Ruimte voor de Waal – Nijmegen

Achtergrondrapport Geohydrologie

Gemeente Nijmegen

21 oktober 2010
Definitief rapport
9V0718.08

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	Ruimte voor de Waal – Nijmegen Achtergrondrapport Geohydrologie
Verkorte documenttitel	MER Lent Geohydrologie
Status	Definitief rapport
Datum	21 oktober 2010
Projectnaam	Ruimte voor de Waal - Nijmegen
Projectnummer	9V0718.08
Opdrachtgever	Gemeente Nijmegen
Referentie	9V0718.08/R0012/500914/JEBR/Nijm

Auteur(s)	Andries Krikken, Ben van der Wal, Jasper Jansen
Collegiale toets	David Heikens
Datum/paraaf	21 oktober 2010
Vrijgegeven door	Gert-Jan Meulepas
Datum/paraaf	21 oktober 2010

INHOUDSOPGAVE

			Blz.
1	INLEIDING		1
	1.1	Kader	1
	1.2	Doelstelling	1
	1.3	Voorgenomen activiteit en varianten	1
	1.4	Gevolgen van de dijkteruglegging en een waterkerend scherm	2
	1.5	Methodiek	4
	1.6	Leeswijzer	4
2	BEOORDELINGSKADER EN UITGANGSPUNTEN MER		6
	2.1	Gehanteerde uitgangspunten	6
	2.2	Referentiesituatie	7
	2.3	Beoordelingskader	11
	2.4	Wijze van beoordelen	14
3	WATERSYSTEEM EN HUIDIGE SITUATIE		16
	3.1	De Waal en het grondwater	16
	3.2	Bodemopbouw en geohydrologische schematisatie	17
	3.3	Geohydrologische parameterisatie	19
	3.4	Oppervlaktewater	21
	3.5	Grondwatermodel en grondwaterstroming	22
	3.6	Grondwateroverlast huidige situatie	25
4	AUTONOME ONTWIKKELINGEN		28
	4.1	Waalsprong	28
	4.2	Oppervlaktewatersysteem Waalsprong	28
	4.3	Hydrologische effecten autonome ontwikkeling	30
	4.4	Referentiesituatie (AO) conform beoordelingskader	34
5	DRIE VARIANTEN: KLASSIEK, MOZAIEK EN DYNAMIEK		37
	5.1	Variant Klassiek	37
	5.2	Variant mozaïek	40
	5.3	Variant dynamiek	44
	5.4	De drie varianten vergeleken	47
6	VOORKEURSVARIANT (VKV)		49
	6.1	Beschrijving van de variant	49
	6.2	Hydrologische effecten voorkeursvariant	50
	6.3	Effecten voorkeursvariant conform beoordelingskader	55
	6.4	Effecten tijdens uitvoering	58
7	RISICOANALYSE		59
	7.1	Onzekerheden ten aanzien van het waterkerend scherm	59
	7.2	Effecten VKV T=150	59
	7.3	Doorlatendheid waterkerend scherm	62
	7.4	7.4 Weerstand leemlaag	65

8 RISICOBEHEERSENDE MAATREGELEN 68
8.1 Monitoring en analyse risico's en risicobeheersende aanvullende maatregelen 68
8.2 Uitwerking en toelichting risicobeheersende maatregelen 70

BIJLAGEN

1. Invoerparameters grondwatermodel
2. Vergelijking metingen en berekeningen
3. Bouwkundige inventarisatie Lent
4. Selectie belangrijke figuren uit rapport op groter formaat

1 INLEIDING

1.1 Kader

Dit rapport vormt het achtergrondrapport voor het onderdeel Geohydrologie bij de MER Dijkteruglegging Lent.

Eind 2006 koos het Rijk na een lange periode van onderzoek en procedures ervoor om de dijk bij Lent terug te leggen. De teruglegging van de dijk is voor Nijmegen en vooral voor de bewoners van Lent een ingreep met grote gevolgen. De afgelopen periode heeft het ministerie van Verkeer en Waterstaat met de gemeente Nijmegen overlegd over de vervolgstappen. De staatssecretaris heeft in 2007 aan de gemeente gevraagd de dijkteruglegging bij Lent voor te bereiden. De hoofdlijnen van de gewenste inrichting zijn vastgelegd in het Ruimtelijk Plan (december 2007). De Planstudie/MER, waar deze studie onderdeel vanuit maakt bouwt daarop voort. De teruglegging staat daarin niet meer ter discussie.

In het Ruimtelijk Plan voor de dijkteruglegging (december 2007) en de Planstudie/MER is de harde randvoorwaarde opgenomen dat de wateroverlast in het gebied als gevolg van kwel ten noorden van de nieuwe geul niet mag verslechteren.

1.2 Doelstelling

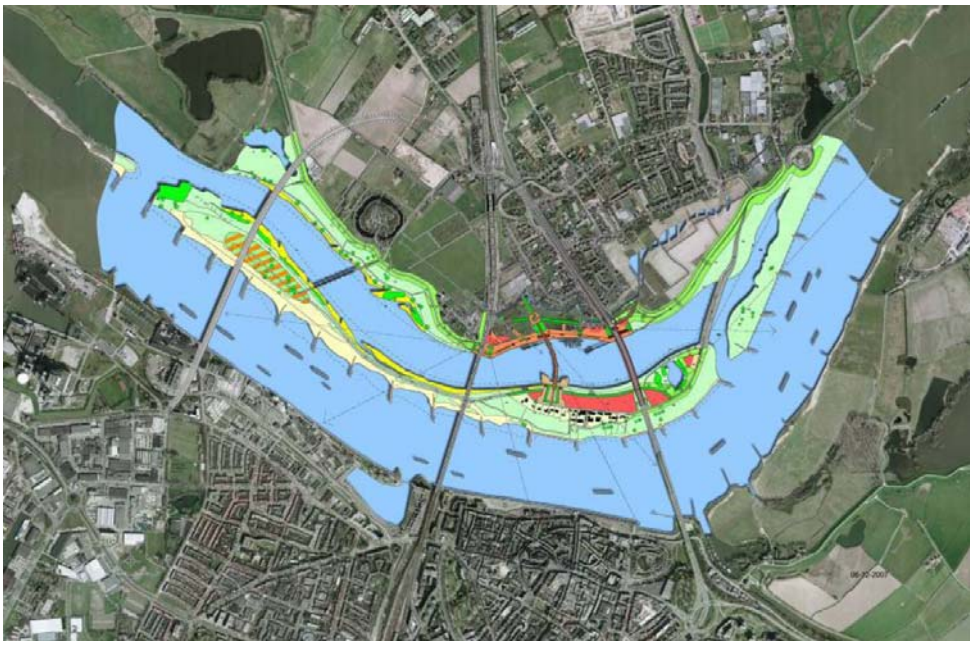
Voorliggende geohydrologische studie heeft tot doel om de geohydrologische aspecten van de Planstudie/MER te analyseren en te beschrijven. Dit betekent concreet:

1. Beschrijven van de huidige geohydrologische situatie en de kwelproblematiek in het binnendijks gebied;
2. Bepalen van de hydrologische effecten van de voorgenomen activiteit en varianten in het MER;
3. Bepalen of de oplossingsrichtingen die in het kader van dit project onderzocht worden voldoen aan de randvoorwaarde dat de kwelsituatie in het binnendijks gebied niet mag verslechteren.

1.3 Voorgenomen activiteit en varianten

De hoofdlijnen van de gewenste inrichting zijn vastgesteld met het Ruimtelijk Plan voor de dijkteruglegging (zie figuur 1.1) waarmee ook Rijkswaterstaat, het Waterschap Rivierenland, de provincie Gelderland en de projectdirectie Ruimte voor de Rivier hebben ingestemd, liggen nu dus vast. Het “wat” staat niet meer ter discussie en ook het “hoe” staat op hoofdlijnen vast. De precieze invulling en de belangrijke keuzes die daarbij nog aan de orde zijn, zijn onderwerp van studie in het milieueffectrapport (MER).

In twee ontwerprondes en werkateliers zijn in het kader van deze Planstudie/MER ontwerpoplossingen en bouwstenen verkend, ontwikkeld, getoetst en verbeterd, inclusief een globale effectbeoordeling. Uiteindelijk heeft dat geleid tot een drietal ontwerpvarianten met de namen Klassiek, Mozaïek en Dynamiek. Elke variant bestaat uit een logische combinatie van een aantal ontwerpoplossingen voor de individuele bouwstenen.



Figuur 1.1: Project Ruimte voor de Waal! Dijkteruglegging Lent (Bron: Ruimtelijk Plan, 2007)

Bij *Klassiek* ligt de nadruk op de stedenbouwkundige invulling van het eiland met landmark aan de oostzijde van de Waalbrug naast de (bij alle varianten te behouden) Kolk van Wijk. De instroom, de natuurgeul en de uiterwaarde Lent is conform het RP 2007 met een ca 15 dagen per jaar te overstromen drempel.

Bij *Dynamiek* ligt de nadruk sterk op een zo groot mogelijk herstel van de rivierdynamische processen. De vormgeving van de geul is natuurlijker en heeft een kleine permanente instroomopening waardoor het water mee stroomt met de rivier. Op het eiland is een tweetal verbindingen gemaakt tussen nevengeul en rivier.

Bij de inrichtingsvariant *Mozaïek* is de situatie met betrekking tot de kade identiek aan beide andere inrichtingsvarianten. Bij de drempel in de Lentse uiterwaarde is nu sprake van een doorlopend fietspad door de uiterwaarden langs de rivier buitenom het Wijnfort, terwijl de bestaande natuurgeul is doorgegraven en direct verbonden met de nieuwe nevengeul. Op de Landtong West is nu anders dan bij *Klassiek* ruimte voor de aanleg van een groot evenemententerrein en in de Oosterhoutse uiterwaarden zijn ook aan de Waal voorzieningen voor strandrecreatie.

1.4 Gevolgen van de dijkteruglegging en een waterkerend scherm

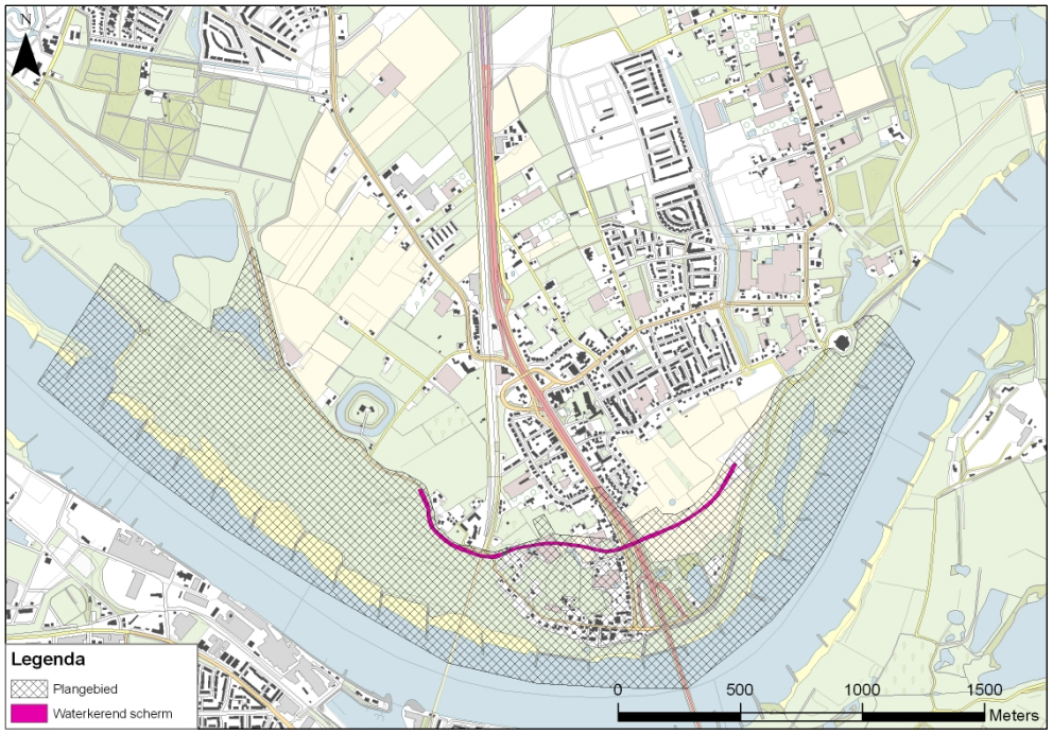
De dijkteruglegging brengt een aantal ingrepen met zich mee die van invloed kunnen zijn op het grondwatersysteem:

- door de dijkteruglegging schuift de rivier feitelijk een stukje op in binnendijkse richting, en daarmee schuift de invloed van de rivier ook op;
- de dijkteruglegging maakt ruimte voor een hoogwatergeul, die net als het huidige zomerbed van de Waal de deklaag doorsnijdt en direct contact maakt met het watervoerende zandpakket eronder. Het contactoppervlak tussen de rivier en het zandpakket neemt dus toe, en daarmee ook de potentiële invloed van de rivier.

