

# Integrale Planstudie / MER Millingerwaard

## Achtergrondrapport geohydrologie

Dienst Landelijk Gebied, regio oost

16 september 2010

Definitief rapport

9T6964.F0



**ROYAL HASKONING**

HASKONING NEDERLAND B.V.  
KUST & RIVIEREN

Barbarossastraat 35  
Postbus 151  
6500 AD Nijmegen  
(024) 328 42 84 Telefoon  
(024) 360 54 83 Fax  
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail  
www.royalhaskoning.com Internet  
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel    Integrale Planstudie / MER Millingerwaard  
                          Achtergrondrapport geohydrologie  
Verkorte documenttitel   MER Millingerwaard – bijlage geohydrologie  
                          Status            Definitief rapport  
                          Datum            16 september 2010  
                          Projectnaam    Integrale Planstudie/MER Millingerwaard  
Projectnummer    9T6964.F0  
Opdrachtgever    Dienst Landelijk Gebied, regio oost  
                          Referentie     9T6964.F0/R0022/904096/VVDM/Nijm

Auteur(s)        Robert Verger, Madeleine Inckel  
Collegiale toets    Wouter Swierstra  
Datum/paraaf     16 september 2010 b.a. *M.Groot*  
Vrijgegeven door   Mirjam Groot Zwaaftink  
Datum/paraaf     16 september 2010 *M.Groot*

## INHOUDSOPGAVE

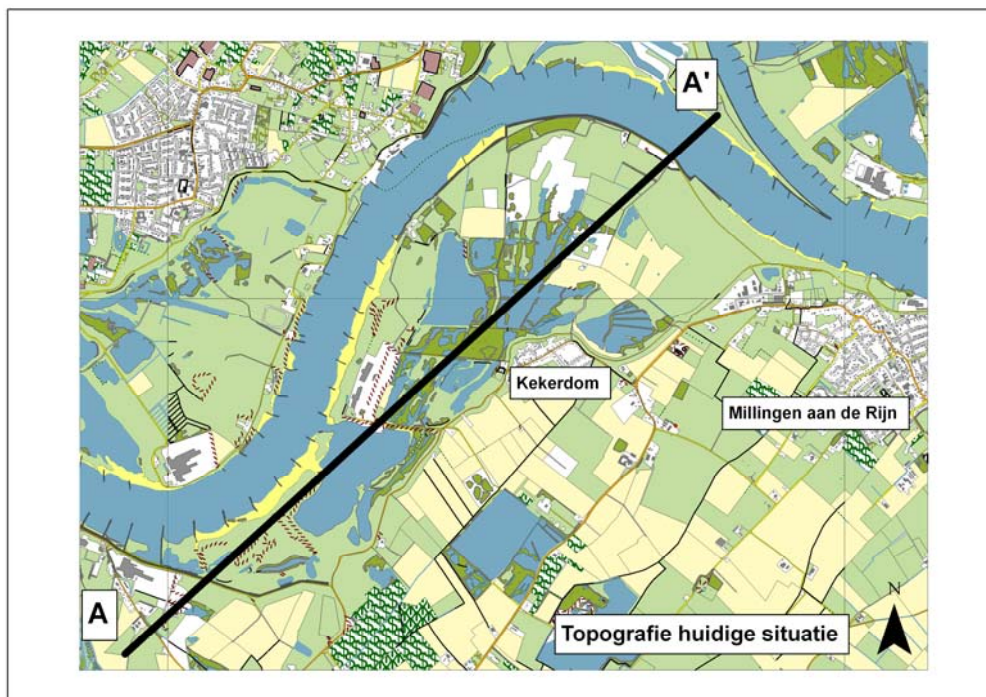
	Blz.	
1	INLEIDING	1
2	OPZET GRONDWATERMODEL	3
	2.1 Inleiding	3
	2.2 Detailmodel Millingerwaard	3
	2.3 Beperkte stationaire ijking	8
3	ALTERNATIEVEN	17
	3.1 Huidige situatie	17
	3.2 Autonome ontwikkeling	18
	3.3 Beschrijving alternatieven	19
4	AANPAK EFFECTBESCHRIJVING	21
	4.1 Beoordelingskader grondwatereffecten	21
	4.2 Grondwaterberekeningen alternatieven	21
	4.3 Extra grondwaterberekeningen Voorkeursalternatief	23
	4.4 Alternatieven in grondwatermodel	24
5	EFFECTBESCHRIJVING EN BEOORDELING	26
	5.1 Effecten t.o.v. autonome situatie	26
	5.2 Meest Milieuvriendelijke Alternatief (MMA)	26
	5.3 Alternatief II: Maximale rivierdynamiek (behoud De Beijer)	28
	5.4 Alternatief III: Maximale rivierdynamiek (volledig behoud De Beijer)	28
	5.5 Alternatief IV: Ecologische variatie	30
	5.6 Alternatief V: Landschappelijke variatie	33
	5.7 Alternatief VI: Minimale ingrepen	33
	5.8 Voorkeursalternatief (VKA)	35
	5.9 Effectbeoordeling en waardering	37
6	EXTRA EFFECTBESCHRIJVINGEN	40
	6.1 Effecten Erlecomse Waard op geohydrologie	40
	6.2 Effecten voortbestaan De Beijer op geohydrologie	40
	6.3 Effecten oemputten op geohydrologie	40
	6.4 Extra berekeningen Voorkeursalternatief	42
7	REFERENTIES	55

## 1 INLEIDING

### Aanleiding

De Millingerwaard is een forse uiterwaard in de Gelderse Poort waar zich rivierduin, stroomdalflora, steenfabriek, ooibos, boer en een handvol inwoners bevinden. Inmiddels zijn daarbij gekomen: fietspad, veer, bevers, theetuin, verdwaalnatuur, vogelobservatiehut en veel bezoekers, zodat het een centraal punt is geworden in de Gelderse Poort. De Millingerwaard is een zeer gewaardeerd gebied tussen Nijmegen, Arnhem en de Duitse grens. Het verhaal van de Millingerwaard zorgde ervoor dat er een verhoogde veiligheid tegen overstromen, natuurontwikkeling én een stimulans voor de lokale economie door toerisme en recreatie moet komen en daarbij samen hand in hand moeten kunnen gaan (Royal Haskoning, 2010, MER Hoofdrapport).

De ligging van het projectgebied en omgeving is weergegeven in figuur 1.1. In de figuur zijn de dorpen Millingen aan de Rijn en Kekerdom aangegeven.



**Figuur 1.1: Ligging Millingerwaard**

De aanleiding voor het hele project is Ruimte voor de Rivieren (RvR). De veiligheid zal fors omhoog moeten gaan en kansen voor de natuur moeten benut worden. Dit zal betekenen dat er uitgravingen worden gepland die effecten op het grondwaterregime rondom de uiterwaarden met zich kunnen meebrengen. Ten behoeve van het MER Millingerwaard wordt in dit rapport in beeld gebracht of de verschillende alternatieven gevolgen hebben in het grondwaterregime voor landbouwopbrengsten (droogte-/natschade), natte grondwaterafhankelijke natuur (verdroging) en bebouwing (zetting, toename kweloverlast tijdens hoogwater (Royal Haskoning, 2010, MER Hoofdrapport).

### **Doel van de studie**

Door de voorgenomen vergravingen zal het grondwater sterker reageren op de rivierwaterstanden. Bij hoogwater neemt de kwel toe en bij een reguliere waterstand de grondwaterstanddaling. Dit kan vooral gevolgen hebben voor het gebied binnendijks achter de Millingerwaard.

Doel van dit achtergronddocument is het kwantitatief in beeld brengen van de gevolgen door deze veranderingen voor de landbouw (droogte-/natschade), grondwaterafhankelijke natuur en aanwezige bebouwing. Voor het beantwoorden van de vragen van de probleemstelling wordt een grondwatermodel opgezet, waarbij gebruik is gemaakt van de basisinformatie uit het bestaande Rivierenlandmodel (Deltares/TNO, 2008).

### **Leeswijzer**

Als eerste wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving van het grondwatermodel gegeven. Hierin is beschreven hoe het detailmodel van de Millingerwaard is overgenomen uit het TNO Rivierenlandmodel, met de resultaten van een beperkte stationaire ijking. In hoofdstuk 3 zijn de alternatieven beschreven die in het MER zijn onderscheiden. De wijze van effectbeoordeling is opgenomen in hoofdstuk 4. De effectbeschrijving en beoordeling per alternatief is opgenomen in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 is separaat ingegaan op een aantal aanvullende effecten. Tenslotte zijn ook voor het Voorkeursalternatief nog een aantal extra berekeningen uitgevoerd. In hoofdstuk 8 is een overzicht van gebruikte referenties opgenomen.

## 2 OPZET GRONDWATERMODEL

### 2.1 Inleiding

Waterschap Rivierenland heeft sinds 2008 voor haar beheergebied een regionaal grondwatermodel tot haar beschikking. Dit “TNO Rivierenlandmodel” is gebouwd en wordt beheerd door Deltares. De gedetailleerde kenmerken van het “TNO Rivierenlandmodel” staan beschreven in het rapport Grondwatermodellering Rivierenland (Deltares, 2008). Het model is opgezet in een MODFLOW rekencode met daaromheen een schil die IMOD heet. MODFLOW heeft een rekengrid en schema op basis van eindige differentie. Het nadeel van dit type methode is dat er geen lokale verfijningen aangebracht kunnen worden op locaties waar veel (geo)hydrologische informatie beschikbaar is.

Voor het berekenen van de effecten van de ingrepen in de Millingerwaard is een detailmodel gemaakt van de Millingerwaard en de directe omgeving daarvan. Het detailmodel is opgezet in TRIWACO op basis van eindige elementen ([www.Triwaco.com](http://www.Triwaco.com)). Het voordeel in dit geval is dat het modelgrid op lokale plaatsen verfijnd kan worden en ingrepen gedetailleerder gemodelleerd kunnen worden. In het detailmodel is alle relevante informatie uit het Rivierenlandmodel overgenomen. Met name de geohydrologische schematisatie van het TNO Rivierenlandmodel fungeert als basis voor het detailmodel.

Met het detailmodel is een beperkte stationaire ijking uitgevoerd, met nadruk op de werking van het oppervlaktewatersysteem (sloten en watergangen binnendijs), de weerstand van de deklaag in de uiterwaard en de doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket. Deze parameters zijn namelijk bepalend voor de uitstraling van grondwatereffecten van de Millingerwaard naar het achterland.

Voor de benodigde modellering zijn onderstaande werkzaamheden te onderscheiden:

- het opzetten van een detail grondwatermodel voor de Millingerwaard en omgeving (zie par. 2.2);
- een beperkt stationaire ijking van het detailmodel (zie par. 2.3).

### 2.2 Detailmodel Millingerwaard

In het detailmodel is alle relevante informatie uit het Rivierenlandmodel overgenomen en vervolgens doorgerekend met de TRIWACO/FLAIRS modelcode. Zo zijn uit het bestaande Rivierenlandmodel voor de Millingerwaard de gegevens over model randvoorwaarden (par. 2.2.1), maaiveldhoogte (par. 2.2.2), neerslag en verdamping (par. 2.2.3), drainageniveaus, drainage- en infiltratieweerstanden, rivierpeilen, slootpeilen (par. 2.2.4), bodemopbouw, doorlatenheden en weerstanden (par. 2.2.5) overgenomen. Hiervoor zijn de bestaande idf- files (imod invoer) omgezet naar ascii files zodat ze in TRIWACO ingelezen kunnen worden.



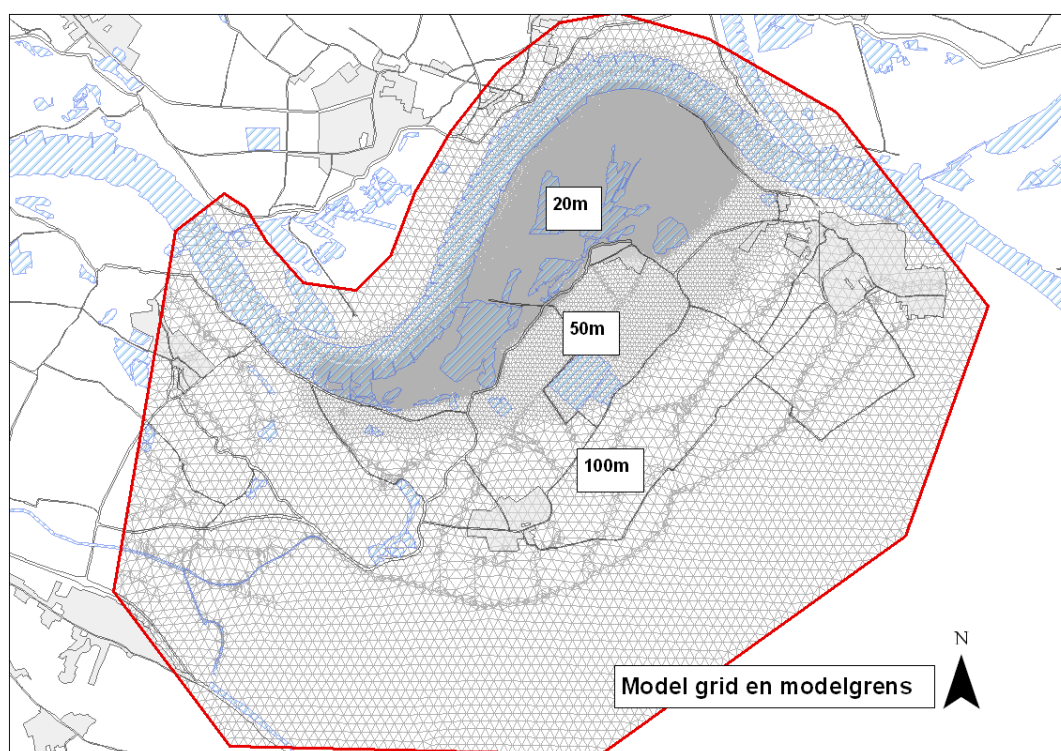
## 2.2.1 Modelgrenzen en modelgrid

De modelgrenzen zijn zodanig gekozen, dat de invloed van de ingrepen in de Millingerwaard op de stijghoogten niet meer waarneembaar is op de modelgrenzen. De noordelijke modelgrens wordt gevormd door de Waal. Effecten op de grondwaterstanden zullen zich niet ten noorden van de Waal voordoen. De noordelijke modelgrens loopt daarom parallel aan de noordzijde van de Waal.

Voor de overige modelgrenzen is uitgegaan van het criterium dat de modelgrens minimaal drie keer de spreidingslengte ( $S_l$ ) verwijderd moet liggen van de ingreeplocatie (Maas, 1996). Drie keer de spreidingslengte komt overeen met:

$$S_l = 3\sqrt{K_d C} = 3 \times \sqrt{300 \times 2000} = 2500m$$

Waarbij  $K_d$  de transmissiviteit is in het watervoerende pakket en  $C$  de weerstand van de deklaag. De transmissiviteit wordt uitgedrukt in  $m^2/d$  en de weerstand in dagen.



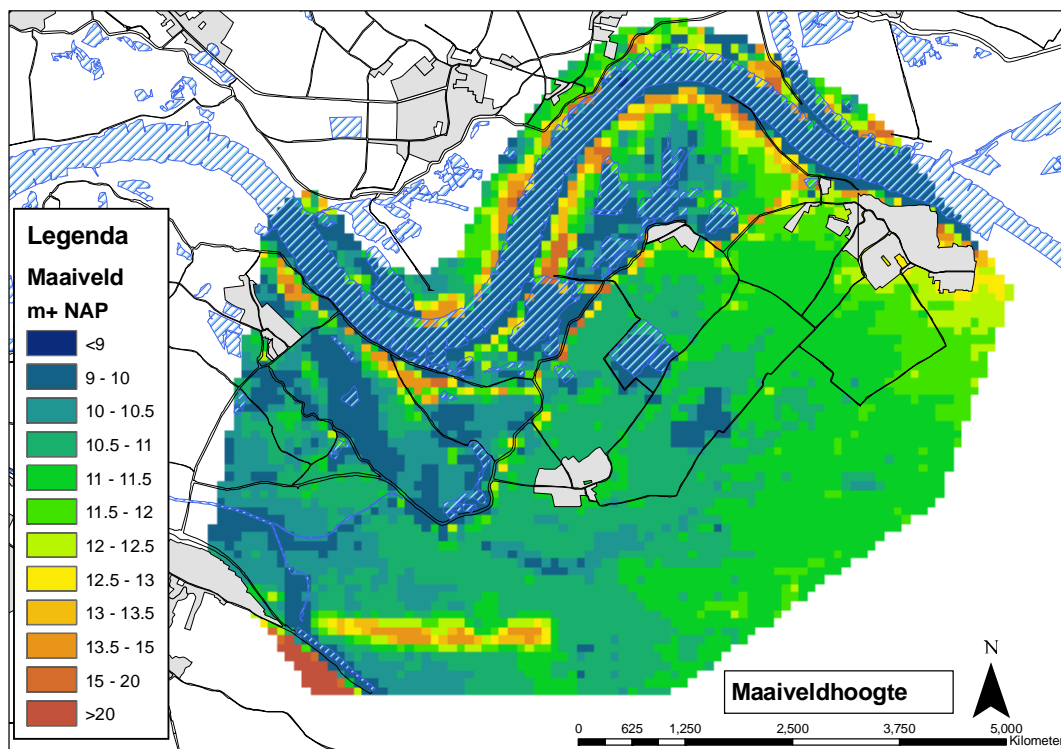
**Figuur 2.1:** Ligging modelgrens detailmodel Millingerwaard met de knooppuntafstanden op het modelgrid

De ligging van de modelgrenzen is weergegeven in figuur 2.1. De randvoorwaarden aan de zuidelijke kant zijn vaste stijghoogten, die zijn overgenomen uit het Rivierenlandmodel. De noordelijke modelgrens (ten noorden van de Waal) is als een dichte rand gemodelleerd.

Ook het modelgrid is weergegeven in figuur 2.1. Om voldoende inzicht te krijgen in de veranderingen in de grondwaterstanden ten gevolge van de ingrepen is gekozen voor een knooppuntafstand in de Millingerwaard van 20 meter, die oploopt via 50 meter naar 100 meter aan de randen van het modelgebied.

## 2.2.2 Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte is overgenomen uit het Rivierenlandmodel met een grid van 25m x 25m. De ligging van het maaiveld is weergegeven in figuur 2.3. De bodemhoogte van de Waal en de plassen in de Millingerwaard zijn in dit maaiveldhoogtebestand verwerkt. In het oosten (rondom Millingen aan de Rijn) bevindt het maaiveld zich rond 11-13 m+NAP, naar het westen ligt het maaiveld lager op 9-11 m+NAP.

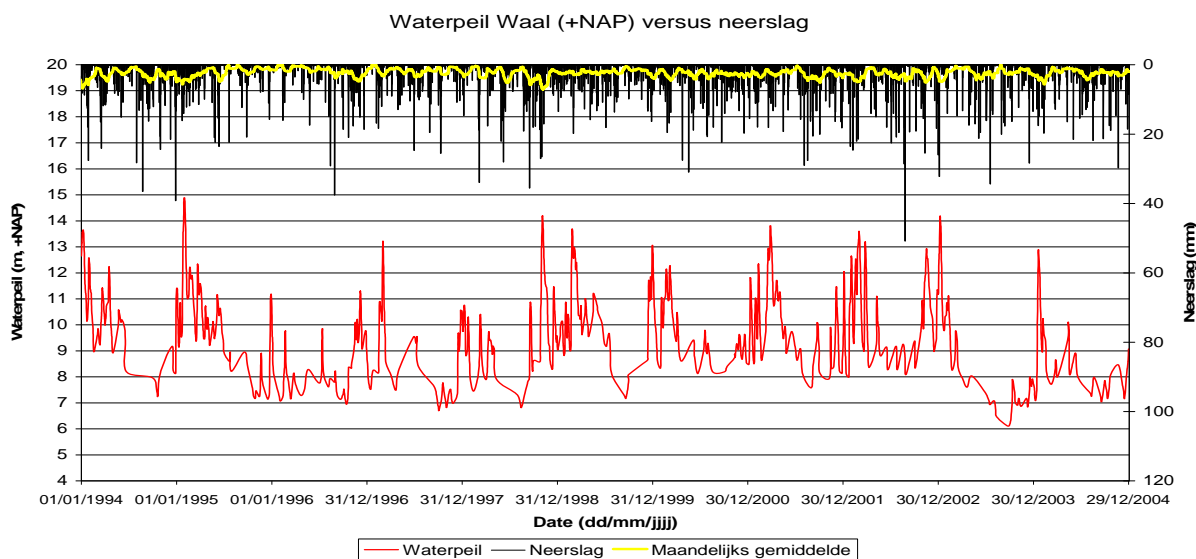


Figuur 2.2: Maaiveldhoogtes in detailmodel Millingerwaard

## 2.2.3 Neerslag en verdamping

Voor het invoeren van neerslag en verdamping is gebruikt gemaakt van het dichtstbijzijnde KNMI-station Gendringen. Dit weerstation heeft een reeks van neerslag en verdamping die de modelperiode overlapt van het TNO Rivierenlandmodel (1994-2004). Verdampinggegevens zijn ingevoerd op basis van de referentiegewas-verdamping van Makkink.





**Figuur 2.3: Waterstanden op de Waal in periode 1994-2004 uit Rivierenlandmodel, de neerslagegevens zijn afkomstig van KNMI-station Gendringen**

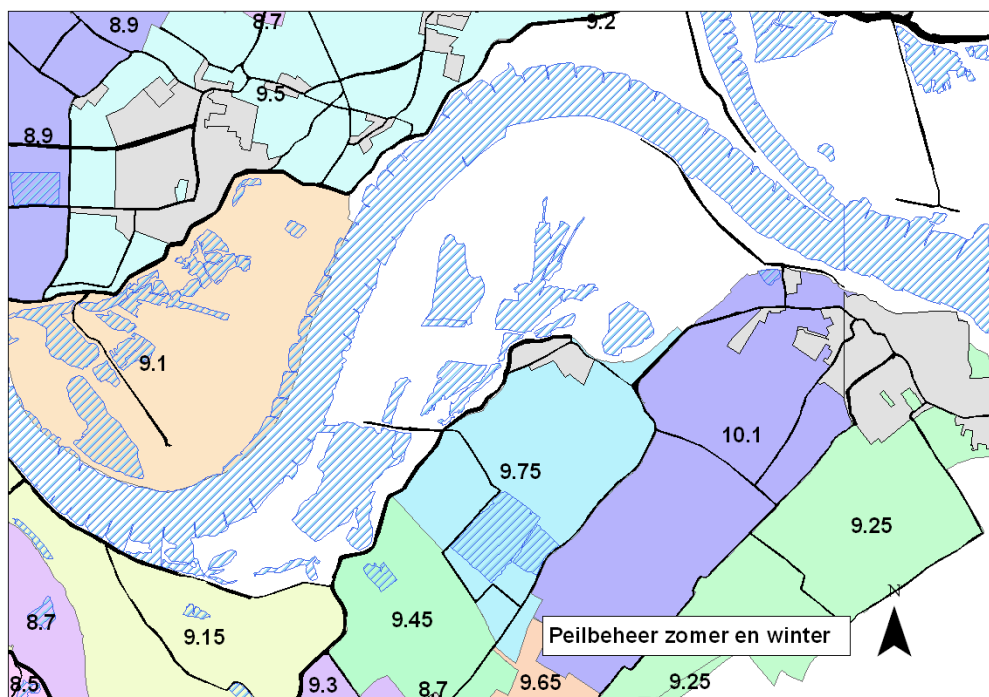
## 2.2.4 Oppervlaktewater en drainage

### *Buitendijks*

Het oppervlaktewater van de Waal is als vlakdekkend peil in het model gezet binnen de uiterwaarden van het modelgebied. Het TNO Rivierenlandmodel bevat tijdsafhankelijke rasters die zijn overgenomen voor het detailmodel. Deze peilen zijn voor het gehele binnendijkse gedeelte geïnterpoleerd over de uiterwaarden per tijdstipafhankelijke raster. Zo kan het opgelegde peil op een bepaald tijdstip boven of onder het maaiveld liggen. De Waal en de geulen die bij de alternatieven gegraven zullen worden, kunnen op deze modelmatige manier een extra drainerend effect voor het grondwater naar de uiterwaarden en de Waal toe creëren. De bijbehorende drainageweerstand voor de uiterwaarden zijn tevens letterlijk overgenomen uit rasters van het TNO Rivierenlandmodel.

### *Binnendijks*

Het oppervlaktewater in de polders ten zuiden van de Millingerwaard hebben vaste polderpeilen. In figuur 2.4 zijn de gehanteerde winter en zomer streefpeilen weergegeven (het hele jaar door zijn deze hetzelfde), zoals door het waterschap Rivierenland wordt gehandhaafd. In het gebied komen droogvallende waterlopen voor. Om deze reden is de infiltratieweerstand op oneindig hoog gezet, zodat er geen infiltratie kan plaatsvinden. Voor de overige waterlopen die niet droogvallen is een drainage weerstand aangenomen van 15 dagen (dit is een algemene richtlijn van 3 keer de drainageweerstand van 5 dagen voor greppels).

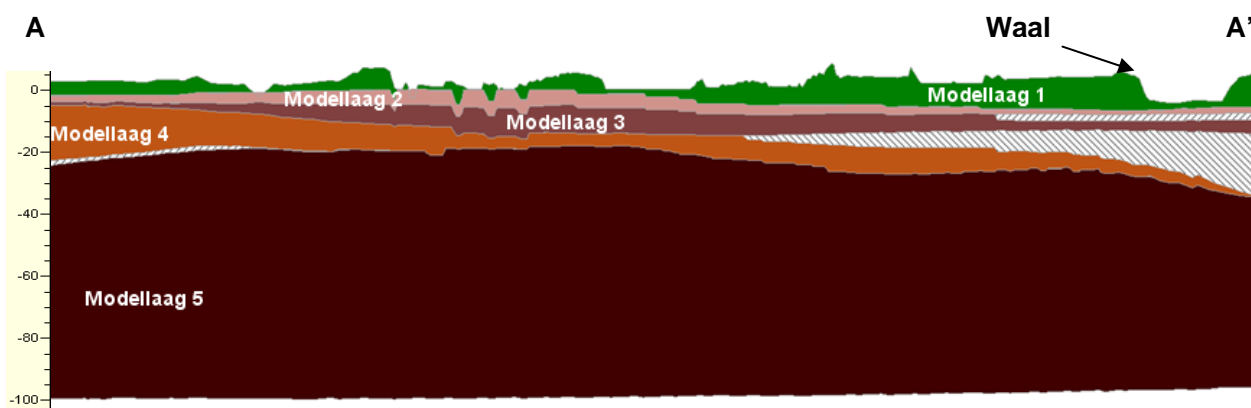


**Figuur 2.4: Peilvakken met winter en zomer streefpeilen in m+NAP**

### 2.2.5 Geohydrologische schematisatie

De schematisatie van de geohydrologie in de Millingerwaard en omgeving is overgenomen uit het TNO Rivierenlandmodel. In het TNO Rivierenlandmodel bevinden zich maar liefst 18 modellagen (scheidende lagen en watervoerende pakketten). Om het rekenwerk te vereenvoudigen is gekeken naar significante verschillen tussen de scheidende lagen en watervoerende pakketten ter plaatse van de Millingerwaard. Door het ontbreken van een aantal scheidende lagen binnen het studie gebied (Millingerwaard en omgeving) was het mogelijk om het aantal modellagen te beperken tot 5 modellagen.

