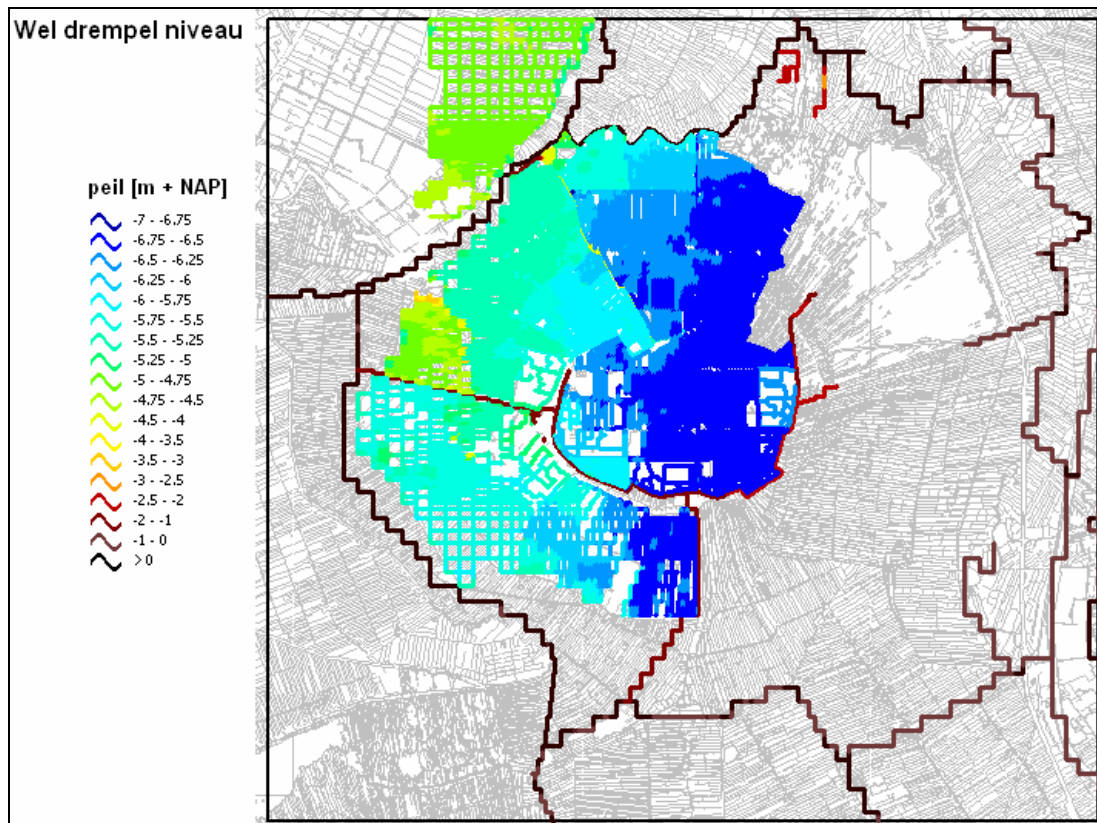


Figuur 2.31 Gemiddelde polderpeilen in het model

De rivieren in het model zijn direct gekoppeld aan het eerste watervoerend pakket in het model (zijnde de deklaag). De weerstand tegen drainage van de rivier naar dit geschematiseerde watervoerend pakket bestaat uit de bodemweerstand van de betreffende watergang. In deze studie is voor deze weerstand 5 dagen aangenomen. De weerstand tegen infiltratie vanuit deze watergangen naar het watervoerende pakket is

10 dagen weerstand + de helft van de natte omtrek van de watergang (in meters). Als een watergang continu infiltreert, kan zich makkelijker een sliblaag op de bodem afzetten, waardoor de weerstand tegen infiltratie hoger wordt. Dit is vooral te verwachten in de wat grotere watergangen, als het Amsterdam – Rijnkanaal en de Vecht. De weerstand tegen infiltratie vanuit de rivier naar het eerste watervoerend pakket is daarom verhoogd met de helft van de natte omtrek van de rivierknoop. Deze aanpak is niet wetenschappelijk onderbouwd, maar blijkt in praktijk (voor dit soort onderzoeken) redelijk te voldoen. De aldus gedefinieerde weerstand tegen infiltratie varieert daardoor in het modelgebied van 10 tot ruim 50 dagen.

De potentieel wellende watergangen zijn in het model actief in het watervoerend pakket onder de deklaag (model watervoerend pakket 2). Slechts de rivieren die deel uitmaken van de boezem (peil NAP – 0.40) en de tussenboezem (peil NAP – 2.15) zijn niet actief in dit watervoerend pakket. Zoals eerder vermeld kunnen de wellen pas actief zijn vanaf een bepaalde stijghoogte in het watervoerend pakket. Met de wellenregel is deze stijghoogte (via calibratie) bepaald. Vervolgens is deze stijghoogte als rivierwaterpeil in het tweede watervoerend pakket (HR2) opgelegd. De weerstand tegen drainage (wellen) naar deze rivieren toe is middels calibratie bepaald op 1.29 d. Omdat we er vanuit gaan dat de wellen niet kunnen infiltreren is de weerstand tegen infiltratie uit deze rivieren oneindig groot ( $10^{20}$  d) gezet.



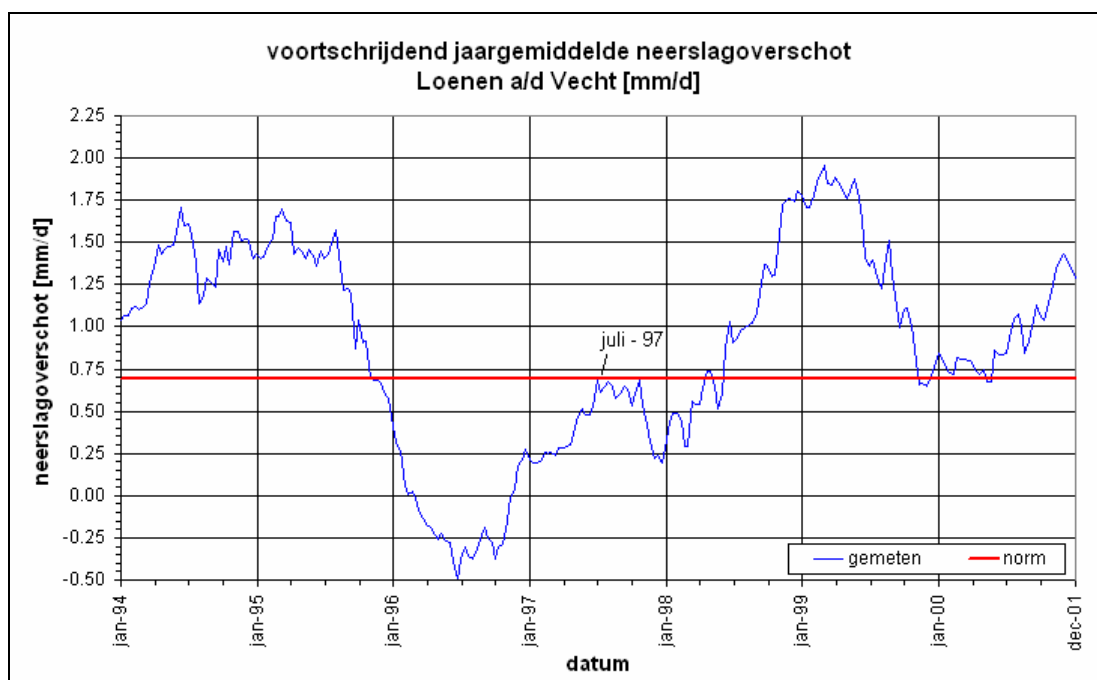
Figuur 2.32 Niveau van de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag

## 2.4.5 Neerslagoverschot

Bij de bepaling van het neerslagoverschot is rekening gehouden met:

- ❖ Neerslaggegevens van 6 meetstations in en rondom het modelgebied (Aalsmeer, Zegveld, Loenen aan de Vecht, Vleuten, Weesp, Abcoude);
- ❖ Verdampingsgegevens van weerstation Schiphol;
- ❖ Bodemgebruik, afgeleid uit de LGN-kaart;
- ❖ Mate van verstedelijking.

Bij dit model zijn de decadegegevens gebruikt van het KNMI over de periode 1993 tot en met 2000. Voor de stationaire situatie is gerekend met de periode augustus 1996 tot en met juli 1997. Het neerslagoverschot in deze periode is nagenoeg gelijk aan het veeljarig gemiddelde neerslagoverschot (de norm). Figuur 2.33 laat dit zien.



**Figuur 2.33 Voortschrijdend jaargemiddelde neerslagoverschot**

Het bodemgebruik is van invloed op de werkelijk optredende verdamping. Het bodemgebruik is middels “gewas”-factoren verdisconteerd in de verdamping. Tabel 1 geeft een overzicht van de gewasfactoren die zijn gehanteerd in dit onderzoek. Het betreft hier ervaringswaarden uitgedrukt t.o.v. de grasverdamping volgens Makkink:

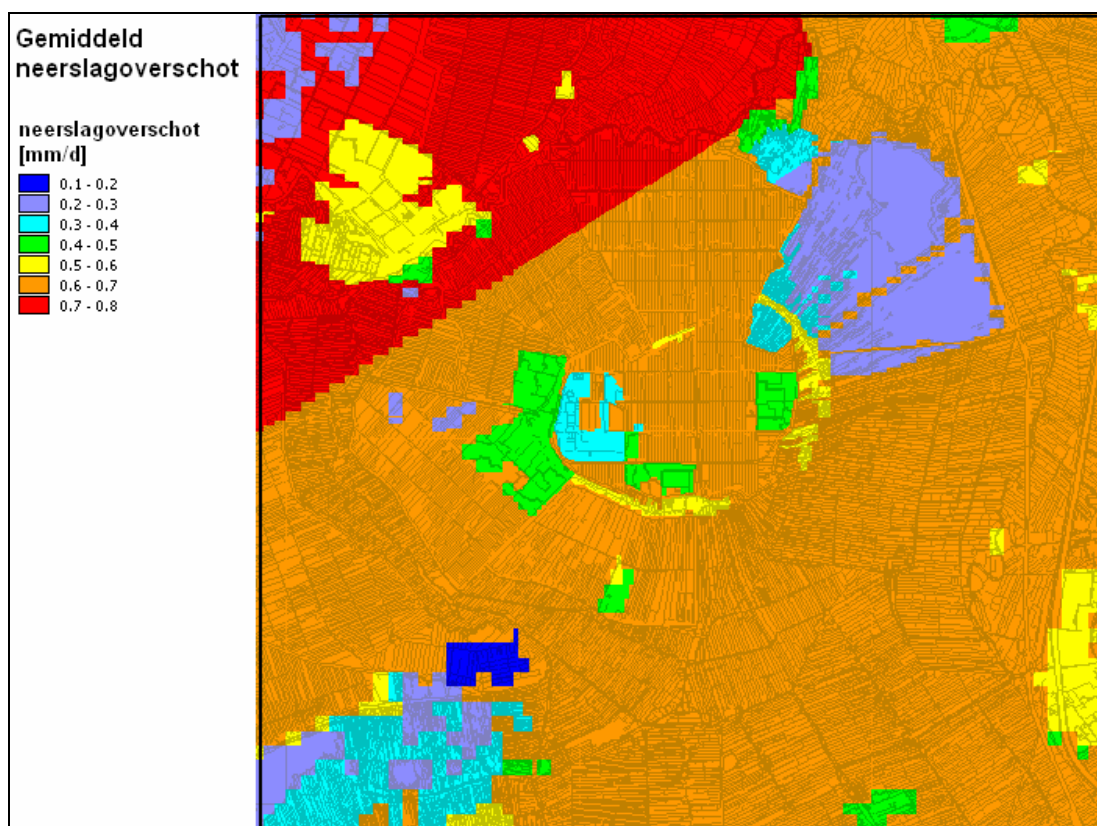
**Tabel 1 Gebruikte waarden van de gewasfactoren**

Bodemgebruik	Gewasfactor
Grasland en verhard gebied	1
Open water	1.25
Natte natuur	1.19



De verdamping in het verharde gebied wordt gelijk gesteld aan de verdamping voor grasland. De hoeveelheid verhard oppervlak wordt verdisconteerd via een (verstedelijkings-) factor over het neerslagoverschot (neerslag – verdamping). Deze factor ligt in het modelgebied meestal tussen de 20 en 30 %. Voor het bedrijventerrein in Groot Mijdrecht is 50% aangehouden, voor de gebieden met kassen 70%. Voor de stedelijke gebieden moet in acht worden genomen dat dit gemiddelde waarden zijn over het totale oppervlak van het bebouwde gebied. Binnen het stedelijk gebied is geen differentiatie aangebracht voor wijken die dichter en minder dicht bebouwd zijn.

Figuur 2.34 geeft voor het modelgebied een overzicht van het gemiddelde (stationaire) neerslagoverschot. Uit deze figuur blijkt, uit de scheiding tussen het rode en oranje gebied, duidelijk de invloed van het gebruik van verschillende neerslagstations.



Figuur 2.34 Neerslagoverschot voor stationaire berekeningen

## 2.4.6 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden zijn middels interpolatie overgenomen uit een stationaire berekening met de vorige versie van het model. Voor het eerste watervoerend pakket, de deklaag is vanwege de lage doorlatendheid van dit pakket uitgegaan van een dichte rand. De modelranden liggen zodanig ten opzichte van het onderzoeksgebied, dat hun invloed daarop waarschijnlijk niet geheel verwaarloosbaar is. Omdat de randvoorwaarden afkomstig zijn uit de vorige (zeer gedetailleerde) versie van het model, en omdat de tussenliggende poldergebieden een sterk dempende invloed op de

stijghoogte in de bovenste watervoerende pakketten hebben, gaan we er vanuit dat het effect van de randvoorwaarden op de resultaten in het onderzoeksgebied verwaarloosbaar klein zijn.