Tegelijkertijd neemt het bebouwd areaal binnendijks toe in het kader van de Waalsprong; de rivier komt dus dichter bij een toegenomen aantal woningen. In deze rapportage is de aandacht sterk gericht op effecten voor bebouwing. In het stedelijk gebied van de Waalsprong zijn deze immers het belangrijkst, en sturend voor de keuze van de te treffen maatregelen.

In geohydrologisch opzicht is het relevante verschil tussen de drie varianten met name gelegen in de begrenzing van de geul en de ontgraving van de deklaag. De deklaag, bestaande uit veelal kleiig sediment, heeft immers een belangrijke hydraulische weerstand en daarmee een grote invloed op de werking van het hydrologisch systeem.

Tegengaan toename invloed rivier: waterkerend scherm
Om te voorkomen dat de grondwateroverlast ten opzichte van de huidige situatie toeneemt (hetgeen een randvoorwaarde is voor de voorgenomen activiteit) is in het Ruimtelijk Plan gekozen voor het construeren van een waterkerend scherm langs de dijk tot 20 à 25 meter diepte (zie figuur 1.2). Het waterkerend scherm wordt gefundeerd op een leemlaag van wisselende dikte. Voor de ligging van het scherm wordt bij alle varianten uitgegaan van het voorstel zoals uitgewerkt in het Ontwerp op hoofdlijnen (Royal Haskoning, 12 januari 2007) en overgenomen en beschreven in het Ruimtelijk Plan (december 2007). De aanwezigheid van een doorlopende leemlaag met geringe doorlatendheid is van belang om het waterkerend scherm goed te laten functioneren. Als er onvoldoende leem aanwezig zou zijn, kan het water te gemakkelijk onder het scherm doorstromen en zou de invloed van de rivier onvoldoende worden ingeperkt.



Figuur 1.2: Plangebied en ligging waterkerend scherm

1.5 Methodiek

Voor het bepalen van de hydrologische effecten van de dijkteruglegging zijn berekeningen uitgevoerd met een simulatiemodel voor de grondwaterstroming. Dit model (gebouwd met het softwarepakket TRIWACO) bouwt voort op het model dat gemaakt is voor MER Waalsprong 2003 en is op verschillende punten geactualiseerd en verbeterd. Nieuwe gegevens over de bodemopbouw, afkomstig van boringen en sonderingen zijn in het model verwerkt, alsmede actuele inzichten over de werking en inrichting van het waterhuishoudkundig systeem van de Waalsprong.

Met het grondwatermodel zijn de effecten van de varianten voor dijkteruglegging berekend onder diverse hydrologische omstandigheden (hoogwater, gemiddelde wintersituatie, gemiddelde zomersituatie en laagwater). De gevolgen van de effecten zijn bepaald volgens het beoordelingskader uit de MER.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het beoordelingskader opgenomen ten behoeve van het MER inclusief een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten. Hoofdstuk 3 beschrijft het watersysteem en de huidige situatie. Hierin is uitgelegd hoe het grondwatersysteem werkt en wat de invloed van de Waal is op het watersysteem. De opbouw van het grondwatermodel op hoofdlijnen wordt eveneens in dit hoofdstuk beschreven. Een gedetailleerde beschrijving van het grondwatermodel is opgenomen in bijlage 1. Hoofdstuk 4 beschrijft de autonome ontwikkelingen in het gebied waarbij de nadruk ligt op de aspecten die relevant zijn voor de waterhuishouding. Hoofdstuk 5 gaat in op de hydrologische effecten van de 3 varianten (Klassiek, Mozaïek en Dynamiek) en in hoofdstuk 6 worden de effecten van de voorkeursvariant (VKV) nader toegelicht. In hoofdstuk 7 wordt de risicoanalyse beschreven en tenslotte worden de risicobeheersende maatregelen toegelicht in hoofdstuk 8.

2 BEOORDELINGSKADER EN UITGANGSPUNTEN MER

2.1 Gehanteerde uitgangspunten

Voor de uitwerking van deze hydrologische studie is vooraf en tijdens uitvoering, in samenspraak met de begeleidingsgroep (Gemeente Nijmegen / Waterschap Rivierenland), een aantal belangrijke uitgangspunten geformuleerd:

- om een toename van kwel in het binnendijks gebied te voorkomen wordt bij alle varianten een waterkerend scherm toegepast. Voor de ligging van dit scherm wordt bij alle varianten uitgegaan van het voorstel zoals uitgewerkt ten behoeve van het Ruimtelijk Plan (december 2007) en weergegeven in figuur 1.2;
- bij de uitwerking van de hydrologische berekeningen voor alle varianten is er van uitgegaan dat het waterkerend scherm 100 % ondoorlatend is en dat het scherm een diepte heeft van ca 25 meter (tot op de leemlaag); Bij de uitwerking van de risicoanalyse (hoofdstuk 7) wordt rekening gehouden met mogelijke lekkage van het waterkerend scherm en het tegenvallen van de weerstandbiedende werking van de leemlaag;
- voor de waterhuishoudkundige aspecten van de Waalsprong wordt uitgegaan van het WIW 2009; deze is gelijk aan het WIW 2006 (Waterhuishoudkundig inrichtingsplan Waalsprong, Royal Haskoning, 21 december 2006);
- de Singel, die opgenomen is in het WIW 2009, is een randvoorwaarde voor het realiseren van een oplossing voor de ongewenste grondwatereffecten; er wordt vanuit gegaan dat deze Singel tijdig wordt gerealiseerd;
- omdat het watersysteem een sterke dynamiek kent als gevolg van de Waal zijn de hydrologische effecten van de dijkteruglegging voor verschillende (extreme) hydrologische situaties in beeld gebracht:
    - een hoogwater met een herhalingstijd van 25 jaar (T=25), zoals de hoogwatergolf van 1993;
    - een hoogwater met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar (T=10);
    - een gemiddelde wintersituatie (GHG);
    - een gemiddelde zomersituatie (GLG);
    - een extreem laagwater, zoals in 2003;
    - een laagwatersituatie met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar (T=10).
- bij het aanleggen van de geul wordt de deklaag doorgraven zodat het water gemakkelijker kan infiltreren naar de ondergrond; de weerstand van de deklaag wordt in het model beperkt;
- door de dijkteruglegging en het graven van de hoogwatergeul verlaagt het Waalpeil stroomopwaarts van de nieuwe geul. Bij een T=25 golf is op basis van rivierkundige berekeningen, specifiek voor de Waal (MER Dijkteruglegging Lent, 2005), een verlaging van circa 20 cm ter hoogte van Lent aangehouden. Voor de T=25 situatie is uitgegaan van historische meetreeksen zonder eventuele waterstandsveranderingen als gevolg van klimaatverandering;
- klimaatverandering leidt evenwel tot een verhoging van de afvoer in de Rijntakken en daarmee tot waterstandsverhoging van de Waal. Zouden geen maatregelen worden genomen, dan zou deze waterstandsverhoging ook leiden tot een verhoging van de waterstand in de Waal bij Nijmegen en daarmee tot een verhoging van de grondwaterstanden binnendijks. De waterstandsverhoging van de Rijntakken tijdens hoogwater door klimaatverandering wordt echter teniet gedaan door het totale programma Ruimte voor de Rivier.

Daarmee vervalt ook het bijbehorende grondwatereffect binnendijks ten noorden van de nieuw te graven nevengeul bij Nijmegen.
- Bij de bebouwing op het eiland Veur Lent worden geen grondwatereffecten verwacht. Voor de bestaande (buitendijkse) bebouwing blijft de situatie onveranderd; de grondwaterstanden worden en blijven bepaald worden door de waterstanden van de Waal, die zich op korte afstand van de huizen bevindt. De nieuwe bebouwing op het eiland wordt gebouwd op een hoogwatervrij opgehoogd terrein. Voor de twee panden aan binnendijkse zijde die blijven behouden en aan 3 zijden omringd worden door nieuwbouw zal een maatwerkoplossing gekozen moeten worden voor de waterhuishouding, afhankelijk van de inrichting van het bebouwbaar areaal er omheen. Dit is een aandachtspunt voor de verdere technische uitwerking.

De ingrepen zorgen voor effecten op de grondwaterstand, de stijghoogte en de afvoer of wegzijging, zowel binnendijks als buitendijks. Deze zogenaamde hydrologische effecten worden per variant beschreven aan de hand van een aantal figuren en/of tabellen. De figuren dienen duidelijk te maken hoe de hydrologische situatie verandert en zijn deels bedoeld om de processen te verduidelijken. Zo is het figuur van de stijghoogteverandering bijvoorbeeld toegevoegd om duidelijk te maken hoe grondwaterstandsveranderingen binnendijks tot stand komen. De grondwaterstand binnendijks staat immers via het watervoerend pakket onder de deklaag in contact met de grondwaterstand buitendijks en de Waal.

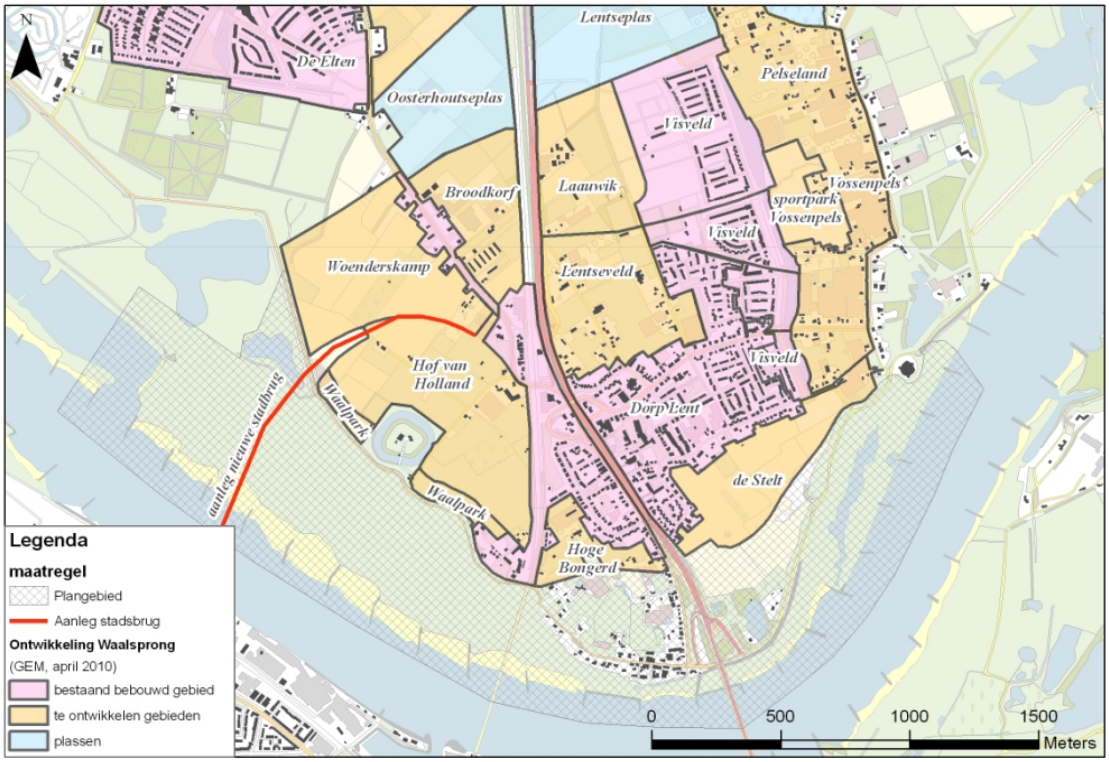
2.2 Referentiesituatie

Als referentie voor het in beeld brengen van de effecten van de dijkteruglegging wordt de huidige situatie, aangevuld met een aantal beschreven autonome ontwikkelingen gehanteerd. De referentiesituatie wordt in het vervolg van het rapport de autonome situatie (AO) genoemd. Als autonome ontwikkeling zijn de volgende onderdelen meegenomen:
- aanleg van de tweede stadsbrug;
- ontwikkeling van de Waalsprong tot aan de begrenzing van het plangebied (zie figuur 2.1).

Voor geohydrologie is de ontwikkeling van de Waalsprong relevant omdat het leidt tot een geheel nieuw oppervlaktewatersysteem en ophoging van het oorspronkelijke maaiveld. Deze hebben immers consequenties voor de grondwaterstanden en afvoeren in het gebied.

Het is in dit verband tevens van belang besef te hebben van het faseverschil in uitvoering van de verschillende projecten. De dijkteruglegging wordt gerealiseerd in 2015 terwijl de ontwikkeling van de Waalsprong en de verschillende waterhuishoudkundige aspecten hiervan over een langere periode zijn uitgesmeerd (tot circa 2020). Het risico hiervan is dat in het geval er een hoogwatersituatie ontstaat terwijl de dijkteruglegging al gerealiseerd is, maar nog niet de waterhuishoudkundige inrichting (WIW 2009), er aanvullende potentiële grondwateroverlastproblemen kunnen ontstaan in het binnendijks gebied. In deze studie is uitgegaan van een volledige realisatie van de verschillende projecten.