In figuur 2.5 is de doorsnede A-A' weergegeven, de ligging hiervan is opgenomen in figuur 1.1. In de doorsnede is de deklaag (donkergroen) duidelijk te onderscheiden samen met de in de ondergrond aanwezige kleilagen (grijze arcering). In het oostelijke deel van het modelgebied (bij A') is een relatief ondiep gelegen kleilaag duidelijk zichtbaar. De bruin/rode lagen in de doorsnede vormen de watervoerende lagen. Een schematische opbouw van de modellagen is opgenomen in tabel 2.1.



Figuur 2.5: Doorsnede A-A' met kleilagen (grijze arcering), watervoerende pakketten (bruin/rood) en de deklaag (groen)

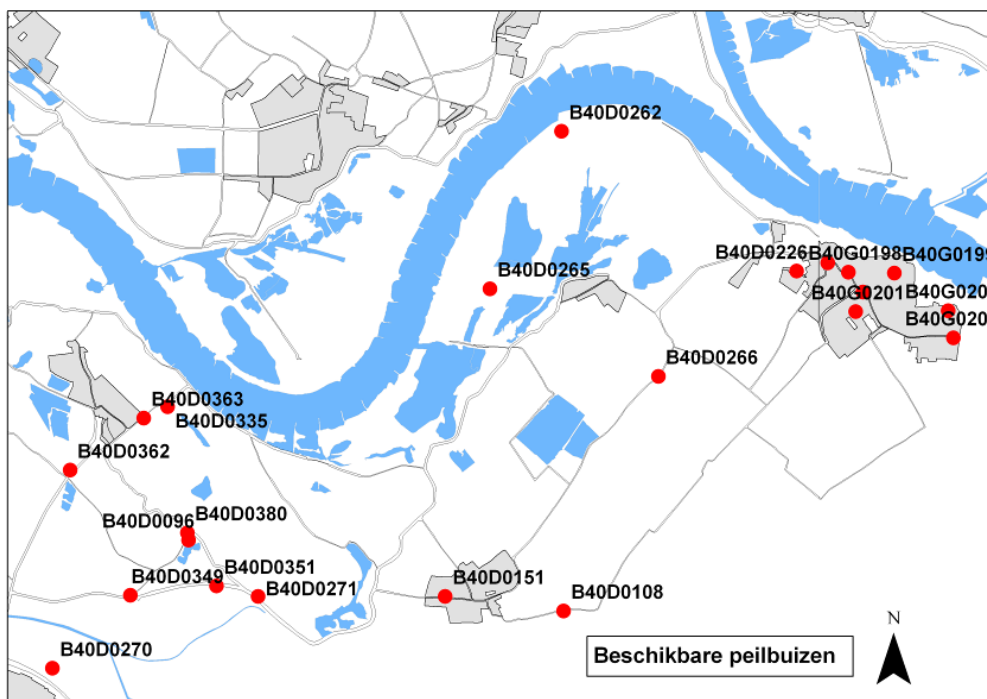
Tabel 2.1: Overzicht modellagen en gemiddelde waarden

Modellaag	Parameter	Parameter naam	Onderdeel van pakket	Gemiddelde waarde (dagen)
Modellaag 1	Verticale doorlatendheid deklaag	CL1	Holoceen	150
Modellaag 1	Horizontale doorlatendheid deklaag	TX1	Holoceen	30
Modellaag 2	Watervoerende laag	TX2	Formatie van Kreftenheyen	500
Modellaag 2	Scheidende laag	CL2	Formatie van Kreftenheyen	700 (oosten modelgebied)
Modellaag 3	Watervoerende laag	TX3	Formatie van Kreftenheyen	90
Modellaag 3	Scheidende laag	CL3	Formatie van Kreftenheyen	20000 (oosten modelgebied)
Modellaag 4	Watervoerende laag	TX4	Formatie van Kreftenheyen	800
Modellaag 4	Scheidende laag	CL4	Formatie van Peize Waalre	1
Modellaag 5	Watervoerende laag	TX5	Deels Formatie van Peize-Waalre en deels Formatie van Oosterhout	900
Basis	Ondoorlatend	-	Formatie van Breda	Oneindig

## 2.3 Beperkte stationaire ijking

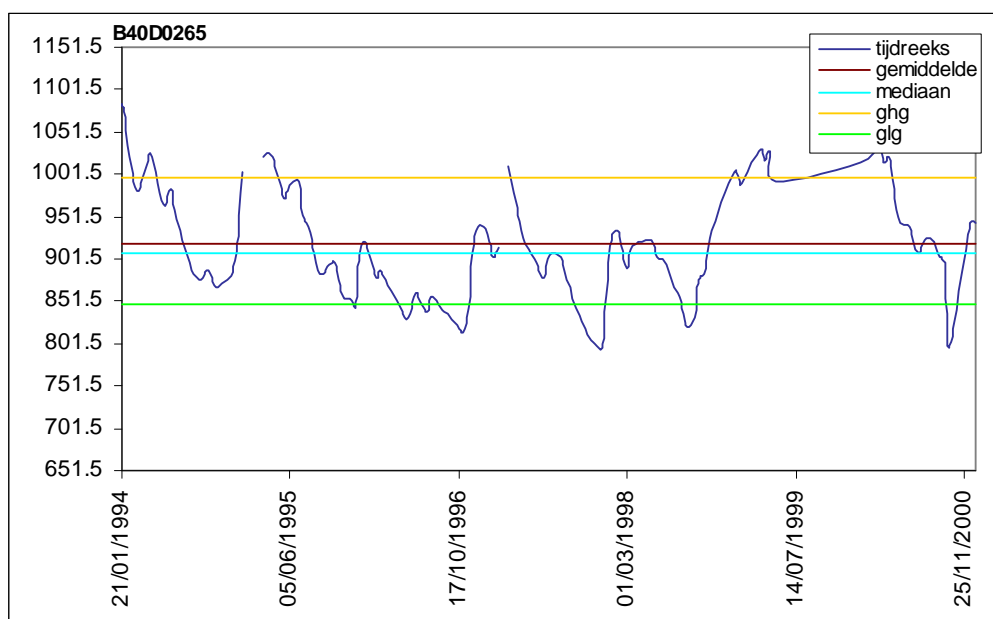
### 2.3.1 Meetreeksen

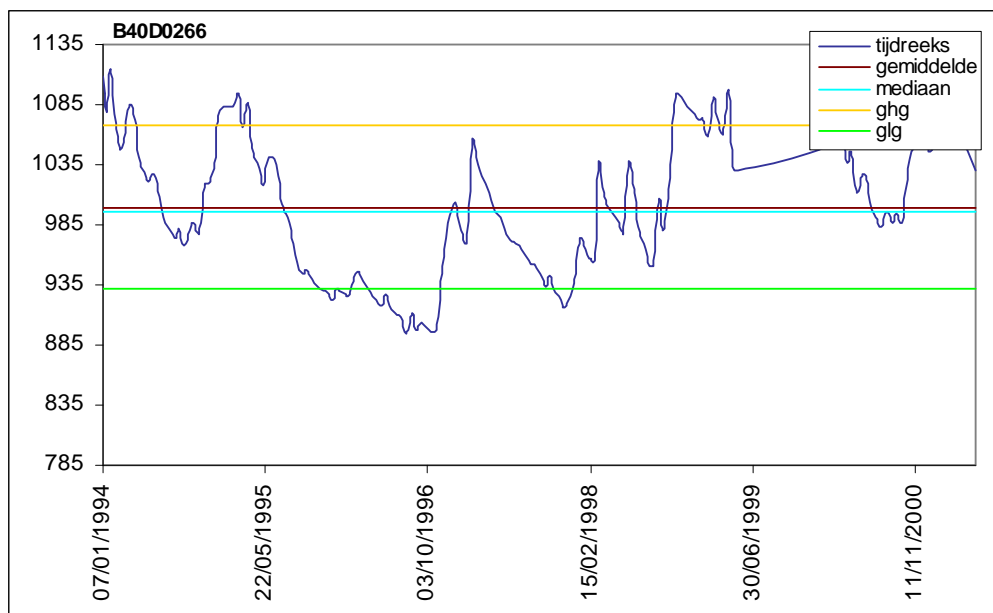
De stationaire ijking van het detailmodel is gebaseerd op metingen van grondwaterstanden in de periode 1994-2004. Het Rivierenlandmodel is ook geijkt op deze periode. In figuur 2.7 zijn de locaties van de beschikbare peilbuizen in het modelgebied weergegeven. Voor al deze peilbuizen zijn de beschikbare meetgegevens uit de nationale grondwaterdatabase DINO geïmporteerd. Uit de meetgegevens blijkt dat een aantal peilbuizen niet geschikt is om gebruikt te worden voor de kalibratie. Of de meetreeks vertoont gebrek aan continuïteit of de meetreeks bevindt zich buiten de gewenste meetperiode. Peilbuizen met filters in het eerste watervoerende pakket hebben een belangrijkere rol dan peilbuizen met diepere filters.



Figuur 2.6: Beschikbare peilbuizen geïmporteerd van de DINO database binnen het modelgebied

In de Millingerwaard liggen twee peilbuizen met een geschikte meetreeks van de grondwaterstanden: B40D0262 (nabij Waal) en B40D0265 (midden in gebied). Voor het binnendijkse gebied is de peilbuis B40D0266 de enige peilbuis midden in het model van het binnendijkse gedeelte. In figuur 2.7 is voor de peilbuizen B40D0265 en B40D0266 de meetreeks weergegeven, samen met het gemiddelde van de metingen, de mediaan, de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).





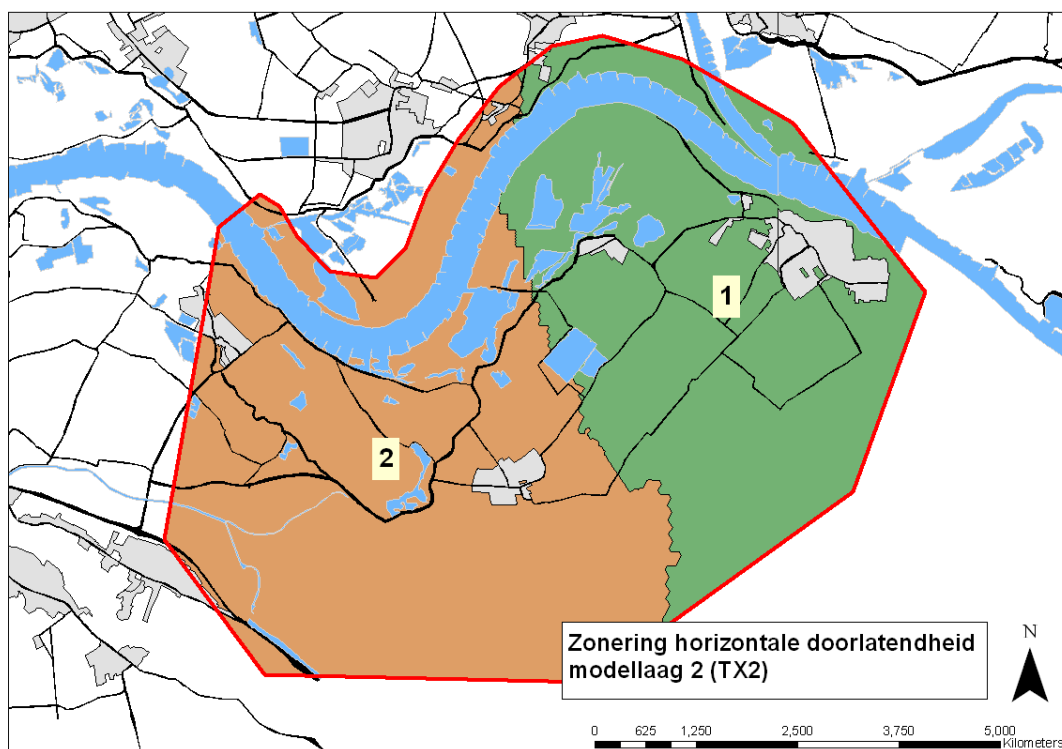
**Figuur 2.7: Meetreeks van de peilbuizen B40D0265 en B40D0266 in en vlakbij de Millingerwaard**

### 2.3.2 Monte Carlo analyse

De meeste gegevens in het detailmodel zijn uit het Rivierenlandmodel overgenomen. De ijking is uitgevoerd voor de situatie met een gemiddelde neerslag en mediaanwaarde van de waterstand op de Waal over de periode 1994-2004. Aangezien het Rivierenlandmodel al is geijkt voor de periode 1994-2004, is voor het detailmodel slechts een beperkte stationaire ijking uitgevoerd. Hierdoor verbeteren de resultaten specifiek voor de Millingerwaard nog iets. Het verschil tussen de kalibratieresultaten van het Rivierenlandmodel en het detailmodel zijn ook tijdsafhankelijk bestudeerd.

Voor de ijking is een Monte Carlo analyse uitgevoerd, waarbij drie parameters binnen een bepaalde bandbreedte zijn gevarieerd. Voor de Monte Carlo analyse zijn 200 simulaties doorgerekend. De parameters zijn meestal vlakdekkend vermenigvuldigd, waar nodig zijn bepaalde zoneringen voor de parameters aangemaakt. De gevarieerde parameters zijn de deklaag (C1), de transmissiviteit in het bovenste gedeelte van het eerste watervoerende pakket (TX2) en de drainageweerstand in het stroomgebied van de Waal (RP4). Deze parameters zijn van invloed op de stijghoogtes nabij het maaiveld.

Gekozen is om de deklaag ter plaatse van de Millingerwaard op te splitsen van de rest van het modelgebied, vanwege de hogere weerstand van de deklaag op deze plek. Een zonering is tevens toegepast voor het eerste watervoerende pakket, waarbij een aparte zone is aangemaakt ter plaatse van de hoge weerstand van de kleilaag in het oosten van het modelgebied (zie figuur 2.5 en 2.8). Ten slotte is de drainageweerstand van het Waalstroomgebied opgesplitst om de rest van het modelgebied uit te sluiten. In tabel 2.2 is de optimalisatie ten opzichte van het Rivierenlandmodel opgenomen.



**Figuur 2.8: Zonering van modellaag 2 (TX2). Modellaag 2 vormt een deel van het eerste watervoerende pakket dat boven de eerste kleilaag ligt (oosten) in figuur 2.6.**

**Tabel 2.2: Overzicht optimalisatie met Monte Carlo analyse**

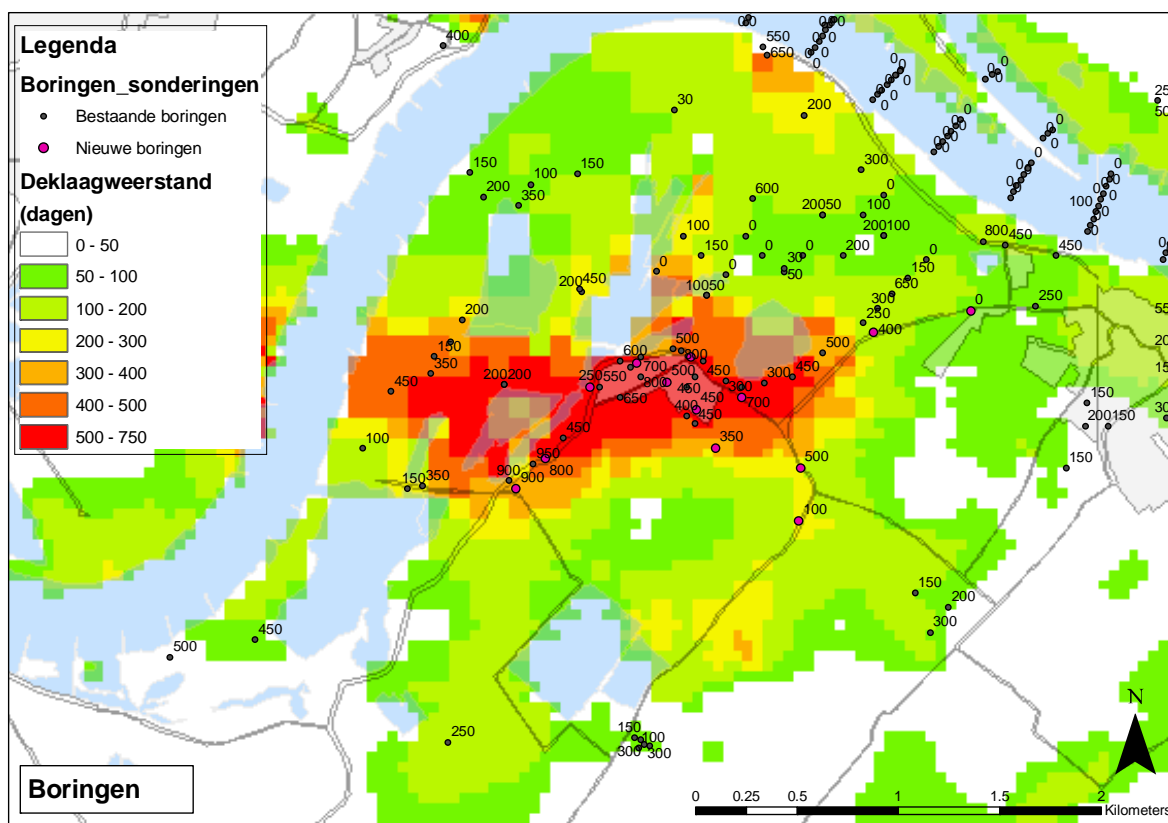
Parameter	Parameternaam	Bandbreedte optimalisatie	Optimalisatie t.o.v. Rivierenlandmodel
Deklaag (dagen)	CL1	0,1-2,0	Millingerwaard: x 0,489 Overig gebied: x 0,348
Transmissiviteit in 1 <sup>e</sup> watervoerende pakket (modellaag 2) (dagen)	TX2 <sup>1</sup>	0,1-2,0	Boven kleilaag: x 2 Overig gebied: x 1,8
Drainage weerstand Waalstroomgebied (dagen)	RP4	0,1-3,0	1.37

Aanvullend op de ijking is de deklaagweerstand geverifieerd aan de hand van boringen. Hiervoor zijn tevens aanvullende boringen en sonderingen gebruikt welke in het kader van voorliggende MER studie geplaatst zijn (zie figuur 2.9). Op basis van de boorbeschrijvingen is voor de beschikbare boringen en sonderingen (bestaande en nieuwe) de deklaagweerstand ter plaatse van die boring of sondering uitgerekend. Hiervoor is uitgegaan van de stelregel van 100 dagen per meter deklaag (klei). Deze aanname van 100 dagen is geverifieerd met doorlatendheidstesten ter plaatse en komt redelijk tot goed overeen.

<sup>1</sup> Voor de transmissiviteit van het eerste watervoerende pakket is alleen de transmissiviteit van modellaag 2 gevarieerd. Het eerste watervoerende pakket bestaat over het algemeen uit meer modellagen dan alleen modellaag 2 (figuur 2.6). Een vermenigvuldigingsfactor van 2 betekent dan ook niet dat de transmissiviteit van het eerste watervoerende pakket verdubbeld.



De berekende deklaagweerstand ter plaatse van de boringen en/of sonderingen zijn vervolgens vergeleken met de deklaagweerstand zoals gebruikt in het grondwatermodel (zie Figuur 2.9). Uit deze vergelijking volgt dat de berekende deklaagweerstand op basis van de boorbeschrijvingen overeenkomen met de gekozen deklaagweerstand in het grondwatermodel.

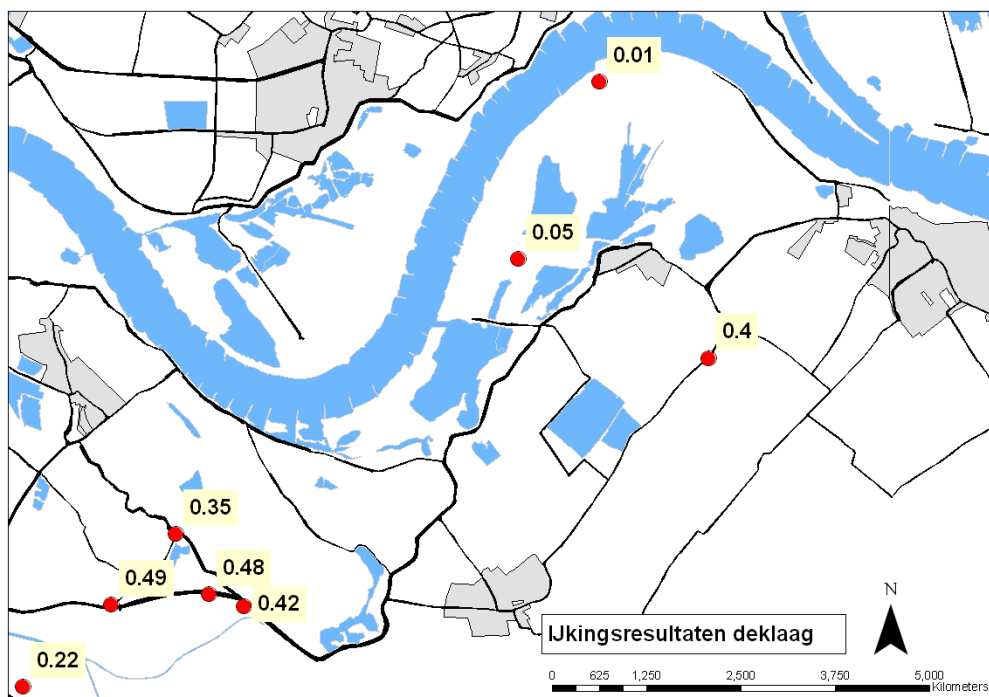


**Figuur 2.9: Deklaagweerstand in het model (na ijking) en verificatie aan de hand van berekende deklaagweerstand uit boorbeschrijvingen.**

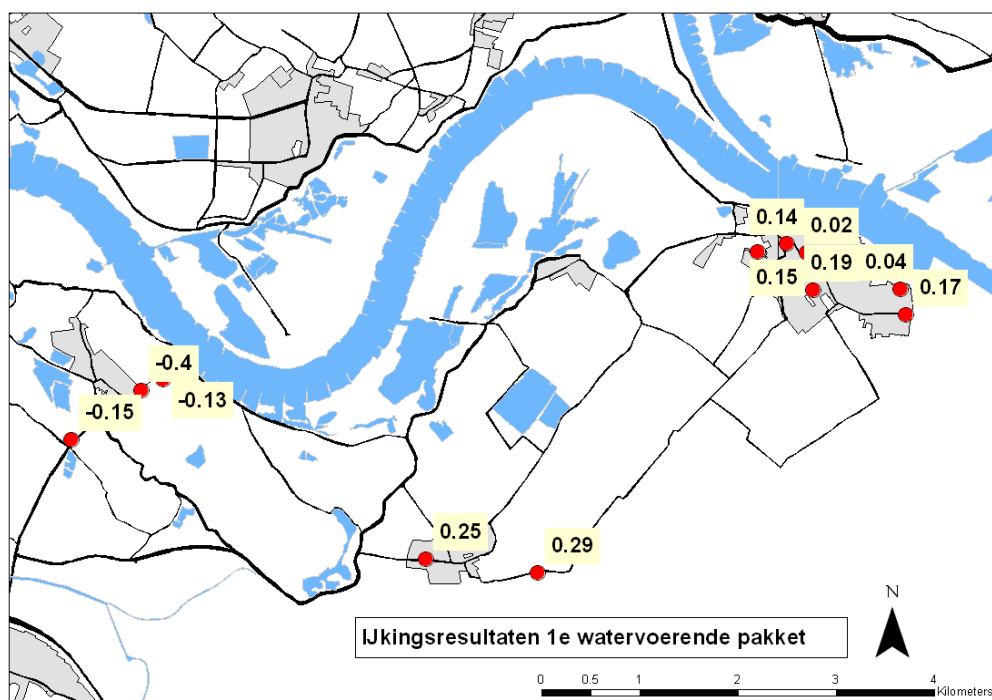
### 2.3.3 Resultaat ijking

#### **Stationair resultaat**

In de figuren 2.9 en 2.10 zijn respectievelijk de kalibratieresultaten weergegeven van de grondwaterstanden en de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket. De figuren tonen de berekende resultaten minus de gemeten waarden, een positieve waarde wil zeggen dat het model te hoog berekend (worst-case).



Figuur 2.9: Stationair ijkingresultaat grondwaterstanden (m), berekend minus gemeten (modellaag 1)



Figuur 2.10: Stationair ijkingresultaat stijghoogten 1e watervoerende pakket (m), berekend minus gemeten (modellaag 2)

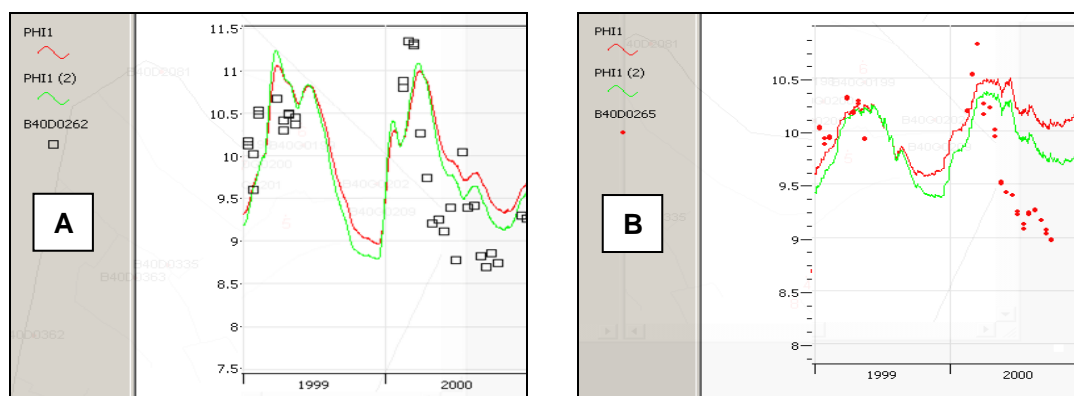
De stationaire kalibratieresultaten zijn ruim voldoende voor het bepalen van de effecten van de ingrepen in de Millingerwaard. Verschillen in de grondwaterstanden zijn groter dan de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket.