### **2.4.7 Onttrekkingen**

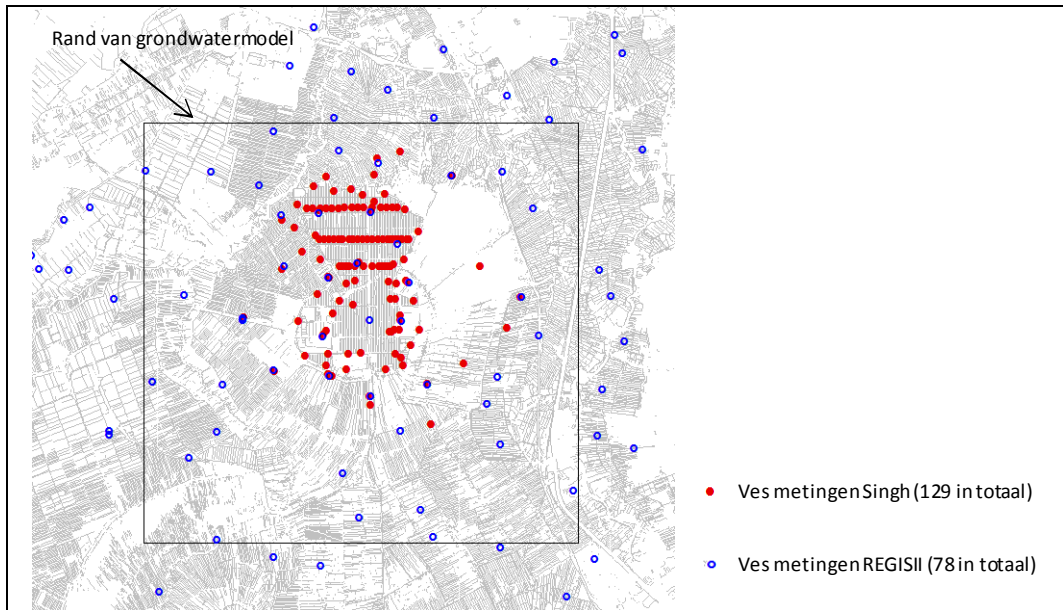
Alle relevante onttrekkingen, die in de periode 1993 t/m 2000 hebben gewerkt, zijn in het model opgenomen. Het betreft slechts een drietal kleine onttrekkingen, waarvan er een in het tweede kwartaal van 1996 al gestopt is. Het maximaal onttrokken debiet bedraagt gemiddeld ongeveer een kwart miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Deze onttrekkingen zijn allen geschematiseerd met een enkele onttrekkingsput. Bij de niet-stationaire berekeningen is gebruik gemaakt van de kwartaalcijfers van de onttrekkingen.

Daarnaast zijn er voor de berekeningen van de strategieën nog een groot aantal putten in het model aangebracht. Bij de model calibratie zijn deze putten niet actief in het model.

## **2.5 zoet-zoutverdeling**

De dichtheid van het grondwater in Groot Mijdrecht en omgeving is gerelateerd aan het zoutgehalte. Een hoger zoutgehalte geeft een hogere dichtheid van het grondwater. Het MODFLOW-SWI-model maakt gebruik van grensvlakken, vlakken met hetzelfde zoutgehalte, en vertaalt dit zelf naar een dichtheid van het grondwater. Het programma biedt de mogelijkheid om het advection transport geautomatiseerd uit te rekenen samen met de grondwaterstroming. Het bepaalt dan met de grondwaterstroming ook de verplaatsing van deze grensvlakken.

Voor het model is de initiële ligging van deze grensvlakken een belangrijke beginvoorwaarde voor de modelberekeningen en berekeningen van de strategieën. Er zijn twee grensvlakken onderscheiden: 500 mg Cl-/l en 5000 mg Cl-/l. Voor beide zijn hoogtes ten opzichte van NAP vastgesteld waarbij uitgegaan is van bestaande gegevens. De belangrijkste basis voor het bepalen van de grensvlakken zijn VES (Vertical Electrical Sounding) metingen. Figuur 2.35 geeft een overzicht van de gebruikte VES metingen. Het betreft een combinatie van de metingen door Singh (Singh et.al., 1990) en metingen die beschikbaar zijn in REGIS-II. Na herinterpretatie en toetsing zijn uiteindelijk 207 VES metingen gebruikt.

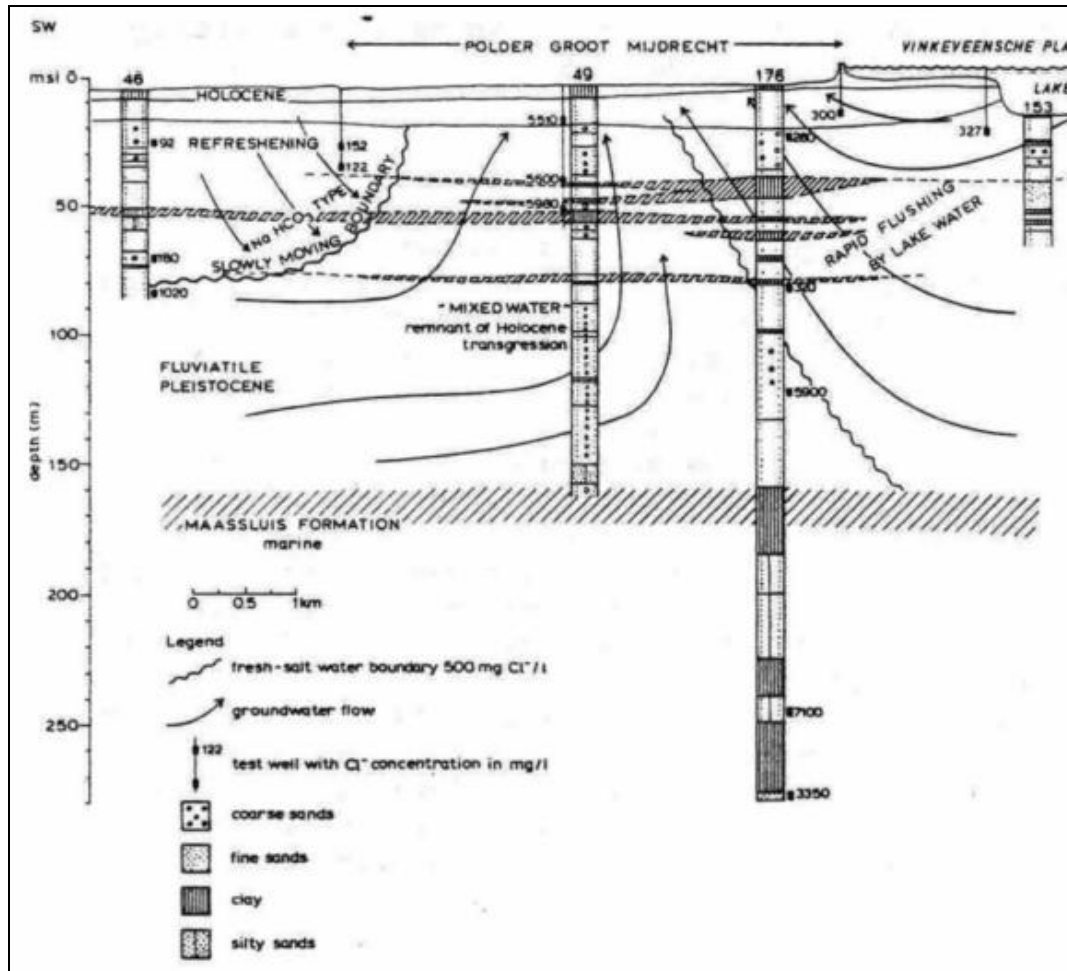


**Figuur 2.35 VES metingen gebruikt voor het ontwikkelen van grensvlakken van gelijke zoutgehalten**

Het eerste beeld dat hieruit is ontstaan, is vervolgens met aanvullende veldmetingen (EC-metingen, geofysica en sonderingen) aangevuld, geverifieerd en verbeterd. Bovendien zijn steunpunten toegevoegd om de zoet-zout overgang consistent te maken met de grondwatersystemen. Figuur 2.36 Geeft een dwarsdoorsnede van het watersysteem (Appelo & Willemsen, 1987). Hierop is te zien dat het zoute grondwater van Groot Mijdrecht van twee kanten begrensd wordt door zoet water. Aan de westkant is een langzame overgang naar zoet water richting Polder Eerste Bedijking. Aan de oostkant is een scherpe overgang naar zoet water ontstaan door het grondwatersysteem met hoge infiltratiefluxen van zoet water vanuit de Vinkeveense Plassen en hoge kwel in het Oostelijk deel van Groot Mijdrecht. Het diepe systeem met oud grondwater, dat in het midden van Groot Mijdrecht opkwelt, bevat zouter water tot een maximum van ongeveer 5500 mg Cl-/l (tot 200 m diepte).

Peilbuis (DINO B31E0176) in het noordoosten van Groot Mijdrecht Noord geeft inzicht in het zoutgehalte op grotere diepte. Beneden de diepte van 200 m loopt het chloridegehalte op tot 7100 mg Cl-/l op een diepte van 250 m. Maar in het filter op 275 m diepte loopt de concentratie terug tot 3100 mg Cl-/l. Dit is een belangrijk gegeven en vertelt iets over de ontstaansgeschiedenis van het brakke water in de ondergrond. De oorzaak van de aanwezigheid van dit brakke water is het binnendringen van de zee ca. 6000 jaar geleden. Daarbij ontstond achter de duinen een soort waddenzee. De grens van deze waddenzee liep dwars door Groot Mijdrecht van noord naar zuid. Zout water is zwaarder dan zoet water. Dit had tot gevolg dat het zeewater door de bodem naar grote diepte is “gezonden”. Dit is de bron van het brakke water in Groot Mijdrecht (Mankor en Ouboter, 2008). Waarbij wordt opgemerkt dat in deze waddenzee het chloridegehalte veel lager was dan de huidige Noordzee en overeenkomt met de waarden die nu in het grondwater worden aangetroffen. Belangrijke conclusie voor de modelstudie is dat er in de omgeving van Groot Mijdrecht slechts op één enkele plek een hogere zoutwaarde worden aangetroffen dan 5500 mg Cl-/l. Daaronder loopt het chloridegehalte echter weer sterk terug. Dat betekent dat er in deze regio geen sprake is van een in de diepte

almaar toenemend zoutgehalte. Dit gegeven wordt bevestigd door analyses uit andere peilbuizen en analyse van beschikbare geofysicametingen als ook aanvullende geofysicametingen uitgevoerd binnen het veldonderzoek.

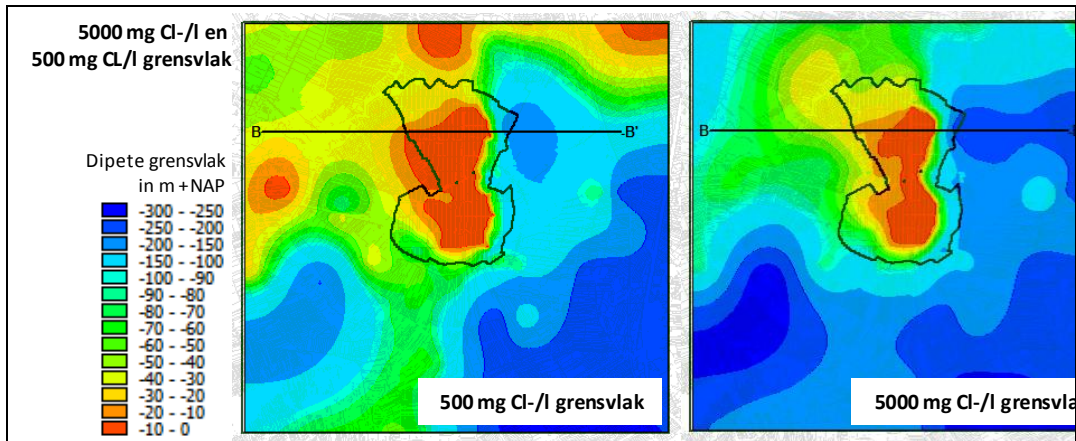


Figuur 2.36 Het grondwatersysteem onder Groot Mijdrecht (bron: Appelo & Willemsen, 1987)

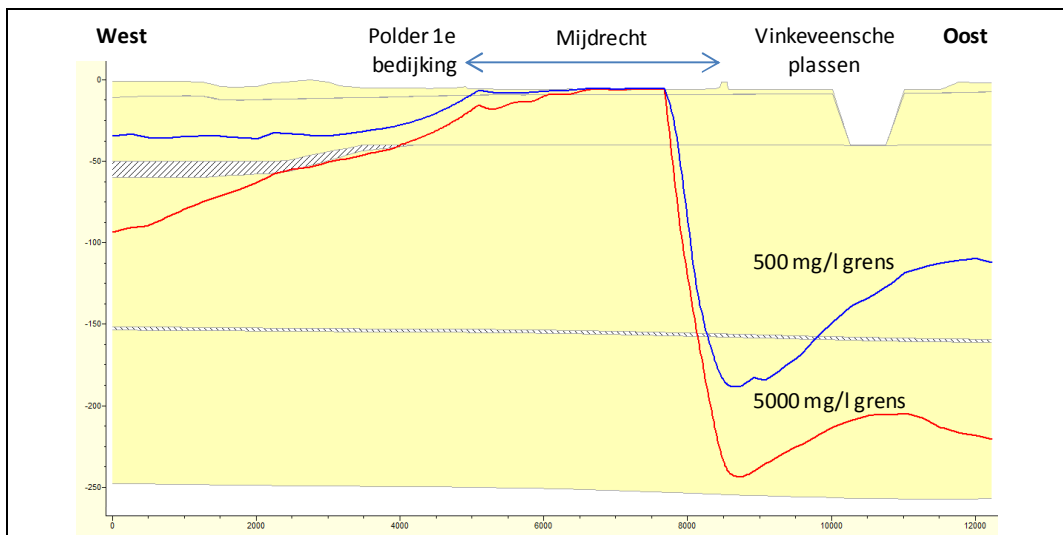
Voor de feitelijke vaststelling van de grensvlakken is begonnen met het grensvlak van 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l. De reden hiervoor is dat dit grensvlak beter is vast te stellen, er zijn meer meetpunten en deze waarde is beter in de VES profielen te lokaliseren. Vervolgens is de dikte van de zone tussen het 5000- en 500-grensvlak bepaald. Het 500-grensvlak is verkregen door deze dikte vervolgens op te tellen bij de hoogte van het 5000-grensvlak. Op deze wijze ligt het 500-grensvlak overal boven het 5000-grensvlak. Dat geeft een consistent beeld, en is bovendien een eis voor Modflow-SWI. Figuur 2.37 geeft een beeld van de aldus resulterende grensvlakken van 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l en 500 mg Cl<sup>-</sup>/l. Figuur 2.38 geeft in een dwarsdoorsnede een beeld van het verloop van de grensvlakken met de diepte.