Op basis van informatie van de GEM Waalsprong (29 april 2010) is een overzicht gemaakt van de geplande ontwikkelingen (zie figuur 2.1). De realisatietermijnen van de te ontwikkelen gebieden verschillen sterk; zo is voor de "Hof van Holland" / Citadel reeds een masterplan ontwikkeld terwijl voor het gebied "Vossenpels" nog geen concreet plan bestaat, zodat nieuwe ontwikkelingen nog niet in het verschiet liggen. Toch is ervoor gekozen een indeling te maken in bestaand en nieuw te ontwikkelen gebied omdat daarmee de grondwatereffecten beter kunnen worden gewogen dan zonder onderscheid.



Figuur 2.1: Geplande ontwikkelingen Waalsprong (tot aan grens plangebied dijkteruglegging)

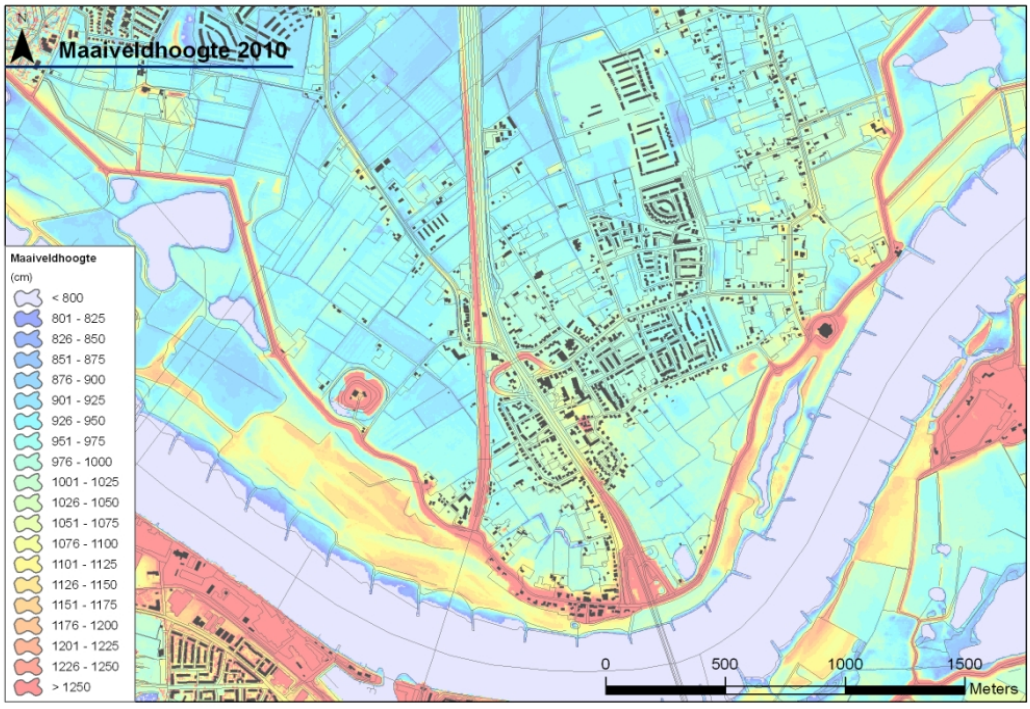
Het maaiveldniveau is een belangrijk aspect in de studie omdat deze de basis vormt voor het bepalen van potentiële grondwateroverlast in het gebied. Een overzicht van de verschillende situaties met bijbehorend maaiveldniveau die onderscheiden worden in deze studie is opgenomen in tabel 2.1.

Tabel 2.1: Maaiveldniveau bij verschillende situaties

Situatie	Maaiveld Waalsprong (buiten plangebied)	Maaiveld plangebied
Situatie 1990-2009	Maaiveldniveau 2003 (AHN + DTM*)	Maaiveldniveau 2003 (AHN + DTM)
Huidige situatie 2010	Maaiveldniveau 2010: combinatie van het AHN (2003) + DTM (Rijkswaterstaat), + veldmetingen (Oranjewoud, 2010) en maaiveldniveau van putdeksels in de wijken Visveld, De Boomgaard, De Elten (gemeente Nijmegen, april 2010)	Maaiveldniveau 2010
Referentiesituatie (AO)	Maaiveldniveau huidige situatie 2010 + minimale aanlegniveaus WIW 2009 (Royal Haskoning, 2009)	Maaiveldniveau 2010
Dijkterugleggingsvarianten (klassiek, VKV, etc)	Maaiveldniveau autonome situatie	Maaiveldniveau variant

*: DTM: Digitaal Terrein Model

In figuur 2.2 is het maaiveldniveau voor de huidige situatie 2010 gepresenteerd. Hiervoor is het maaiveldniveau op basis van het AHN (2003) gecorrigeerd voor bebouwing op basis van het DTM (Rijkswaterstaat) en veldmetingen (Oranjewoud, 2010) aanvullend gecorrigeerd met putdekselhoogten (gemeente Nijmegen, april 2010) in de nieuwbouwwijken.



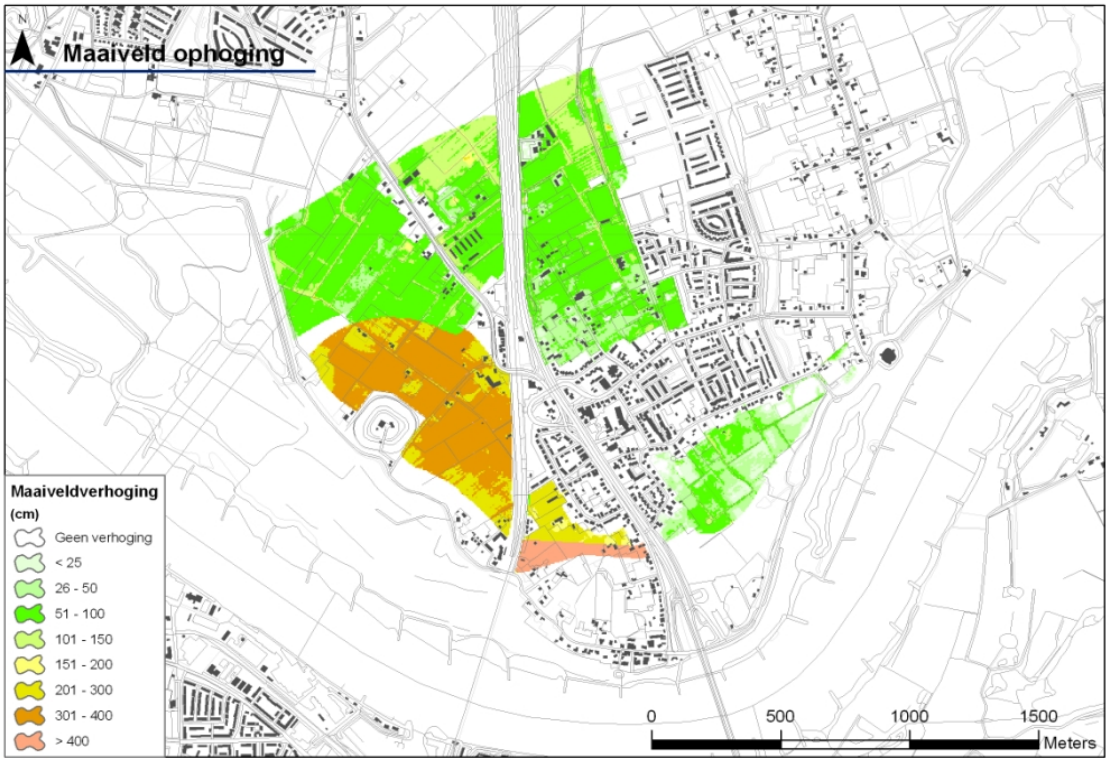
Figuur 2.2: Maaiveldniveau huidige situatie 2010 [NAP cm]

In tabel 2.2 is een overzicht opgenomen van het minimaal aanlegniveau voor de te ontwikkelen gebieden (WIW 2009, Royal Haskoning, 20 november 2009). Voor Hof van Holland en het Waalpark is voor het toekomstig maaiveld uitgegaan van het Masterplan Citadel (GEM Waalsprong, januari 2010). Bij de Hoge Bongerd is uitgegaan van de ontwerpkaarten van het Ruimtelijk Plan (Royal Haskoning, 21 april 2010).

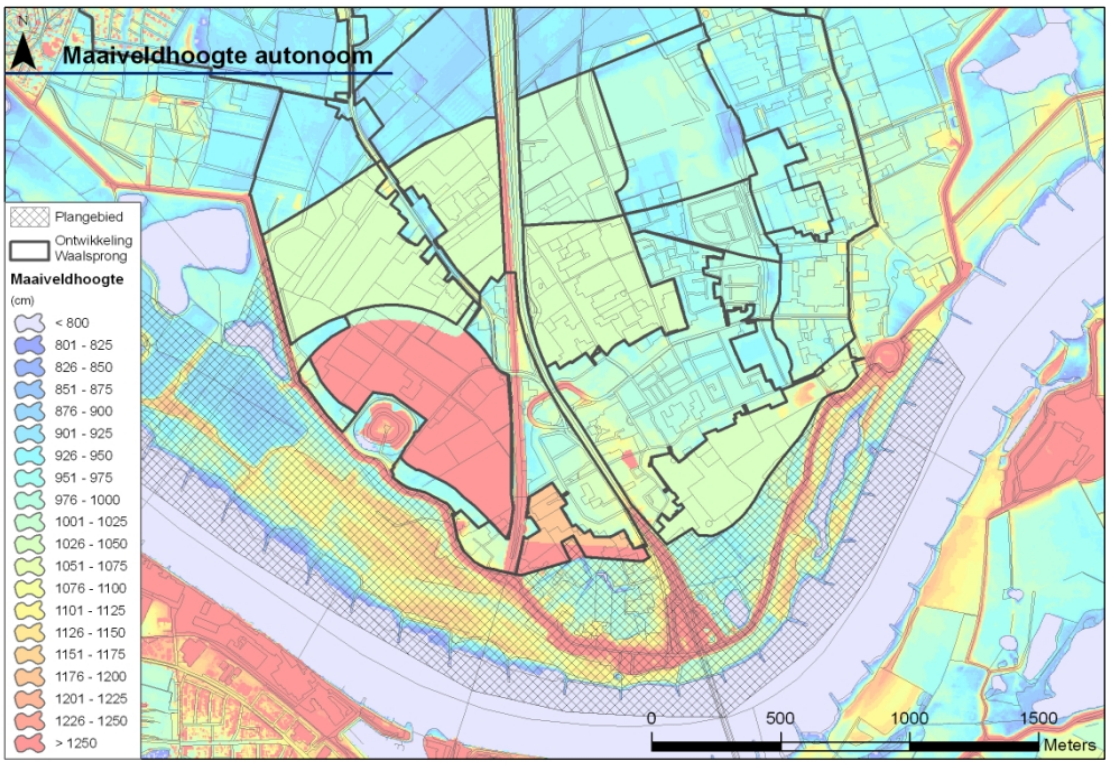
Tabel 2.2: Minimaal aanlegniveau te ontwikkelen gebieden referentiesituatie

Gebied	Minimaal aanlegniveau (m NAP)
Hof van Holland	NAP +10,2 m – NAP +12,6 m
Waalpark	Bestaand maaiveld
Hoge Bongerd	NAP + 10,5 m – NAP +16,4 m
De Stelt	NAP + 10,3 m
Vossenpels	Wordt vooralsnog niet ontwikkeld, uitgegaan wordt van bestaand maaiveld
Sportpark Vossenpels	Bestaand maaiveld
Laauwik	NAP +10, 2 m
Lentseveld	NAP +10, 32 m
Broodkorf	NAP +10, 32 m
Woenderskamp	NAP +10, 32 m

Het maaiveldniveau van 2010 is vergeleken met de minimaal vereiste aanlegniveaus in de te ontwikkelen gebieden in de autonome situatie. Op basis van deze vergelijking is bepaald waar en hoeveel ophoging er vereist is (zie figuur 2.3). Het uiteindelijke maaiveldniveau in de autonome situatie is weergegeven in figuur 2.4.



Figuur 2.3: Vereiste ophoging voor de autonome situatie



Figuur 2.4: Maaiveldniveau autonome situatie [NAP cm]

2.3 Beoordelingskader

Het beoordelingskader voor geohydrologische effecten zoals beschreven in het MER is opgenomen in onderstaande tabel 2.3.

Het beoordelingscriterium **W2** “stabiliteit waterkering” wordt uitgewerkt in het onderdeel Dijkontwerp en Dijkverleggingsplan (factsheet 7). Effecten op de landbouw worden niet verwacht; in de autonome ontwikkeling wordt het invloedsgebied van de grondwatereffecten binnendijks geheel bebouwd (zie figuur 2.1) en niet meer gebruikt voor landbouw. De landbouw in de uiterwaarden is naar verwachting niet gevoelig voor de grondwatereffecten van de dijkteruglegging, aangezien de dynamiek van de grondwaterstanden daar in de huidige situatie al zeer groot is. Effecten op natuurwaarden zijn beschreven in het achtergrondrapport Natuur. Bij de controle van de stabiliteit van de waterkering is eveneens rekening gehouden met de grondwaterstanden; hiervoor wordt verwezen naar het Projectplan Dijkontwerp.