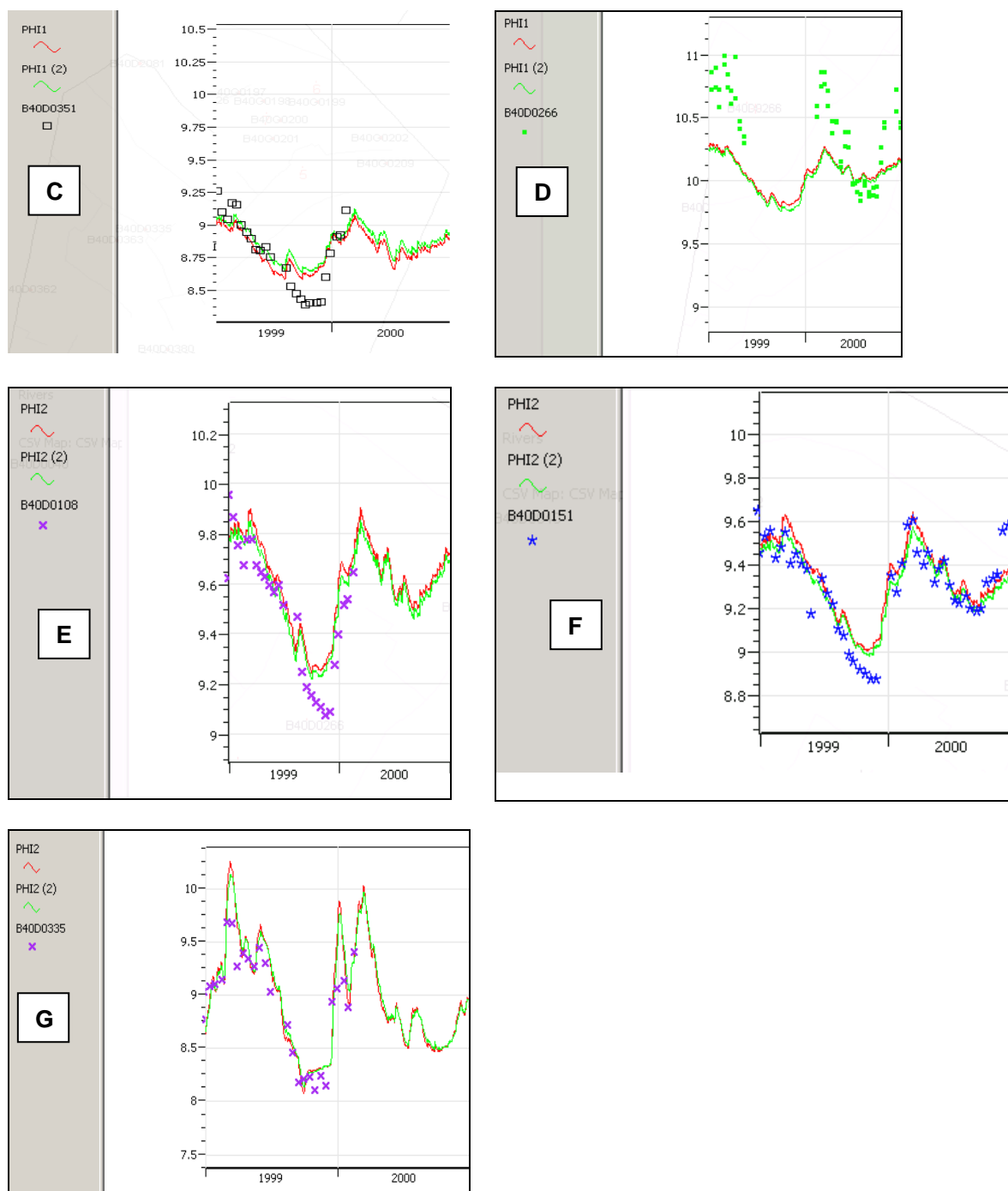
Verschillen tussen de berekende en gemeten grondwaterstanden variëren tussen 0,01 en 0,50 meter, met een gemiddelde van 0,30 meter (figuur 2.9). In de uiterwaard zelf zijn de berekende grondwaterstanden maximaal 0,05 meter hoger dan de gemeten grondwaterstanden. Dit verschil is dus zeer beperkt. De verklaring voor de overige verschillen in de grondwaterstanden zijn de lokale verschillen in de deklaag, die lokaal qua dikte en/of weerstand varieert. Dit blijkt ook uit bestaande boorgegevens. Gerekend is met de beste inschatting voor de deklaagweerstand. Lokale verschillen zijn niet mee te nemen in het detailmodel, deze zijn te lokaal voor de modelresolutie 20m. De berekende grondwaterstanden zijn overal te hoog, waardoor het model de effecten van de Millingerwaard meer worst-case dan te optimistisch berekend.

Verschillen tussen de berekende en gemeten stijghoogte in het eerste watervoerende pakket variëren tussen -0,40 en 0,20 meter, met een gemiddelde van -0,01 meter (figuur 2.11). Met name in het zuidwestelijk deel van het modelgebied worden de stijghoogten onderschat in de berekeningen. Oorzaak kan zijn dat in deze peilbuizen meer de grondwaterstand wordt gemeten dan de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. De grondwaterstand kan zich als gevolg van neerslag hoger instellen dan de stijghoogte. Het aantal peilbuizen met filters in het eerste watervoerende pakket op grotere afstand van de Waal is beperkt. Hierdoor is het goed inschatten van de doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket minder eenduidig. Gekozen is om de doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket aan de hoge kant in te schatten, zodat de effectberekening worst case is.

### Tijdsafhankelijk resultaat

Om inzicht te krijgen in de mate waarin het model de meetgegevens simuleert zijn berekende tijdstijghoogten en meetgegevens in de periode 1999-2000 met elkaar vergeleken. Om het effect van de kalibratie te tonen is de tijdsafhankelijke berekening met het Rivierenmodel (voor kalibratie) vergeleken met een berekening met het detailmodel (na kalibratie). In figuur 2.11 zijn de modelresultaten voor en na kalibratie gepresenteerd met de gemeten grondwaterstanden in de peilbuizen B40D0262, B40D0265, B40D0351, B40D0266 (A t/m D) en de gemeten stijghoogten in het eerste watervoerende pakket in de peilbuizen B40D0108, B40D0151 en B40D0335 (E t/m G).





**Figuur 2.11: Modelresultaten van het Rivierenlandmodel voor kalibratie (rode lijnen) en het TRIWACO detailmodel na kalibratie (groene lijnen). De gemeten waarden zijn weergegeven voor grondwaterstanden (A t/m D) en stijghoogten van het eerste watervoerende pakket (E t/m G). De verticale schaal is niet hetzelfde voor alle figuren.**

Figuren A en B tonen de berekende grondwaterstanden in de uiterwaard met het detailmodel na de kalibratie. Om het verder uitzakken van de grondwaterstand te simuleren is de deklaagweerstand tijdens de calibratie verlaagd. Te zien is dat het gekalibreerde model iets verder uitzakt dan het model voor calibratie. De metingen laten zien dat de grondwaterstanden (lokaal) nog iets verder kan uitzakken (figuur A, B, C).

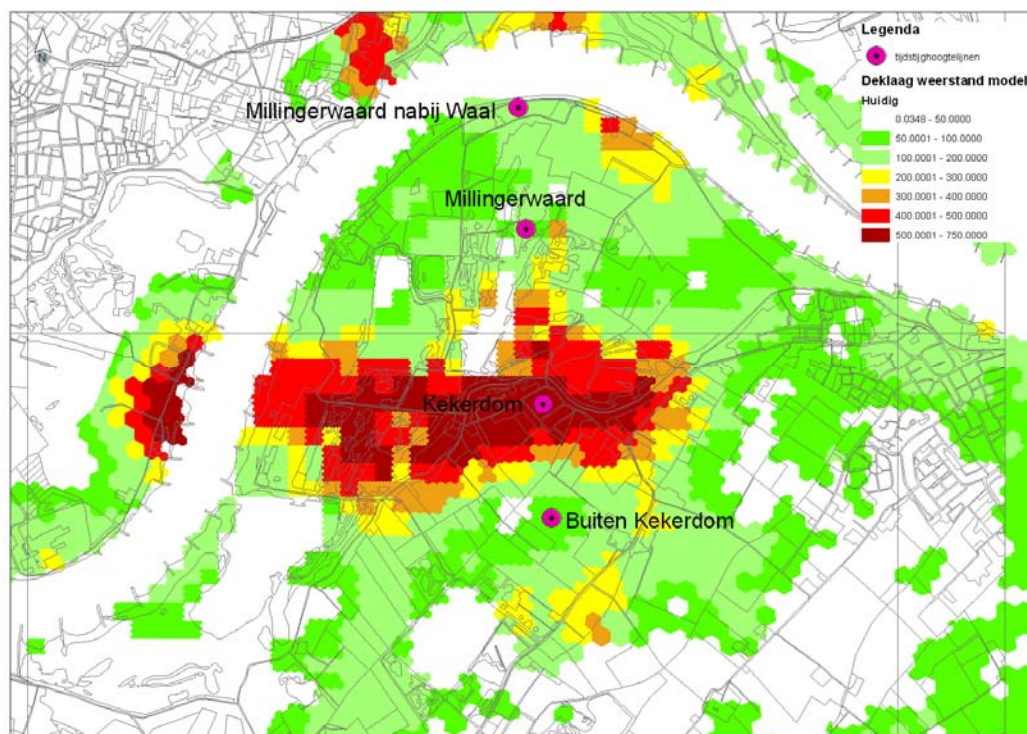
Peilbuizen nabij de Waal laten de grootste fluctuaties zien (figuur A en G) en peilbuizen verder van de Waal kleinere fluctuaties (C, E en F). Deze fluctuaties worden enigszins onderschat in de peilbuizen B40D0265 en B40D0266 (figuur B en D), maar worden goed gemodelleerd in de overige peilbuizen (figuur A, C, E, F en G). De stijghoogten in het eerste watervoerende pakket ter plaatse van peilbuis B40D0108, B40D0151 en B40D0335 (figuren E, F en G) tonen een goede overeenkomst met gemeten stijghoogten.

### 3 ALTERNATIEVEN

#### 3.1 Huidige situatie

De Millingerwaard is een buitendijks gebied waarin enkele plassen en een oude zandwinplas aanwezig zijn. De gehele uiterwaard is omringd door kades. In het zuiden door de Kekerdome Waard (weg naar de Beijer 13,40 m+NAP) en in het noorden door de Millingsedam (14,70 m+NAP). Het binnendijkse gebied, gelegen tussen de kernen Millingen, Kekerdome en Leuth is een vrij afwaterend gebied. Het gebied wordt ontwaterd door een stelsel van hoofdwatgangen (Bimmersche-, Zeelandsche- en Smalle Wielsche Wetering). Deze weteringen komen uit op de Hauptwässerung, die vervolgens weer uitmondt in Het Meer. In de normale situatie watert Het Meer onder vrij verval af op de Waal nabij Nijmegen.

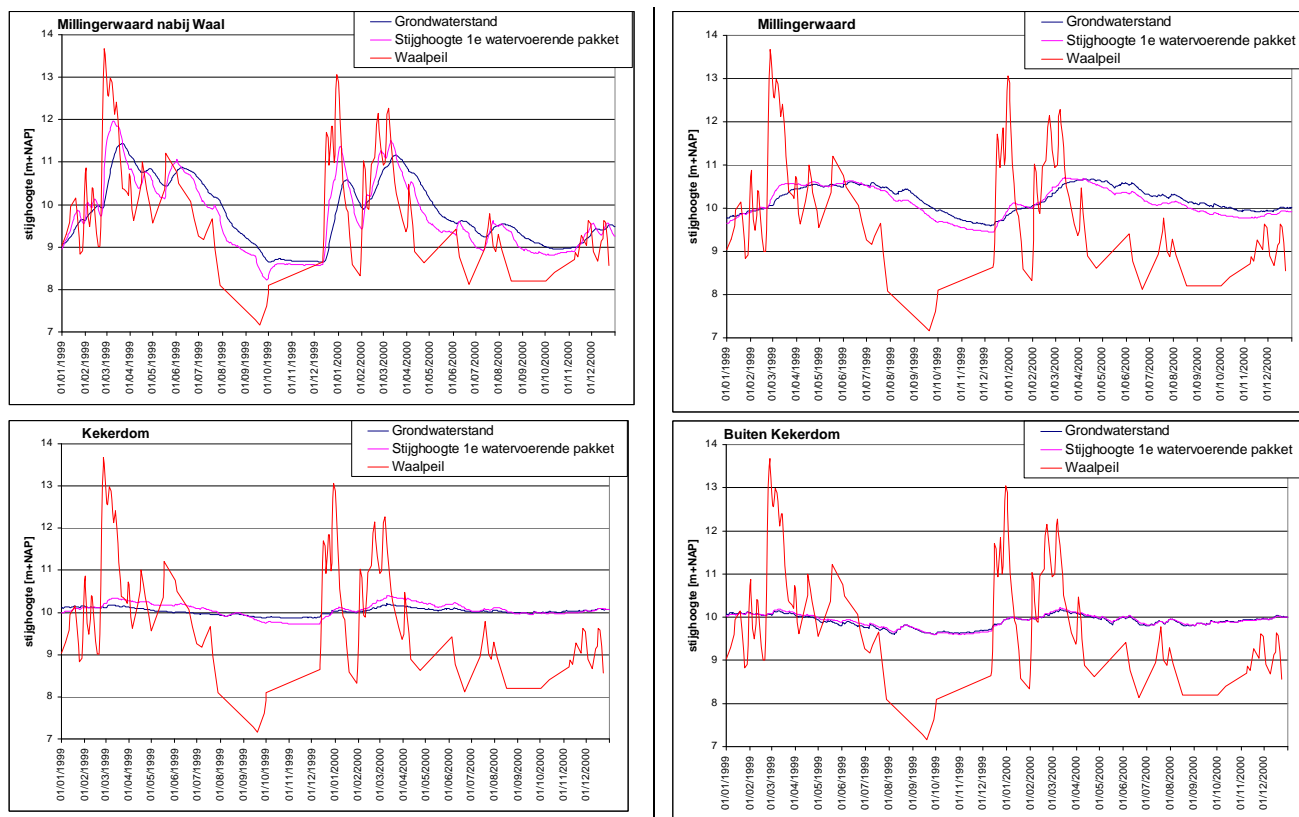
Structureel heeft de Waal dus een drainerende werking op het grondwater en is sprake van een grondwaterstroming vanuit het zuidoosten naar de Millingerwaard en de Waal toe. In hoogwatersituaties inundeert de Millingerwaard en is er sprake van kwel vanuit de Waal en de Millingerwaard naar het binnendijkse gebied. Hoe de stijghoogten en grondwaterstanden op veranderingen van het Waalpeil en inundatie vanuit de Waal reageren wordt geïllustreerd aan de hand van vier tijdstijghoogtelijnen: Twee tijdstijghoogtelijnen in de Millingerwaard, één tijdstijghoogtelijn ter plaatse van het dorp Kekerdome en één tijdstijghoogtelijn buiten Kekerdome op een locatie met een dunnere deklaag dan in Kekerdome. In figuur 3.1 zijn deze locaties weergegeven.



**Figuur 3.1: Locatie tijdstijghoogtelijnen en de deklaag weerstand in het model**

In figuur 3.2 zijn de verschillende tijdstijghoogtelijnen weergegeven voor deze vier locaties. In deze figuren is ook het Waalpeil weergegeven.

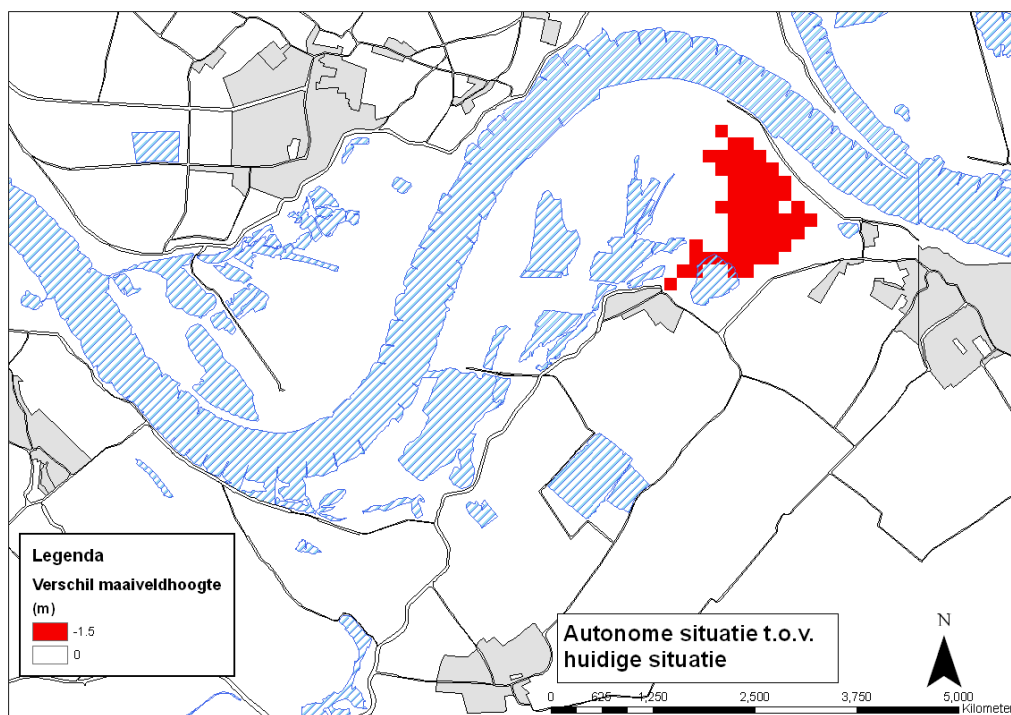




**Figuur 3.2: Grondwaterstandverloop/stijghoogteverloop in de huidige situatie zoals berekend met het detailmodel samen met het Waalpeil voor 4 locaties (in de Millingerwaard nabij de Waal, in de Millingerwaard, in Kekerdom en buiten Kekerdom).**

### 3.2 Autonome ontwikkeling

De effecten van de alternatieven op het grondwater worden vergeleken met de autonome ontwikkeling. In de autonome situatie heeft er meer ontkleining plaatsgevonden in de Millingerwaard, dan in de huidige situatie. Hierdoor is het maaiveld ten opzichte van het maaiveld in de huidige situatie verlaagd. Het verschil tussen de huidige situatie (begin 2009, zie figuur 2.4) en de autonome ontwikkeling is weergegeven in figuur 3.3. Hieruit blijkt dat met name in de noordoost hoek van de Millingerwaard ontkleining is voorzien. Het effect ten opzichte van de huidige situatie zal een lichte toename aan infiltratie zijn naar het eerste watervoerende pakket tijdens hoogwater, omdat de deklaag hier is weggegraven.



Figuur 3.3: Maaiveldhoogte in autonome situatie t.o.v. huidige situatie

### 3.3 Beschrijving alternatieven

In het MER Millingerwaard zijn de volgende alternatieven onderscheiden:

- alternatief I / Meest Milieuvriendelijk Alternatief;
- alternatief II: Maximale rivierdynamiek (met behoud van De Beijer);
- alternatief III: Maximale rivierdynamiek (met volledig behoud van De Beijer);
- alternatief IV: Ecologische variatie;
- alternatief V: Landschappelijke variatie;
- alternatief VI: Minimale ingrepen;
- voorkeursalternatief.

Een uitgebreide beschrijving van deze alternatieven is te vinden in hoofdstuk 4 van het MER Hoofdrapport (Royal Haskoning, 2010a)

De alternatieven verschillen in omvang en locatie van de ontgravingen. De verschillen tussen de alternatieven die van belang zijn voor de grondwatereffecten worden hieronder kort toegelicht. Grondwaterstanden zijn erg gevoelig voor de ligging van het maaiveld, deze is juist per alternatief aan verandering onderhevig. Per alternatief is een nieuwe maaiveldhoogte, inclusief de ontgravingen, vastgesteld. Deze zogenaamde DTM's (Digital Terrain Models) zijn omgezet naar nieuwe maaiveldhoogten per alternatief.

Het MMA en alternatief II zijn wat betreft de grondwatereffecten gelijk aan elkaar. Deze alternatieven omvatten beiden maximale rivierdynamiek, waarbij twee geulen in contact staan met de plassen in de uiterwaard. Vrijwel in de hele uiterwaard staan de plassen rechtstreeks in verbinding met de waterstanden op de Waal. Er is geen sprake van drempels.

In alternatief III is een brede geul voorzien, waardoor er verschil zal ontstaan tussen de grondwatereffecten van alternatief III en het MMA/alternatief II.

Alternatief IV heeft drempels, waardoor tijdens laagwater een kleiner gedeelte van de uiterwaard rechtstreeks in verbinding staat met de Waal. Dit heeft een ecologisch toegevoegde waarde. Tijdens hoogwater (>12,5 m+NAP = drempelhoogte) krijgt de Waal ook hier vrij spel en zal de uiterwaard overstromen. Tevens zal hier aan de oostkant ook een omputlocatie gereserveerd worden.

Alternatief V heeft net als het MMA en alternatief II en III volledig meebewegende plassen in de uiterwaard. Het grootste verschil zit in de uitgraving van de oostkant van de uiterwaard. Tevens zal hier aan de oostkant ook een omputlocatie gereserveerd worden.

Alternatief VI heeft vrijwel hetzelfde patroon als alternatief IV alleen worden er iets minder uitgravingen achter de drempels gedaan en er zal maar één brede geul gegraven worden. De drempel ligt ook iets lager dan bij alternatief IV op 12 m+NAP en de Oude Waal is omgeven door een drempel op dezelfde hoogte.

Het Voorkeursalternatief (VKA) heeft dezelfde uitgravingen aan de noordkant en oostkant als alternatief V. Net als alternatief III zal er één grote hoofdgeul naar het noordoosten lopen. Deze hoofdgeul wordt in dit alternatief echter iets naar het westen opgeschoven. De geul loopt dan over een gedeelte van het terrein van de Beijer dat hier is weggelaten.

## 4 AANPAK EFFECTBESCHRIJVING

### 4.1 Beoordelingskader grondwatereffecten

Het beoordelingskader vormt de basis voor de beoordeling van de grondwatereffecten op de omgeving en is opgenomen in tabel 4.1. De beoordeling van de grondwatereffecten vindt plaats aan de hand van zes beoordelingscriteria. De criteria zijn afgeleid van de Richtlijnen voor het MER Herinrichting Millingerwaard (provincie Gelderland, 2008) en de vigerende wet- en regelgeving. Voor elk criterium geeft de tabel de wijze van beoordeling weer en de waardering daarvan. De bijbehorende rekentechnieken voor het bepalen van de effecten op de grondwaterstand zijn beschreven in paragraaf 4.2.

Tabel 4.1: Beoordelingskader geohydrologie MER Millingerwaard

	Beoordelingscriterium	Waardering		
		--	-	0
G1	Droogteschade landbouw	> 0,5m daling stijghoogte in zomerperiode per km <sup>2</sup>	0,2 - 0,5 m daling stijghoogte in zomerperiode per km <sup>2</sup>	< 0,2 m daling stijghoogte in zomerperiode per km <sup>2</sup>
G2	Zettingsrisico gebouwen en infrastructuur	> 0,2m daling stijghoogte in zomerperiode t.p.v. bebouwing	0,1 - 0,2 m daling stijghoogte in zomerperiode t.p.v. bebouwing	< 0,1m daling stijghoogte in zomerperiode t.p.v. bebouwing
G3	Grondwateroverlast bebouwing	> 0,5 m stijging stijghoogte 1 <sup>e</sup> wvp in winterperiode t.p.v. bebouwing	0,2 - 0,5 m stijging stijghoogte 1 <sup>e</sup> wvp in winterperiode t.p.v. bebouwing	< 0,2 m stijging stijghoogte 1 <sup>e</sup> wvp in winterperiode t.p.v. bebouwing
G4	Grondwaterafhankelijke natuur	> 0,2m daling stijghoogte in zomerperiode t.p.v. grondwaterafhankelijke natuur	0,05 - 0,2m daling stijghoogte in zomerperiode t.p.v. grondwaterafhankelijke natuur	< 0,05m daling stijghoogte in zomerperiode t.p.v. grondwaterafhankelijke natuur
G5	Afvoer binnendijks gebied	> 2mm/d toename kwel bij hoogwater (T=2) per km <sup>2</sup>	> 0.5-2 mm/d toename kwel bij hoogwater (T=2) per km <sup>2</sup>	< 0.5mm/d beperkte toename kwel bij hoogwater (T=2) per km <sup>2</sup>
G6	Natschade landbouw	> 0,5 m stijging stijghoogte 1 <sup>e</sup> wvp in winterperiode per km <sup>2</sup>	0,2 - 0,5 m stijging stijghoogte 1 <sup>e</sup> wvp in winterperiode per km <sup>2</sup>	< 0,2 m stijging stijghoogte 1 <sup>e</sup> wvp in winterperiode per km <sup>2</sup>

### 4.2 Grondwaterberekeningen alternatieven

Om de in tabel 4.1 weergegeven beoordeling te kunnen uitvoeren zijn de volgende grondwaterberekeningen uitgevoerd per alternatief. Daarbij verwijst de code naar het criterium:

- gemiddelde zomer (G1, G2, G4): tijdsafhankelijke berekening met gemiddelde zomer tijdens de periode 1994-2004;

- gemiddelde winter (G3, G6): tijdsafhankelijke berekening met gemiddelde winter tijdens de periode 1994-2004;
- hoogwater (G5): tijdsafhankelijke berekening met een hoogwatergolf die ongeveer eens in de twee jaar voorkomt tijdens de periode 1994-2004 (T=2). In deze tijdsafhankelijke berekening is de kweltoename beoordeeld.

#### *Gemiddelde situatie*

De gemiddelde situatie is gebaseerd op het gemiddelde van het hydrologische jaar april 1999-april 2000.