Het hier verkregen beeld van de twee grensvlakken is vervolgens vertaald naar twee grensvlakken voor elk van de 9 modellen van Modflow-SWI.





Figuur 2.37 5000 mg Cl-/l en 500 mg Cl-/l grensvlak voor Modflow-SWI



Figuur 2.38 West – Oost profiel met de 5000 mg Cl-/l en 500 mg Cl-/l grensvlakken

### 3 Calibratie en betrouwbaarheidsanalyse

De calibratie heeft zich geconcentreerd op het studiegebied. De vorige versie van het grondwatermodel is stationair opgezet en gecheckt en is vervolgens niet-stationair gecalibreerd. De uitkomsten van het model worden echter totaal gedomineerd door de wellen in het gebied. Daarom is het van belang deze goed te calibreren. De calibratie van de huidige versie van het model heeft zich dan ook gefocust op de wellen. De aandacht daarbij ligt met name op de omvang van het niet-wellende gebied dat centraal in het noorden van Groot Mijdrecht ligt. De omvang van dit gebied is bepaald tijdens de uitgebreide meetcampagne, waarvan de resultaten in het veldonderzoeksrapport zijn beschreven.

Verder is “met een schuin oog” gekeken naar het chloridegehalte van het uitgemalen water uit Groot Mijdrecht. Tenslotte is het model gecheckt op de stationair en niet-stationair gemeten stijghoogten. Voor de stationaire check is de gemiddelde situatie

gekozen van een periode, die loopt van augustus 1996 tot en met juli 1997 (zie Figuur 2.33). Bij deze check is gebruik gemaakt van de stijghoogtewaarnemingen van 24 peilbuisfilters. De meeste daarvan bevinden zich in het studiegebied. Voor de niet-stationaire check is uitgegaan van de jaren 1993 tot en met 2000.

De wellen zijn nagenoeg allesbepalend voor de waterhuishouding in dit gebied. Om die reden is voor de ontwikkelde wellenregel een betrouwbaarheidsanalyse uitgevoerd.

### 3.1 Calibratie

Het model is stationair gecalibreerd op de hoeveelheid uitgemaal water uit Groot Mijdrecht. Deze hoeveelheid bedraagt 46.61 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Tijdens de niet-stationaire calibratie van de vorige versie van het model bleek dat de uitgemaal hoeveelheid water een nagenoeg constante waarde bedraagt. De kwel (vooral de wellen) domineert het geheel. Deze kwel (ca. 42 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) varieert nagenoeg niet. Metingen van meer dan honderd jaar geleden (Reintjes, 1902) tonen aan dat deze situatie in grote lijnen al meer dan honderd jaar bestaat.

#### Wellenregel

De wellenregel wordt toegepast met de volgende vergelijking (zie ook paragraaf 2.4.2):

- ❖  $Q = c_{\text{wel}} * (\varphi - h_{\text{wel}})$
- ❖  $h_{\text{wel}} = h_{\text{polder}} + \gamma_{\text{overgewicht}} * f_{\text{wel}}$
- ❖  $\gamma_{\text{overgewicht}} = 0.1 * \text{dikte veen} + 0.6 * \text{dikte klei} + 0.6 * \text{dikte zand}$

Toepassing van deze regel houdt in dat het debiet uit de wellen zich lineair gedraagt. Verder zijn de toe te kennen weerstand aan een wellende cel ( $c_{\text{wel}}$ ) en de welfactor ( $f_{\text{wel}}$ ) bepalend voor respectievelijk de welflux en omvang van het al dan niet wellende gebied. Om vertrouwen te krijgen in de toepasbaarheid is de wellenregel op elk van deze onderdelen getoetst en zijn de termen  $c_{\text{wel}}$  en  $f_{\text{wel}}$  gecalibreerd op basis van bestaande meetgegevens en nieuwe gegevens uit het aanvullende veldonderzoek.

#### Lineaire benadering

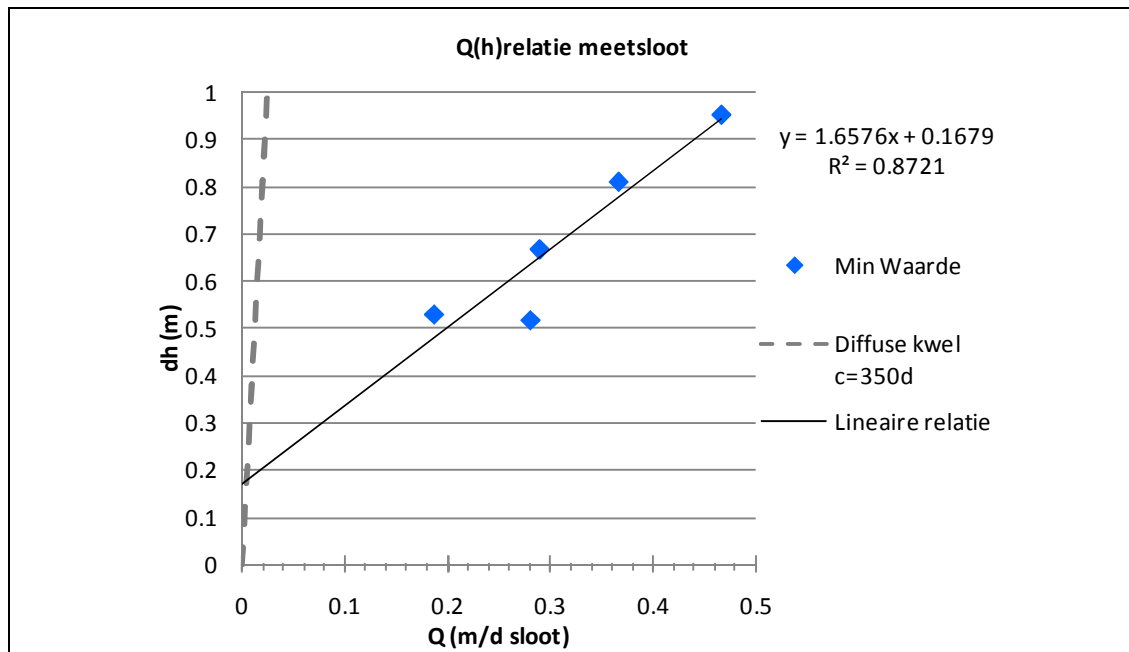
Volgens de wellenregel is de kwelflux lineair afhankelijk van het verschil tussen polderpeil en stijghoogte onder de deklaag en de weerstand. De vraag is of voor wellen, die mogelijk als open kanalen fungeren, die aanname wel opgaat. Als de wellen zich niet-lineair gedragen dan zullen ze ook anders reageren op verwachte veranderingen in polderpeil.

Binnen het aanvullende veldonderzoek is een veldproef uitgevoerd waarbij in een perceelsloot met aantoonbare wellen is een schot geplaatst waarin een v-notch is gemonteerd. Hiermee is het mogelijk directe metingen van de afvoer als gevolg van de kwelflux in de perceelsloot te kunnen meten. Met de v-notch kan het slootpeil worden gevarieerd, en kan de afvoer van de sloot bij het ingestelde slootpeil worden bepaald. De hier gepresenteerde resultaten zijn voorlopig, besloten is de veldproef te continueren om de dataset uit te breiden. Een uitgebreide beschrijving van de veldproef is te vinden in het veldwerkrapport (Acacia water, 2008). We beperken ons hier tot de belangrijkste conclusie die relevant zijn voor het model.

Figuur 3.1 toont de gevonden  $Q(h)$  relatie voor de betreffende perceelsloot. De meetperiode heeft plaatsgevonden in een droge periode. Correctie op de invloed van neerslag op de meetreeks is daarom niet nodig gebleken. Uit de metingen kan worden

afgeleid dat voor de betreffende perceelsloot een lineair verband geldig is tussen het kweldebiet en het peil in de sloot.

Uit de voorlopige resultaten van de veldproef en de theoretische uitwerking kan worden geconcludeerd dat voor het gebied van Groot Mijdrecht een lineaire benadering van de wellen een goede aanname is.



Figuur 3.1 Q(h) relatie uit veldproef in perceelsloot

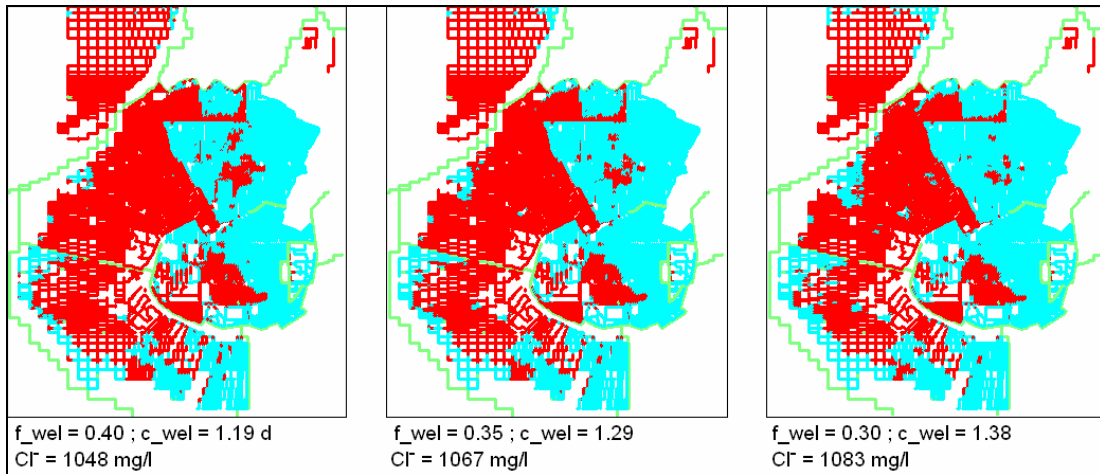
Verder volgt uit deze proef dat de weerstand tegen wellen voor deze sloot ongeveer 1.65 d bedraagt.

### Gevoeligheidsanalyse

Het oppervlak van het wellende gebied blijkt gevoelig voor zowel de welfactor als voor de weerstand tegen wellen. Hoe lager de welfactor (bij gelijkblijvende weerstand) des te groter het wellende gebied. Hoe hoger de weerstand (bij gelijk blijvende welfactor) des te groter het wellende gebied. Voor het zoutgehalte in het uitgemalen water geldt: hoe hoger de welfactor des te hoger het zoutgehalte, en hoe hoger de weerstand des te hoger het zoutgehalte. Welfactor en weerstand kunnen echter niet los van elkaar worden gezien omdat ze alleen in bepaalde combinaties de waterbalans van Groot Mijdrecht sluitend maken.

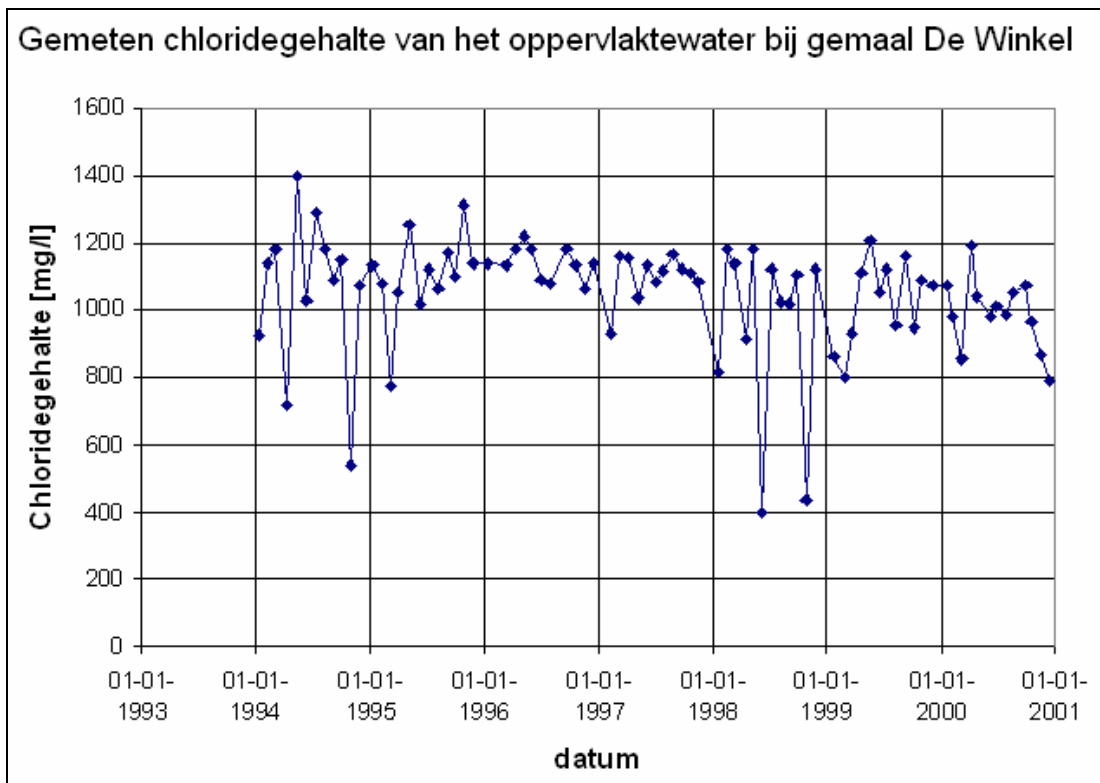
### Calibratieresultaten

Figuur 3.2 geeft voor een drietal combinaties van welfactor en welweerstand een overzicht van het wellende gebied waarvoor de waterbalans bij het gemaal sluitend is. Het linkerplaatje is gemaakt met een wel factor van 0.40 en een weerstand van 1.19 d. Het middenplaatje heeft een wel factor van 0.35 en een weerstand van 1.29 d, en het rechterplaatje een wel factor van 0.30 en een weerstand van 1.38 d.