Tabel 2.3: Beoordelingskader

W1	Verandering grondwaterstanden en drainage- en infiltratiepatroon	Berekeningen voor verschillende situaties in de rivier: GLG, GHG; gecombineerd met verschillende neerslag situatie

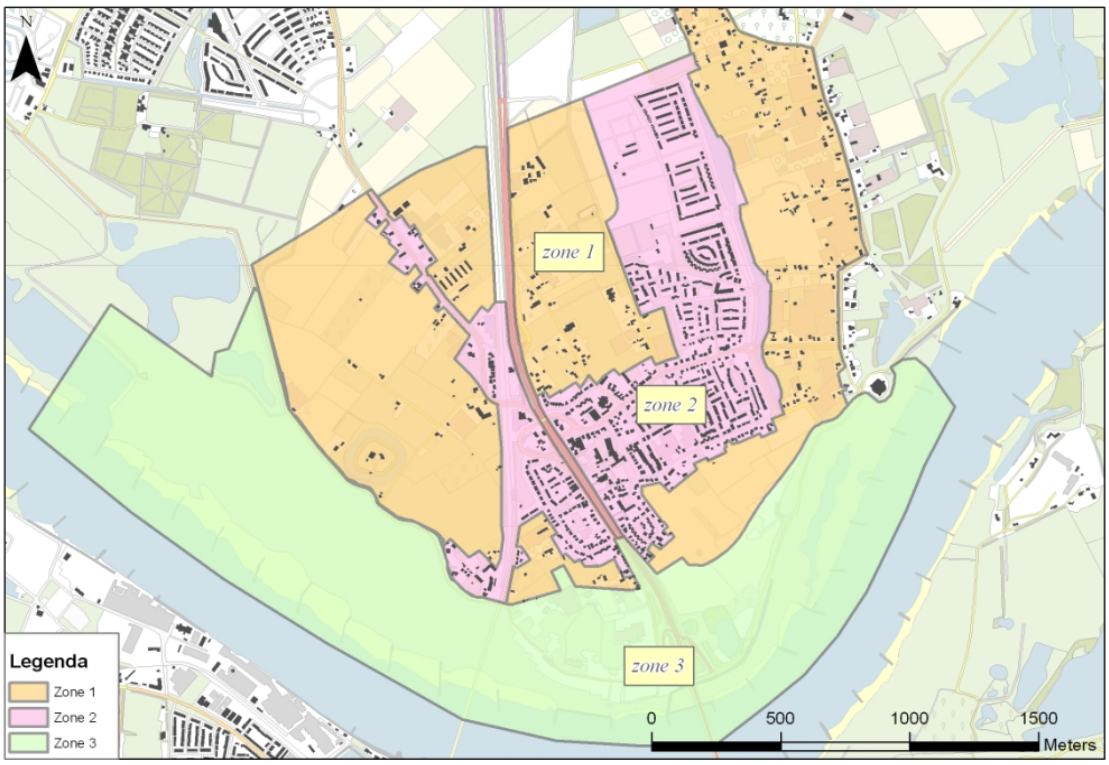
Het beoordelingscriterium **W1** is omwille van eenduidigheid en navolgbaarheid in relatie tot de doelstelling van het geohydrologisch onderzoek verdeeld in de volgende subcriteria:

1. Potentiële grondwateroverlast; Voor de toetsing van dit subcriterium wordt de verandering van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in bebouwd gebied beoordeeld tijdens hoogwatersituaties.
2. Verandering afvoer tijdens hoogwater: Voor de toetsing van dit criterium wordt de verandering van de totale afvoer uit het binnendijks gebied beoordeeld. Met name tijdens hoogwater heeft het gebied als gevolg van kwel veel water te verwerken.
3. Verandering wegzijging tijdens laagwater: Voor de toetsing van dit criterium wordt de verandering van de totale wegzijging uit het binnendijks gebied beoordeeld. In het watersysteem van de Waalsprong worden de waterlopen in droge perioden op peil gehouden met behulp van wateraanvoer. Er zou een tekort aan water kunnen ontstaan.
4. Verandering grondwaterstand in bebouwd gebied tijdens laagwater: Een verandering van de grondwaterstand kan in bepaalde gevallen leiden tot zetting van de ondergrond waardoor er schade aan bestaande bebouwing kan ontstaan.

Potentiële grondwateroverlast
Dit eerste criterium is het belangrijkste van de vier bovengenoemde (gezien de bestuurlijk meegegeven randvoorwaarde aan het project), en blijkt in praktijk ook bepalend voor de eisen aan het waterkerend scherm. Volgens een veelgebruikte definitie spreekt men van grondwateroverlast wanneer de gebruiksfunctie van een perceel wordt aangetast door een structureel (te) geringe ontwateringsdiepte (grondwaterstand ten opzichte van het maaiveldniveau). Ofwel: grondwateroverlast kan ontstaan wanneer de grondwaterstand structureel te hoog is. Grondwater kan dan bijvoorbeeld in de kruipruimte staan of binnendringen in niet goed waterdicht gemaakte kelders of deze kelders doen opdrijven. Met structureel wordt bedoeld dat het herhaaldelijk, gedurende lange tijd (weken tot maanden) voorkomt.

De toetsing van dit subcriterium is uitgewerkt door voor de verschillende varianten tijdens een hoogwatersituatie (T=25) het areaal in het bebouwd gebied te bepalen waarbij de ontwateringsdiepte minder is dan 0,5 m. De ontwateringsdiepte is bepaald op het moment dat de grondwaterstand maximaal is tijdens deze hoogwaterperiode.

In figuur 2.5 is de begrenzing van de gebieden weergegeven waarvoor het areaal berekend wordt waarbij onderscheid gemaakt wordt in nog te ontwikkelen gebied (zone 1) en bestaand bebouwd gebied (zone 2). Beide zones zijn belangrijk.
Het plangebied voor de dijkteruglegging (zone 3) maakt geen onderdeel uit van het te beschouwen gebied voor potentiële grondwateroverlast.



Figuur 2.5: Zonering van gebieden voor het berekenen van de beoordelingscriteria

Verandering afvoer tijdens hoogwater
Met name tijdens hoogwater kan het gebied, als gevolg van de kweldruk, veel water te verwerken krijgen. Dit subcriterium is uitgewerkt door voor de verschillende varianten tijdens een hoogwatersituatie (T=25), op het moment dat de grondwaterstanden het hoogst zijn, de verandering van de totale afvoer uit het binnendijks gebied (zone 1 en 2 en het binnendijks deel van zone 3) te berekenen en te vergelijken met de autonome situatie. Het plangebied voor de dijkteruglegging (zone 3) maakt voor dit subcriterium wel onderdeel uit van de beschouwing omdat in de autonome situatie water uit dit gebied wordt afgevoerd en na de dijkteruglegging niet meer.

Verandering wegzijging tijdens laagwater
In droge perioden is wateraanvoer noodzakelijk om het watersysteem van de Waalsprong watervoerend te houden. Als gevolg van de dijkteruglegging en het aanleggen van de geul kan de infiltratie vanuit de waterlopen toenemen en zal er mogelijk meer water beschikbaar moeten zijn dan in de autonome situatie om de watervoerendheid van de Singel en andere hoofdwaterlopen te garanderen. Dit subcriterium is uitgewerkt door voor de verschillende varianten tijdens een laagwatersituatie (vgl 2003), op het moment dat de grondwaterstanden het laagst zijn, de verandering van de totale wegzijging uit het binnendijks gebied (zone 1 en 2 en het binnendijks deel van zone 3) te berekenen en te vergelijken met de autonome situatie. Zone 3 maakt evenals bij het bepalen van de verandering van de afvoer wel onderdeel uit van de analyse.

Verandering grondwaterstand in bebouwd gebied tijdens laagwater
Een verandering van de grondwaterstand kan in bepaalde gevallen leiden tot zetting van de ondergrond waardoor er schade aan bestaande bebouwing kan ontstaan. Zetting van de ondergrond kan ontstaan als ten eerste de ondergrond zettingsgevoelig is (klei/veen) en ten tweede de grondwaterstand lager wordt dan de laagste grondwaterstand die ooit is opgetreden. Of er vervolgens schade kan ontstaan aan bebouwing is afhankelijk van de funderingswijze.

De werkwijze voor het bepalen van het zettingsrisico is door in het aandachtsgebied waar bestaande bebouwing voorkomt (zone 1 en 2) het areaal te berekenen waar de grondwaterstand als gevolg van de ingrepen verlaagd wordt ten opzichte van de laagst opgetreden grondwaterstand in het gebied. Als referentie voor de laagst opgetreden grondwaterstand wordt de zeer droge periode in 2003 gehanteerd.

In verband met mogelijk zettingsrisico heeft de gemeente Nijmegen een bouwkundige inventarisatie uitgevoerd op basis van archiefonderzoek. Het archiefonderzoek is opgenomen in bijlage 3. Uit dit archiefonderzoek is gebleken dat het percentage gebouwen waar weinig tot niets bekend is over het type fundering relatief groot is (71%). Het algemene beeld van de gebouwen waarvan wel funderingsgegevens bekend zijn, is dat de meeste woningen in het onderzoeksgebied een fundering op staal hebben waarbij de poeren op een diepte staan van 0,7 tot 1,1 m beneden maaiveld. Dit gegeven wordt gebruikt om de effecten van extreem lage grondwaterstanden te beoordelen (zie hoofdstukken 5 en 6).

2.4 Wijze van beoordelen

De genoemde subcriteria worden kwantitatief in beeld gebracht met een tabel. Ten behoeve van de ondersteuning inde besluitvorming is de ernst van dit getal ook voorzien van een relatieve waardering. Hierbij wordt steeds uitgegaan van een zevenpunts-beoordelingsschaal.

De kwalitatieve beoordeling op de zevenpuntsschaal gebeurt als volgt:

+++	sterke verbetering t.o.v. referentiesituatie;
++	verbetering t.o.v. referentiesituatie;
+	lichte verbetering t.o.v. referentiesituatie;
0	gelijk aan, niet afwijkend van referentiesituatie;
-	lichte verslechtering t.o.v. referentiesituatie;
- -	verslechtering t.o.v. referentiesituatie;
- - -	sterke verslechtering t.o.v. referentiesituatie.

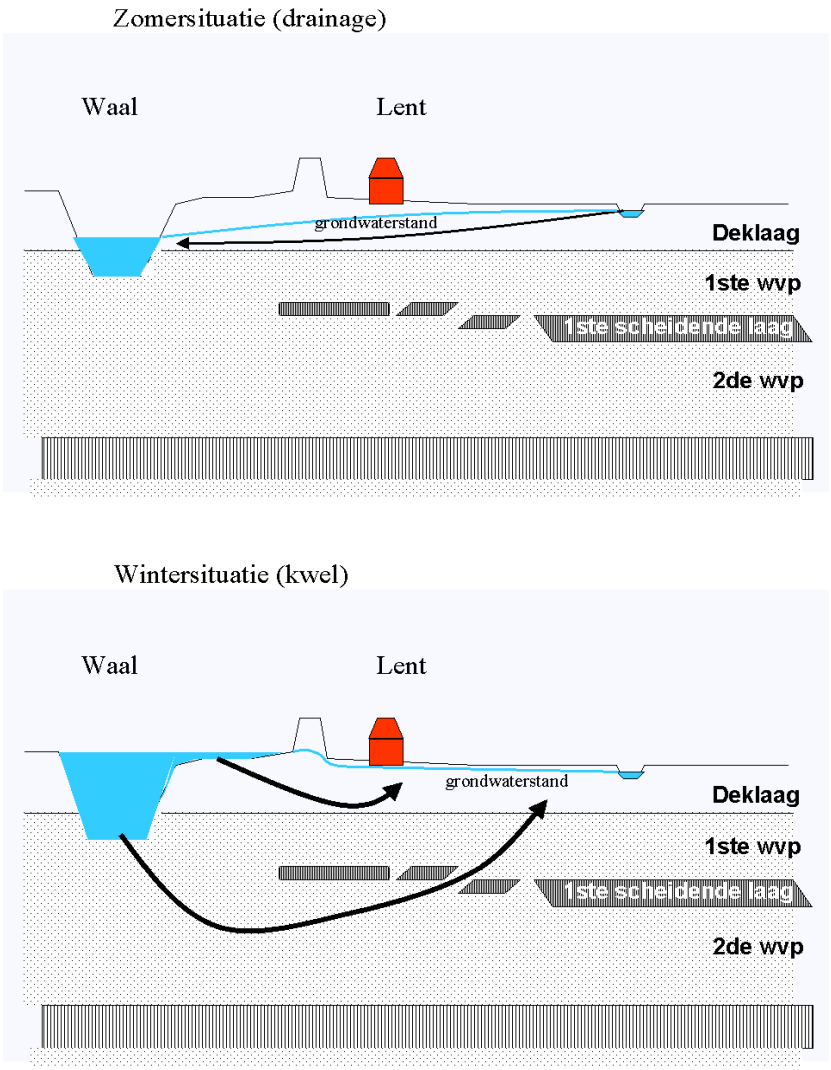
Er is bewust voor gekozen om bij de beoordeling op basis van de zevenpuntsschaal tevens de ernst van de effecten mee te nemen (dus geen - - - als het feitelijke effect relatief klein is). Dit komt neer op het benadrukken van de beoordeling van de mate en ernst van effecten en minder op het aanbrengen van (een kunstmatig) onderscheid tussen de alternatieven. Door de effectbeperkende maatregelen in het ontwerp bevinden de beoordelingen zich in praktijk tussen de + en de 0. Bij de beoordeling (uitgevoerd is nauw overleg met de Gemeente Nijmegen en het Waterschap Rivierenland) is rekening gehouden met de mogelijke ernst van de effecten.