#### *Gemiddelde zomersituatie*

In figuur 2.4 zijn de waterstanden op de Waal weergegeven voor de periode 1994-2004. In de figuur is te zien dat in de meeste jaren de waterstand op de Waal in de zomerperiode ligt rond de 7,5 m+NAP. De zomer van 1999 laat min of meer een overeenkomstige waterstand op de Waal zien. Daarom is de gemiddelde zomersituatie gesimuleerd op basis van zomer 1999.

#### *Gemiddelde wintersituatie*

In figuur 2.4 zijn de waterstanden op de Waal weergegeven voor de periode 1994-2004. In de figuur is te zien dat in de meeste jaren de waterstand op de Waal in de winterperiode ligt rond de 11 m+NAP. De winter van 1999/2000 vertoont een overeenkomstige waterstand op de Waal. Daarom is de gemiddelde wintersituatie gesimuleerd op basis van winter 1999/2000.

#### *Hoogwatersituatie (T=2)*

De hoogwatergolf met een herhalingsijd van eens in de twee jaar is de hoogwatergolf met de maximale waterstand die in de periode 1994-2004 zes keer wordt overschreden. Het waterpeil dat zes keer wordt overschreden gedurende de winterseizoenen ligt rond de 13,7 m+NAP bij de Erlecomse Waard. De hoogwatergolf die plaatsvindt in begin 1999 voldoet aan dit criterium. Voor de effecten is T=2 worstcase, omdat dan in de autonome situatie amper sprake is van inundatie vanuit de Waal en in het ontwerp van de alternatieven wel. Voor absolute waarden zijn hogere herhalingsijden wel maatgevend.

#### *Tijdsafhankelijke berekeningen*

De tijdsafhankelijke berekeningen zijn doorgerekend voor de periode 1993-2000. De eerste vijf jaren 1993-1998 is de inspeelperiode van het detailmodel. In deze periode is gerekend met een constante waterstand op de Waal (rond de 8,5 m+NAP bij de Erlecomse Waard), constante KNMI neerslag en verdampingsgegevens van het meetstation Gendringen. De grootte van de tijdstappen is in deze periode één maand. Vanaf begin 1999 t/m 2000 is gerekend met een tijdstap van één dag.

De tijdsafhankelijke berekening bevat nu alle benodigde situaties, te weten:

- inspeelperiode: 1993-1998;
- gemiddeld (hydrologisch) jaar: 1 april 1999 tot 1 april 2000;
- hoogwatergolf (T=2): begin 1999.

De gemiddelde wintersituatie is in dit rapport gedefinieerd als de grondwaterstand die in het gemiddeld hydrologische jaar 12,5 % van de tijd wordt overschreden.

De gemiddelde zomersituatie is de grondwaterstand die in het gemiddeld hydrologische jaar 12,5 % van de tijd wordt onderschreden.

Om deze gegevens te genereren is in elk knooppunt van het detailmodel voor het gemiddeld hydrologische jaar de statistische onderschrijding bepaald voor de 12.5%, 50% en 87.5% onderschrijdingswaarden.

De gemiddelde wintergrondwaterstand komt op deze manier ongeveer overeen met een GHG situatie, en de gemiddelde zomergrondwaterstand met een GLG situatie.

GHG en GLG situaties zijn binnen de hydrologie algemeen gebruikte situaties voor het bepalen van een effect in de winter respectievelijk zomer.

Voor de hoogwatersituatie ( $T=2$ ) is in elk knooppunt van het detailmodel voor het begin van 1999 de statistische onderschrijding bepaald voor de 100% onderschrijdingswaarden. Dit betekent dat maximale stijghoogten van de autonome situatie is vergeleken met de maximale stijghoogten van de alternatieven.

Omdat er met statistische overschrijdings- en onderschrijdingswaarden is gerekend, hoeven de effecten van hoogwater dus niet op hetzelfde tijdstip op te treden binnen het modelgebied. Met deze methode is dus bijvoorbeeld voor elk modelknooppunt het maximale effect getoond en niet het effect op één daadwerkelijk tijdsmoment.

### 4.3 Extra grondwaterberekeningen Voorkeursalternatief

Specifiek voor het Voorkeursalternatief zijn er extra tijdsafhankelijke berekeningen gemaakt:

- hoogwater ( $T=10$ ): tijdsafhankelijke berekening met een hoogwatergolf die ongeveer eens in de tien jaar voorkomt (hoogwater begin 2003);
- laagwater ( $T=2$ ): tijdsafhankelijke berekening met laagwater dat ongeveer eens in de twee jaar voorkomt (zomer 1999);
- laagwater ( $T=10$ ): tijdsafhankelijke berekening met laagwater dat ongeveer eens in de tien jaar voorkomt (zomer 2003).

#### *Hoogwatersituatie ( $T=10$ )*

De hoogwatergolf met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar is de hoogwatergolf met de maximale waterstand die in de periode 1994-2004 één keer wordt overschreden (door de hoogwatergolf van 1995). De hoogwatergolf begin 2003 heeft een herhalingstijd van eens in de tien. Deze golf heeft een piekwaterstand van 14,20 m+NAP ter hoogte van de Beijer.

#### *Laagwatersituatie ( $T=2$ en $T=10$ )*

Voor de laagwatersituatie van eens in de twee jaar is zomer 1999 aangenomen. De laagwatersituatie van eens in de tien jaar komt voor in de zomer 2003. Deze periode is het meest droge jaar in de periode 1994 en 2004 en komt overeen met een  $T=10$  droge situatie. In de zomer van 1999 daalde het Waalpeil tot 7,17 m+NAP en in de zomer van 2003 tot 6,12 m+NAP ter hoogte van de Beijer.

#### *Tijdsafhankelijke berekeningen*

Aanvullende op de tijdsafhankelijke berekeningen voor de effectbeoordeling van het Voorkeursalternatief is voor de aanvullende berekeningen de rekenperiode verlengd van 1993-2000 naar 1993-2003. Ook hierbij is de inspeelperiode 1993-1998, met tijdstapgrootte van één maand. Vanaf begin 1999 t/m 2000 is gerekend met een tijdstap van één dag.



Voor de overbrugging naar 2003 is vanaf 2001 t/m 2002 weer met een maandelijkse tijdstap gerekend om vanaf 2003 weer met een dagelijkse tijdstap te rekenen. De tijdsafhankelijke berekening voor het Voorkeursalternatief bevat nu alle benodigde situaties, te weten:

- inspeelperiode: 1993-1998;
- gemiddeld (hydrologisch) jaar: 1 april 1999 tot 1 april 2000;
- hoogwatergolf (T=2): begin 1999;
- laagwatergolf (T=2): zomer 1999;
- tussenperiode: 2001 en 2002;
- hoogwatergolf (T=10): begin 2003;
- laagwatersituatie (T=10): zomer 2003.

Voor de hoogwatersituatie (T=10) is in elk knooppunt van het detailmodel voor het begin van 2003 de statistische onderschrijding bepaald voor de 100% onderschrijdingswaarden. Voor de laagwatersituatie (T=2) is in elk knooppunt van het detailmodel voor heel 1999 de statistische onderschrijding bepaald voor de 0% onderschrijdingswaarden. Voor de laagwatersituatie (T=10) is in elk knooppunt van het detailmodel voor heel 2003 de statistische onderschrijding bepaald voor de 0% onderschrijdingswaarden. Eveneens geldt hier dat de maximale of minimale stijghoogten van de autonome situatie is vergeleken met de maximale/minimale stijghoogten van de alternatieven.

#### 4.4 Alternatieven in grondwatermodel

Voor het zo representatief mogelijk modelleren van grondwaterstanden is het belangrijk om aandacht te leggen op het gedrag van het oppervlaktewater in de uiterwaard en hoe zich dat verhoudt tot de verschillende alternatieven. Het meebewegen van het oppervlaktewaterpeil in de Millingerwaard met het Waalpeil is meegenomen in het grondwatermodel. Ook eventuele drempels in de verschillende alternatieven zijn meegenomen in het grondwatermodel.

De volgende situaties zijn te onderscheiden voor het oppervlaktewater in de Millingerwaard:

1. Wanneer oppervlaktewater in de Millingerwaard in direct contact staat met de Waal dan wordt (middels het topsysteem van het grondwatermodel) het Waalpeil opgelegd aan het oppervlaktewaterpeil;
2. Wanneer oppervlaktewater in de Millingerwaard zich achter een drempel bevindt dan beweegt dit oppervlaktewater met de grondwaterstand mee zolang als het Waalpeil lager is dan het drempelpeil. Wanneer het Waalpeil hoger is dan het drempelpeil dan wordt het oppervlaktewaterpeil achter de drempel opgelegd en wordt deze gelijk aan het Waalpeil.

Het grondwater in de Millingerwaard wordt door het grondwatermodel uitgerekend. Wanneer echter het Waalpeil hoger dan het maaiveld wordt vindt inundatie vanuit de Waal plaats en wordt het grondwaterpeil op de plek van de inundatie gelijk aan het Waalpeil.

De drempels, drempelhoogten, inundaties en inundatiefrequenties van de verschillende alternatieven staan beschreven in de notitie “verkenning inundatiefrequenties Millingerwaard” (Royal Haskoning, 2010c). Kort samengevat bevatten het MMA en de alternatieven II, III en V geen drempels, alleen altijd met het Waalpeil meebewegend oppervlaktewater (geulen). De alternatieven IV en VI hebben een gedeelte altijd met het Waalpeil meebewegende plassen en een gedeelte aan plassen achter drempels die dus bij lage Waalpeilen (lager dan drempelhoogte) met het grondwater meebewegen, en bij hoge Waalpeilen (hoger dan drempelhoogte) met de Waal meebewegen. De drempel voor alternatief IV bevindt zich op 12,5 m+NAP, de drempel voor alternatief VI is iets lager en bevindt zich op 12 m+NAP. Het oppervlaktewater achter de drempel in alternatief VI wordt dus sneller door de Waal beïnvloed dan het oppervlaktewater achter de drempel in alternatief IV.

Als gevolg van uitgravingen wordt de deklaag dunner. In het grondwatermodel is de weerstand van de deklaag aangepast om het uitgraven te schematiseren. De deklaag is aangepast na ratio van de te ontgraven grond. Indien sprake is van omputten zoals bij alternatieven IV, V en VKA dan is er gerekend met de deklaagweerstand in de eindsituatie, dus met de gegraven geulen en met een omputlocatie (zie MER Millingerwaard, Royal Haskoning 2010a).

## 5 EFFECTBESCHRIJVING EN BEOORDELING

### 5.1 Effecten t.o.v. autonome situatie

De resultaten van de modelberekeningen zoals beschreven in hoofdstuk 4 zijn als de verandering van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket gepresenteerd. Dit is in verband met een onzekerheid in de samenstelling en dikte van de deklaag. De vertaling en doorwerking van het effect op de grondwaterstand ten opzichte van de autonome situatie vindt dus plaats via het eerste watervoerende pakket. De deklaag kan een iets dempend effect hebben op de stijghoogte verandering. Gezien de relatief lage deklaagweerstand in het gebied is dit dempende effect (op de stijghoogte verandering) klein. In de autonome ontwikkeling stroomt er zowel in de gemiddelde zomersituatie als in de gemiddelde wintersituatie geen water de Millingerwaard in, door de hoge drempels rondom de Millingerwaard (Millingsedam 14,70 m+NAP en Kekerdome Waard 13,40 m+NAP)

Voor het beoordelen van de effecten in de hoogwatersituatie zal ook gekeken worden naar toename van stijghoogten, maar beoordeeld worden op toename van kwelintensiteiten (mm/d) ten opzichte van de autonome situatie. Dit is de flux die optreedt van het eerste watervoerende pakket naar de deklaag (van modellaag 2 naar modellaag 1) De gepresenteerde kweleffecten zijn de maximale kwelhoeveelheden die optreden in een periode rondom de hoogwatersituatie. Voor binnendijs is de kweltoename maximaal tijdens of direct na de hoogwaterperioden. Let op, op dat moment is er buitendijs sprake van infiltratie in de geulen naar het eerste watervoerende pakket. De kweltoename gepresenteerd buitendijs is geen kweltoename op hetzelfde tijdstip (zie ook paragraaf 4.2).

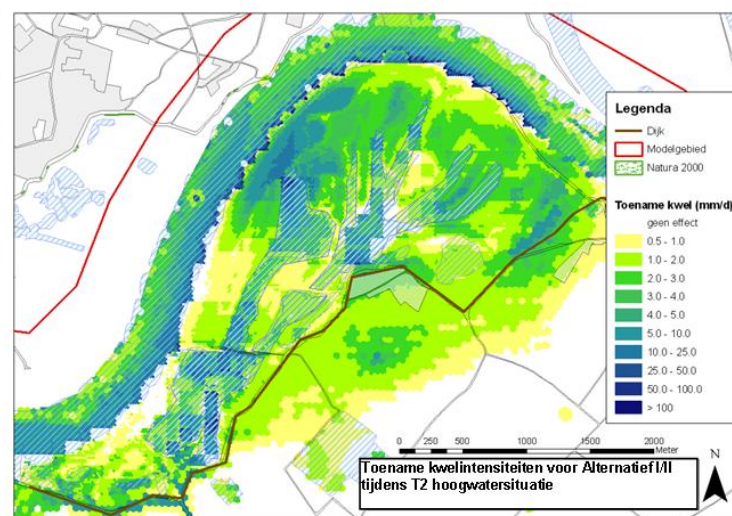
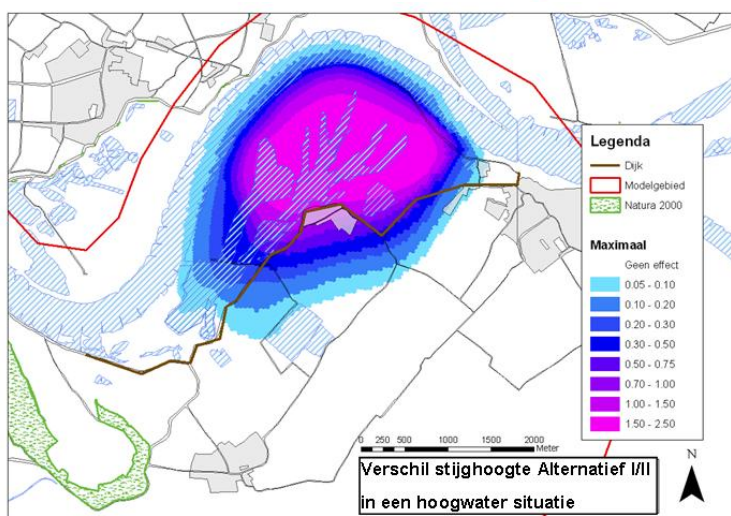
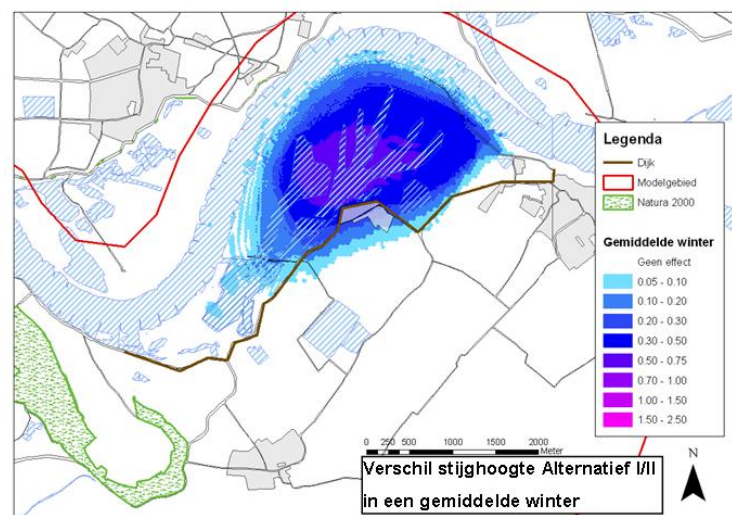
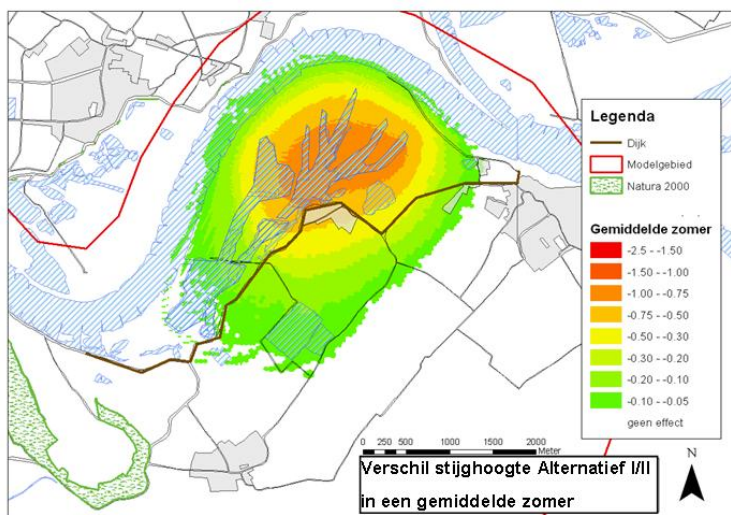
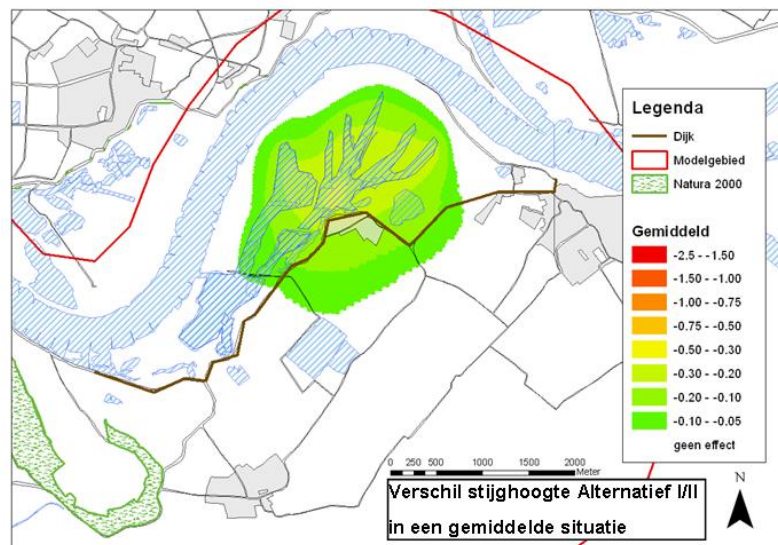
### 5.2 Meest Milieuvriendelijke Alternatief (MMA)

#### *Gemiddelde situatie*

In de gemiddelde situatie treedt er alleen stijghoogteverlaging op t.o.v. de autonome situatie (Figuur 5.1). Dit gebeurt zoals verwacht op de plekken van nieuwe uitgravingen. Het oppervlaktewater in het MMA draineert weg onder deze situatie, omdat de stijghoogten in de meebewegende plassen gelijk zijn aan het Waalpeil. Door deze plassen vindt dus drainage plaats. In de autonome situatie wordt het peil van de plassen in de uiterwaard niet direct beïnvloed door het Waalpeil door de aanwezige drempels en deklagen. Hierdoor is in de autonome situatie een minder grote drainerende werking op het grondwater. De reikwijdte van de stijghoogteverlaging bedraagt in het MMA maximaal circa 1 kilometer. Ter plaatse van het stedelijke gebied van Kekerdome treedt in de gemiddelde situatie een stijghoogtedaling op van 0,2 tot 0,3 meter.

#### *Gemiddelde winter*

In de gemiddelde winter (Figuur 5.1) is het peil in de meebewegende plassen in het MMA gelijk aan het Waalpeil. Het oppervlak aan meebewegende plassen is groter dan in de autonome situatie, omdat de uiterwaard in de autonome situatie nog niet is volgelopen door de hoge omliggende drempels. Hierdoor is het effect van meebewegende plassen in het MMA verhogend op de stijghoogte. De stijghoogteverhoging komt aan de rand van de dijk bij Kekerdome 0,3 tot 0,5m hoger en reikt tot enkele honderden meters binnendijs ten opzichte van de autonome ontwikkeling.



Figuur 5.1: Resultaten grondwater en kwel berekeningen voor het MMA en alternatief II ten opzichte van de autonome situatie

#### *Gemiddelde zomer*

In de zomersituatie (Figuur 5.1) treedt in het MMA de grootste stijghoogteverlaging op (maximaal 1 meter). In de autonome situatie is ook in de zomer geen sprake van meebewegende plassen door de hoge omliggende drempels. De reikwijdte van de stijghoogte effecten is tot maximaal circa 1,5 km binnendijs te merken. Ter plaatse van het stedelijke gebied van Kekerdom bedraagt de stijghoogtedaling 0,75m.

#### *Hoogwatersituatie (T=2)*

Tijdens hoogwater stroomt de uiterwaard zowel in de autonome situatie als in het MMA vol. Het verschil in stijghoogten wordt dan bepaald door de zeer korte tijd dat in de autonome situatie net water van de Waal de uiterwaard instroomt en in het MMA de plassen al de hele tijd met de Waal hebben meebewogen met het hoogwater. De stijghoogteverhoging heeft nu een maximaal effect, omdat er een vergelijking is gemaakt tussen een nagenoeg lege uiterwaard (autonome situatie) en een volle uiterwaard (MMA). De diepte van de plassen en de daarbij behorende lagere deklaagweerstand zorgen ervoor dat het stijgende effect naar het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket kan komen. Buitendijs in de geulen treden maximale stijghoogteverhogingen op (zie paragraaf 4.2). Binnendijs, ter plaatse van Kekerdom, neemt de diepe stijghoogte toe met 1,5 meter, waardoor kwel toeneemt. In dit geval neemt de kwel binnendijs toe met 2 á 3mm/d. Afhankelijk van de dikte van de deklaag heeft dit een effect op Kekerdom. De toename van de stijghoogte reikt tot ongeveer 1 kilometer binnendijs.

### **5.3 Alternatief II: Maximale rivierdynamiek (behoud De Beijer)**

De ingrepen in alternatief II zijn geohydrologisch gezien identiek aan het MMA. Alternatief II is om deze reden niet doorgerekend. De geohydrologische effecten zijn gelijk aan het MMA.

### **5.4 Alternatief III: Maximale rivierdynamiek (volledig behoud De Beijer)**

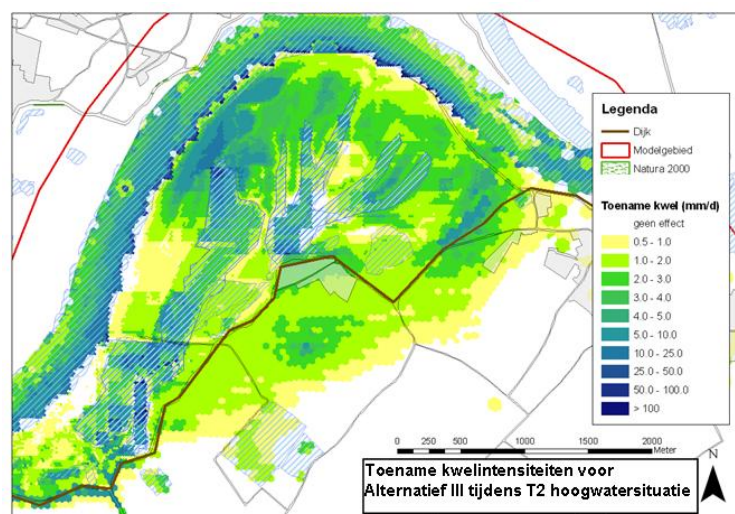
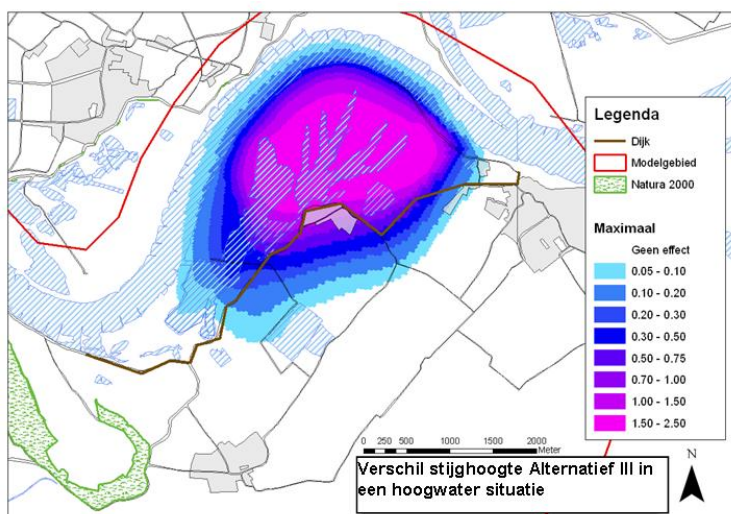
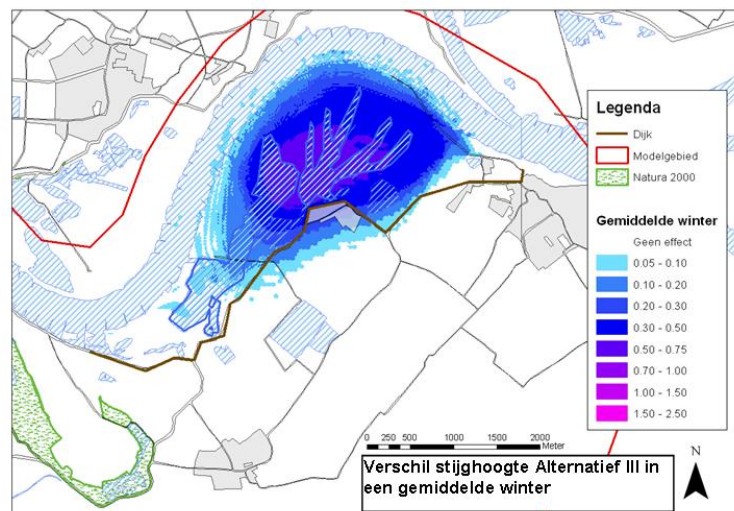
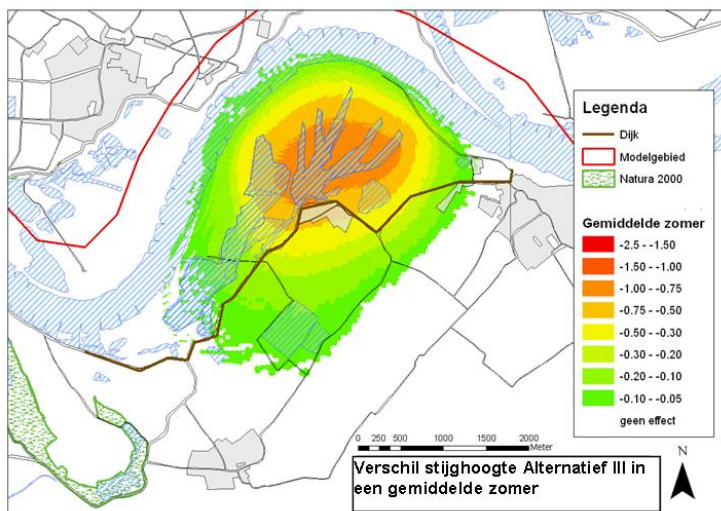
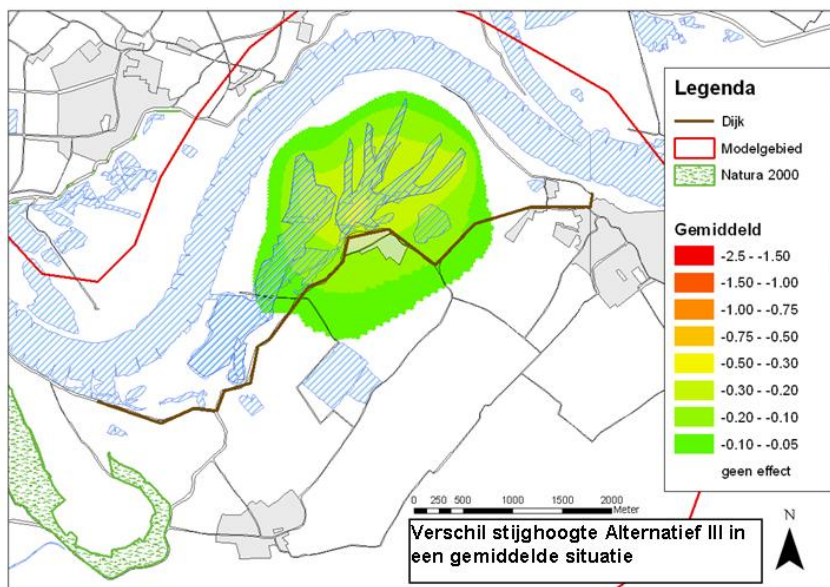
#### *Gemiddelde situatie*

In de gemiddelde situatie (Figuur 5.2) treedt er net als in het MMA en alternatief II alleen stijghoogteverlaging op t.o.v. de autonome situatie. De reikwijdte van de stijghoogteverlaging bedraagt hier, net als in het MMA en alternatief II maximaal circa 1 kilometer. Ter plaatse van het stedelijke gebied van Kekerdom treedt in de gemiddelde situatie een stijghoogtedaling op van 0,2 tot 0,3 meter.