**Figuur 3.2 Calibratie resultaten: wellend gebied en zoutgehalte uitgemaal water**

Het gat in het wellende gebied in het midden van Groot Mijdrecht Noord (zie Figuur 3.4) is in het linkerplaatje van deze figuur te groot. Daarbij komt dat het berekende zoutgehalte van het uitgemaal water (1048 mg Cl/l) qua orde van grootte goed, maar ten opzichte van de beschikbare meetwaarden aan de lage kant is. Figuur 3.3 laat zien dat de gemeten waarden daarvan gedurende de calibratieperiode rond de 1100 mg/l schommelen.



**Figuur 3.3 Gemeten chloridegehalte van het uitgemaal water**

Voor het rechterplaatje van Figuur 3.2 geldt dat het gat in het wellende gebied in Groot Mijdrecht Noord te klein is. De berekende concentratie van het uitgemalen water (1083 mg Cl<sup>-</sup>/l) lijkt wel beter aan te sluiten bij de gemeten waarden. Het middenplaatje geeft het meest reële resultaat voor wat betreft het wellende gebied in Groot Mijdrecht. Ook buiten deze polder lijkt het wellende gebied plausibel. Hier is echter slechts een beperkte hoeveelheid kwalitatieve informatie over beschikbaar is. Het berekende zoutgehalte in het middenplaatje is iets lager dan het gemeten gemiddelde. In alle gevallen ligt de berekende waarde van de weerstand tegen wellen in dezelfde orde van grootte als de waarde die uit de slootproef komt. Dat geldt overigens ook voor het berekende zoutgehalte.

Het resultaat van de calibratie is:

- ❖ wel-factor = 0.35
- ❖ wel-weerstand = 1.29 d

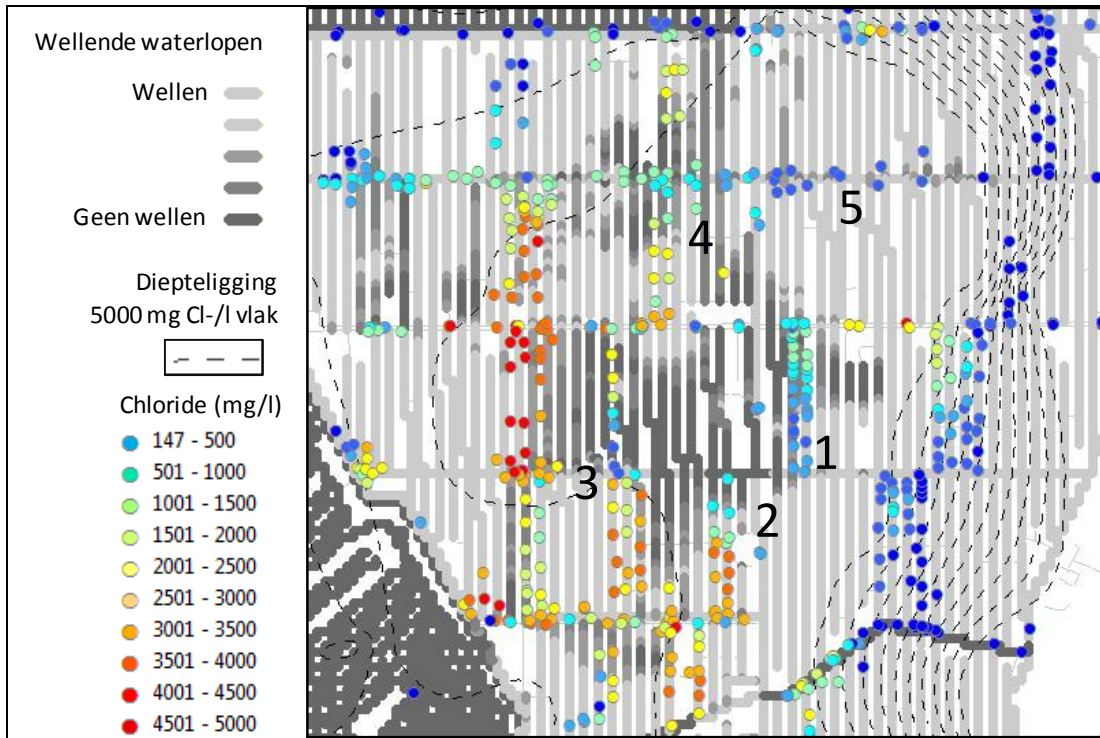
De hier gevonden c-waarde wordt bevestigd door het lineaire verband dat is gevonden voor de Q(h) relatie in de veldproef (Figuur 3.1). Voor de specifieke perceelsloot is een c-waarde afgeleid van 1.6576 dagen. Een gemiddelde waarde van 1.29 dagen voor het gehele modelgebied komt dus redelijk overeen met de waarde die is gemeten in de veldproef.

#### **Omvang van gebied met en zonder wellen in het noorden van Groot Mijdrecht**

In de wellenregel is de welfactor ( $f_{wel}$ ) bepalend voor de omvang van het al dan niet wellende gebied. De calibratie op het uitgemalen debiet en chloridegehalte heeft als optimale waarde voor de welfactor van 0.35 opgeleverd. Het met de wellenregel berekende omvang van het al dan niet wellende gebied is getoetst aan de hand van EC-metingen die zijn uitgevoerd binnen het aanvullende veldonderzoek.

Figuur 3.4 toont voor het centrale deel van het noorden van Groot Mijdrecht een gecombineerde kaart met gemeten chloridegehalten in het oppervlaktewater, de door het model berekende wellende (lichtgrijze) en niet-wellende (donkergrijze) waterlopen, de op metingen gebaseerde diepte contouren van het 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l grensvlak (streepjes lijnen) en de EC-metingen (gekleurde bollen). De EC-metingen zijn vertaald naar chlorideconcentraties. Het betreft EC-metingen in de waterlopen. Hoe roder de kleur des te zouter het water, en hoe blauwer de kleur des te zoeter het water.

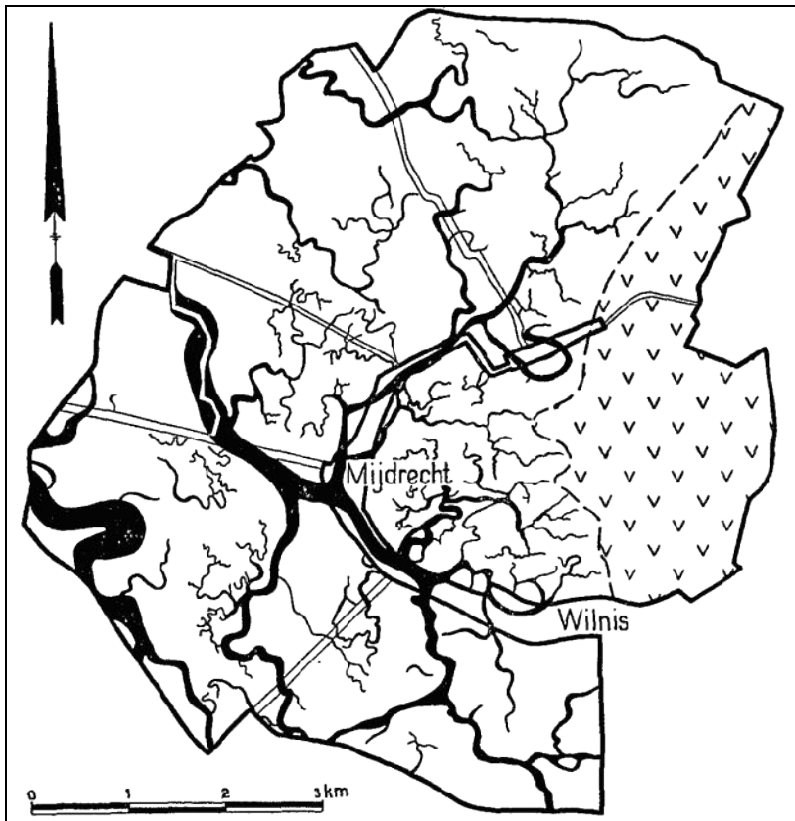




**Figuur 3.4** Overzicht van het calibratieresultaat voor het gebied midden in Groot Mijdrecht Noord

Uit de figuur blijkt dat het berekende niet wellende gebied vrij goed overeenkomt met de zoetere EC-metingen in de perceelsslotsen. De middelste contour van het 5000 mg Cl-/l grensvlak ligt aan de onderzijde van de deklaag. Zout water direct onder de deklaag in combinatie met een relatief zoete perceelssloot duidt op het niet wellen van deze sloot. Locaties 1, 2, 3 en 4 uit Figuur 3.4 zijn hier voorbeelden van. In de oost-west lopende hoofdwatergang aan de rechterbovenzijde van de figuur (locatie 5) worden ook zoete EC-waarden gemeten. Dat betekent in dit geval niet dat hier geen wellen kunnen zijn. De reden van de hier aangetroffen zoete EC-waarden is dat deze watergang grotendeels gevoed wordt door het wellende gebied aan de oostzijde van de polder. Aan de oostzijde van Groot Mijdrecht Noord is de welintensiteit het grootst, maar is het opwellende water zoet. De zoute wellen ter plekke van locatie 5 worden gemengd met een grote hoeveelheid langs stromend zoet water.

De gebieden waar geen of minder wellen optreden komen overeen met de aanwezigheid van oude stroomgeulen. Op deze plekken is de deklaag iets zwaarder dan daarbuiten. Figuur 3.5 geeft een overzicht van de ligging van deze geulen.



Figuur 3.5 Overzicht van de oude stroomgeulen in de omgeving van Groot Mijdrecht

### Check op stationaire stijghoogten

Na de calibratie van het model op de bemaling van Groot Mijdrecht is het model nog een keer stationair gecheckt op de in het model aanwezige peilbuizen. Tabel 2 geeft het resultaat van de stationaire check. De tabel geeft de afwijkingen ten opzichte van de gemeten waarden weer (berekende waarde – gemeten waarde).

Tabel 2 Stationaire afwijkingen (berekende waarde – gemeten waarde) [m]

Aquifer	Aantal filters (aantal brak *)	Gemiddelde afwijking	Gemiddeld absolute afwijking	Minimum waarde afwijking	Maximum waarde afwijking
Alle	24 (6)	-0.04	0.27	-1.03	1.14
1 (deklaag)	6 (0)	0.07	0.34	-0.65	1.14
2	8 (1)	-0.08	0.20	-0.32	0.26
3	4 (1)	-0.00	0.05	-0.10	0.06
4	5 (3)	0.05	0.35	-0.74	0.68
5	1 (1)	-1.03			

\* berekende waarden voor filters die zich onder het grensvlak van 500 mg Cl/l bevinden, zijn omgerekend naar "zoute" stijghoogten

De helft van de waarnemingsfilters bevindt zich in het watervoerend pakket onder de deklaag (aquifer 2 en 3). Van deze 12 filters bevinden zich er 5 binnen de grenzen van de polder Groot Mijdrecht, en 3 op de rand van deze polder. Van peilbuizen met