Enkele voorbeelden ter verduidelijking:
- een vermindering van het areaal met potentiële grondwateroverlast tot ca. 2 ha. is als "0" (niet significant) beoordeeld, terwijl een toename (die overigens niet aan de orde is) vanwege de strijdigheid met een belangrijke randvoorwaarde van het project als "- - " zou worden beoordeeld.
- een verandering van het areaal met potentieel zettingsrisico met meer dan 1 ha. wordt als + of - beoordeeld; kleinere oppervlaktes worden beoordeeld als "0".
- een vermindering van de kwelafvoer tijdens hoogwater van ca. 2000 m3/dag wordt als "+" beoordeeld; terwijl een toename van de wegzijging met 200 m3/dag in overleg met het Waterschap als niet significant wordt aangemerkt ("0").

3 WATERSYSTEEM EN HUIDIGE SITUATIE

3.1 De Waal en het grondwater

De Waal heeft een sterke invloed op het grondwatersysteem langs de rivier. Dicht bij de Waal is de invloed op dit systeem het sterkst merkbaar, maar hoe groter de afstand tot de rivier, hoe kleiner deze invloed wordt. De grondwaterstanden bewegen mee met de Waal, zij het gedempt, en met enige vertraging. In een gemiddelde situatie en tijdens een situatie met laag water (zomersituatie) is het peil van de Waal lager dan de grondwaterstand in de omgeving en heeft de Waal een drainerende werking (zie figuur 3.1). Tijdens perioden met hogere waterstanden (wintersituatie) is het peil van de Waal hoger dan de grondwaterstand in de omgeving en heeft de Waal een infiltrerende werking. Tijdens deze situaties stroomt grondwater naar binnendijks gebied waar afhankelijk van het peilbeheer en de opbouw van de ondergrond het water opkwelt.

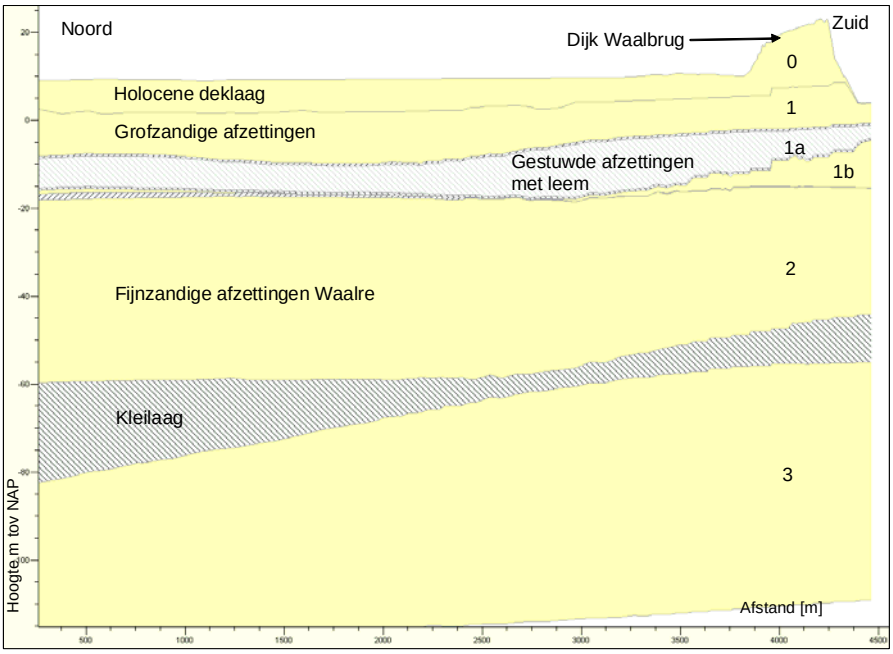


Figuur 3.1: Geohydrologisch dwarsprofiel, zomer- en wintersituatie

De sterke invloed van de Waal op het grondwatersysteem komt omdat het water in het zomerbed van de Waal in directe verbinding staat met het grondwater in het zandpakket waarin de Waal zich heeft ingesneden. In de uiterwaarden langs de rivier is dit contact minder direct. De bovenste meters van de bodem, de zogenaamde deklaag zijn kleiig en matig waterdoorlatend. Als er tijdens hoogwater dus water in de uiterwaarden staat, zal de druk van dit water minder sterk doorwerken op het grondwater eronder, dan in het zomerbed.

3.2 Bodemopbouw en geohydrologische schematisatie

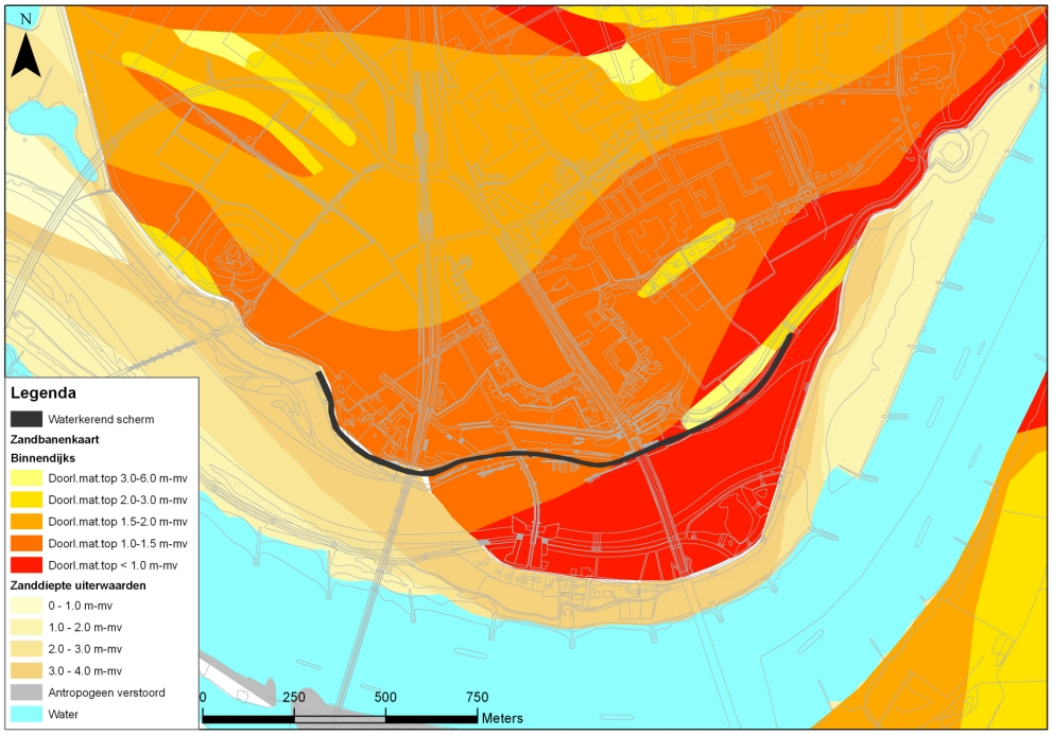
De recente geologische ontstaansgeschiedenis van het Rivierengebied wordt gekenmerkt door de fluviatiele afzettingen van de grote rivieren. Verder in het verleden overheersten echter ook mariene en glaciale invloeden met bijbehorende sedimenten (afwisselend van grind tot zand en klei). De opbouw van de ondergrond bestaat dan ook uit verschillende geologische formaties en afhankelijk van het type sediment kunnen deze worden onderverdeeld in watervoerende pakketten (WVP) en slecht doorlatende lagen (SDL). In figuur 3.2 is de geohydrologische opbouw voor het modelgebied op basis van REGIS II (Van gidslaag naar hydrogeologische eenheid, REGIS II, TNO, NITG 05-038 B, 2005) schematisch weergegeven.



Figuur 3.2: Opbouw van de ondergrond in de omgeving van Lent

De *deklaag* bestaat uit Holocene afzettingen van de grote rivieren (Betuwe Formatie) en kan worden onderverdeeld in stroomgordelafzettingen (bestaande uit zand en zavel) en komafzettingen (zware klei soms met veenlagen). De stroomgordelafzettingen staan vrijwel steeds in contact met de pleistocene afzettingen welke eveneens goed doorlatend zijn. De komafzettingen zijn afgezet tijdens overstromingen in de lagere gedeelten van het landschap. Daar waar de kleien (komklei) vóórkomen ondervindt de grondwaterstroming van en naar het eerste pakket een grotere weerstand.

De afwisseling van sedimenten geeft een zeer gevarieerde samenstelling van de ondiepe ondergrond zoals te zien is in de zandbanenkaart. In figuur 3.3 is de zandbanenkaart weergegeven voor het projectgebied (“Zand in banen”, Berendsen, 2001). De stroomgeulen worden op de figuur aangegeven met gele, oranje en rode tinten naar gelang de diepte ten opzichte van maaiveld. In het aandachtsgebied zijn geen komafzettingen aanwezig.



Figuur 3.3: Zandbanenkaart (“Zand in banen”, Berendsen, 2001)

Op enkele locaties, waaronder Kouwe Hoek ten noordwesten van de huidige kern van Lent, komen lokaal enkele zwaardere rivierkleigronden voor die lokaal zorgen voor een hogere weerstand van de deklaag. Tenslotte komen langs de Waaldijk binnendijks enkele overslaggronden voor, die het gevolg zijn van dijkdoorbraken in de 17e en 18e eeuw. Deze overslaggronden bestaan uit grover materiaal (lichte zavel) en zorgen ervoor dat de deklaag beter doorlatend is dan elders. Ter plaatse van de Waal snijdt de rivier door de deklaag in het eerste watervoerend pakket.

Het *eerste watervoerend pakket* bestaat uit grofzandige en grindige afzettingen van de Formatie van Drenthe en Kreftenheye. De dikte van dit pakket varieert van 10 tot 22 meter. Het eerste watervoerende pakket wordt aan de onderkant begrensd door een *gestuwde laag* (laag 1a) die deels bestaat uit lemige afzettingen. Onder de gestuwde laag bevindt zich een goeddoorlatende uitloper van de formatie van Veghel/ Sterksel. De *eerste scheidende laag* (tussen laag 1b en 2) eronder wordt gevormd door klei en leem van de Formatie van Waalre, met een dikte van lokaal 1 meter tot 10 meter. De dikte neemt in zuidelijke richting af en wordt in het aandachtsgebied alleen in de noordoostelijke hoek nog aangetroffen.

Het *tweede watervoerend pakket* met zanden van de Formatie van Waalre heeft een dikte van 30 tot meer dan 45 meter. Hieronder treft men een *tweede scheidende laag* (zandige klei van de Formatie van Waalre en Maassluis) en een *derde watervoerend pakket* (Formatie van Maassluis) aan. De basis van het geohydrologisch systeem wordt gevormd door de fijne slibhoudende zanden van de Formatie van Breda.

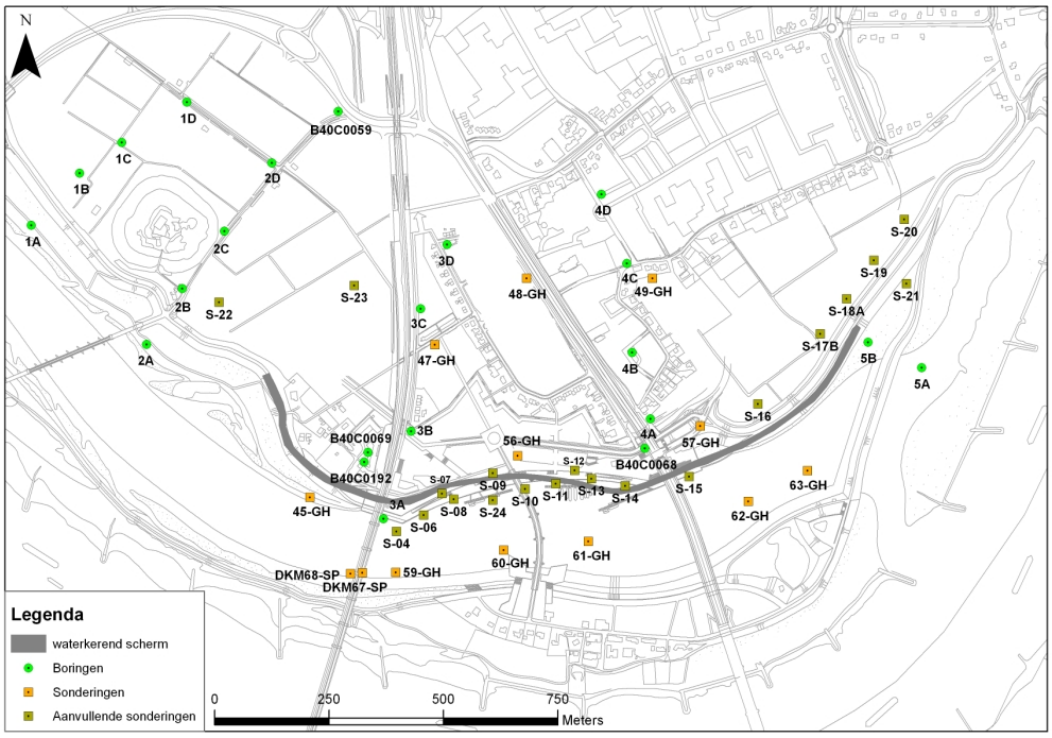
3.3 Geohydrologische parameterisatie

De watervoerende pakketten en scheidende lagen zijn geparameteriseerd met horizontale en verticale doorlatendheden. In het model wordt immers gerekend met kD-waarden (transmissiviteiten) voor watervoerende pakketten en c-waarden (hydraulische weerstand) voor scheidende lagen. In tabel 3.1 is de parameterisatie per modellaag samengevat.