#### *Gemiddelde winter*

Ook in de gemiddelde winter (Figuur 5.2) is het peil in de meebewegende plassen bij alternatief III gelijk aan het Waalpeil, waardoor een stijghoogteverhoging ten opzichte van de autonome ontwikkeling wordt veroorzaakt. De stijghoogteverhoging komt aan de rand van de dijk bij Kekerdom 0,3 tot 0,5m hoger en reikt tot enkele honderden meters binnendijs ten opzichte van de autonome situatie. Het verschil met het MMA en alternatief II is verwaarloosbaar.





Figuur 5.2: Resultaten grondwater en kwel berekeningen voor alternatief III ten opzichte van de autonome situatie

#### *Gemiddelde zomer*

In de zomersituatie, bij laagwater, treedt de grootste stijghoogteverlaging op voor alternatief III (maximaal 1 meter, zie figuur 5.2). Hoewel het oppervlak aan plassen waarin het peil meebeweegt met het Waalpeil in de zomersituatie het kleinst is treedt er toch een grote stijghoogteverlaging op. Dit effect wordt veroorzaakt door het verschil met de autonome situatie in de zomer waarin geen meebewegende plassen aanwezig zijn door de hoge omliggende drempels. De reikwijdte van de stijghoogte effecten is tot ongeveer 1.5 km binnendijks. Ter plaatse van het stedelijke gebied van Kekerdom bedraagt de stijghoogtedaling 0,75m.

#### *Hoogwatersituatie (T=2)*

Het grondwatersysteem in alternatief III werkt hetzelfde als in het MMA en alternatief II. De effecten van alternatief III zijn dan ook nagenoeg hetzelfde als bij het MMA en alternatief II. Het moment van vergelijken is opnieuw een worstcase situatie, omdat er een volle uiterwaard met een nagenoeg lege uiterwaard wordt vergeleken (paragraaf 4.2). Binnendijks, ter plaatse van Kekerdom, neemt de diepe stijghoogte toe met 1 tot 1,5 meter waardoor ook de kwel toeneemt. Dit leidt tot een toename van de kweldruk naar de deklaag met 2 á 3mm/d. De toename van de stijghoogte reikt eveneens tot ongeveer 1 kilometer binnendijks.

## **5.5 Alternatief IV: Ecologische variatie**

#### *Gemiddelde situatie*

Voor een gemiddelde situatie (Figuur 5.3) treedt er een combinatie op van een stijghoogteverlaging en een stijghoogtetoe name ten opzichte van de autonome situatie in alternatief IV. De verlaging treedt op zoals verwacht, net als in het MMA, in de geulen en plassen waar de waterstanden met de Waal meebewegen. Op de locatie van de compartimentering in de Millingerwaard treedt een toename in de stijghoogte op. De dammen die dit effect veroorzaken bevinden zich op een hoogte van 12,5 m+NAP. Bij alternatief IV overstroomt dit deel van de uiterwaard gedurende een korte periode tijdens een gemiddeld jaar in tegenstelling tot de autonome situatie waarbij de uiterwaard nagenoeg leeg blijft door de hoge omliggende dammen. Het gecompartmenteerde deel van de uiterwaard stroomt langzamer leeg dan in het MMA en alternatieven II en III door de omliggende drempels op 12,50 m+NAP, waardoor het geïnundeerde water via het grondwater gedraineerd moet worden. De reikwijdte van de stijghoogteverlaging beperkt zich tot het buitendijkse gebied. De stijghoogteverhoging reikt binnendijks maximaal enkele honderden meters. Ter plaatse van Kekerdom bedraagt de stijghoogteverhoging in de gemiddelde situatie 0,2 tot 0,3 meter.

#### *Gemiddelde winter*

In de gemiddelde winter (Figuur 5.3) treden hogere stijghoogten op in alternatief IV ten opzichte van de autonome situatie in de gehele Millingerwaard. Ter plaatse van het gecompartmenteerde deel van de uiterwaard zijn deze verschillen nog iets groter dan in het MMA en alternatief II en III. In de autonome situatie stroomt de Millingerwaard pas vol bij een waterstand hoger dan 13,40 m+NAP. In alternatief IV stromen de geulen die in open verbinding staan vol. Het ingedamde gebied zal in de gemiddelde winter voor een kort moment vollopen in alternatief IV, waardoor de stijghoogte toe zal nemen ten opzichte van de autonome situatie, waarin de drempels nog hoger liggen. De stijghoogtetoe name ter hoogte van Kekerdom gaat niet verder dan 0,5m en reikt enkele honderden meters binnendijks.



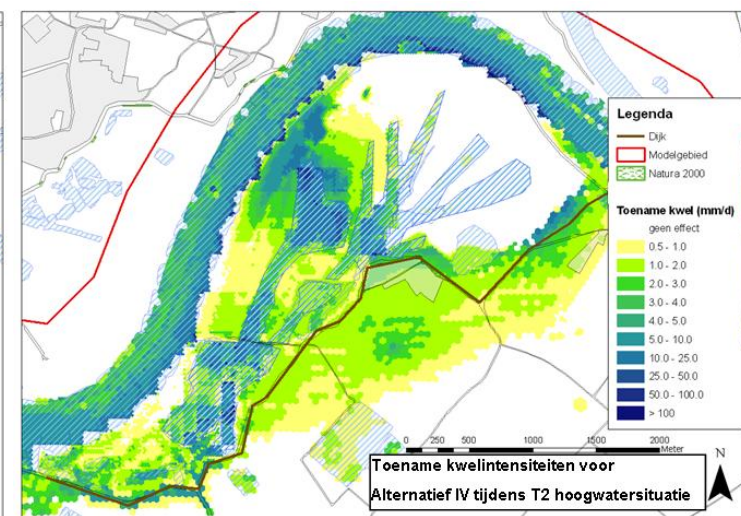
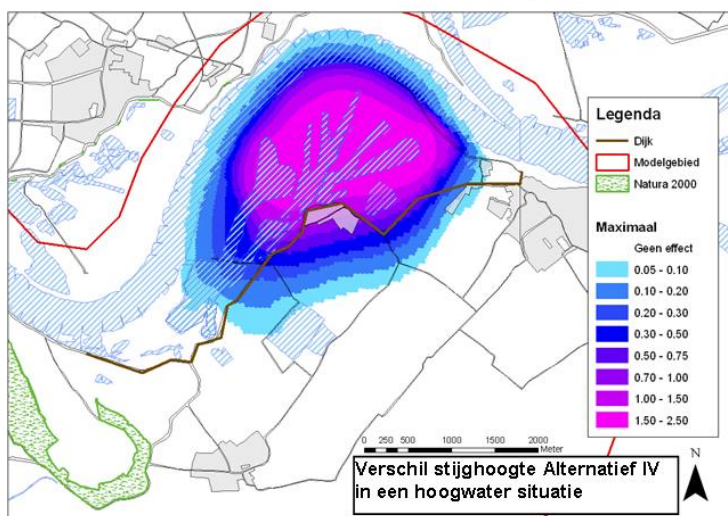
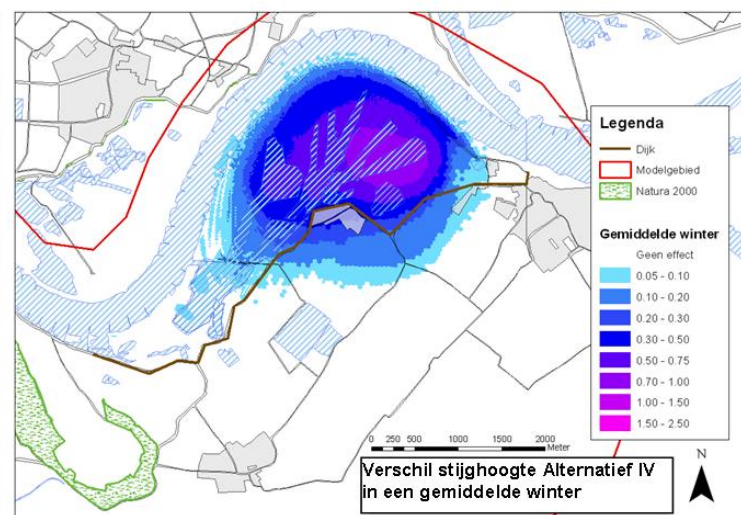
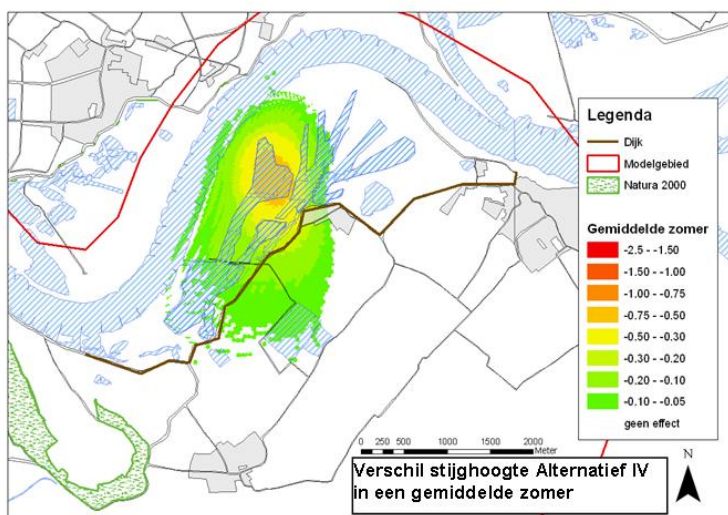
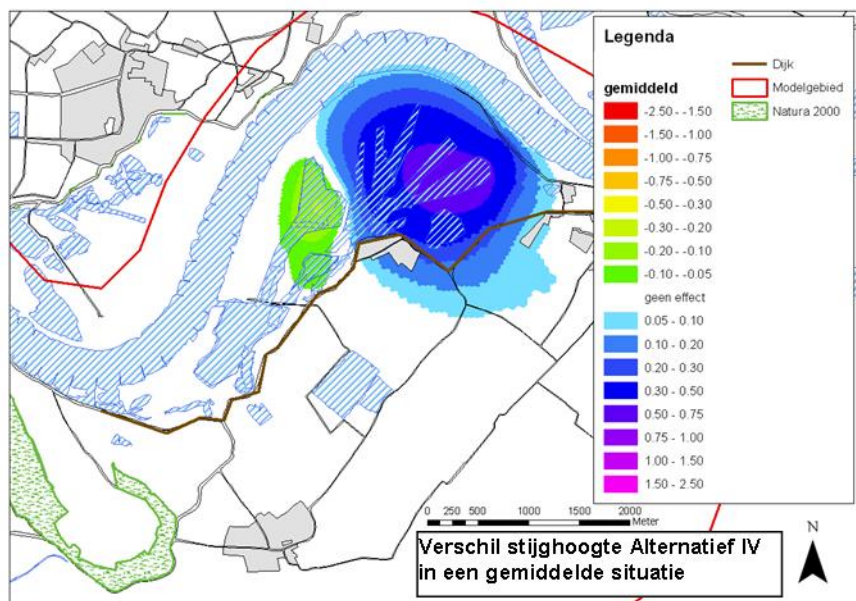
Vergeleken met het MMA en de alternatieven II en III heeft hier de gemiddelde winter een iets groter effect, doordat het water in het gecompartmenteerde gebied niet weg kan stromen via het oppervlaktewater. Dit heeft iets grotere stijghoogteverhogingen tot gevolg.

#### *Gemiddelde zomer*

De zomersituatie (Figuur 5.3) vertoont een stijghoogteverlaging. In de gemiddelde zomer inundeert er in alternatief IV geen water naar de uiterwaard vanuit de Waal. Het grondwater zal worden aangetrokken naar de diep uitgegraven zandwinplas in de Millingerwaard waar water weg zal draineren naar de ondergrond richting de Waal. Hierdoor ontstaan grote stijghoogteverlagingen in dit gebied. Het effect is minder significant dan bij het MMA en de alternatieven II en III, omdat in dit alternatief een kleiner oppervlak meebewegende geulen en plassen aanwezig is. De compartimentering beperkt dus de verlaging in stijghoogte in een gemiddelde zomer. De reikwijdte van de verdrogingeffecten is maximaal circa 1,3 km binnendijks, maar reikt structureel minder ver dan in het MMA en de alternatieven II en III (ongeveer 1,5 km).

#### *Hoogwatersituatie (T=2)*

Waar in de gemiddelde winter de compartimentering nog een vertragend effect heeft, is er in een hoogwatersituatie (Figuur 5.3) net zoveel stijghoogtetoeename als bij het MMA en de alternatieven II en III. De rivierpeilen komen ruimschoots boven de 12.5 m+NAP en daardoor zal de uiterwaard voor een groot deel vollopen. De autonome situatie is op dit moment nog steeds nagenoeg leeg. Stijghoogtetoenames lopen tot 1,5 m bij Kekerdorp aan de rand van de dijk en de effecten reiken tot ongeveer 1 km binnendijks. De maximale kweldruk van 3mm/d is in een minder groot gebied aanwezig dan bij het MMA en alternatief II en III. Grotendeels is de kweltoename nu maximaal 2mm/d.



Figuur 5.3: Resultaten grondwater en kwel berekeningen voor alternatief IV ten opzichte van de autonome situatie

## 5.6 Alternatief V: Landschappelijke variatie

De ingrepen in alternatief V zijn geohydrologisch gezien identiek aan alternatief III. Dit alternatief is om deze reden niet doorgerekend en de effecten zijn gelijk aan alternatief III.

## 5.7 Alternatief VI: Minimale ingrepen

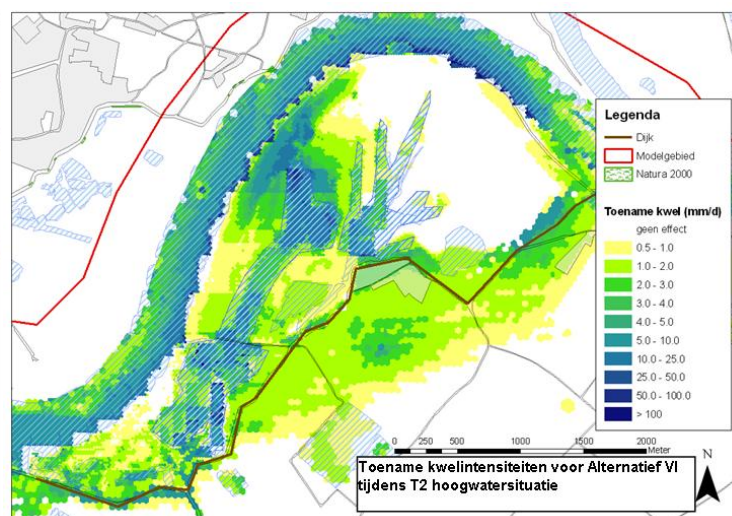
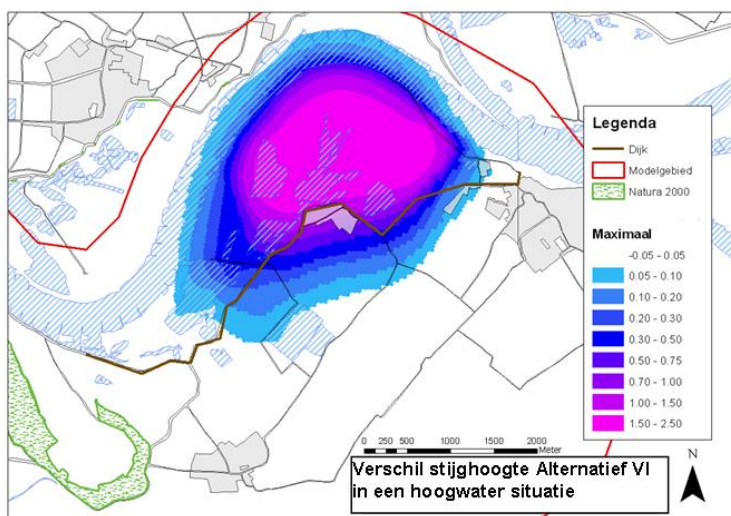
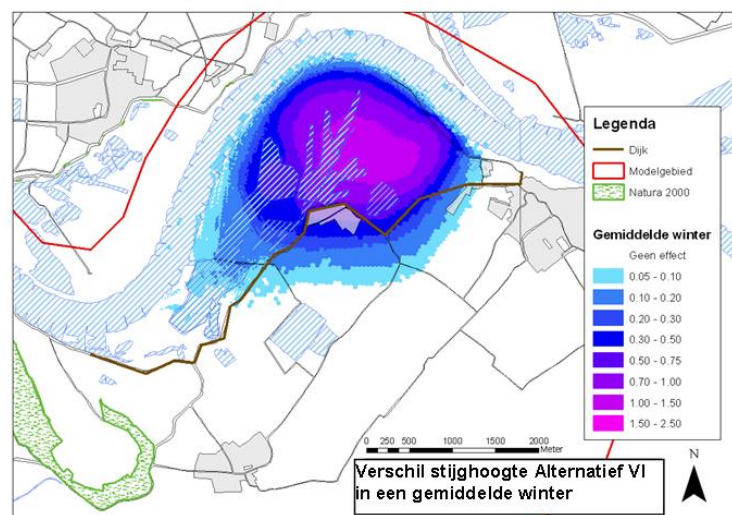
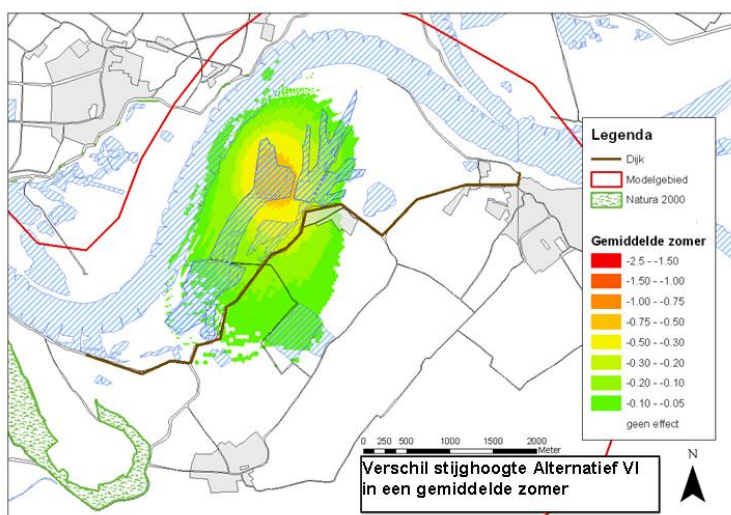
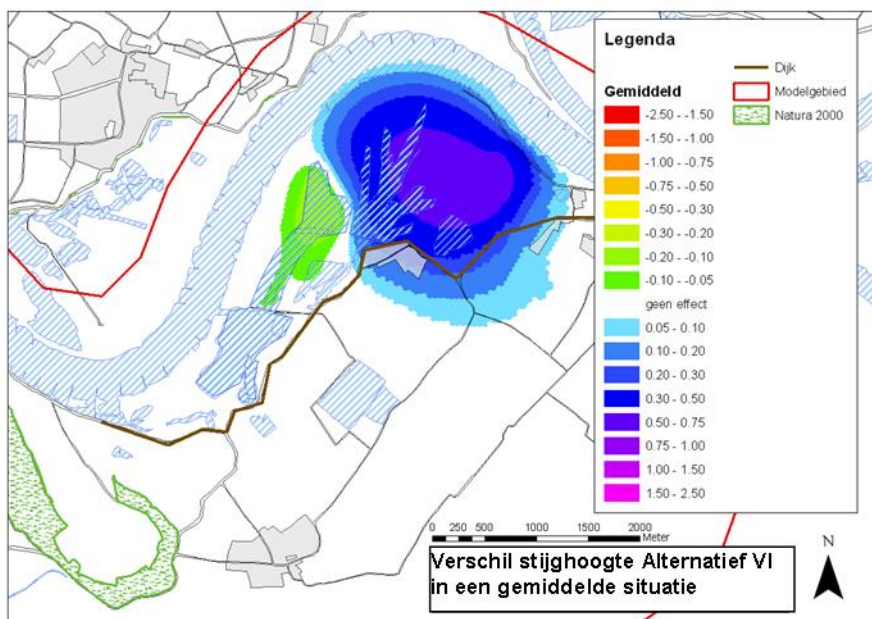
### *Gemiddelde situatie*

Voor een gemiddelde situatie (Figuur 5.4), treedt er net als bij alternatief IV, een combinatie op van een stijghoogteverlaging en een stijghoogtetoeename ten opzichte van de autonome situatie. De toename in stijghoogte treedt op ter plaatse van de compartimentering van de uiterwaard. De dammen die hiervoor de oorzaak zijn, bevinden zich, iets lager dan bij alternatief IV, op een hoogte van 12 m+NAP. Bij alternatief VI overstroomt de uiterwaard dus eerder tijdens een gemiddeld jaar dan bij alternatief IV. Het gecompartmenteerde deel van de uiterwaard stroomt langzamer leeg dan in het MMA en de alternatieven II en III door de omliggende drempels op 12,00 m+NAP, waardoor het geïnundeerde water via het grondwater gedraineerd moet worden. De reikwijdte van de stijghoogteverlaging beperkt zich tot het buitendijkse gebied. De stijghoogteverhoging reikt binnendijs maximaal enkele honderden meters. Ter plaatse van Kekerdom bedraagt de stijghoogteverhoging in de gemiddelde situatie 0,2 tot 0,3 meter.

### *Gemiddelde winter*

In de situatie gemiddelde winter (Figuur 5.4) treden hogere stijghoogten op in alternatief VI ten opzichte van de autonome situatie in de gehele Millingerwaard. Ter plaatse van het gecompartmenteerde deel van de uiterwaard zijn deze verschillen nog iets groter dan in het MMA, alternatief II en III. In de autonome situatie stroomt de Millingerwaard pas vol bij een waterstand hoger dan 13,40 m+NAP. In alternatief VI stromen bij waterstanden tot 12 m+NAP alleen de geulen vol die in openverbinding staan met de Waal. Bij hogere waterstanden zal ook inundatie plaatsvinden in het gecompartmenteerde deel. In de gemiddelde winter zal deze waterstand een kort moment overschreden worden, waardoor de stijghoogte toe zal nemen ten opzichte van de autonome situatie, waarin de drempels nog hoger liggen. De stijghoogtetoeename ter hoogte van Kekerdom gaat niet verder dan 0,75 m en reikt enkele honderden meters binnendijs. Vergeleken met het effect van het MMA en de alternatieven II en III, heeft de gemiddelde winter een iets groter effect ten opzichte van de autonome situatie, doordat het water in het gecompartmenteerde gebied niet weg kan stromen via het oppervlaktewater. Dit heeft iets grotere stijghoogteverhogingen tot gevolg.





Figuur 5.4: Resultaten grondwater en kwel berekeningen voor alternatief VI ten opzichte van de autonome situatie

### *Gemiddelde zomer*

De zomersituatie (Figuur 5.4) vertoont een stijghoogteverlaging die vergelijkbaar is met alternatief IV. In de gemiddelde zomer inundeert er in alternatief VI geen water naar de uiterwaard vanuit de Waal. Het grondwater zal worden aangetrokken naar de diep uitgegraven zandwinplas in de Millingerwaard waar water weg zal draineren naar de ondergrond richting de Waal. Hierdoor ontstaan grote stijghoogteverlagingen in dit gebied. Het effect is minder significant dan bij het MMA en de alternatieven II en III, omdat in dit alternatief een kleiner oppervlak meebewegende geulen en plassen aanwezig is. De compartimentering beperkt dus de verlaging in stijghoogte in een gemiddelde zomer. De reikwijdte van de verdrogingeffecten is maximaal circa 1,3 km binnendijks, maar reikt structureel minder ver dan in het MMA en de alternatieven II en III (ongeveer 1,5 kilometer).