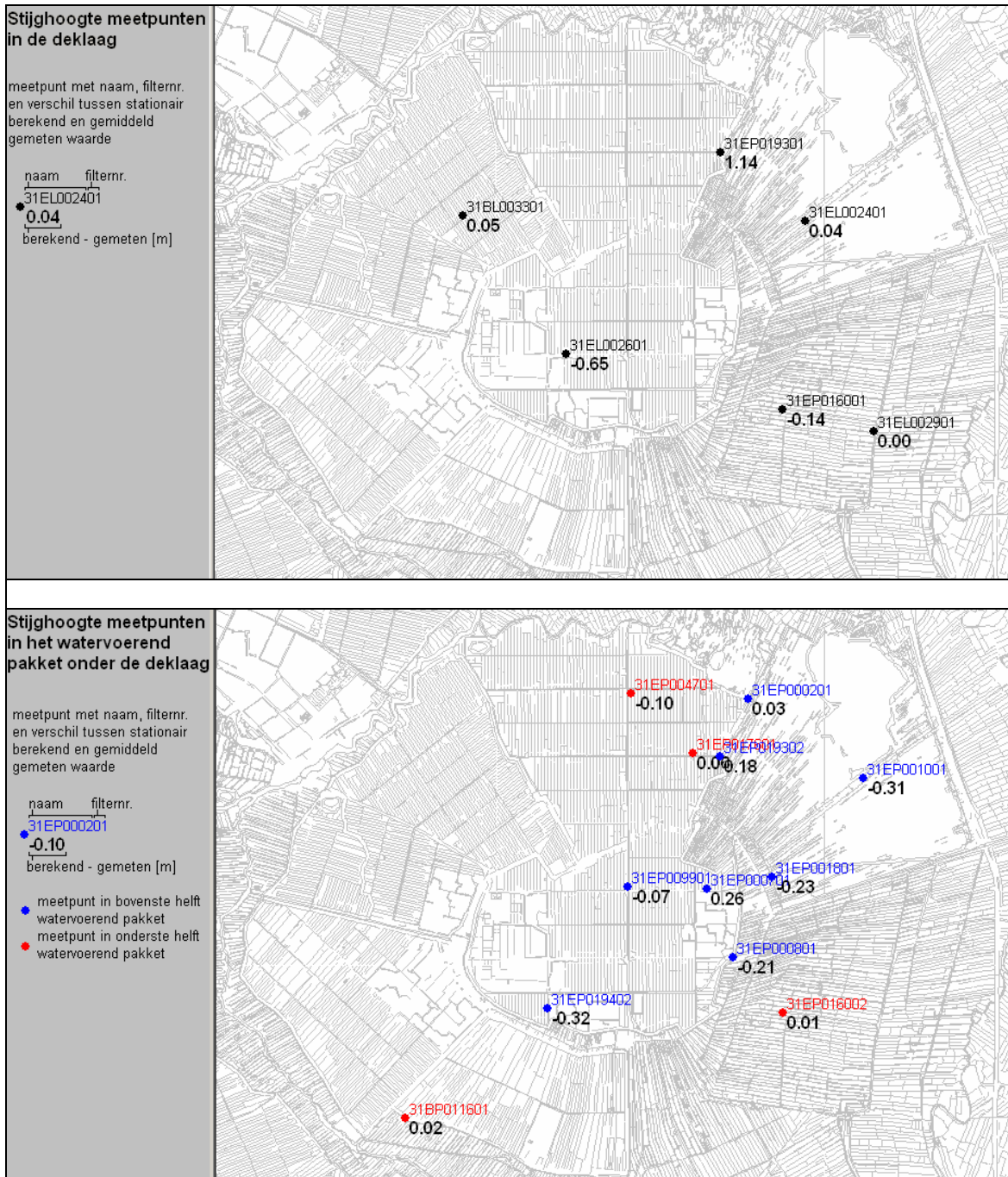
meerdere filters in hetzelfde pakket (2 stuks) is één filter gebruikt. In beide gevallen liggen de verschillen in meetwaarden tussen deze filters in de orde van enkele cm.

Een kwart van de filters bevindt zich in brak tot zout grondwater. Voor deze filters zijn de berekende “zoete” stijghoogten omgerekend naar een stijghoogte die hoort bij de dichtheid van het “zoute” water. Daarbij is uitgegaan van de in het model ingevoerde grensvlakken van 500 en 5000 mg Cl<sup>-</sup> /l. Tussen deze vlakken is een in diepte lineaire verandering van de concentratie verondersteld. Voor de omrekening zijn daarnaast de volgende regels gehanteerd:

- $h_{\text{zout}} = h_{\text{filter}} + (h_{\text{zoet}} - h_{\text{filter}}) / \text{dichtheid}$ , waarin  $h_{\text{filter}}$  de diepte van het filter is.
- concentratie Cl<sup>-</sup> < 500 mg/l → dichtheid = 1
- concentratie Cl<sup>-</sup> > 5000 mg/l → dichtheid = 1.0058

Het maximale verschil tussen de zoete en de zoute stijghoogte treedt op in filter 4 van peilbuis 31EP0176, en bedraagt 1.41 m. Dit filter ligt op ca. 250 meter onder maaiveld, in het onderste watervoerend pakket. De berekende stijghoogte in dit pakket wordt sterk bepaald door de randvoorwaarden die voor dit pakket in het model zijn opgenomen. Deze randvoorwaarden zijn afgeleid uit gemeten stijghoogten en daarvan afgeleide isohypse patronen. Er bestaat een gerede kans dat het water in (een deel van) deze meetfilters een hogere dichtheid heeft dan zoet water. In dat geval zijn de waarden van de ingevoerde “zoete” randstijghoogten te laag gekozen. Dit is een constatering achteraf, die verder niet is gecheckt, omdat het effect hiervan op het wellende systeem in de bovenlaag van het model verwaarloosbaar is.

Figuur 3.6 geeft een overzicht van deze stationaire check voor de peilbuizen in de deklaag en in het watervoerend pakket daar direct onder. Dit watervoerend pakket is in het model gesplitst in twee helften. Daarom is in de figuur onderscheid gemaakt tussen filters in de bovenste en filters in de onderste helft van het pakket. De blauwe punten liggen in de bovenste helft van het pakket, de rode in de onderste helft.

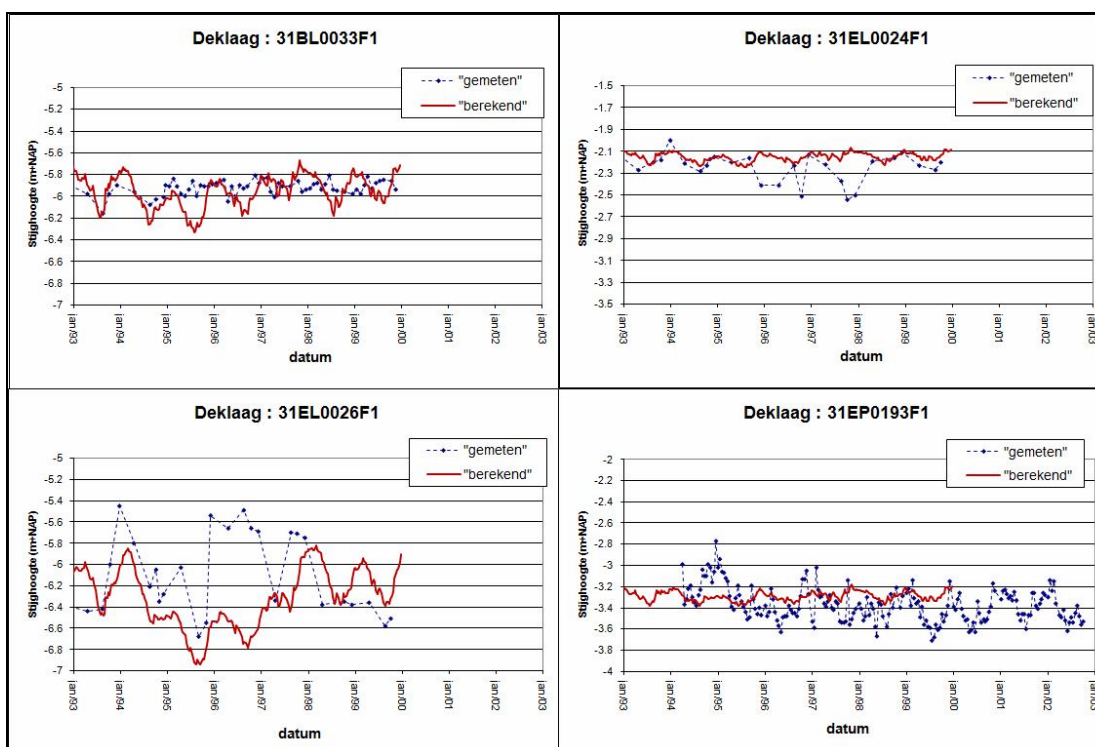


**Figuur 3.6 Stationaire check voor de peilbuisfilters in de bovenlagen van het model**

In de figuren zijn de omgerekende “zoute” stijghoogten weergegeven. Deze verschillen echter alleen in de peilbuizen 31EP004701 en 31EP009901 van de “zoete” stijghoogten. In peilbuis 47 is de “zoete” stijg­hoogte 15 cm hoger, in peilbuis 99 is de “zoete” stijg­hoogte 7 cm hoger.

### Check op niet-stationaire stijghoogten

De doelstelling voor de niet-stationaire berekeningen is het vaststellen van de GxG. De Vergelijking van de berekende waarden met de gemeten waarden is daarom beperkt tot meetpunten in de deklaag. Er liggen twee meetpunten in Groot Mijdrecht met een filter in de deklaag. Een van deze meetpunten ligt midden in het zuidelijke deel van de polder (EL0026). Het andere meetpunt (31EP0193) ligt op de rand van de polder en de Vinkeveense Plassen. Uit de gemeten waarden van dit laatste punt (schommelend rond NAP – 3,40 m) blijkt dat de invloed van het waterpeil van de Vinkeveense Plassen (NAP – 2,15 m) meer invloed heeft op deze buis dan het waterpeil in de polder (NAP – 6,70 m). Dit duidt erop dat dit punt dichterbij de Plassen dan bij de eerste poldersloot ligt. Figuur 3.7 geeft een vergelijking tussen de berekende en gemeten stijghoogten van deze twee meetpunten in Groot Mijdrecht.



**Figuur 3.7 Niet-stationaire vergelijking met freatische meetpunten nabij (boven) en in (onder) Groot Mijdrecht**

Peilbuis 31BL0033F1 ligt in de polder 1<sup>e</sup> bedijking. Het model geeft een redelijke overeenkomst met de gemeten waarden. De fluctuatie van het model is echter wat groter dan wat wordt gemeten. Peilbuis 31EL0024F1 ligt in het gebied van de Vinkeveense Plassen. Ook hiervoor geldt dat het model de hoogte van de grondwaterstand goed wordt gesimuleerd. Het model lijkt een wat kleinere fluctuatie te berekenen, waarbij dit verschil met name in de jaren 1996-1998 optreedt en niet direct kunnen worden verklaard.

Peilbuis 31EP0193 ligt net buiten de polder Groot Mijdrecht, op de dijk tussen twee gebieden met een verschil in polderpeil van ruim 4,5 meter. Ondanks dit grote peilverschil heeft het model de waarde redelijk goed berekend. De fluctuatie van de grondwaterstand is in werkelijkheid overigens wat groter (orde 40 cm) waar het model



een fluctuatie van orde 20 cm berekend. Dit is te verklaren dat de betreffende rekencel blijkbaar sterk wordt beïnvloed door het peil in de Vinkeveense Plassen.

Peilbuis 31EL0026 bevindt zich in Mijdrecht Zuid. De fluctuatie van de grondwaterstand komt redelijk goed overeen, maar ligt in het algemeen enkele decimeters lager dan de gemeten waarden. Waarbij wordt opgemerkt dat afwijking van de berekende waarden en de gemeten waarden in de periode na 1996 niet direct kunnen worden verklaard. Het lijkt erop dat lokaal het waterpeil is opgezet in deze periode.

Naast een vergelijking met metingen in peilbuizen heeft een toetsing plaatsgevonden op basis van de berekende GxG en enkele recente metingen in het veld. Het betreft metingen die zijn uitgevoerd door TAUW (in opdracht van de provincie Utrecht) waarbij voor een aantal locaties gaten zijn geboord op een moment dat de grondwaterstand hoog is (verondersteld ongeveer overeen te komen met de GHG). Hetzelfde is gedaan voor een GLG situatie maar deze gegevens waren nog niet beschikbaar. Daarnaast is binnen in het parallel aan de modellering uitgevoerde aanvullende veldwerk op een tweetal percelen enkele weken de grondwaterstand gemeten. Het betrof een periode met vrijwel geen neerslag en deze waarden kunnen worden vergeleken met het door het model berekende GLG waarde. Tabel 3 geeft een overzicht van de gemeten en berekende waarden.

**Tabel 3 Gemeten grondwaterstanden in maart vergeleken met berekende GHG waarden. Gemeten laagste grondwaterstanden in periode mei-juni 2008 op twee percelen in Mijdrecht Noord vergeleken met berekende GLG.**

Boornummer	X	Y	gemeten grondwaterstand -cm mv	datum meting boorgat	AHN 25 * 25 m gefilterd	berekende GHG cm -mv	berekende GLG cm -mv	Maaiveld o.b.v. AHN in model	locatie in Mijdrecht	Verskil cm mv (GHG)	Verskil NAP (GHG)
2013	119004.555	472180.759	5	18/03/2008	-522	45	89	-524	1e bedijking	40	-42
2015	120030.104	473077.101	14	18/03/2008	-505	44	90	-535	Mijdrecht Noord	30	-60
2016	120830.506	473001.248	20	18/03/2008	-542	22	71	-569	Mijdrecht Noord	2	-29
2020	120810.779	470625.384	58	18/03/2008	-509	57	108	-533	1e bedijking	-1	-23
2022	120951.664	469823.738	14	18/03/2008	-609	21	76	-635	Mijdrecht Zuid	7	-33
2023	123443.172	468017.722	37	14/03/2008	-161	39	68	-168	Mijdrecht Zuid	2	-9
2027	123328.158	472943.232	14	14/03/2008	-548	91	141	-561	Mijdrecht Noord	77	-90
Boornummer	X	Y	gemeten grondwaterstand -cm mv	datum meting boorgat	AHN 25 * 25 m gefilterd	berekende GHG cm -mv	berekende GLG cm -mv	Maaiveld o.b.v. AHN in model	locatie in Mijdrecht	Verskil cm mv (GLG)	Verskil NAP (GLG)
raai 1	123596	472688	70	16/05/2008	nvt	101	151	-551	Mijdrecht Noord	81	-
raai 2	121726	470955	68	13/05/2008	nvt	27	86	-623	Mijdrecht Noord	18	-

In de laatste twee kolommen is het verschil gegeven tussen de gemeten en berekende waarden. Voor de GHG geldt dat indien gekeken wordt naar de waarden ten opzichte van maaiveld dat de berekende GHG over het algemeen lager zijn. De meeste waarden komen goed overeen met uitzondering van meetpunten 2013, 2015 en 2027. Voor de twee meetpercelen geldt een vergelijkbare conclusie. Over het algemeen berekent het model een te lage GLG ten opzichte van de waargenomen waarden.