Tabel 3.1: Geohydrologische parameterisatie

Geohydrologie	Formatie	Dikte	doorlatendheid (k), doorlaatvermogen (kD) of weerstand (c)
Deklaag	Betuwe Formatie	0.5-6 m	k = 0-2 m/dag; c = 0-250 dagen
Watervoerend pakket (1)	Formatie Kreftenheye / Drenthe	10-20 m	kD = 10- 1700 m^2/dag
Leemlaag (1a)	Gestuwde afzettingen Formatie van Drenthe	0-20 m	c = 10 – 1100 dagen
Watervoerend pakket (1b)	Veghel/Sterksel	2-10 m	kD = 4-600 m^2/dag
1e Scheidende laag	Waalre	0-5 m	c = 0 - 200 dagen
Watervoerend pakket (2)	Waalre	10-45 m	kD = 50-600 m^2/dag
2e Scheidende laag	Waalre	2-50 m	c = 200-5000 dagen
Watervoerend pakket (3)	Maassluis	30-60 m	KD = 600-1200 m^2/dag
Basis	Formatie van Breda		

Kartering leemlaag gestuwde afzettingen
De gestuwde laag, bestaande uit lemige afzettingen van de Formatie van Drenthe, aan de basis van het eerste watervoerend pakket is een belangrijke laag voor het te plaatsen waterkerend scherm. De aanwezigheid en dikte van deze leemlaag is immers van belang voor de omvang van de effecten van maatregelen die in het kader van het project Dijkteruglegging Lent worden overwogen. Gezien het belang van informatie over deze laag is besloten om in het kader van het MER (in 2004 en in 2009) een serie extra sonderingen uit te laten voeren, aansluitend op het lopende sonderings- en boorprogramma. In figuur 3.4 is het overzicht opgenomen van de boringen en sonderingen die gebruikt zijn om de verbreiding en dikte van de leemlaag in beeld te brengen.



Figuur 3.4: Overzicht locaties boringen en sonderingen gebruikt voor de kartering van de gestuwde leemlaag

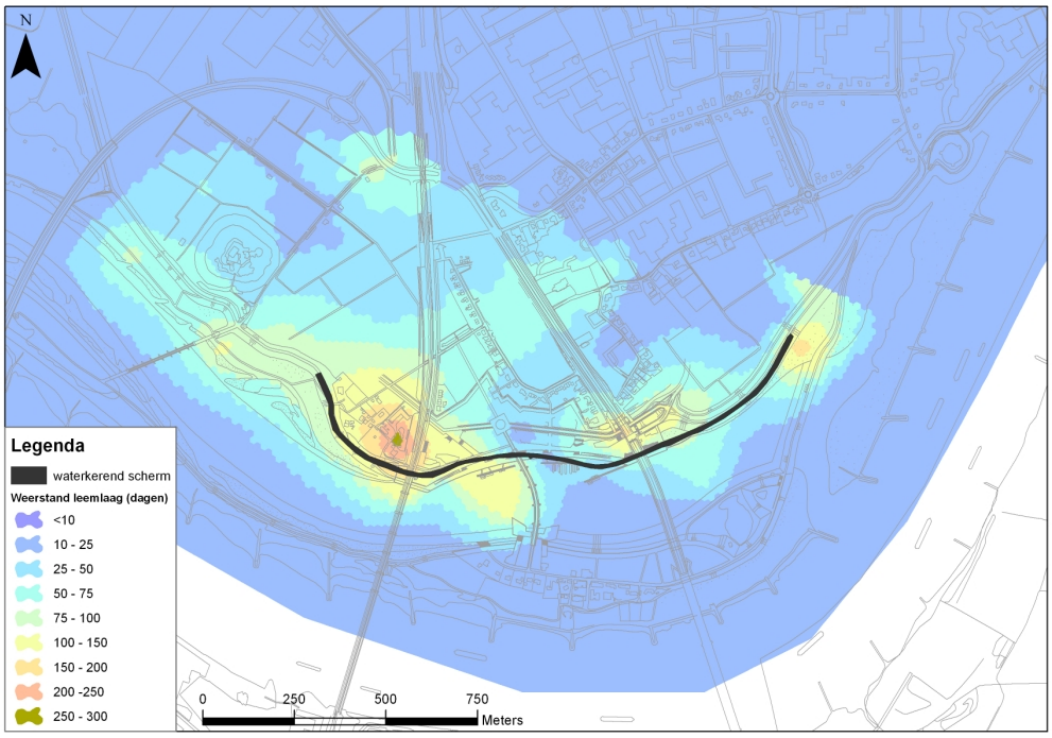
Uit de geohydrologische interpretatie van de boringen en sonderingen is gebleken dat de gestuwde leemlaag in een groot deel van het gebied aanwezig is, maar dat er wel zwakke plekken in deze leemlaag voor kunnen komen die een geringe weerstand bieden tegen verticale grondwaterstroming. Met deze geringe weerstandswaarden is rekening gehouden bij de berekening van de effecten op de grondwaterstanden.

Voor de weerstand van de leemlaag zijn de geïnterpreteerde boor- en sondeergegevens vertaald naar verticale doorlatenheden op basis van ervaringsgetallen en literatuur. Hierbij is een conservatieve benadering gevolgd met de volgende indeling in weerstandswaarden (zie tabel 3.2).

Tabel 3.2: Weerstandswaarden voor vier klassen van sediment

sediment	weerstand (dag/m)
Zeker Klei / Leem (boring)	25
Zeker waterremmend (sondering)	25
Enigszins waterremmend (sondering)	5
Mogelijk waterremmend (sondering)	2

In figuur 3.5 is de inschatting van de weerstand van de leemlaag gepresenteerd. Op basis van de inschatting blijkt dat ter plaatse van het waterkerend scherm de leemlaag nagenoeg overal aanwezig is.



Figuur 3.5: Weerstand gestuwde leemlaag [dag]

Het lokale minimum voor de weerstand van de leemlaag in het model is een minimale waarde van 10 dagen. Een lagere waarde is o.i. te extreem en niet te verantwoorden. Omdat het model rekent met alleen horizontale stroming in de watervoerende pakketten bevat de weerstand van de leemlaag ook de verticale weerstand van het watervoerende pakket boven en onder de leemlaag (orde grootte 1 tot enkele dagen). Daarnaast kan verwacht worden dat als de leemlaag die een onderdeel is van gestuwde afzettingen lokaal weggerodeerd is door de rivier er in de overgangszone naar het pakket eronder enige weerstand aanwezig zal zijn.

3.4 Oppervlaktewater

Lent maakt onderdeel uit van het afwateringsgebied Over-Betuwe. Dit afwateringsgebied watert af op de Linge. In het gebied kunnen twee deelgebieden worden onderscheiden met aparte streefpeilen. De scheiding tussen deze gebieden wordt gevormd door de Prins Mauritssingel.

De afwatering van de westzijde van het gebied vindt plaats in noordwestelijke richting naar de Linge, via een stelsel van waterlopen en stuwen. De afwatering van de oostzijde is naar het noorden, via Ressen op het lage pand van de Linge. In de zomer is op beperkte schaal inlaat van water mogelijk vanuit de Linge. Langs de Waaldijk is dit niet mogelijk; daar worden de streefpeilen niet altijd gehaald.

In droge perioden wordt water vanuit het Pannerdensch kanaal de Linge ingelaten op het inlaatpunt Doornenburg. Bij extreme droogte wordt deze inlaat gereduceerd omdat het op peil houden van de Waal, gezien de scheepvaart, belangrijker geacht wordt.

Momenteel is het streefpeil in het gebied ten oosten van de Prins Mauritssingel NAP +8,20 m en ten westen NAP +7,90 m. In de zomerperiode worden deze streefpeilen momenteel vaak niet gehaald, mede door een beperkte wateraanvoercapaciteit en zakt het peil met de grondwaterstand. Daarom is in het model gerekend met een zomerpeil dat 35 cm lager ligt dan het streefpeil.

3.5 Grondwatermodel en grondwaterstroming

Voor de berekeningen van de hydrologische effecten in dit MER is gebruik gemaakt van het grondwatermodel dat is opgebouwd met het softwarepakket TRIWACO®[1]. De basis voor het model is het model dat is opgezet voor MER dijkteruglegging Lent (2005). Dit model is weer gebaseerd op het hydrologische model gemaakt voor de MER Waalsprong 2003. De belangrijkste aanpassing ten opzichte van de oorspronkelijke modellen is een verfijning van het netwerk (grotere rekencapaciteit) en een meer gedetailleerde opbouw van de ondergrond op basis van REGIS 2 (TNO, 2003) en alle boringen en sonderingen die in het aandachtsgebied beschikbaar zijn (zie figuur 3.4). Voor een uitgebreide toelichting over de opbouw van het grondwater model wordt verwezen naar bijlage 1. In deze paragraaf wordt het model kort toegelicht inclusief een beschrijving van de resultaten.

Omdat het watersysteem een sterke dynamiek kent als gevolg van de Waal zijn de hydrologische effecten van de dijkteruglegging voor verschillende (extreme) hydrologische situaties in beeld gebracht:

- een hoogwater met een herhalingstijd van 25 jaar (T=25), zoals de hoogwatergolf van 1993;
- een hoogwater met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar (T=10);
- een gemiddelde wintersituatie (GHG);
- een gemiddelde zomersituatie (GLG);
- een extreem laagwater, zoals in 2003;
- een laagwatersituatie met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar (T=10).

Om deze situaties te simuleren zijn met het model tijdsafhankelijke berekeningen uitgevoerd voor de volgende perioden:

- 1993, met invoer op dagbasis gedurende de hoogwatergolf;
- 1990-2000, met invoer op decadebasis, grondwateraanvulling vereenvoudigd;
- 2000-2009, met invoer op decadebasis, grondwateraanvulling met inzet van FLUZO.

Deze perioden bevatten zowel natte als droge perioden, maar ook extreem natte en droge situaties. Op basis van de berekeningen zijn dan ook de gewenste uitvoersituaties te bepalen. De gemiddelde winter- en zomersituatie zijn bepaald op basis van langjarige tijdsafhankelijke berekeningen over de periode 2000-2009.

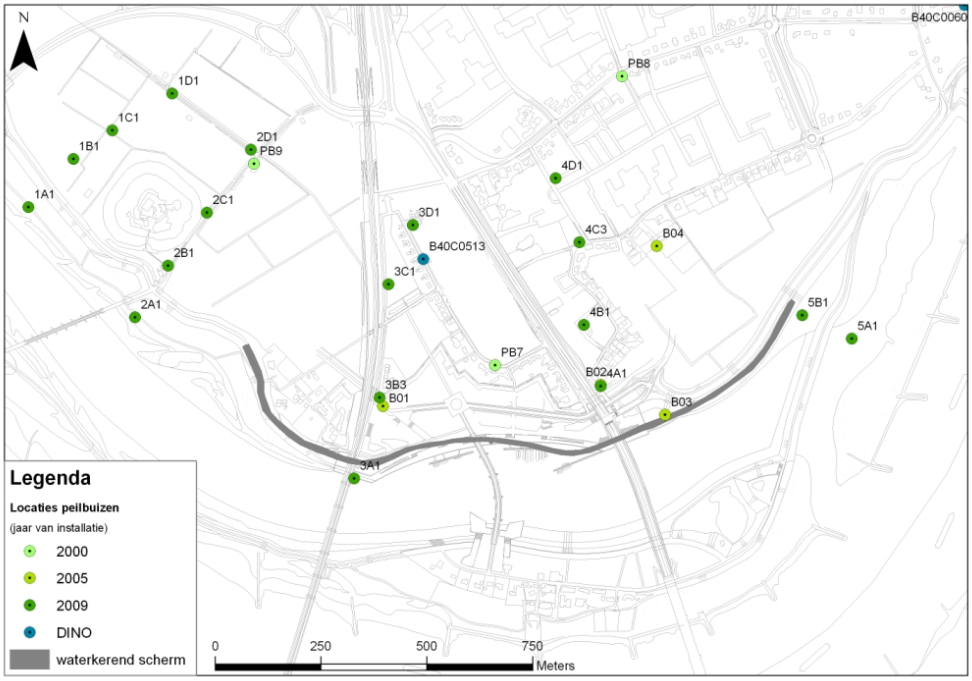
Het tijdsafhankelijke model over de periode 1990-2009 wordt representatief geacht voor de hydrologische situaties over deze periode en de dynamiek van het watersysteem. Er is bij de kalibratie voor gekozen om de tussentijdse wijzigingen in het waterhuishoudkundig systeem van de Waalspong over deze periode niet in het model te verwerken omdat deze wijzigingen geleidelijk plaatsvinden en een gering effect hebben.