### *Hoogwatersituatie (T=2)*

Waar bij de gemiddelde winter (Figuur 5.4) de drempelwerking nog een vertragend effect heeft, is er bij een hoogwatersituatie net zoveel stijghoogtetoeename als bij het MMA en de alternatieven II en III. De rivierpeilen komen ruimschoots boven de 12 m+NAP en daardoor zal de uiterwaard voor een groot deel vollopen. De autonome situatie is op dit moment nog steeds nagenoeg leeg. Stijghoogtetoenames lopen tot 1,5 m bij Kekerdom aan de rand van de dijk en de effecten reiken tot ongeveer 1 km binnendijks. De kwel onder het stedelijke gebied verandert van vorm ten opzichte van het MMA, alternatief II, III en IV. Echter de toename van kwel naar de deklaag is nog steeds maximaal 3mm/d.

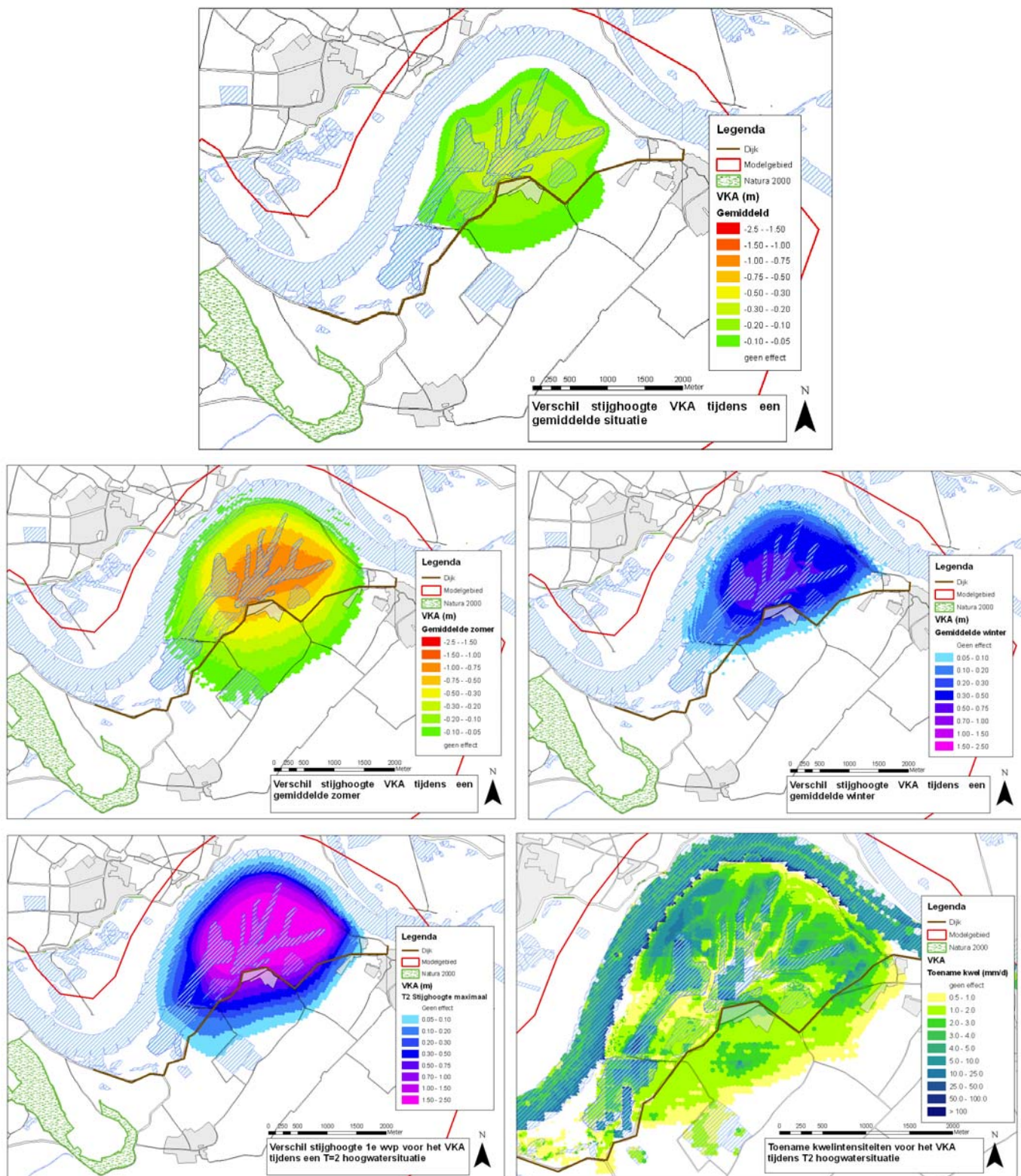
## **5.8 Voorkeursalternatief (VKA)**

Het grootste verschil met het MMA is dat de brede geul voor het VKA iets is opgeschoven naar het westen. Geohydrologisch gezien is het VKA verder hetzelfde als het MMA met een volledig meebewegend waterpeil met de Waal in de gehele uiterwaard. In vergelijking met voorgaande alternatievenberekeningen, zijn voor het VKA ook grondwaterstandeffecten en kwelintensiteiten gepresenteerd voor de T=10 hoog- en laagwatersituaties. De resultaten van deze berekeningen zijn beschreven in hoofdstuk 6.

### *Gemiddelde situatie*

In de gemiddelde situatie (Figuur 5.5) treden er, net als in het MMA en de alternatieven II, III en V, alleen stijghoogteverlagingen op t.o.v. de autonome situatie. De reikwijdte van de stijghoogteverlaging bedraagt in het VKA ook maximaal circa 1 kilometer. Ter plaatse van het stedelijke gebied van Kekerdom treedt in de gemiddelde situatie een stijghoogtedaling op van 0,2 tot 0,3 meter.





Figuur 5.5: Resultaten grondwater en kwel berekeningen voor het VKA ten opzichte van de autonome situatie

#### *Gemiddelde winter*

Ook in de gemiddelde winter (Figuur 5.5) is het peil in de meebewegende plassen bij het VKA gelijk aan het Waalpeil. Door de uitgraving van de deklaag in deze geulen en plassen is er een stijghoogteverhoging ten opzichte van de autonome ontwikkeling. De stijghoogteverhoging komt aan de rand van de dijk bij Kekerdom 0,3 tot 0,5m hoger en reikt tot enkele honderden meters binnendijks ten opzichte van de autonome situatie. Het verschil met de effecten van het MMA, alternatieven II, III en V zijn verwaarloosbaar.

#### *Gemiddelde zomer*

In de zomersituatie (Figuur 5.5), bij laagwater, treedt de grootste stijghoogteverlaging op in het VKA. Hoewel het oppervlak aan plassen waarin het peil meebeweegt met het Waalpeil in de zomersituatie het kleinst is, treedt er toch een grote stijghoogteverlaging op. Dit effect wordt veroorzaakt door het verschil met de autonome situatie in de zomer waarin geen meebewegende plassen aanwezig zijn door de hoge omliggende drempels. De reikwijdte van de stijghoogte effecten is tot ongeveer 1,5 km binnendijks. Ter plaatse van het stedelijke gebied van Kekerdom bedraagt de stijghoogtedaling 0,75 m ten opzichte van de autonome situatie.

#### *Hoogwatersituatie (T=2)*

Tijdens hoogwater stroomt de Millingerwaard zowel in de autonome situatie als in het VKA vol. Het verschil in stijghoogten tussen het VKA (Figuur 5.5) en de autonome situatie wordt dan bepaald door de zeer korte tijd dat in de autonome situatie net water van de Waal het gebied instroomt en in het VKA de plassen en geulen al de hele tijd met de Waal in contact hebben gestaan. De stijghoogteverhoging heeft dan een maximaal effect, omdat een vergelijking is gemaakt tussen een nagenoeg lege uiterwaard (autonome situatie) en een volle uiterwaard (net als met het MMA en de alternatieven II, III en V). De diepte van de geulen en plassen en de daarbijbehorende lagere deklaagweerstand zorgen ervoor dat er een stijgend effect naar het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket ontstaat. Buitendijks in de geulen treden de grootste stijghoogteverhogingen op. Binnendijks, ter plaatse van Kekerdom, neemt de diepe stijghoogte toe met 1 tot 1,5 meter, waardoor de kwel toeneemt. Deze kweltoename naar de deklaag is nagenoeg hetzelfde als de kweltoename voor het MMA en alternatief II en III. De toename van de stijghoogte reikt tot ongeveer 1 kilometer binnendijks.

## **5.9 Effectbeoordeling en waardering**

### *G1 - Droogteschade landbouw*

Ter bepaling van eventuele gevolgen voor de landbouwgebieden ten opzichte van de autonome situatie is gekeken naar de doorwerking van de grondwatereffecten die optreden in het binnendijkse gebied tijdens een gemiddelde zomer per km<sup>2</sup>. Dit is maatgevend voor droogtestress in landbouwgebied. Het MMA, alternatieven II, III, V en het VKA vertonen de grootste gevolgen op dit punt. De stijghoogteverlagingen in een gemiddelde zomer van deze alternatieven bedragen maximaal 75cm meter aan de voet van de Waaldijk. De 5 cm verlagingcontour reikt tot ongeveer 1,5 km in het binnendijksgebied. Per km<sup>2</sup> is de verlaging tussen de 0,2 en 0,5 m (score -) In alternatief IV en VI zijn de stijghoogteverlagingen kleiner met maximaal 30 cm direct binnendijks en de 5 cm verlagingcontour reikt tot 1,3 km in het binnendijksgebied. Per km<sup>2</sup> is de verlaging kleiner dan 0,2 m. (score 0).



### *G2 – Zettingsrisico gebouwen en infrastructuur*

Kekerdom ligt direct aan de voet van de Waaldijk van de Millingerwaard.

Grondwatereffecten op stedelijk gebied zullen daarom het grootste zijn in Kekerdom. Stijghoogteverlagingen voor de zomer situatie en de gemiddelde situatie bij Kekerdom zijn het meest zichtbaar bij het MMA en de alternatieven II, III, V en het VKA. Deze lopen op tot verlagingen van 75 cm in de zomer situatie en 30 cm in de gemiddelde situatie. Zijn er zettinggevoelige grondsoorten aanwezig in de toplaag (zoals veen), dan kan een zettingrisico bij voorbaat niet worden uitgesloten en moet dit bij de beoordeling van de alternatieven worden meegenomen. Het zettingrisico wordt echter mede bepaald door de grondslag, fundatie en lokale ontwatering. Hiernaar zal aanvullend onderzoek worden gedaan. De alternatieven IV en VI vertonen een kleiner oppervlak waar verlaging optreedt, maar de verlagingen gaan tot 30 cm in de zomer situatie. In de gemiddelde situatie zijn in deze alternatieven geen verlagingeffecten maar verhogingseffecten in Kekerdom aanwezig, als gevolg van de compartimentering. Voor overige stedelijke gebieden, zoals Millingen aan de Rijn, zijn de effecten verwaarloosbaar klein. Bij alle alternatieven treedt een zettingrisico op voor gebouwen en infrastructuur ter plaatse van bebouwing (score - -).

### *G3 – Grondwateroverlast bebouwing*

Ook ten aanzien van toename van stijghoogte (en kwel tot gevolg) zijn de effecten in het plaatsje Kekerdom het grootst. Berekeningen laten zien dat er bij alle alternatieven 50 cm of meer stijghoogte toename kan optreden bij een gemiddelde wintersituatie. De gemiddelde winter heeft wel effecten voor een kleiner oppervlak bij het MMA en de alternatieven II, III en V dan bij de alternatieven IV en VI. De effecten betreffen hier berekende stijghoogten in het eerste watervoerende pakket. Indien er zandige delen in de deklaag onder Kekerdom aanwezig zijn en zich een hoogwater voordoet dan kan de opwaartse druk direct doorwerken naar de grondwaterstand. Voor de situatie in Kekerdom is dit niet uit te sluiten. Hoewel de deklaag onder kekerdom overall relatief dik lijkt te zijn, zijn er in de directe omgeving van Kekerdom wel locaties met een relatief dunne deklaag. Tevens is door een bewoner van Kekerdom in een inspraakreactie op de startnotitie van de MER (Provincie Gelderland, 2008) aangegeven dat zich in Kekerdom plaatsen bevinden waar tijdens hoogwater zandvoerende kwel ontstaat. Voor de beoordeling van de grondwateroverlast is dan ook uitgegaan dat de grondwaterstands toename gelijk is aan de toename van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Er wordt geen rekening gehouden met een lagere toename van de grondwaterstand als gevolg van een hoge deklaagweerstand. Op basis van de maatlattabel scoren alle alternatieven negatief. Alternatief IV is een sterke verslechtering (score - -), de andere alternatieven een verslechtering (score -).

### *G4 – Grondwaterafhankelijke natuur*

In de buurt van de Millingerwaard is binnendijks een natura 2000 gebied aanwezig ten zuiden van Erlecom. Dit gebied is een onderdeel van de Gelderse Poort. In geen van de alternatieven reiken de effecten tot dit gebied. Er worden dan ook geen effecten op natura 2000 gebieden verwacht (score 0). De effecten op de natuur in de Millingerwaard zijn meegenomen in de effectbeoordeling natuur en worden niet in het onderdeel geohydrologie beschouwd.

#### G5 - Afvoer binnendijks gebied (kweltoename)

Hierbij wordt gekeken naar de kweltoename die de alternatieven ten opzichte van de autonome situatie veroorzaken tijdens een hoogwatersituatie per km<sup>2</sup>. De afvoer in het binnendijkse gebied is rechtstreeks gecorreleerd aan de stijghoogtetoename en neemt bij hoogwater toe als gevolg van kwel onder en door de dijk. De kwel door de dijk verschilt niet met de autonome situatie. De kwel onder de dijk neemt in de alternatieven wel toe bij hoogwater als gevolg van de ontgravingen in de deklaag in de uiterwaard (via heteerste watervoerend pakket) en het eerder vollopen van de Millingerwaard. Voor de alternatievenbeoordeling is alleen gekeken naar het effect uitgedrukt in kweltoename naar de deklaag toe (mm/d) per km<sup>2</sup>. De berekende kweltoename naar de deklaag in een T2 hoogwatersituatie, bedraagt in alle alternatieven hooguit 1 á 2 mm/d per km<sup>2</sup>. Dit levert voor alle alternatieven dezelfde score op (score -).

#### G6 – Natschade landbouw

Bij alle alternatieven zal de kans op natschade voor landbouwers iets toenemen. Natschade is hier bekeken vanuit een toename van stijghoogten ten opzichte van de autonome situatie in de gemiddelde winter binnendijks per km<sup>2</sup>. Alternatieven IV en VI vertonen het meest negatieve effect voor de gemiddelde winter (score -). Tijdens een gemiddeld nattere periode (gemiddelde wintersituatie) is hier een lichte stijghoogtestijging berekend van ongeveer 30cm per km<sup>2</sup>. De andere alternatieven hebben een kleinere stijghoogtestijging, tot ongeveer 10 cm per km<sup>2</sup> (score 0).

**Tabel 5.1: Effectbeoordeling geohydrologie**

Beoordelingscriterium	Alternatief						
	MMA/I	II	III	IV	V	VI	VKA
G1 Droogteschade landbouw	-	-	-	0	-	0	-
G2 Zettingsrisico gebouwen en infrastructuur	--	--	--	--	--	--	--
G3 Grondwateroverlast stedelijk gebied	-	-	-	-	-	--	-
G4 Grondwaterafhankelijke natuur	0	0	0	0	0	0	0
G5 Afvoer binnendijks gebied	-	-	-	-	-	-	-
G6 Natschade landbouw	0	0	0	-	0	-	0

## **6 EXTRA EFFECTBESCHRIJVINGEN**

### **6.1 Effecten Erlecomse Waard op geohydrologie**

De effecten van de Erlecomse Waard zijn op dezelfde manier doorgerekend en gepresenteerd (Figuur 6.1) als de alternatieven, beschreven in hoofdstuk 5. Hierbij is alleen een aanpassing aangebracht in het maaiveld in de Erlecomse Waard (voor een beschrijving: van de Erlecomse Waard: zie het MER Millingerwaard, Royal Haskoning 2010a). Ten opzichte van het VKA verschillen deze effecten alleen voor de Erlecomse Waard. Er is alleen een lokaal effect zichtbaar.

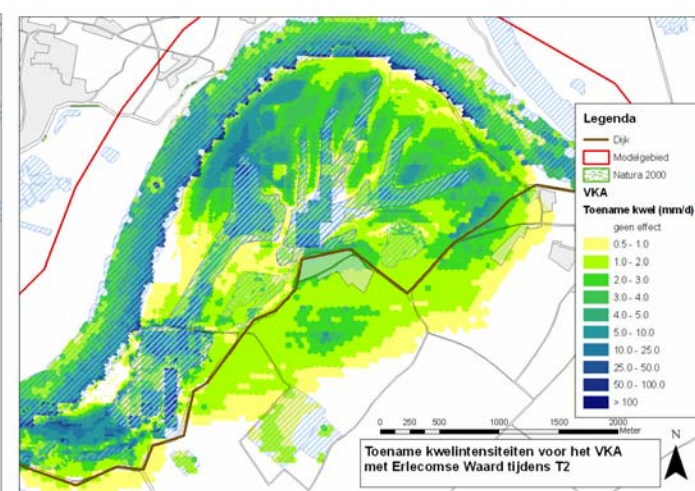
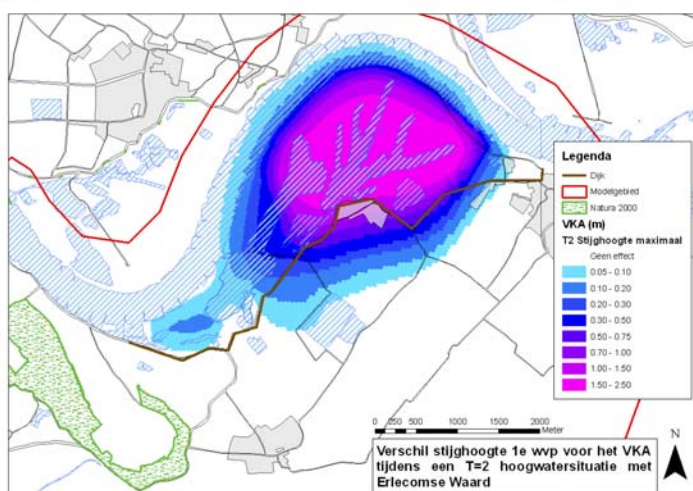
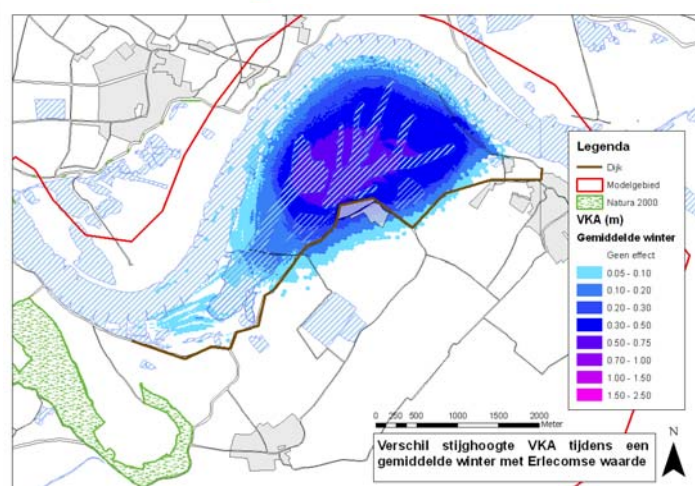
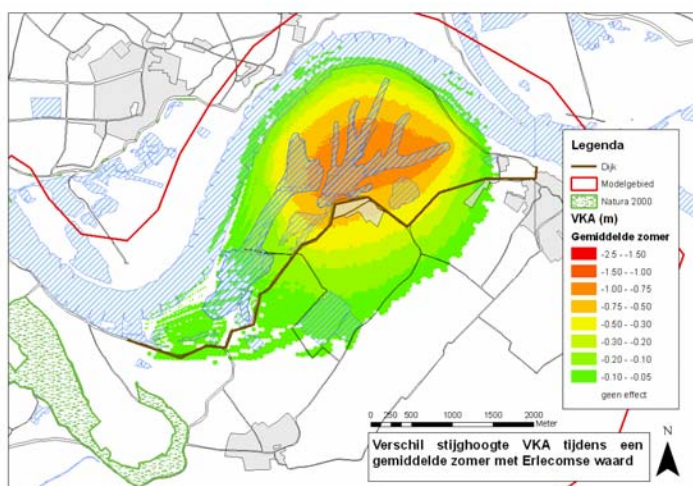
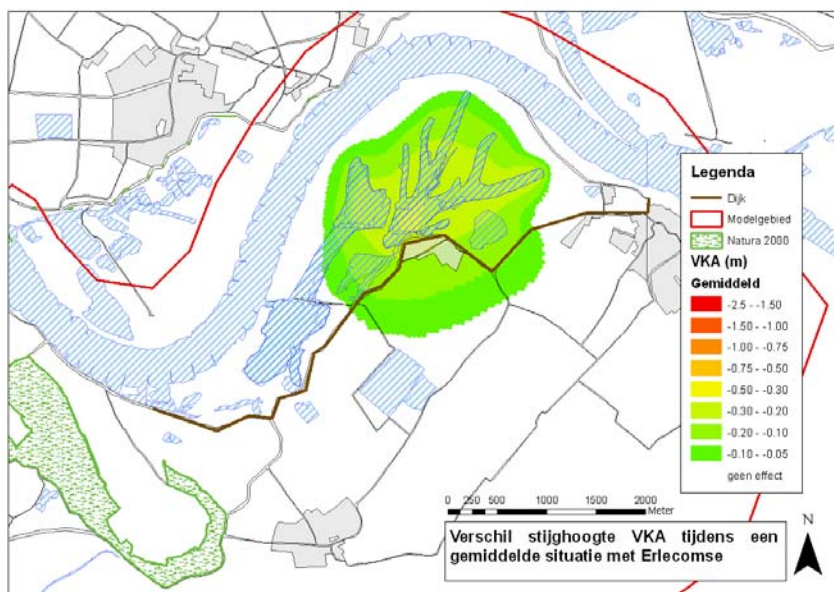
### **6.2 Effecten voortbestaan De Beijer op geohydrologie**

De alternatieven zijn geohydrologisch gezien niet onderscheidend voor het al dan niet aanwezig zijn van De Beijer (voor een beschrijving: van De Beijer: zie het MER Millingerwaard, Royal Haskoning 2010a). De verschillen in geohydrologische effecten tussen het MMA en VKA (zonder De Beijer) en de alternatieven II, III en V (met De Beijer) zijn verwaarloosbaar. Geohydrologisch gezien zijn de alternatieven dan ook aan elkaar gelijk.

### **6.3 Effecten oemputten op geohydrologie**

In de alternatieven IV, V en het VKA is een zoekgebied voor een oemputlocatie aangegeven noord-oosthoek van de uiterwaard. Bij dit oemputten wordt niet-vermarktbaar specie (zand, klei), afkomstig uit de te graven geulen in de Millingerwaard omgewisseld tegen vermarktbaar zand dat binnen dit zoekgebied aanwezig is in de bodem van de Millingerwaard. Deze werkzaamheden zijn gepland gedurende de jaren 2013 t/m 2018 (Royal Haskoning, 2010b).

Als worstcase situatie tijdens de uitvoering van het oemputten wordt er vanuit gegaan dat er tijdelijk een groot gat ontstaat van maximaal circa 12m diepte met een diameter van ongeveer 100m (bodem op ongeveer 4 m-NAP). Aan het maaiveld zal de diameter van de uitgraving rond de 250m zijn. De extra effecten als gevolg van oemputten zullen relatief klein zijn, omdat de effecten van het uitgraven van de hoofdgeul(en) langs de Beijer veel groter zijn. Ook is in en rondom het zoekgebied al relatief weinig deklaag aanwezig in verhouding tot de geul langs De Beijer. De effecten van deze uitgraving zijn dus klein ten opzichte van de aanleg van de geulen en zullen om deze rede slechts een klein additioneel tijdelijk effect meegeven.



**Figuur 6.1: Berekende verschillen in stijghoogten voor het VKA met een uitgraving in de Erlecomse Waard ten opzichte van de autonome situatie**

## 6.4 Extra berekeningen Voorkeursalternatief

### *Stijghoogten*

De hoogwatersituaties van eens in de 2 en 10 jaar zijn hydrologisch gezien niet veel verschillend voor wat betreft de effecten op de stijghoogte ten opzichte van de autonome situatie. Figuur 6.2 toont aan dat beide hoogwatergolven ongeveer dezelfde toename in stijghoogte veroorzaken en ook ongeveer even ver binnendijs reiken. De stijghoogtetoenames ten opzichte van de autonome situatie in het VKA zijn in de uiterwaard rond de 2 meter en 1,5 meter aan de dijk bij Kekerdom. Verhogingen van stijghoogte reiken tot ongeveer 1 km binnendijs.