Opgemerkt wordt dat de GxG wordt bepaald op een langere periode van jaren en de gemeten waarden momentopnamen zijn. Teven is het maaiveld voor de meetpunten van TAUW gebaseerd op een 25x25 AHN en in het model een 5x5 AHN is gebruikt. Ten slotte betreft het hier een toetsing achteraf. De meetgegevens waren bij het calibreren van het model nog niet beschikbaar. De enige conclusie die daarom kan worden

getrokken is dat op basis van deze metingen het model voor enkele delen van de polder een wat te lage grondwaterstand berekend.

### **Zoet/zout grensvlakken.**

De dichtheidsverschillen in het grondwatermodel zijn geïmplementeerd in het SWI 'package' van MODFLOW (Bakker & Schaars, 2004). Het model houdt bij de berekening van grondwaterstroming nu dus rekening met verschillen in dichtheden. Dichtheden worden bepaald op basis van chlorideconcentraties die gedefinieerd worden op basis van grensvlakken met een gelijke chlorideconcentratie. In het model is gebruik gemaakt van twee grensvlakken:

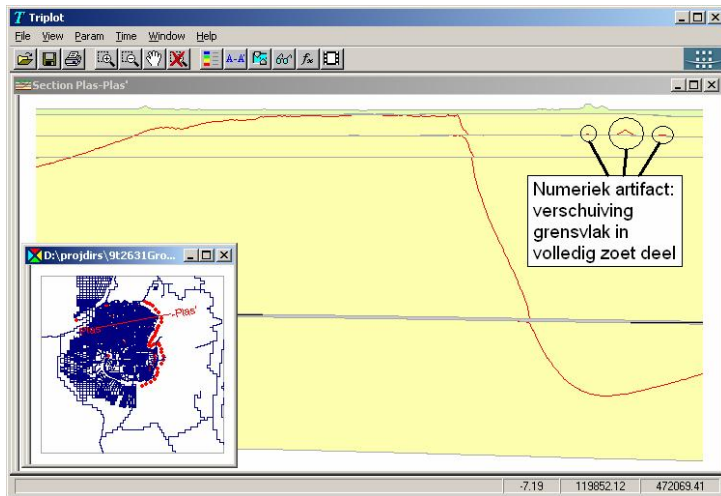
- ❖ het grensvlak met een concentratie van 500 mg Cl-/l;
- ❖ het grensvlak met een concentratie van 5000 mg Cl-/l.

Tussen deze grensvlakken wordt de dichtheid door lineaire interpolatie bepaald. Boven het 500 mg Cl-/l grensvlak is aangenomen dat het water zoet is en aan het grondwater dat zich onder het grensvlak van 5000 mg Cl-/l bevindt is een dichtheid gekoppeld behorende bij 5000 mg Cl-/l.

De grensvlakken moeten voor het SWI-package worden gedefinieerd in elke modellaag. Daar waar het werkelijke grensvlak zich boven de laag bevindt moet deze in de invoer gelijk gesteld worden aan de bovenkant van de laag, en als het grensvlak zich in werkelijkheid onder de laag bevindt moet deze op dezelfde hoogte als de bovenkant ingevoerd worden. Voor MODFLOW is een volledig driedimensionale schematisatie gebruikt, wat betekent dit dat de watervoerende pakketten en scheidende lagen beide als modellaag zijn onderscheiden en dat daarvoor grensvlakken ingevoerd zijn. Dat houdt automatisch in dat:

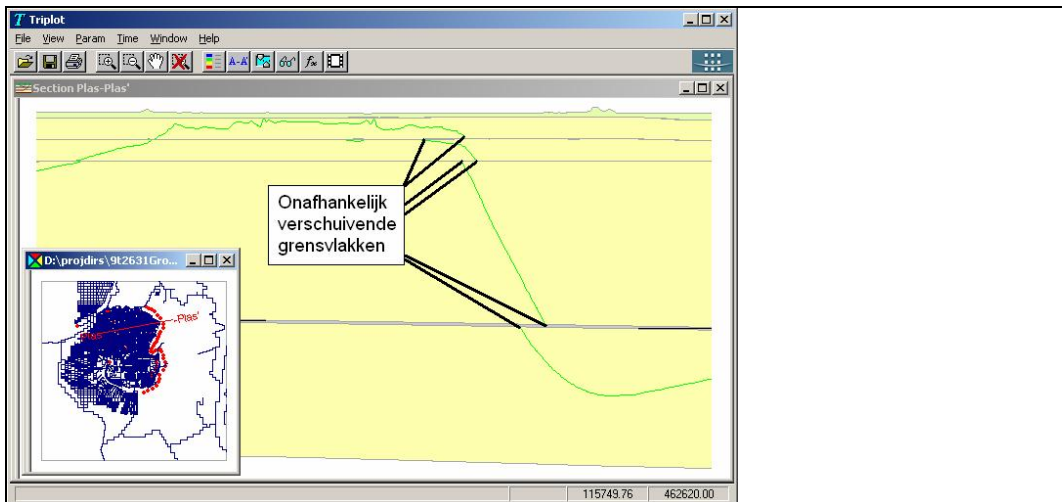
- ❖ in de meeste modellen de grensvlakken aan de onder- of aan de bovenkant van de modellaag liggen;
- ❖ er numerieke artefacten ontstaan als in het programma op deze plekken de grensvlakken niet exact gelijk zijn aan de hoogten van boven- of onderkant;
- ❖ de grensvlakken in de lagen onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen en de 'teen' van het grensvlak in de ene laag kan verschuiven ten opzichte van het uiteinde van het grensvlak in de laag er onder.

De numerieke artefacten worden getoond in figuur Figuur 3.8. Er ontstaat brak water in een volledig zoete zone bij de Vinkeveense Plassen.



**Figuur 3.8 Grensvlak artefacten: ontstaan brak water in zoete deel door numerieke onnauwkeurigheid**

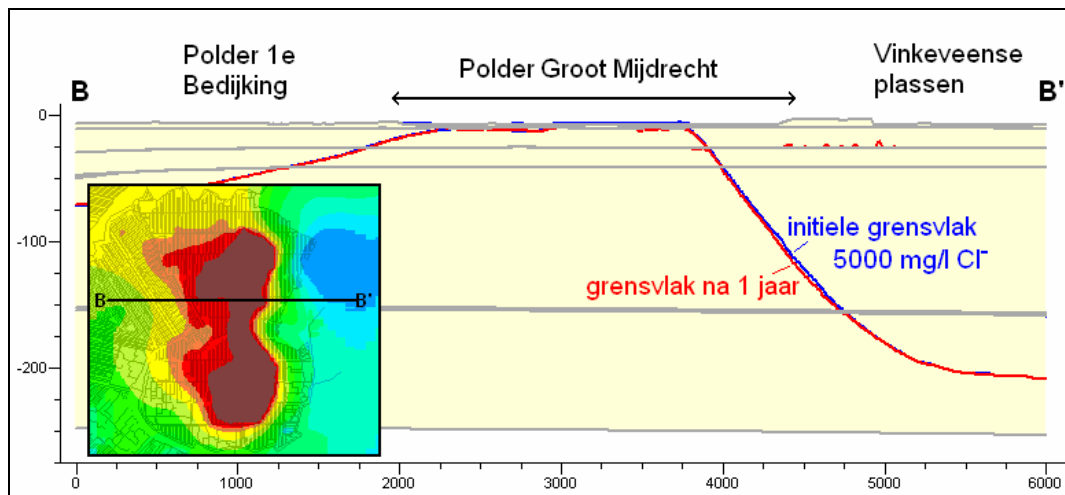
Het laatste punt maakt dat de verplaatsingen van de rekengrensvlakken per laag niet goed te vertalen naar een verplaatsing van het werkelijke grensvlak en veranderingen van het chloridegehalte in de kwel en de wellen (zie figuur Figuur 3.9). Bovendien bleek tijdens de berekeningen van de strategieën dat de gehanteerde methode (MODFLOW SWI) instabiel is als de tijdstappen niet klein genoeg gekozen worden. De vereiste tijdstap is zo klein dat de doorlooptijd van de berekeningen te groot is om in dit onderzoek toe te kunnen passen.



**Figuur 3.9 Grensvlak artefacten: onafhankelijk bewegende grensvlakken per laag**

Figuur 3.9 illustreert het onafhankelijk verschuiven van de grensvlakken in opeenvolgende lagen. In deze figuur is nu een artefact in het zoute deel onder Groot Mijdrecht te onderscheiden. Hier is binnen het zoute gebied een klein zoet belletje ontstaan.

Om te controleren of voor situaties waarbij de fluxen vrij constant zijn, de optredende problemen kleiner zijn, is de huidige situatie nader bekeken. Figuur 3.10 geeft voor dezelfde doorsnede de berekende verplaatsing van het grensvlak van 5000 mg Cl-/l onder de conditie dat de huidige hydrologische situatie in het komende jaar niet verandert.



**Figuur 3.10 Grensvlak 5000 mg Cl-/l huidige situatie: initiële ligging en berekende ligging na 1 jaar**

Uit deze berekening blijkt dat de ligging van dit grensvlak in de huidige situatie rond Groot Mijdrecht redelijk stabiel is. Verder lijkt het erop dat de gekozen uitgangssituatie (de modelinvoer) goed gekozen is.

Door de numerieke problemen, de vereiste kleine tijdstappen en lange rekentijden, en de onafhankelijk bewegende grensvlakken per laag kan MODFLOW SWI niet gebruikt worden om lange termijnvoorspellingen te doen over veranderingen van de zoet-zoutverdeling in de ondergrond op lange termijn.

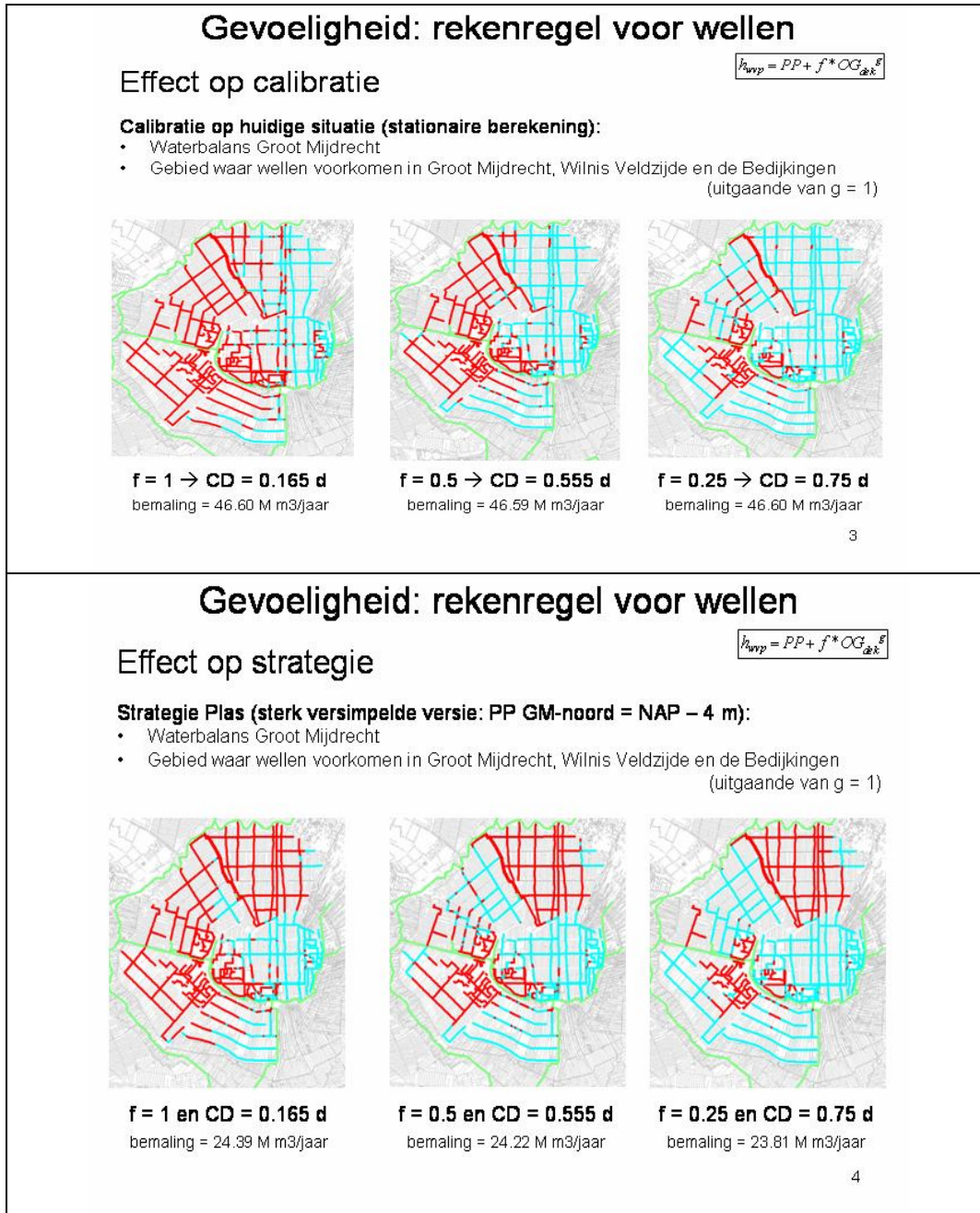
### 3.2 Betrouwbaarheidsanalyse

De huidige modelschematisatie bevat twee belangrijke uitbreidingen ten opzichte van de vorige versie van het model (WL | Delft Hydraulics, 2007). De wellen worden nu beschreven met een wellenregel met een welfactor voor het optreden van wellen. Het huidige model simuleert ook de invloed op de grondwaterstroming van het zout in de ondergrond. Deze paragraaf bevat een gevoeligheidsanalyse van deze twee uitbreidingen.