[1] Zie www.triwaco.nl voor meer informatie

Peilbuizen

Een overzicht van de beschikbare peilbuizen in het gebied, die gebruikt zijn om het model te kalibreren, is opgenomen in figuur 3.6. In het kader van de voorgaande studie zijn rond 2000 en 2005 extra peilbuizen geplaatst. In februari 2009 zijn daarnaast aanvullend 18 peilbuizen geplaatst. Deze zijn geplaatst in een aantal raaien (5 stuks).

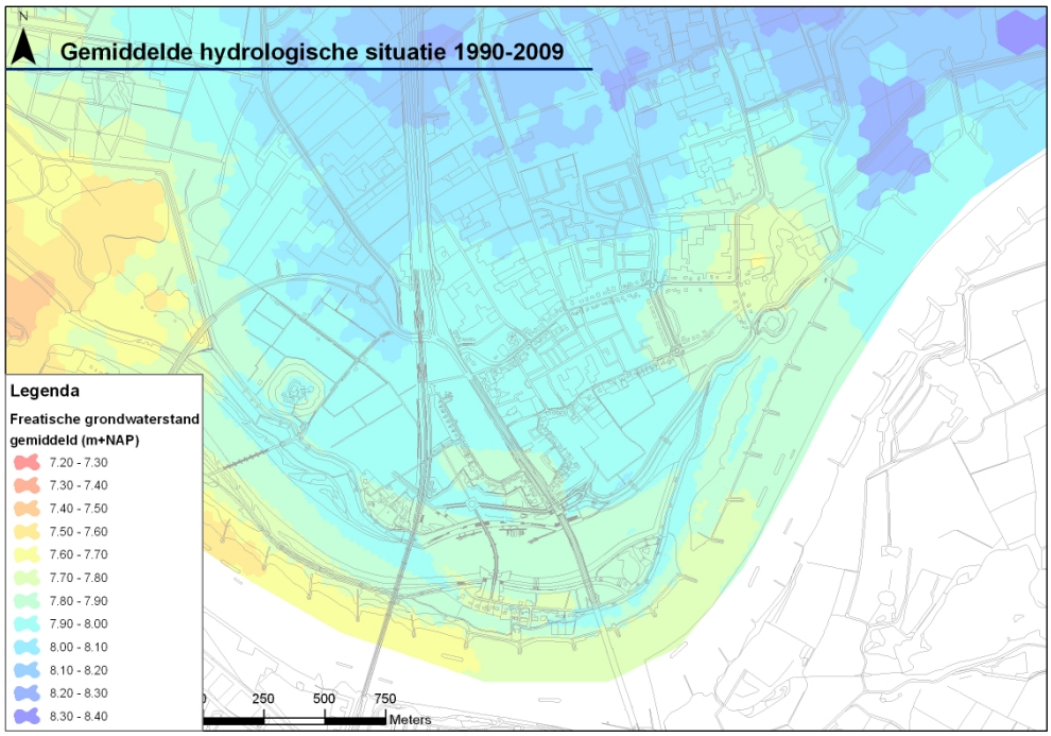
Deze raaien zijn loodrecht gepositioneerd op de Waal zodat de werking van het hydrologisch systeem, rekening houdend met de invloed van de Waal, de dijkteruglegging en het waterkerend scherm, goed geanalyseerd kan worden.



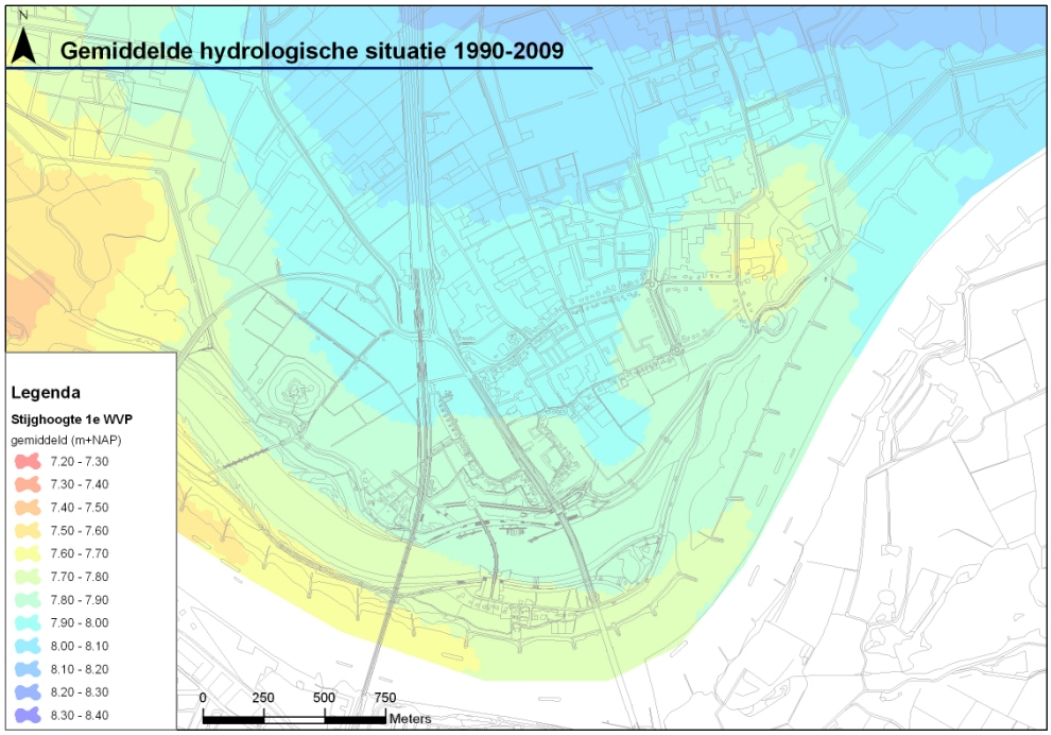
Figuur 3.6: Overzicht beschikbare peilbuizen

Grondwatersysteem

In figuur 3.7 is een overzicht van de berekende grondwaterstand voor een hydrologisch gemiddelde situatie (representatief voor periode 1990-2009) periode weergegeven. In figuur 3.8 is de berekende stijghoogte gepresenteerd.



Figuur 3.7: Berekende freatische grondwaterstand, hydrologisch gemiddelde situatie periode 1990-2009 [NAP m]



Figuur 3.8: Berekende stijghoogte WVP1, hydrologisch gemiddelde situatie periode 1990-2009 [NAP m]

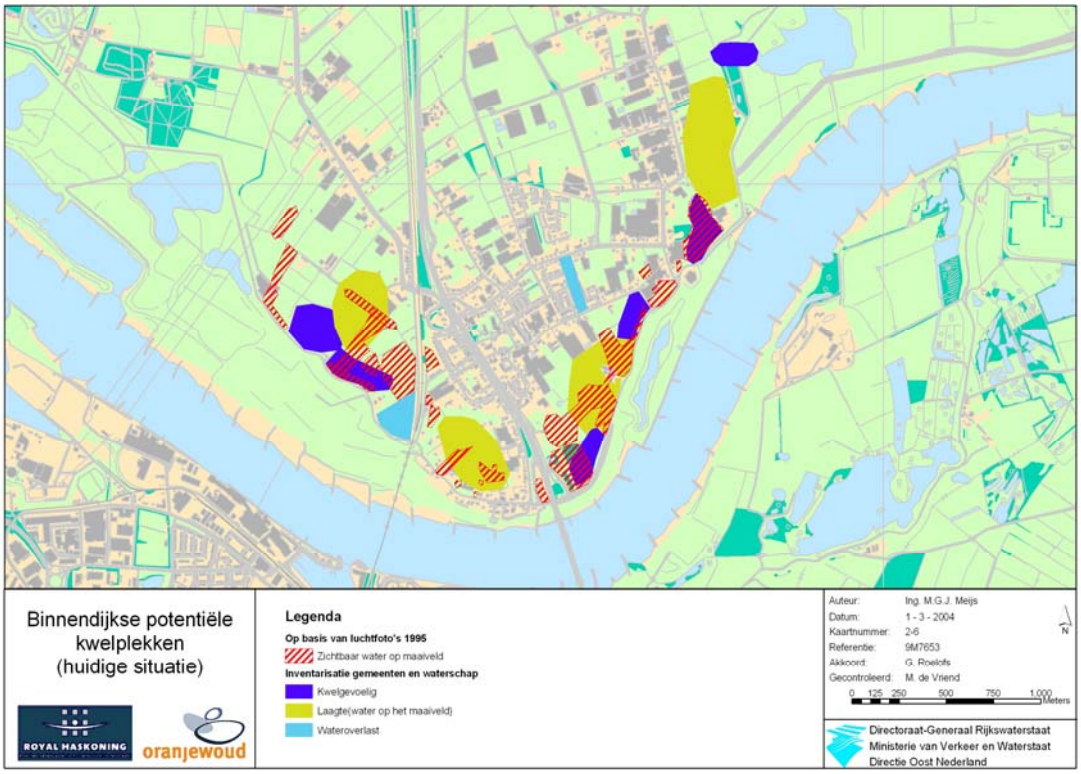
In regionale zin is het stijghoogtepatroon evenwijdig aan de rivier; van oost naar west. Uit de figuren blijkt dat de grondwaterstroming wel wordt afgebogen richting de Waal door de drainerende werking van de rivier tijdens een hydrologische gemiddelde situatie. De grondwaterstanden vertonen een meer grillig beeld dan het stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Dit komt omdat de grondwaterstand meer wordt beïnvloed door lokale factoren en de inrichting van het watersysteem.

De grondwaterstanden zijn weergegeven voor een periode waarin de winning van Vitens ten oosten van Lent actief is. Duidelijk is te zien dat de grondwaterstand hier tot maximaal circa 20 cm wordt verlaagd. Inmiddels is deze winning niet meer actief en in de autonome situatie is de winning ook uitgezet.

3.6 Grondwateroverlast huidige situatie

Zoals in hoofdstuk 2 aangegeven is spreekt men van grondwateroverlast wanneer de gebruiksfunctie van een perceel wordt aangetast door een structureel (te) geringe ontwateringsdiepte (grondwaterstand ten opzichte van het maaiveldniveau). Ofwel: grondwateroverlast kan ontstaan wanneer de grondwaterstand structureel te hoog is. Grondwater kan dan bijvoorbeeld in de kruipruimte staan of binnendringen in niet goed waterdicht gemaakte kelders of deze kelders doen opdrijven. Met structureel wordt bedoeld dat het herhaaldelijk, gedurende lange tijd (weken tot maanden) voorkomt.

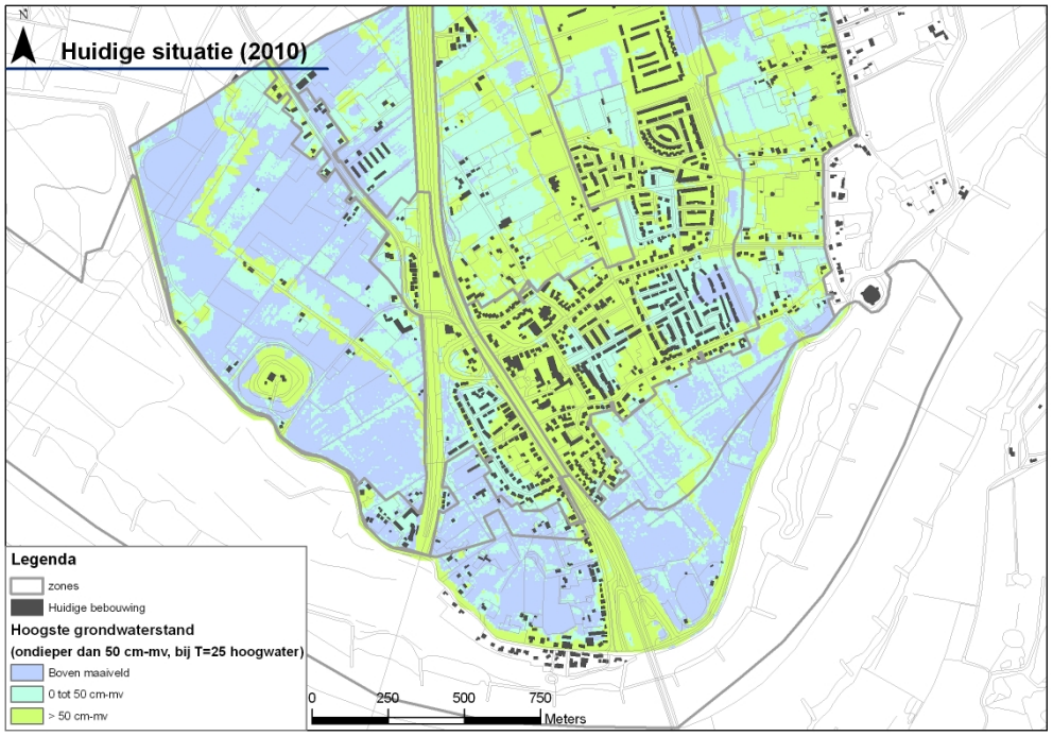
Om de actuele situatie met betrekking tot grondwateroverlast bij woningen in beeld te brengen zijn in het verleden bij de gemeente bekende klachten van grondwateroverlast geïnventariseerd. Daarnaast is op basis van luchtfoto's van de hoogwatersituatie in 1996 bepaald waar zichtbaar water op het maaiveld stond en zijn de gebieden waarvan bekend is dat deze kwelgevoelig zijn aangegeven. Het resultaat van deze inventarisatie van Waterschap Rivierenland en gemeente Nijmegen is gepresenteerd in figuur 3.9.