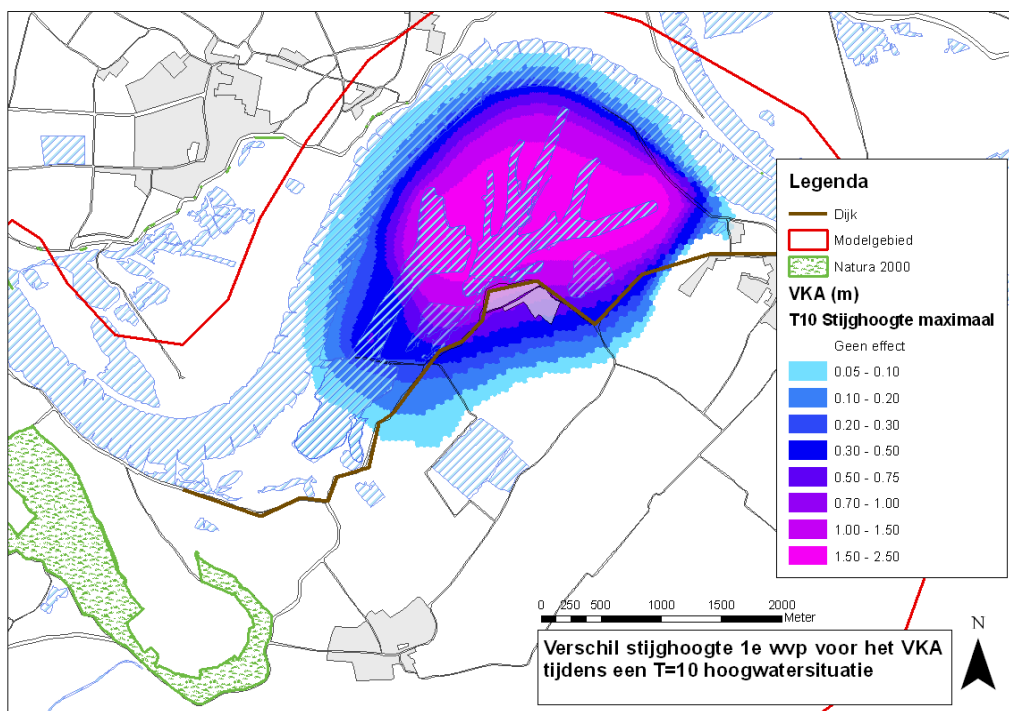
Van de twee beschouwde hoogwatersituaties blijkt dat het stijghoogte effect bij de T=2 situatie (Figuur 5.5) hoger uitvalt dan bij de T=10 situatie (Figuur 6.2). Hierbij wordt opgemerkt dat dit alleen geldt voor de stijghoogtetoenname. Voor de absolute stijghoogte is de hoogte van de T=10 golf hoger dan die van de T=2 hoogwatergolf. In Figuur 2.3 is te zien dat het peil van de T=10 golf (hoogwater begin 2003) 14,2 m+NAP bedraagt en het peil van de T=2 golf (begin 1999) 13,7 m+NAP bedraagt, ter hoogte van de Beijer. Het volume van de doorgerekende hoogwatergolf in de T=2 situatie is echter groter dan het volume in de T=10 situatie.

In de autonome situatie overschrijdt de hoogwatergolf tijdens een T=2 situatie de aanwezige drempels praktisch niet (13,40 m+NAP), terwijl bij het VKA de uiterwaard in deze situatie wel overstroomt, aangezien in het VKA geen drempels aanwezig zijn. Er wordt dus een volledig gevulde uiterwaard vergeleken met een volledig lege uiterwaard. In de T=10 situatie is zowel in de autonome situatie als in het VKA sprake van inundatie. Hierdoor zijn de stijghoogte effecten van het VKA ten opzichte van de autonome situatie groter tijdens de T=2 hoogwatersituatie. Absolute stijghoogten zijn hoger in de T=10 hoogwatersituatie tussen het VKA en de autonome situatie.

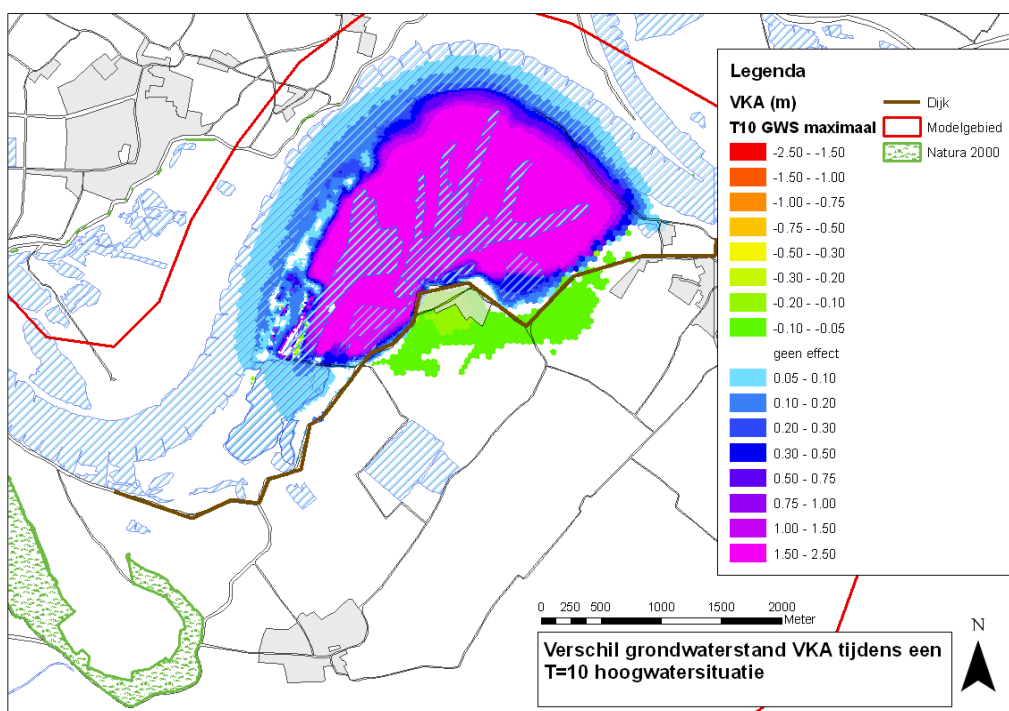
### *Grondwaterstanden*

De vraag is of de stijghoogtetoenname ook één op één doorwerkt op de grondwaterstand. In de uiterwaard is dat het geval, maar binnendijs niet altijd. Figuur 6.3 toont een toename in grondwaterstand in de uiterwaard bij de T=10 situatie in het VKA ten opzichte van de autonome situatie. Binnendijs is er tijdens de doorgerekende T=10 hoogwatergolf bij het VKA nog steeds sprake van een grondwaterstandverlaging. In een normale situatie (geen hoogwater) is bij het VKA binnendijs sprake van grondwaterstandverlagingen ten opzichte van de autonome situatie. Dit als gevolg van de extra drainerende werking van de geulen in de uiterwaard. De doorgerekende T=10 hoogwatergolf werkt niet lang genoeg door om de voorafgaande grondwaterstandverlagingen binnendijs op te heffen. De beschouwde T=10 hoogwatergolf (voorjaar 2003) is een relatief snel stijgende golf, het is te verwachten dat bij een langer aanhoudende hoogwatergolf wel grondwaterstandsverhogingen zullen optreden.

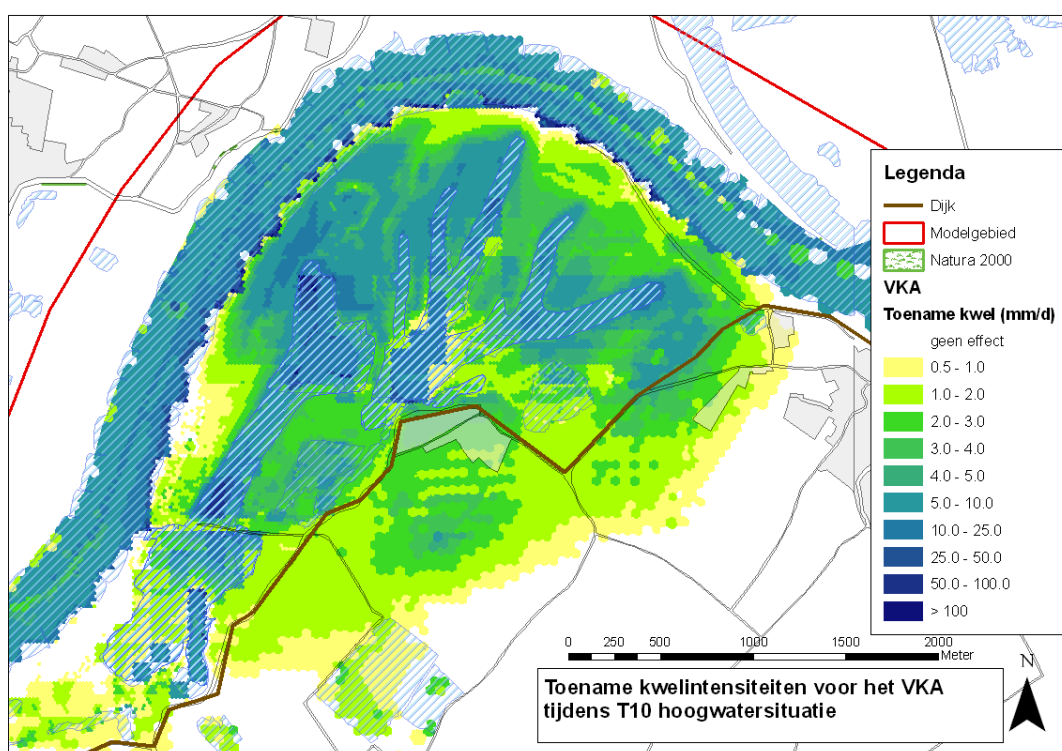
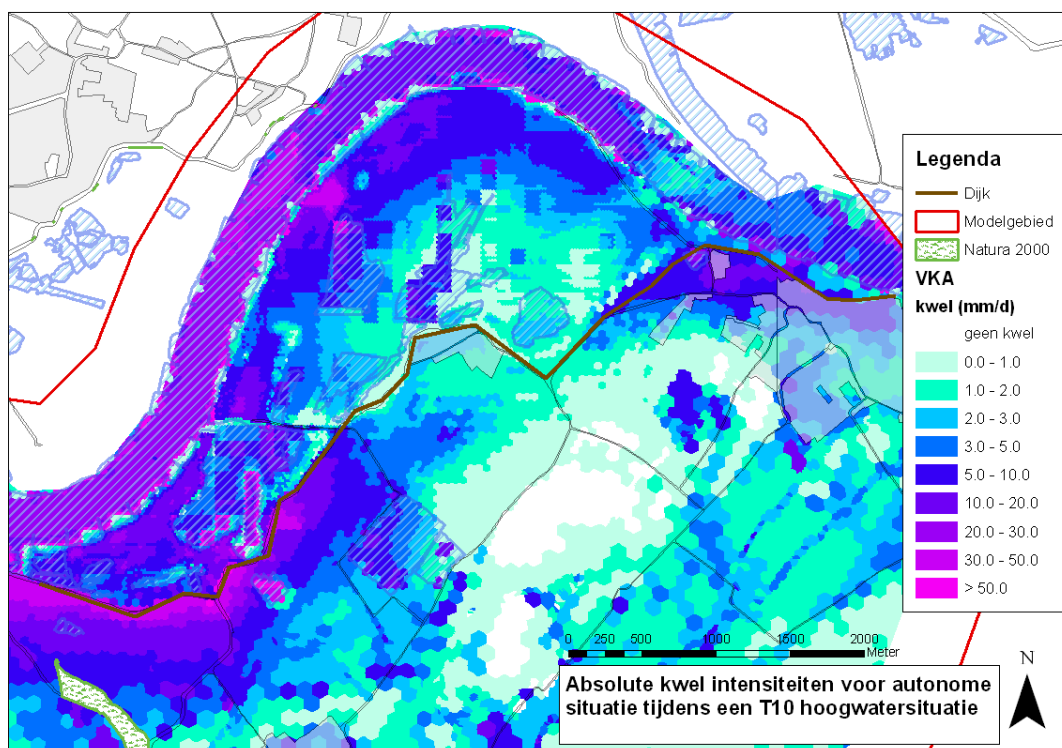




**Figuur 6.2: Berekende toename van stijghoogten tijdens een T=10 hoogwatersituatie ten opzichte van de autonome situatie**



**Figuur 6.3: Berekende effecten op grondwaterstanden tijdens een T=10 hoogwatersituatie ten opzichte van de autonome situatie**



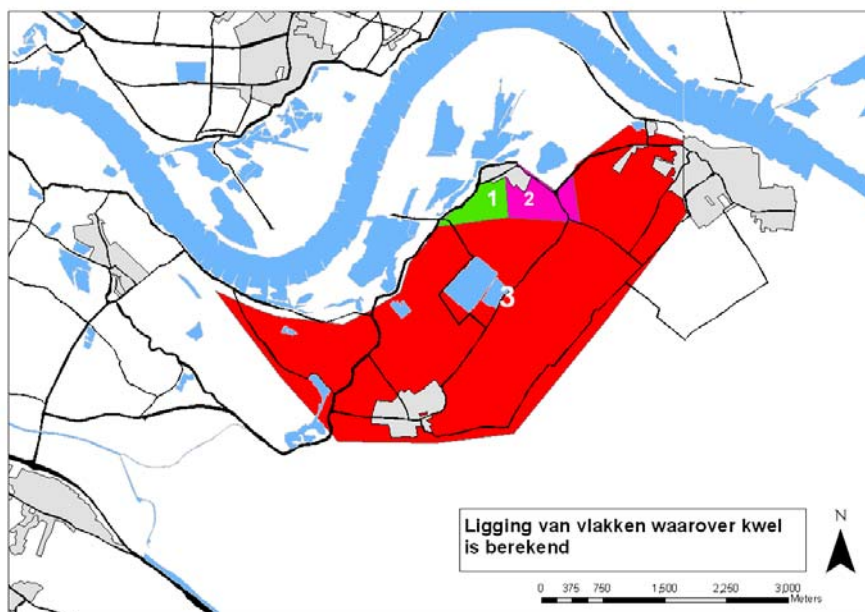
**Figuur 6.4: Absolute kwelintensiteiten voor de autonome situatie (boven) en het verschil tussen het VKA tijdens een T=10 hoogwatersituatie en de autonome situatie)**



### Kwelintensiteiten $T=10$

Voor het VKA is naast de  $T=2$  hoogwatersituatie ook een kwelintensiteit berekening uitgevoerd voor de  $T=10$  hoogwatersituatie. De absolute kwelintensiteiten naar de deklaag toe in de autonome situatie zijn vlakdekkend in mm/d weergegeven in Figuur 6.4 boven. Aan de dijk bij Kekerdom bedragen deze ongeveer 2-3 mm/d. Daarnaast is ook het verschil gepresenteerd van de kweltoename in het VKA ten opzichte van de autonome ontwikkeling in mm/d. Zoals te verwachten treedt er zeer lokaal een toename op van kwel (ca. 2-3mm/d) bij Kekerdom, door de toename van de stijghoogte op deze locatie.

Een  $T=10$  hoogwatersituatie resulteert absoluut gezien in meer kwel dan een  $T=2$  situatie. Aangenomen dat er over het oppervlak van Kekerdom (~ 500m x 500m) een extra kwel optreedt naar de deklaag van 3mm/d bij de  $T=10$  situatie, betekent dit dus een extra afvoer van ongeveer 10 l/s. De kweltoename in een  $T=10$  situatie is voor drie binnendijkse gebieden uitgerekend. Twee gebieden in de omgeving van Kekerdom, waarbij voor een splitsing van de gebieden is gekozen omdat beide gebieden via een andere watergang richting de hoofdwatergang afwateren. Tevens is één groot gebied beschouwd, welke ruim het gebied omvat waar als gevolg van het VKA kweltoename is te verwachten. Dit gebied omvat ook de twee kleine gebieden in de omgeving van Kekerdom. De kwelvlakken zijn weergegeven in figuur 6.5.



**Figuur 6.5: Ligging van de vlakken waarover de kwelverandering in l/s is uitgerekend voor een  $T=10$  situatie voor het VKA, behorende bij tabel 6.1**

Tabel 6.1: Maximale kwelhoeveelheden tijdens een T= 10 situatie voor de drie beschouwde vlakken

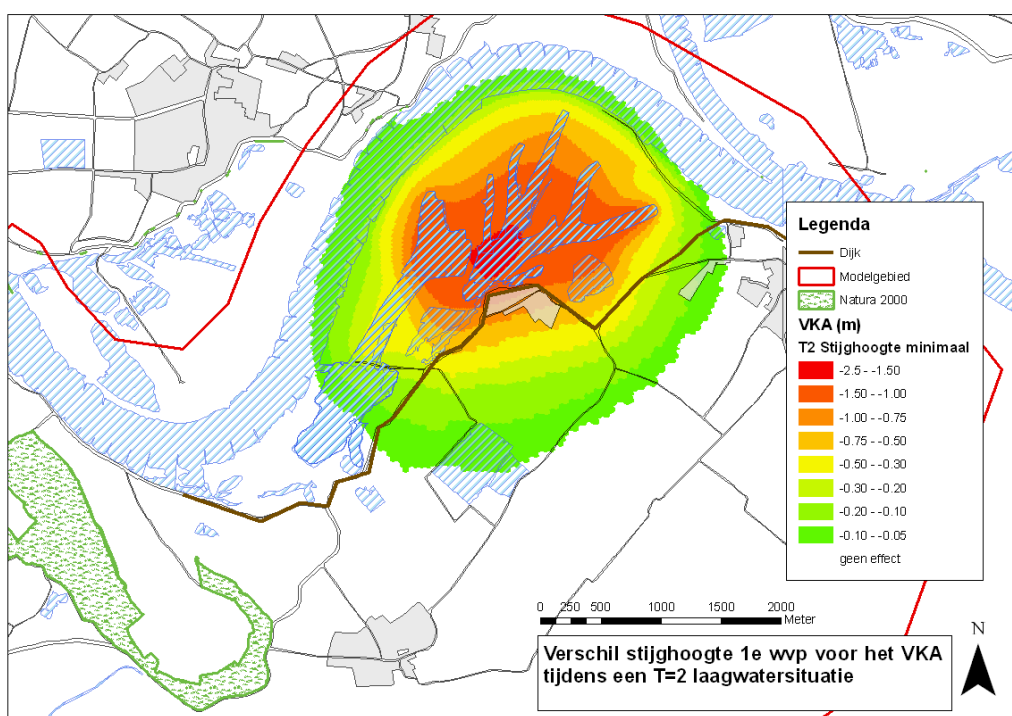
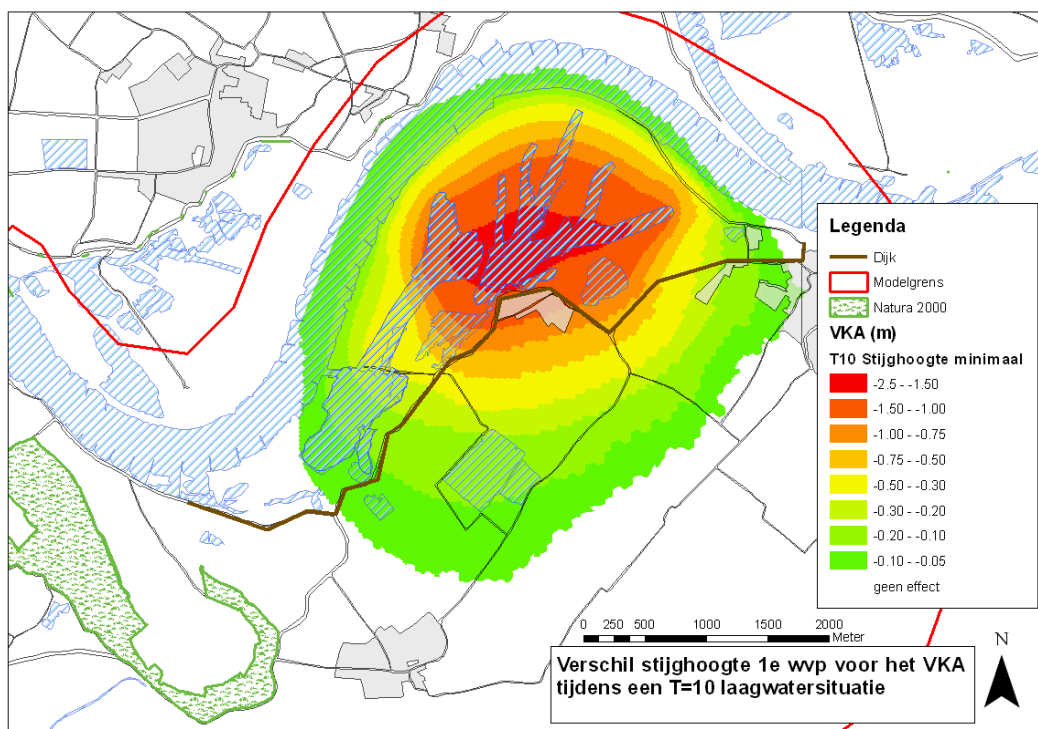
<b>T10</b>			
<i>Vlak</i>	<i>Oppervlakte (ha)</i>	<i>Autonome Situatie Kwelhoeveelheid (l/s)</i>	<i>VKA Toename kwelhoeveelheid (l/s)</i>
1	31	9.1	6.3
2	45	8.0	5.9
3	1075	530.1	29.3

De totale toename van de kwelhoeveelheid als gevolg van het VKA is op het moment dat de toename maximaal is 30 l/s voor het beschouwde gebied. Dit is een toename van 3% ten opzichte van de autonome situatie voor dit gebied. Het totale binnendijkse gebied dat via Het Meer afwatert op de Waal is echter vele malen groter dan vlak 3. De toename in afvoer is dus zeer weinig in vergelijking tot de totale afvoer uit het binnendijkse gebied. Capaciteitsproblemen van watergangen kunnen mogelijk anderszins alleen in bovenstroomse kleine sloten optreden, waar een relatief grote toename van de kwelintensiteit wordt berekend.

#### 6.4.1 Laagwatersituatie T=2 en T=10

##### *Stijghoogten*

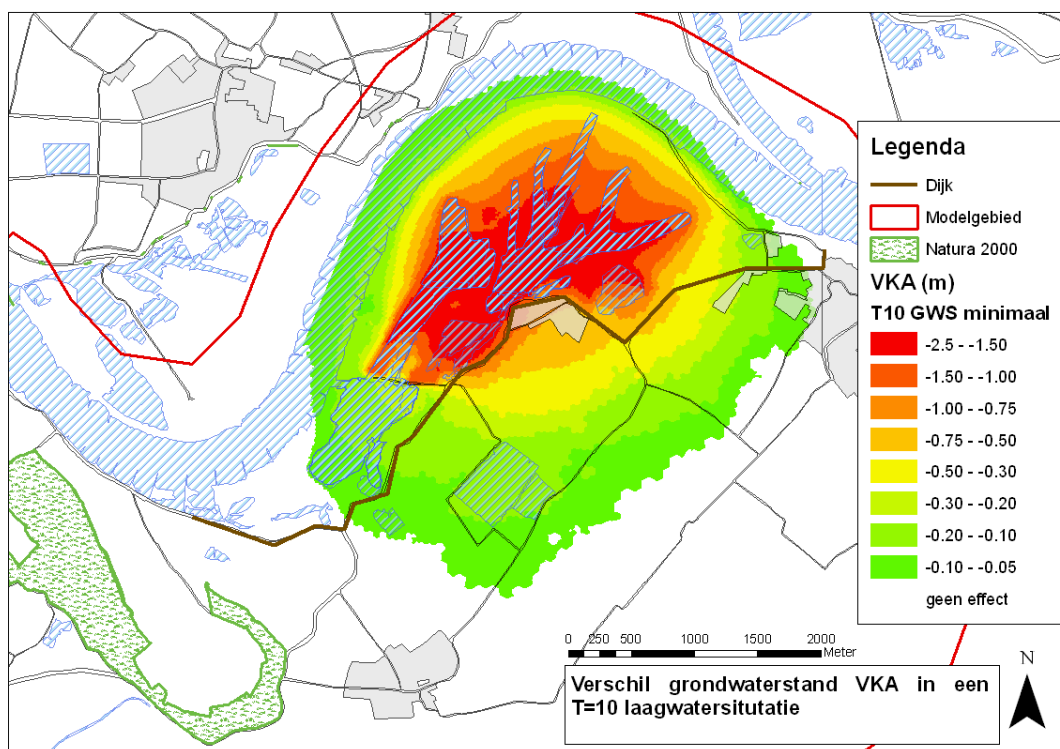
Van de bekeken laagwatersituaties is de T=10 laagwatersituatie wel maatgevend ten opzichte van de T=2 situatie (Figuur 6.6). Dit is te verwachten, omdat de zomer van 2003 ruimschoots de droogste periode is tussen 1994 en 2004. De maximum stijghoogteverlagingen zijn voor beide situaties ongeveer 1,75m in de uiterwaard en tot 1,5m aan de dijk bij Kekerdom ten opzichte van de autonome situatie. De stijghoogteverlagingen reiken binnendijks tot ongeveer 1,25 km voor de T=2 en 2,25 km voor de T=10 laagwatersituatie.



**Figuur 6.6: Berekende afname van stijghoogten tijdens een T=10 (boven) en T=2 (onder) laagwatersituatie**

### Grondwaterstanden

Eveneens voor de T=10 laagwatersituaties, zijn ook de grondwaterstandsverlagingen gepresenteerd voor de T=10 laagwatersituaties (Figuur 6.6). De effecten ten opzichte van de autonome situatie zijn bijna één op één te vertalen naar grondwaterstanden omdat de droge periode van 2003 een langdurige was. De grondwaterstandverlagingen in de T=10 situatie reiken binnendijs ook even ver, tot ongeveer 2,25 kilometer.