Om vast te kunnen stellen wat het effect van de keuze van de welfactor op de betrouwbaarheid van de resultaten heeft, zijn met een sterk vereenvoudigde versie van het huidige model een aantal berekeningen uitgevoerd voor een sterk vereenvoudigde maar toch ingrijpende strategie. Voor deze aanpak is gekozen uit tijdoverwegingen. De resultaten zijn echter bruikbaar, en vertaalbaar naar het huidige model.

Figuur 3.11 geeft het resultaat van deze analyse. Uit de resultaten blijkt dat grote variaties in welfactor (en bijbehorende welweerstand) relatief kleine invloed heeft op de

beoogde effecten van de strategie: het terugdringen van de hoeveelheid bemaling uit Groot Mijdrecht.



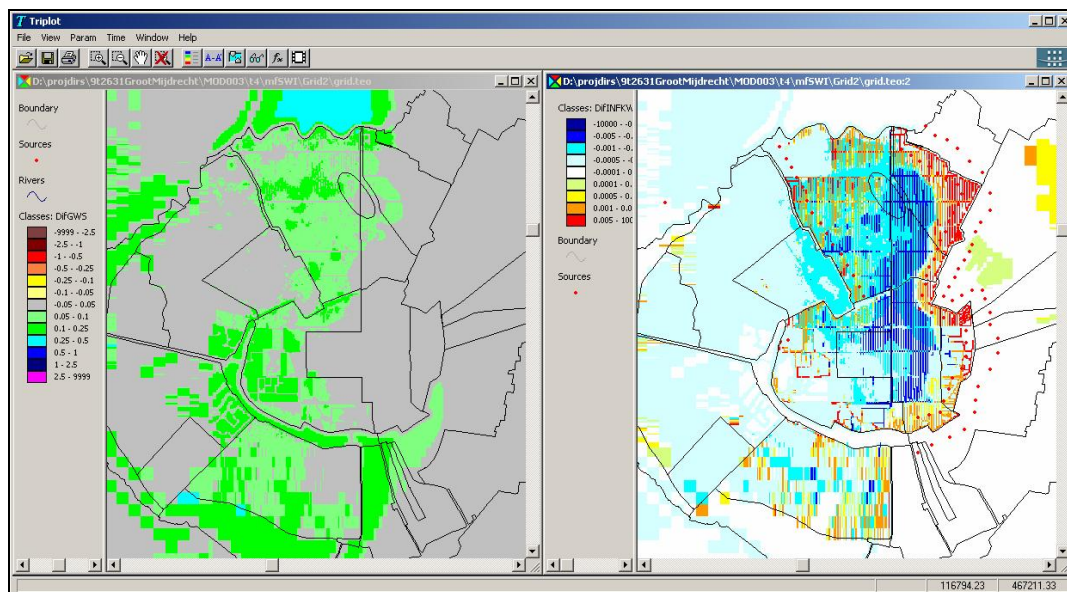
**Figuur 3.11** Effect van de keuze van wel factor op de strategie

Op basis van het nieuwe model zijn berekeningen uitgevoerd zonder dichtheidsverschillen in het grondwater. Bij deze berekeningen zijn de welfactor en weerstand van de wellen zodanig aangepast dat de totale kwel in Groot Mijdrecht en het wellend gebied overeenkomen met het huidige model.



De 'zoete' waarden voor de welfactor en -weerstand blijken 0,8 en 1,6 d te zijn (in plaats van 0,35 en 1,29 d). Figuur 3.12 geeft de verschillen in 'zoete' grondwaterstand en kwel t.o.v. het huidige model. De grondwaterstand in de 'zoete' berekening is ongeveer 10 cm hoger in het Westelijk deel van Groot Mijdrecht. Hier ligt het grensvlak van 5000 mg/l relatief hoog. In het Oostelijk deel is weinig invloed doordat het grensvlak hier dieper ligt en de wellen meer controle uitoefenen. Buiten Groot Mijdrecht is de 'zoete' grondwaterstand in de Ronde Hoep sterk ongeveer 30 cm hoger. Hier is de kwelflux in de gevoeligheidsberekening niet gecompenseerd zoals in Groot Mijdrecht. Bovendien zijn hier geen wellen gemodelleerd.

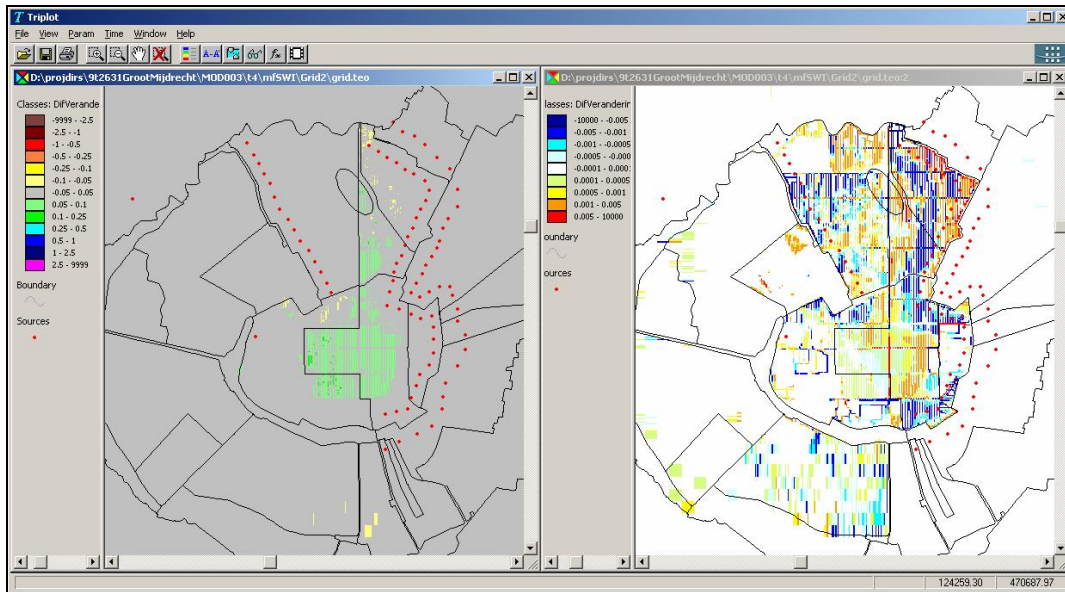
De 'zoete' verdeling van de kwel binnen Groot Mijdrecht is duidelijk veranderd. Het extra gewicht van het zout in het centrale deel houdt hier de kwel nu niet tegen zodat de kwel enkele millimeters per dag groter is. Dit wordt gecompenseerd door de lagere kwel bij de randen van de polder.



**Figuur 3.12 Invloed uniforme i.p.v variabele dichtheid op berekende gws en kwel**

Ook is een zoete berekening uitgevoerd voor de Strategie 'Plan de Venen'. Figuur 3.13 geeft de verschillen in berekende grondwaterstand – en kweleffecten. De 'zoete' verandering van de grondwaterstand is ongeveer 5 tot 10 cm hoger voor de cellen met sloten in Groot Mijdrecht Zuid. Dit hangt samen met de verschillen in welweerstand. De 'zoete' kwelinvloed laat een complexere verdeling zien door het gecombineerde effect van de dichtheid en de welweerstand. De verandering van de totale hoeveelheid kwel voor Groot Mijdrecht wordt zoet ongeveer 10% hoger berekend.

De toevoeging van de variabele dichtheid aan het modelconcept heeft dus enige verfijning in de berekende resultaten opgeleverd.

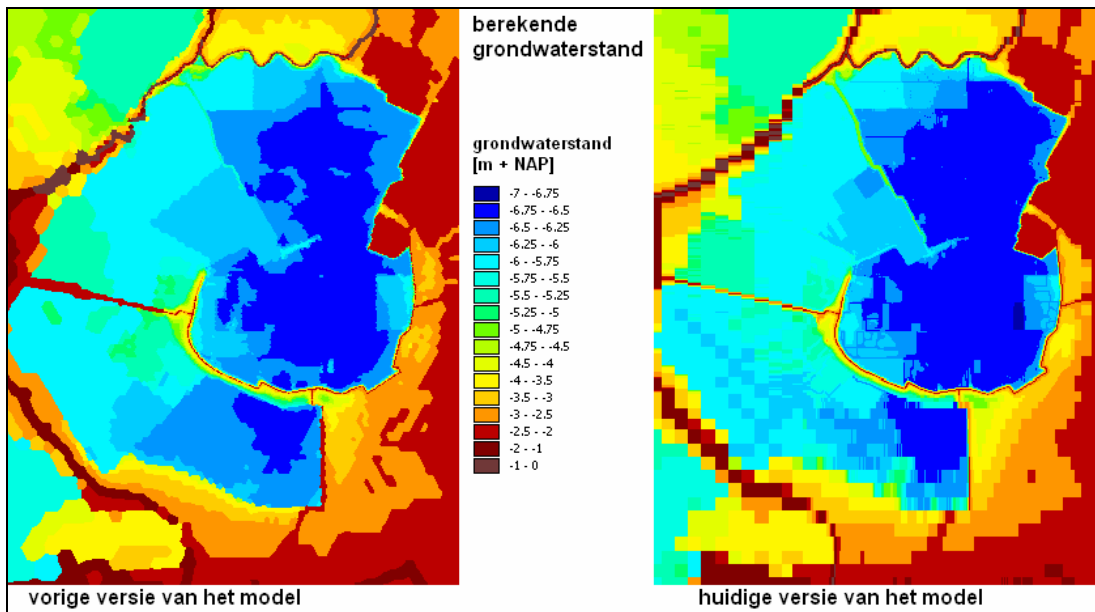


Figuur 3.13 Invloed uniforme i.p.v variabele dichtheid op gws- en kwel verandering PdV

## 4 Vergelijking met oude model

Om te achterhalen wat de invloed van de nieuwe modellering met verbeterde wellen en met dichtheidsinvloeden is op de berekeningsresultaten worden hieronder een aantal berekeningsresultaten van het huidige model met de vorige versie (WL | Delft Hydraulics, 2007) vergeleken.

Figuur 4.1 geeft voor beide versies van het model de berekende stationaire grondwaterstand in de huidige situatie. Figuur 4.2 doet hetzelfde voor de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag. Figuur 4.3 geeft voor de huidige situatie de berekende kwel en wegzijgingsfluxen weer voor beide modelversies.

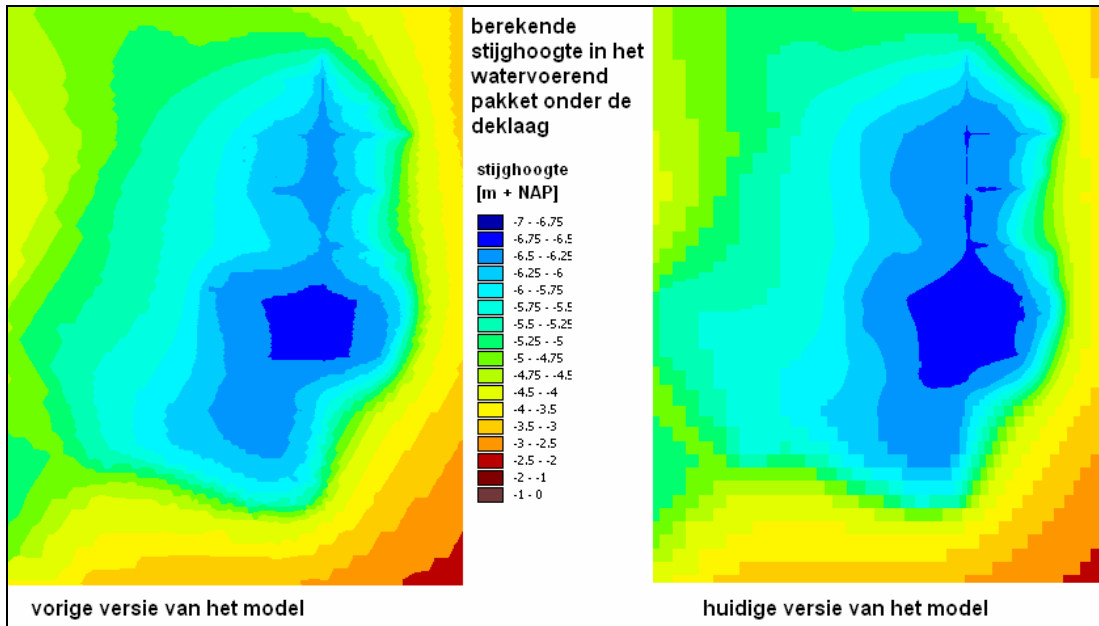


**Figuur 4.1 Grondwaterstand berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts)**

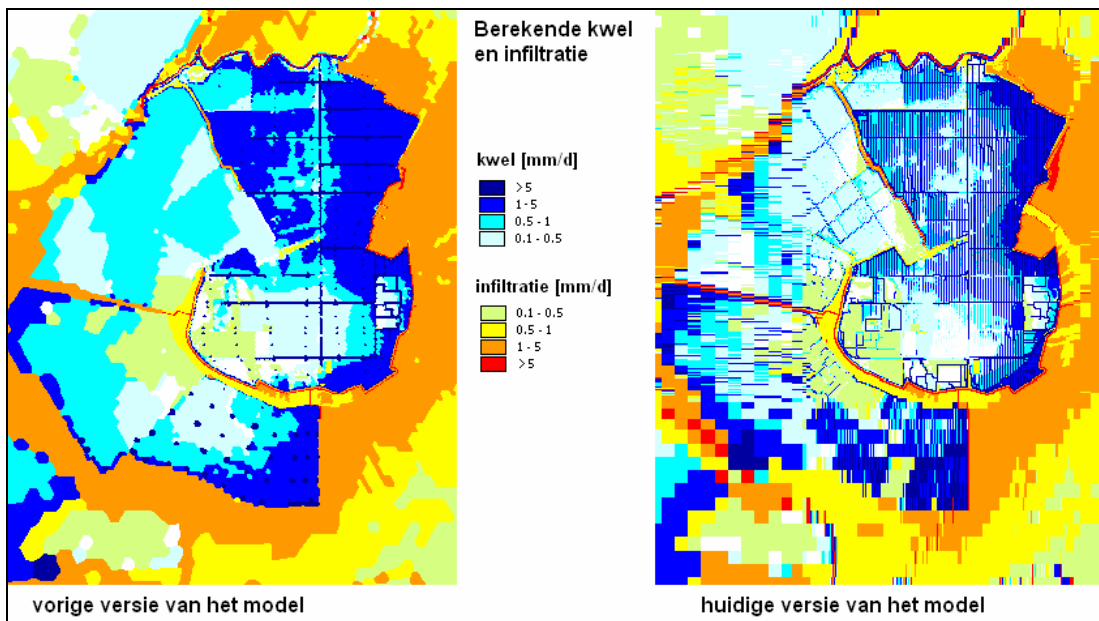
De berekende grondwaterstand in beide modelversies komen redelijk overeen. Een deel van de kleine afwijkingen wordt veroorzaakt door een actualisatie van de peilgebieden in de huidige versie van het model. Zo zijn bijvoorbeeld de sportvelden ten westen van Vinkeveen (het kleine donkerblauwe vlekje in het rechterdeel van de figuur) in de huidige versie voorzien van een 20 cm lager peil dan in de rest van het hoofdpeilvak van Groot Mijdrecht. In het algemeen lijken de berekende grondwaterstanden in de huidige versie van het model iets lager. Dit kan mede veroorzaakt worden door het gemiddeld wat lagere maaiveld niveau in de huidige versie van het model.

Een andere reden is dat door de toename van het aantal wellende model-watergangen in Groot Mijdrecht de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag ook wat lager wordt. Deze stijghoogte wordt wat meer “vlak” getrokken. Dat past ook beter bij de waargenomen stijghoogten in het watervoerend pakket onder de deklaag.

De berekende kwel en wegzijging zijn wat moeilijker met elkaar te vergelijken. Maar als door de ooghalen naar Figuur 4.3 gekeken wordt, lijkt het in grote lijnen redelijk op elkaar. De belangrijkste oorzaak van de verschillen tussen beide versies van het model is de manier waarop de wellen zijn gedefinieerd.



Figuur 4.2 Stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts)



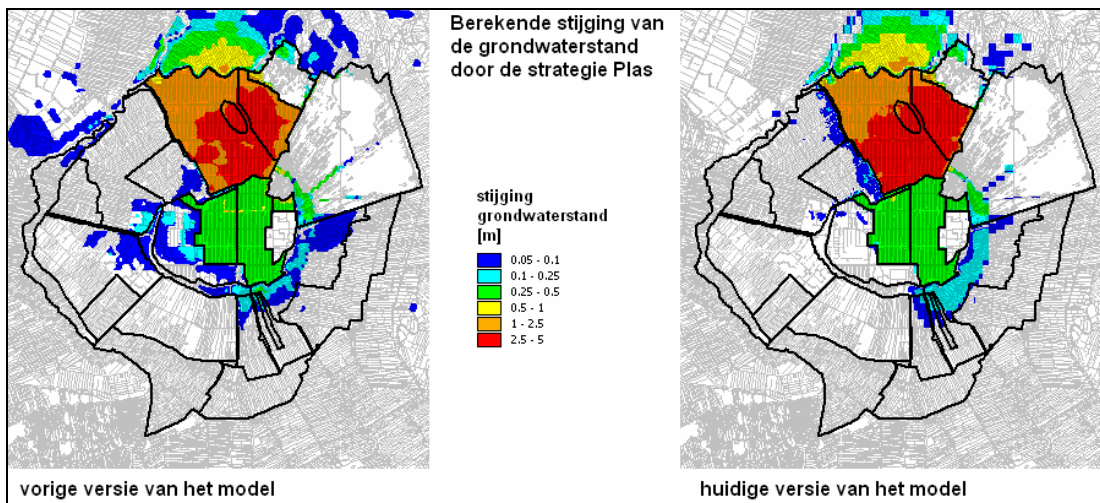
Figuur 4.3 Kwel en wegzijging berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts)

Samenvattend kan gezegd worden dat de huidige versie van het model wat beter aansluit bij de werkelijkheid, maar dat de vorige versie van het model dit toch vrij aardig benaderde.

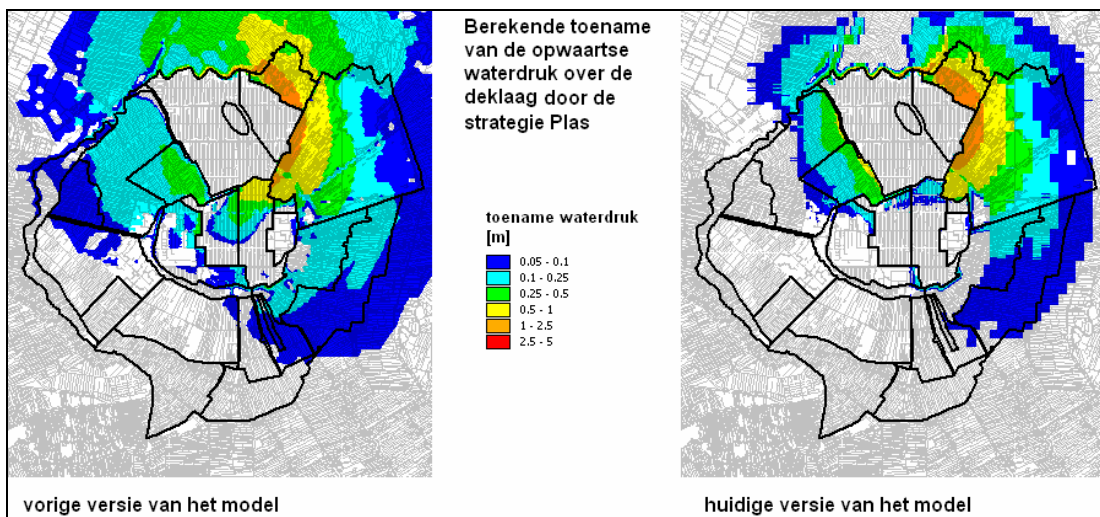


Naast een vergelijking van de huidige situaties is het misschien nog wel belangrijker wat de verschillen in hydrologische effecten zijn die door de strategieën veroorzaakt worden. Daar is de hele exercitie tenslotte om te doen geweest.

De effecten hiervan kunnen het best duidelijk gemaakt worden aan de hand van de meest ingrijpende strategie, de strategie Plas. Figuur 4.4 laat voor deze strategie de stijging van de grondwaterstand zien, zoals die door beide versie van het model wordt berekend. Figuur 4.5 doet hetzelfde voor de toename van de waterdruk over de deklaag. Hieronder wordt verstaan het verschil tussen de stijghoogte in watervoerend pakket onder de deklaag en de grondwaterstand. Figuur 4.6 tenslotte geeft de verandering van de kwel en wegzijging weer.



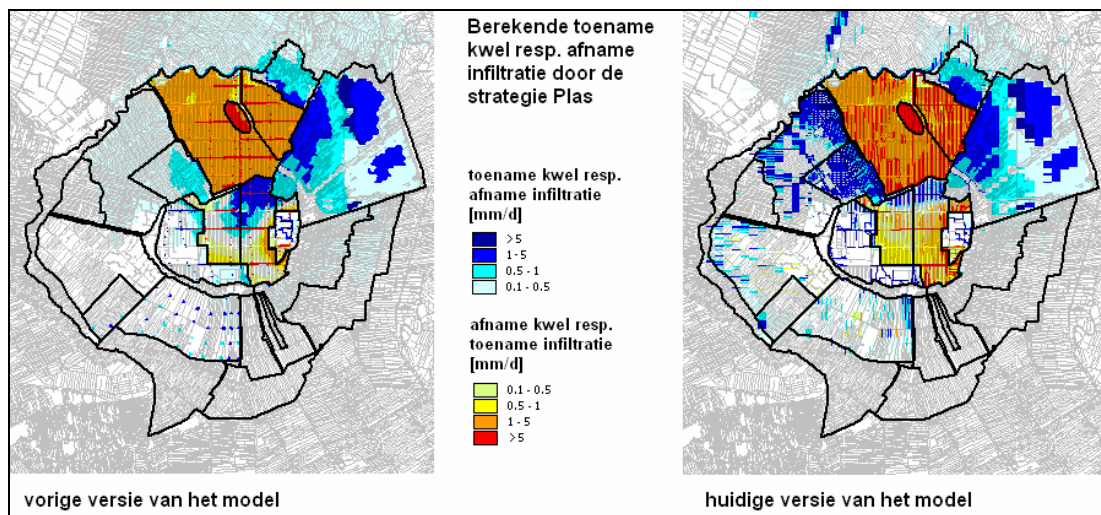
**Figuur 4.4** Stijging van de grondwaterstand door strategie Plas berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts)



**Figuur 4.5** Toename van de waterdruk over de deklaag door strategie Plas berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts)



Het gebied buiten Groot Mijdrecht dat door de strategie beïnvloed wordt, is in de huidige versie van het model wat kleiner. Direct langs de rand is het effect iets groter. Dat geldt zowel voor de grondwaterstand als voor de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag. Dat komt voornamelijk omdat er in de droogmakerijen buiten Groot Mijdrecht nu ook wellende watergangen in het model zijn opgenomen. Deze watergangen vangen het grootste deel van het effect op. De verandering van kwel en wegzijging (Figuur 4.6) bevestigt dit beeld.



**Figuur 4.6** Verandering van de kwel en wegzijging door strategie Plas berekend met de vorige versie van het model (links) en de huidige versie van het model (rechts)

Tenslotte is het effect op de totale bemaling van Groot Mijdrecht vergeleken. Tabel 4 geeft hiervan een overzicht.

**Tabel 4** Vergelijking van berekende fluxen met die van de 2007 versie van het model

Berekening	Berekende bemaling Groot Mijdrecht	
	WL   Delft Hydraulics (2007)	huidige model
huidige situatie	45.85 miljoen m <sup>3</sup> /jaar	46.59 miljoen m <sup>3</sup> /jaar
strategie Plas	20.62 miljoen m <sup>3</sup> /jaar	21.91 miljoen m <sup>3</sup> /jaar
Afname	25.23 miljoen m <sup>3</sup> /jaar	24.68 miljoen m <sup>3</sup> /jaar

Het blijkt dat de berekende effecten op de waterbalans van Groot Mijdrecht van beide modelversies vergelijkbaar zijn.

Een voorzichtige conclusie kan zijn dat de huidige versie van het model een aantal duidelijke verbeteringen heeft ondergaan ten opzichte van de vorige versie en dat de resultaten slechts weinig afwijken. De modelaanpassingen en de toetsing daarvan in het veldwerk (Acacia water, 2008) hebben dus tot verbeterd inzicht en meer vertrouwen in de al eerder berekende geohydrologische effecten geleid.

## 5 Literatuur

- Acacia water (2008) Grondwateronderzoek Verkenning Water Groot Mijdrecht Noord tweede fase: Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord.
- Bakker & Schaars (2004) The Sea Water Intrusion (SWI) Package Manual Part I. Theory, User Manual, and Examples. Version 1.1, University of Georgia, Athens, USA, 14 september 2004.
- Appelo, C.A.J & A. Willemssen. 1987. Geochemical calculations and observations on salt water intrusions. I. A combined geochemical mixing cell model. Journal of Hydrology, 94 (1987) 313-330.
- Arlen W. Harbaugh, Edward R. Banta, Mary C. Hill, and Michael G. McDonald (2000) Modflow-2000, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – User guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process, U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Open-File Report 00-92, Reston, Virginia, USA, 2000.
- IWACO, 1992. Grondwaterbeheer Midden Nederland, modellering watersystemen.
- IWACO, 1994. Ecohydrologisch Onderzoek De Ronde Venen
- IWACO, 1998. Responskarakteristieken en volumestromen van drinkwaterwinningen in de provincie Utrecht.
- H. Mankor & M. Ouboter (2008) Waterkwaliteitsgegevens van de Ronde Venen.
- Reintjes, 1902. Rapport in zake het waterschap Groot Mijdrecht
- Royal Haskoning & WL | Delft Hydraulics (2003). De blauwe motor van het Parklandschap.
- Royal Haskoning (2004) Triwaco User's Manual, Royal Haskoning, Amsterdam, 18 November 2004.
- Royal Haskoning (2008) Triwaco 4, <http://www.triwaco.nl>.
- Royal Haskoning (2008) Grondwateronderzoek Verkenning Water Groot Mijdrecht Noord tweede fase: Resultaten Strategieën.
- WL | Delft Hydraulics (2004). Onderbouwing Wateropgave De Ronde Venen.
- WL | Delft Hydraulics (2006) Grondwateronderzoek Verkenning Water Groot Mijdrecht Noord, oktober 2006.
- WL | Delft Hydraulics (2007) Beschrijving grondwatermodel Groot Mijdrecht, Delft, december 2007.