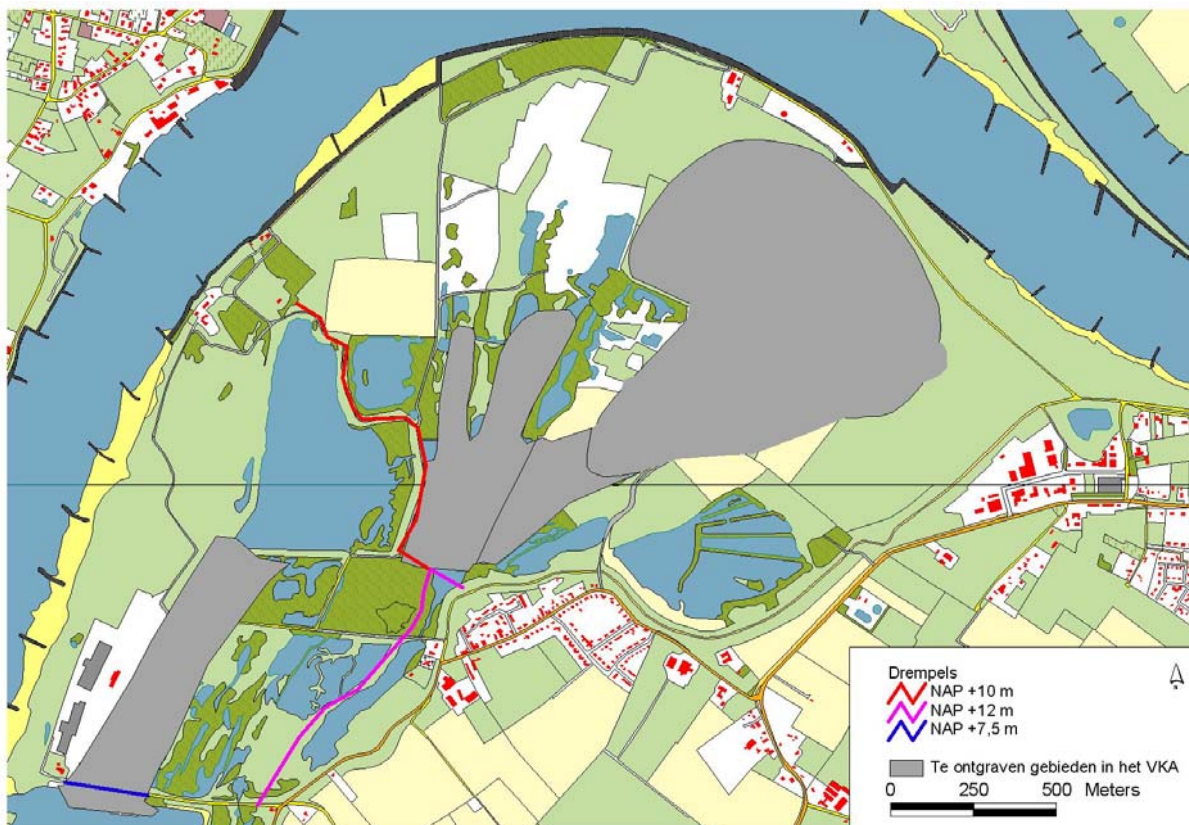


Figuur 6.6: Berekende afname van grondwaterstanden tijdens een T=10 hoog- en laagwatersituatie

#### 6.4.2 Mogelijke mitigerende maatregelen voor het VKA

Voor het voorkeursalternatief (VKA) zijn twee verkennende berekeningen uitgevoerd met mogelijke mitigerende maatregelen tegen de verdrogingseffecten van het VKA. De mogelijke mitigerende maatregelen die verkennend onderzocht zijn betreffen beide het voorzien van compartimentering in het VKA. De intentie van deze compartimentering is het mitigeren van het verdrogend effect. De eerste variant (VKA Mitigerend 1) heeft nagenoeg dezelfde compartimentering als alternatief VI. In plaats van een drempelhoogte van 12 m+NAP heeft deze een hoogte van 10 m+NAP. De drempel voor en langs de Oude Waal heeft wel een hoogte van 12 m+NAP. De tweede variant (VKA Mitigerend 2) heeft een lage drempel op 7,5m+NAP en is gelegen ter hoogte van de huidige Kekerdome Ward (toegangsweg naar De Beijer). Bij waterstanden hoger dan 7,5 m+NAP, op de Waal bewegen in deze variant alle plassen en geulen in de Millingerwaard mee met de waterstanden op de Waal. In deze variant is de Oude Waal ook gecompartmenteerd op 12 m+NAP. In figuur 6.7 zijn de verschillende drempels weergegeven. VKA mitigerend 1 bevat dus de drempel van 10 m+NAP en de drempel van 12 m+NAP. VKA mitigerend 2 bevat de drempel van 7,5 m+NAP en de drempel van 12 m+NAP.





**Figuur 6.7** Kaart waarop de mitigerende maatregelen zijn weergegeven,

#### Effectbeschrijving mitigerende maatregelen

##### Laagwatersituatie (T=10)

Tijdens de extreme laagwatersituatie (T=10) leveren beide mitigerende varianten een verbetering op ten opzichte van het VKA (zie figuur 6.8). De compartimentering, die bij VKA Mitigerend 1 is aangebracht, begint in werking te treden beneden 10 m+NAP. Dankzij deze compartimentering beweegt het oosten van de Millingerwaard niet meer mee met de Waal, wanneer het Waalpeil onder de drempelhoogte van 10 m+NAP zakt. In de compartimentering wordt water langer vastgehouden tijdens laagwater. Het deel van de Millingerwaard ten westen van de drempel blijft in deze variant gewoon met de Waal meebewegen.

VKA Mitigerend 1 heeft ten opzichte van de autonome situatie tijdens laagwater voornamelijk nog een effect op stijghoogten in het westelijke gedeelte van de Millingerwaard. Als gevolg van de compartimentering is het effect op de stijghoogte in het oostelijk deel van de Millingerwaard sterk verkleind ten opzichte van het VKA. Ter hoogte van Kekerdom zijn stijghoogteverlagingen waar te nemen tot -0,75 m (Figuur 6.8), dit was tot -1,5 m in het VKA. De verlagingen van -0,75 m treden alleen nog op in het westen van Kekerdom, in het oostelijk deel van Kekerdom is bij deze variant niet of nauwelijks sprake van verlagingen (zie Figuur 6.8).

VKA Mitigerend 2 heeft een drempel ter hoogte van de Kaliwaal. Deze drempel sluit een groter deel van de Millingerwaard af dan de drempels van VKA Mitigerend 1, de drempel is wel veel lager in hoogte (7,5 m+NAP). De doorwerking van de mitigerende maatregel gaat pas optreden als het Waalpeil beneden de 7,5 m+NAP, ter hoogte van de Kaliwaal ligt. Nu er water vastgehouden kan worden beneden de 7,5 m+NAP zijn de absolute stijghoogteverlagingen tijdens een extreem laag water (T=10 laagwatersituatie) afgenomen. In vergelijking tot VKA Mitigerend 1 blijven de verlagingen optreden in een groter deel van de Millingerwaard, maar de effecten zijn op enkele locaties wel kleiner dan VKA Mitigerend 1. Ten opzichte van het VKA zijn de verlagingen overal afgenomen. Ter hoogte van Kekerdom zijn de stijghoogteverlagingen in plaats van -1,5 m in het VKA nu -0,75 m (Figuur 6.8). Deze verlagingen treden in vergelijking tot VKA Mitigerend 1 op onder een groter oppervlak van Kekerdom (zie Figuur 6.8)

#### Gemiddelde situatie

In een gemiddelde situatie treedt er een stijghoogteverhoging en verlaging op t.o.v. de autonome situatie voor VKA Mitigerend 1 (Figuur 6.9). Dit treedt, zoals verwacht, op dezelfde plekken op als bij alternatief IV en VI. De stijghoogteverlaging ten opzichte van de autonome ontwikkeling treedt op in de geulen waar de waterstanden in de plassen meebewegen met de waterstanden op de Waal. Op de locatie van de compartimentering in de Millingerwaard treedt een toename in de stijghoogte op. De dam die dit effect veroorzaakt, ligt in deze variant op 10 m+NAP. Aangezien deze hoogte van de dam in VKA mitigerend 1 lager is dan in de alternatieven IV en VI is het effect in stijghoogtetoenamen iets kleiner in deze variant ten opzichte van de alternatieven IV en VI. Ten opzichte van het VKA heeft deze compartimentering tot gevolg dat de gemiddelde situatie een minder verdrogend effect heeft. (zie figuur 4 voor de effecten van het VKA). De grens van de stijghoogteverlaging ligt op de rand van het binnendijks gelegen gebied.

Voor VKA Mitigerend 2 (Figuur 6.10) zijn de effecten vergelijkbaar met het VKA. Het oppervlaktewater in het VKA draineert ook weg onder deze situatie, omdat de stijghoogten in de meebewegende plassen gelijk zijn aan het Waalpeil. De dam is immers pas actief bij zeer lage Waalpeilen (bijvoorbeeld T=10 laagwater) en niet onder normale omstandigheden. De dam die in deze variant op 7,5 m+NAP ligt heeft geen effect tijdens een gemiddelde situatie, omdat de waterstand op de Waal hoger is in een gemiddelde situatie. De effecten in gemiddelde en in hoogwater situaties zijn dan ook gelijk aan die van het VKA.

#### Gemiddelde winter

In de gemiddelde winter voor VKA Mitigerend 1 (Figuur 6.9) ligt de reikwijdte van het effect ten opzichte van de autonome situatie tussen die van alternatief IV, VI en die van het VKA, MMA, alternatief II, III en V in. Dit komt doordat de hoogte van de dam die compartimentering tot gevolg heeft lager ligt in deze variant (10 m+NAP) dan in de alternatieven IV en VI. Ten opzichte van het VKA heeft deze compartimentering in een gemiddelde wintersituatie tot gevolg dat de stijghoogteverhogingen ten opzichte van de autonome situatie iets verder reiken. Dit komt door de gemiddeld hogere stijghoogten gedurende het jaar, waarbij in de aanloop naar een gemiddelde winter de stijghoogten hoger liggen in de compartimentering.

De effecten tijdens een gemiddelde winter voor VKA Mitigerend 2 ten opzichte van de autonome situatie zijn hetzelfde als in het VKA, waarin ook meebewegende plassen/geulen aanwezig zijn. De drempel die bij deze variant op 7,5 m+NAP ligt heeft dus geen effect tijdens een gemiddelde winter.

#### Gemiddelde zomer

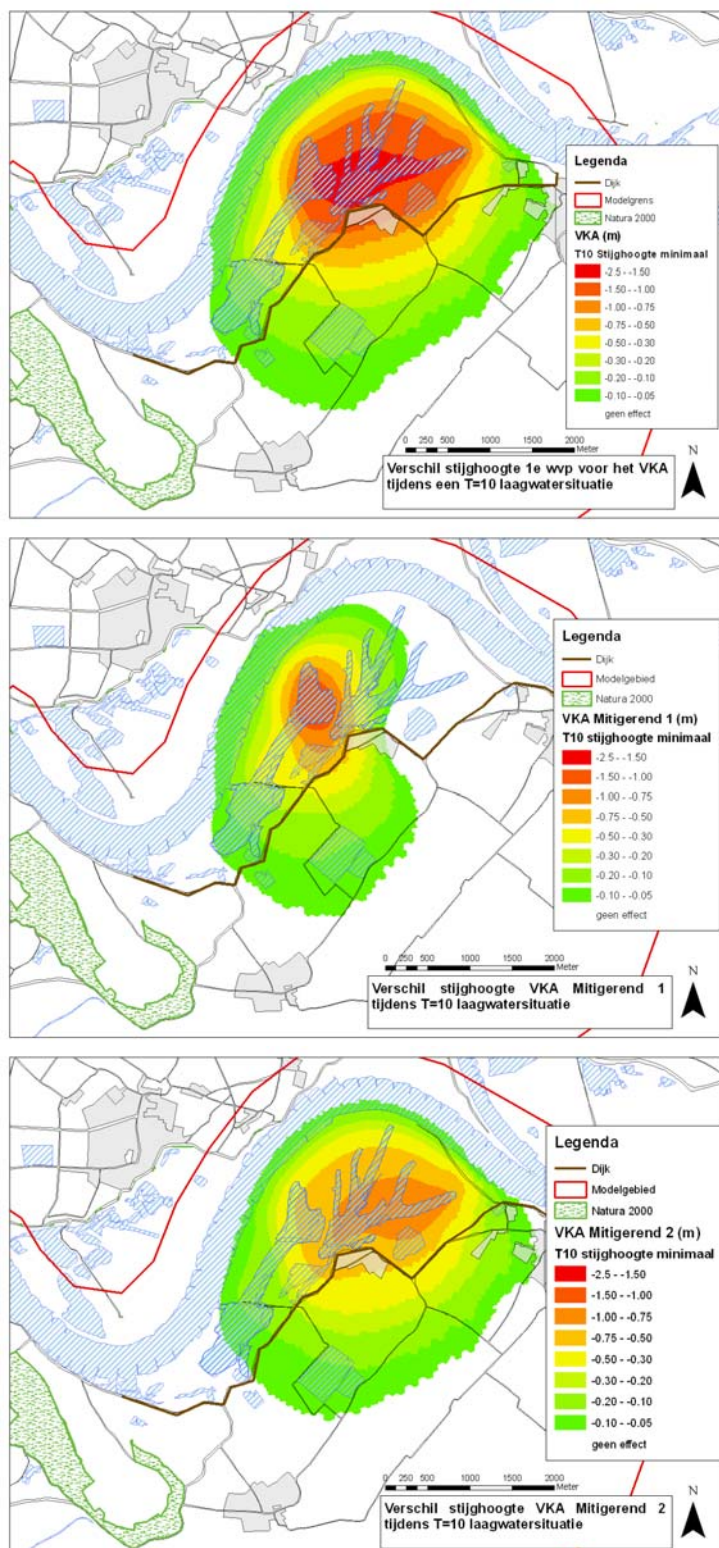
In de zomersituatie (Figuur 6.9) treedt, van de twee varianten, bij VKA Mitigerend 2 de grootste effecten op wat betreft verdroging. Het effect van VKA Mitigerend 1 is nagenoeg gelijk met die van alternatief IV en VI. De compartimentering zorgt ervoor dat het langzaam wegstromen van grondwater uit de compartimentering het verdrogende effect dempt tijdens droge perioden. Ten opzichte van het VKA heeft deze compartimentering in een gemiddelde zomer tot gevolg dat het effect van VKA mitigerend 1 ten opzichte van de autonome situatie alleen doorwerkt in het gedeelte van de uiterwaard dat meebeweegt met de Waal. Bij het VKA treedt het verlagende effect op over de gehele uiterwaard.

Voor VKA Mitigerend 2 (Figuur 6.10) is het de bedoeling dat onder een Waalpeil van 7.5 m+NAP in de Kaliwaal, grondwater langzamer uit de uiterwaard wegstroomt dan bij het VKA. In een gemiddelde zomer wordt dit peil net aan bereikt. Het effect in de zomer reikt hierdoor enkele honderden meters minder ver richting het zuiden dan in het VKA.

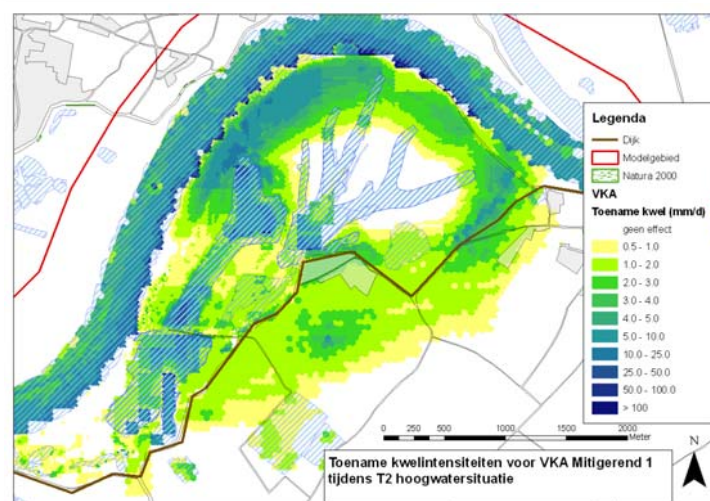
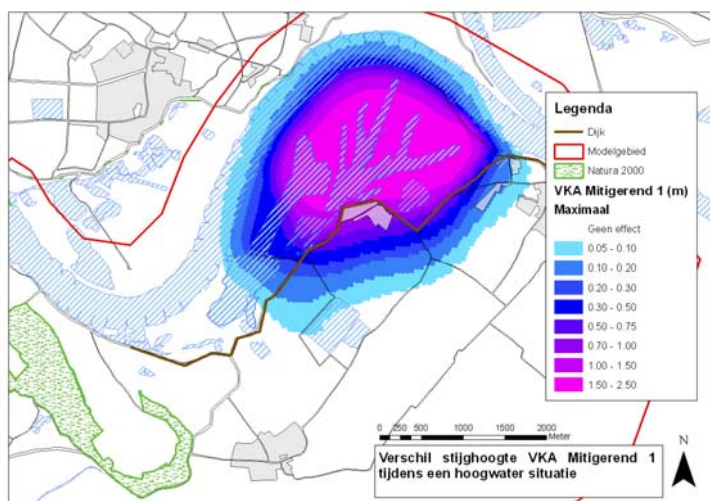
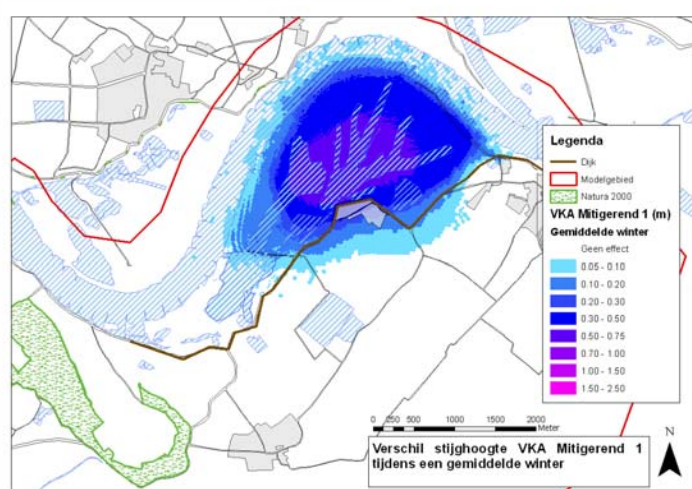
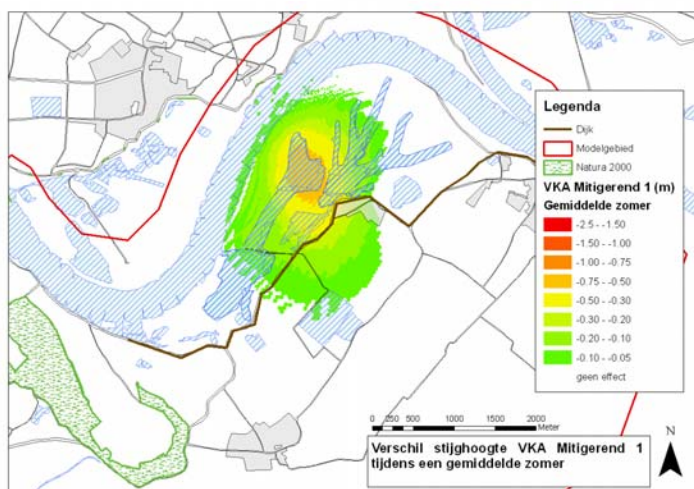
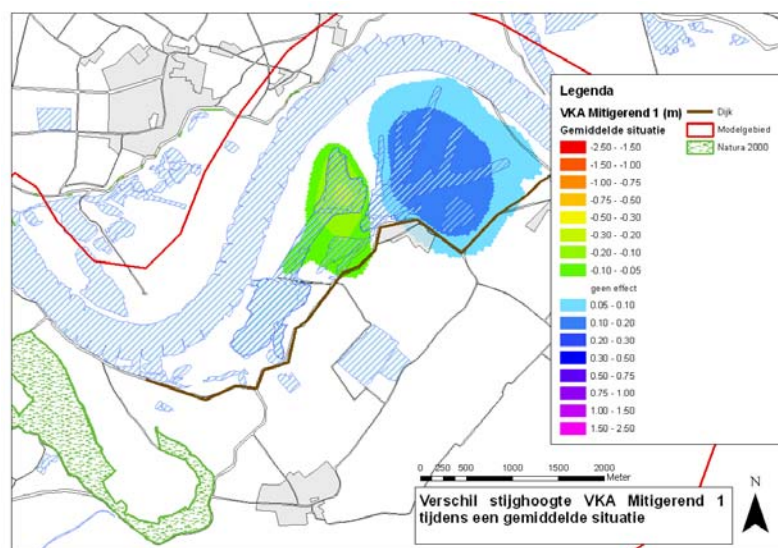
#### Hoogwatersituatie (T=2)

Tijdens hoogwater stromen beide varianten ruimschoots vol net als de overige alternatieven in het MER. Het verschil in effecten is hierdoor voor beide varianten gelijk wat betreft stijghoogteverhoging en daaraan gecorreleerde kwel als in het VKA (Figuur 6.8).



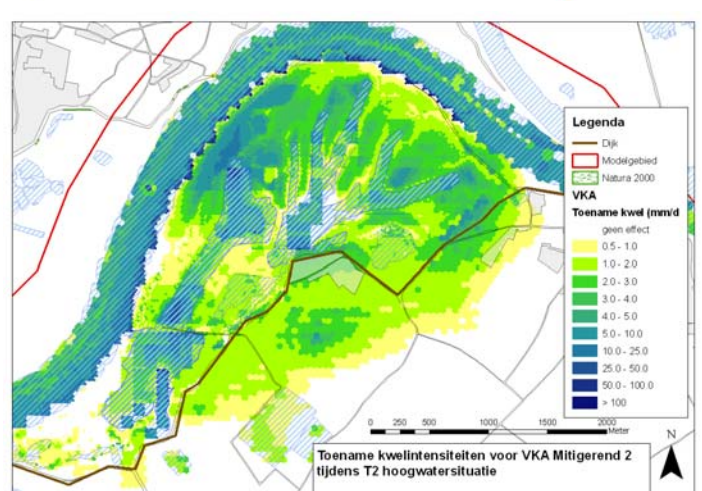
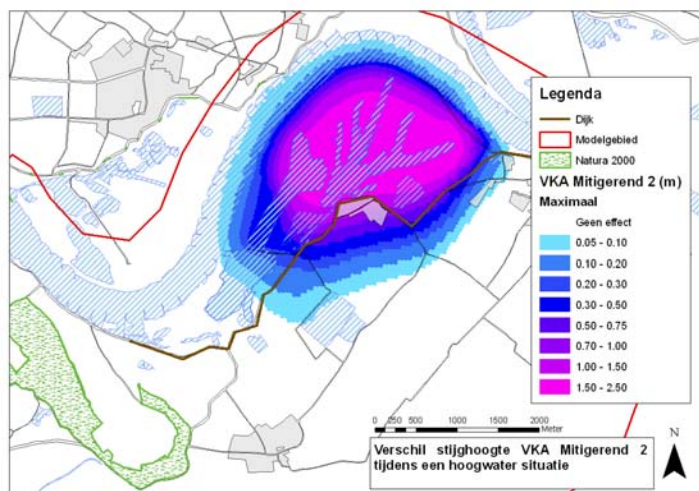
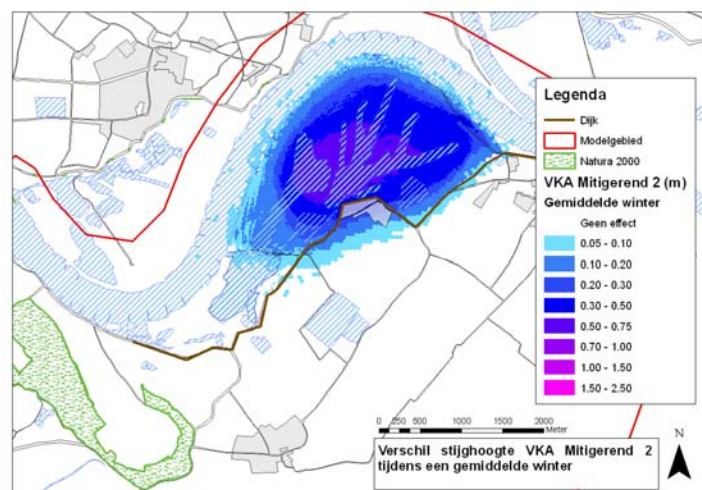
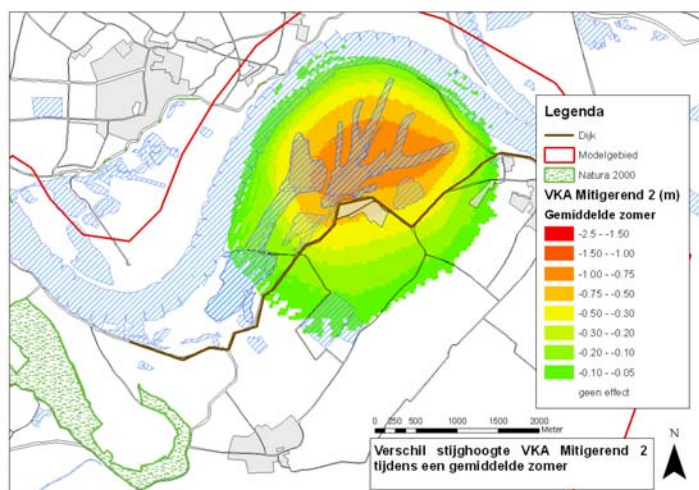
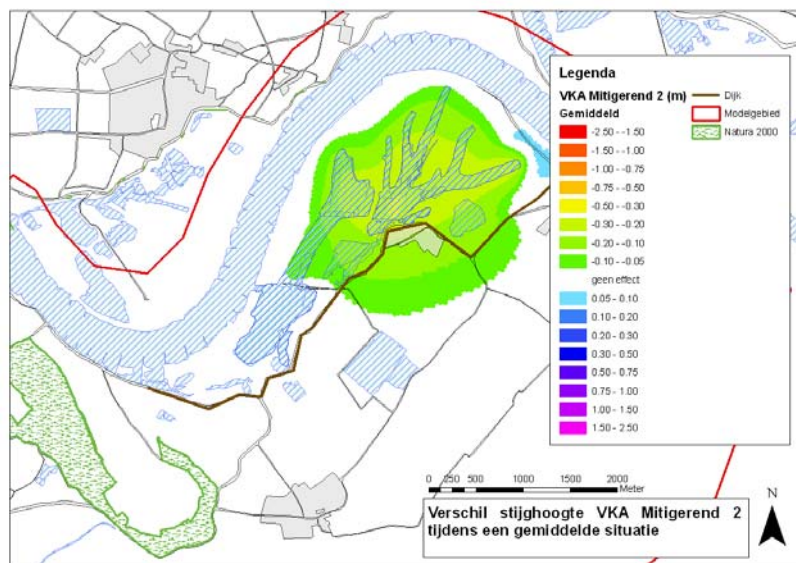


**Figuur 6.8** Resultaten VKA (boven) en twee mitigerende alternatieven op basis van het VKA (midden en onder) tijdens een laagwatersituatie van eens in de tien jaar (T=10). Effecten zijn gepresenteerd in effect op de stijghoogte.



Figuur 6.9: Berekende verschillen in stijghoogten voor het VKA Mitigerend 1





Figuur 6.10: Berekende verschillen in stijghoogten voor het VKA Mitigerend 2

## 7 REFERENTIES

Deltares/TNO, 2008.

Grondwatermodellering Rivierenland, Deltares/TNO-rapport, 2008.

Maas C., 2006.

Spreadingslengte: waar kies ik de modelrand?. Stromingen, Volume 2-4, p. 49-51.

Provincie Gelderland, 2008.

Richtlijnen voor het Milieueffectrapport Herinrichting Millingerwaard, vastgesteld door Gedeputeerde Staten provincie Gelderland op 6 mei 2008.

Royal Haskoning, 2010a.

Integrale planstudie / MER Millingerwaard: meer ruimte voor mens en natuur!  
Hoofdrapport, september 2010.

Royal Haskoning, 2010b. Integrale planstudie / MER Millingerwaard. Globaal grondstromen- en uitvoeringsplan, Juni 2010.

Royal Haskoning, 2010c. Verkenning inundatiefrequenties Millingerwaard.  
9T6964.F0/N0004/904224/MJANS/Nijm, juli 2010.