Figuur 3.9: Zones binnendijks met wateroverlast of water aan maaiveld, hoogwater 1995, Bron: Waterschap Rivierland & Gemeente Nijmegen

Uit de figuur blijkt dat in de huidige situatie op enkele locaties langs de dijk sprake is van grondwateroverlast bij woningen tijdens hoogwater. Op deze locaties is de weerstand van de deklaag gering maar dat geldt feitelijk voor de gehele zone achter de dijk. Er zijn ook verschillende plekken waar grondwater aan maaiveld komt tijdens hoogwater.

Deze situatie is tevens met het grondwatermodel gesimuleerd. Vervolgens is de maximaal berekende grondwaterstand tijdens de hoogwatergolf van 1993 (bij benadering een T=25 situatie) vergeleken met het maaiveldniveau voor de huidige situatie 2010 (zie figuur 2.2). De berekende ontwateringsdiepte is gepresenteerd in figuur 3.10. Uit de figuur blijkt dat de berekende situatie in grote lijnen overeenstemt met de situatie zoals die geïnventariseerd is bij het hoogwater van 1995. Zowel in het gebied achter de dijk ten oosten als ten westen van de Prins Mauritssingel (N325) is tijdens hoogwater (1995) water aan maaiveld geconstateerd en dit wordt ook zo met het model berekend. Dit geldt ook voor het gebied oostelijk van de Citadel. Ten noorden van de Citadel is een gebied waar met het model wel water aan maaiveld is berekend en waar dit destijds niet is geconstateerd.



Figuur 3.10: Berekende ontwateringsdiepte huidige situatie (maaiveldniveau 2010) tijdens de hoogwatergolf van 1993 (T=25) NB: dit figuur is op groter formaat opgenomen in bijlage 4

4 AUTONOME ONTWIKKELINGEN

4.1 Waalsprong

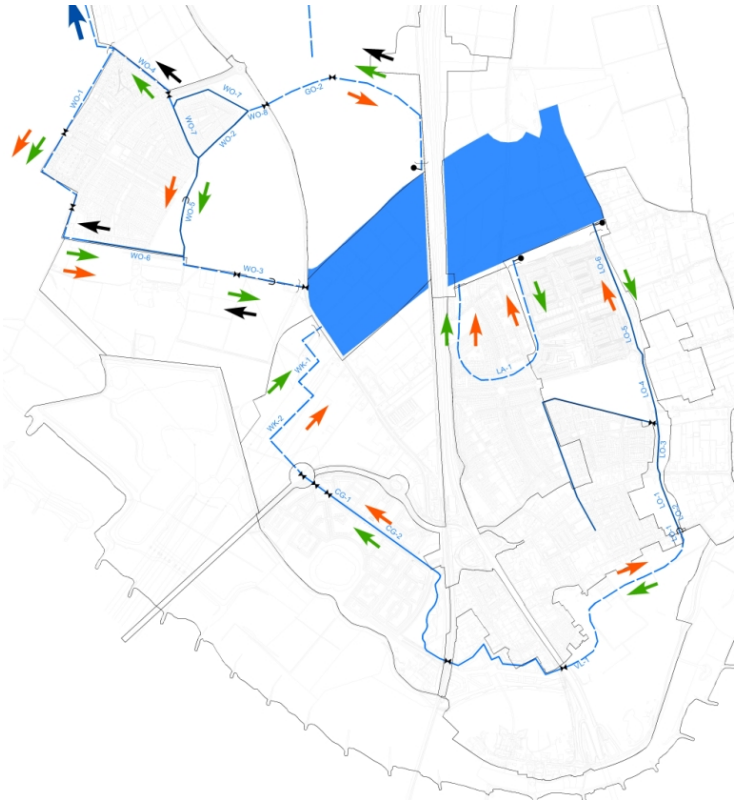
De belangrijkste autonome ontwikkeling in het gebied is de ontwikkeling van de Waalsprong. De aanleg van de tweede stadsbrug en de ontwikkeling van de Waalkade en Waalfront (zuidoever van de Waal) zijn in hydrologisch opzicht niet relevant. De ontwikkeling van de Waalsprong is meegenomen als onderdeel van de referentiesituatie (zie hoofdstuk 2). De Waalsprong is een nieuw stadsdeel van Nijmegen ten noorden van de Waal tussen de bestaande dorpen Lent, Ressen en Oosterhout. In totaal worden de komende jaren zo'n 12.000 woningen gebouwd. Daarnaast wordt er een nieuw centrumgebied gerealiseerd, de Citadel, met woningen, voorzieningen, winkels en kantoren. Ook komen er bedrijventerreinen, scholen en wegen. Bovendien krijgt het gebied een uitgestrekt water- en recreatiegebied, de 'Landschapszone'.

De ontwikkeling van de Waalspong is in hydrologisch opzicht relevant omdat het leidt tot een geheel nieuw oppervlaktewatersysteem en ophoging van het oorspronkelijke maaiveld. In figuur 2.1 zijn de geplande ontwikkelingen van de Waalspong gepresenteerd en in figuur 2.3 is de geplande ophoging weergegeven.

4.2 Oppervlaktewatersysteem Waalsprong

Als gevolg van de ontwikkeling van de Waalspong wordt het oppervlaktewatersysteem opnieuw ingericht. In figuur 4.1 is het nieuwe watersysteem van de Waalsprong weergegeven. Ten noorden van Lent is conform het Voorkeursmodel van de Waalsprong een waterplas gepland. Deze plas dient als buffer voor het uit de Waalsprong afgevoerde water. Hiermee wordt tevens de mogelijkheid van wateraanvoer gecreëerd zodat het streefpeil ook in de zomer gehaald kan worden.

In de autonome situatie wordt het streefpeil voor het gehele gebied NAP +7,9 m. In tegenstelling tot de huidige situatie is de aanvoercapaciteit in de autonome situatie wel voldoende. In droge perioden mag het waterpeil zakken tot NAP 7,6 meter en vanaf dit moment wordt het peil gehandhaafd middels wateraanvoer vanuit de plassen.



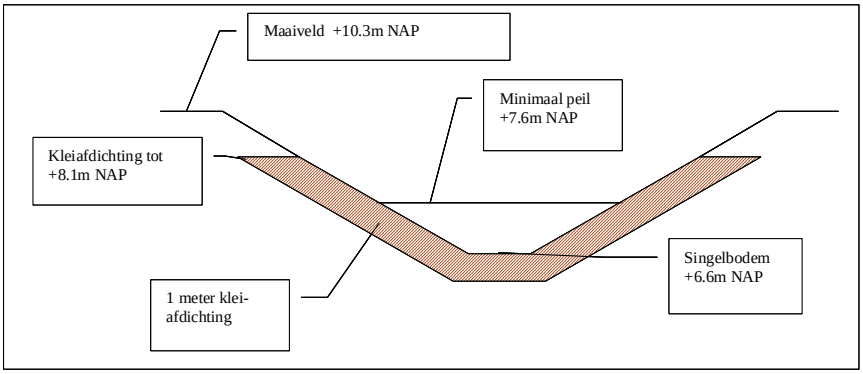
Figuur 4.1: Watersysteem Waalsprong (Waterhuishoudkundig inrichtingsplan Waalsprong, Royal Haskoning, 2009)

Een belangrijk aspect van het oppervlaktewatersysteem is de aanleg van de Singel in het zuidelijke deel van het gebied[2]. In het Masterplan Citadel (januari 2010) een zuidelijker locatie van de Singel gepland. Deze evt. consequenties van deze wijziging zijn niet meer meegenomen in het onderzoek maar dienen in een volgende fase te worden bepaald.

De Singel is ter plaatse van de nieuwbouwwijk Oosterhout en ten oosten van Lent beleemd (zie figuur 4.2). De achtergrond van het belemen van de Singel is dat de wegzijging vanuit de watergang naar het grondwater in droge perioden beperkt blijft en dat de watergang niet droogvalt. In natte perioden dient de watergang echter ook voldoende drainerend te zijn. Daarom wordt de Singel niet over de volledige natte omtrek beleemd. Het Waterschap Rivierenland heeft aangegeven dat in de praktijk het belemen van de watergang erg onderhoudsintensief is (leem raakt plaatselijk los).

[2] In het Masterplan Citadel (versie januari 2010) is een zuidelijker locatie van de Singel gepland dan in het WIW (2009) was aangehouden en opgenomen is in figuur 4.1. Dit Masterplan heeft nog geen formele status. De grondwaterberekeningen zijn daarom nog niet aangepast. Voor de bestaande bebouwing heeft de verlegging van de Singel naar verwachting een positief effect (verbetering drainage(capaciteit) zowel voor als na dijkteruglegging). Voor de definitieve vaststelling van het stedebouwkundige plan voor de Citadel is nog een kwantificering van de effecten van de verlegging van de Singel nodig. Overigens is de nauwkeurigheid van de modelmatige voorspelling van de grondwaterstanden niet zodanig dat bij elke meter verschuiving van de Singel een aanpassing van de berekeningen nodig is.

Daarom zal de Singel voor het zuidelijk deel mogelijk niet worden beleemd (in het WIW van de Waalsprong is bij de dimensionering van de waterbergingsvoorzieningen al rekening gehouden met het niet belemen van de Singel). Bij de modellering is er – in overleg met Gemeente en waterschap – voor gekozen de leemlaag voor het zuidelijk deel van de singel weg te laten.



Figuur 4.2: Principeontwerp van de Singel

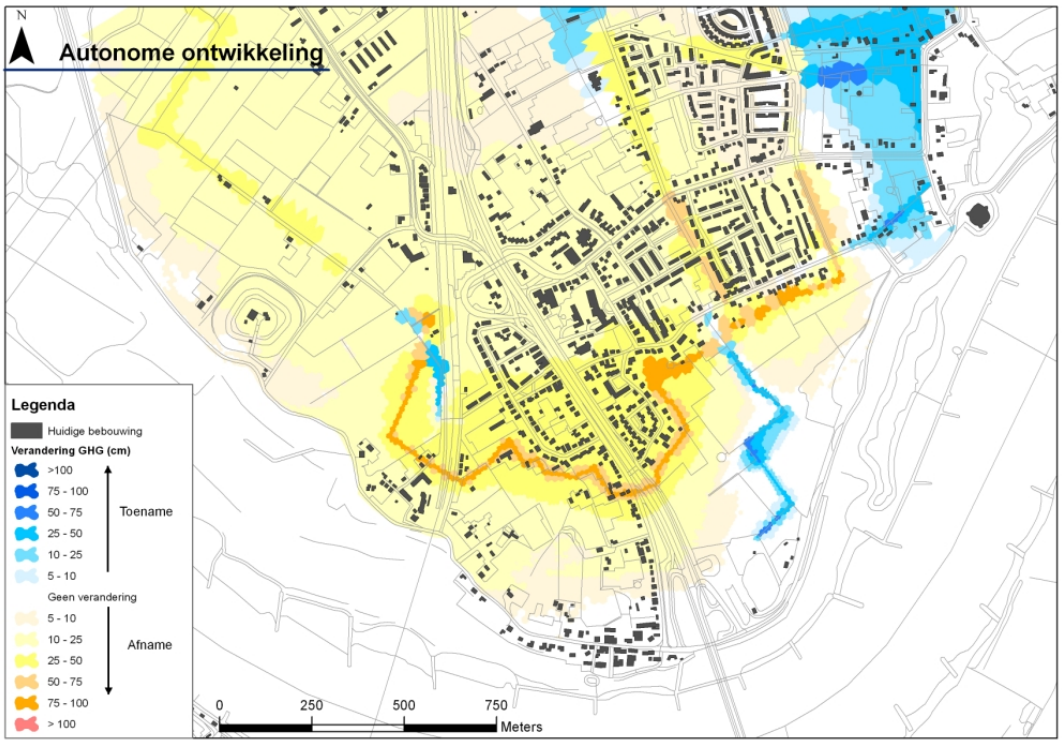
Bij grondwaterstanden lager dan NAP + 8.1 meter wordt de drainage en infiltratie van de Singel beperkt door een kleilaag. Bij grondwaterstanden boven de NAP + 8.1 meter zal de Singel goed kunnen draineren, echter voor een beperkt deel van de natte omtrek.

4.3 Hydrologische effecten autonome ontwikkeling

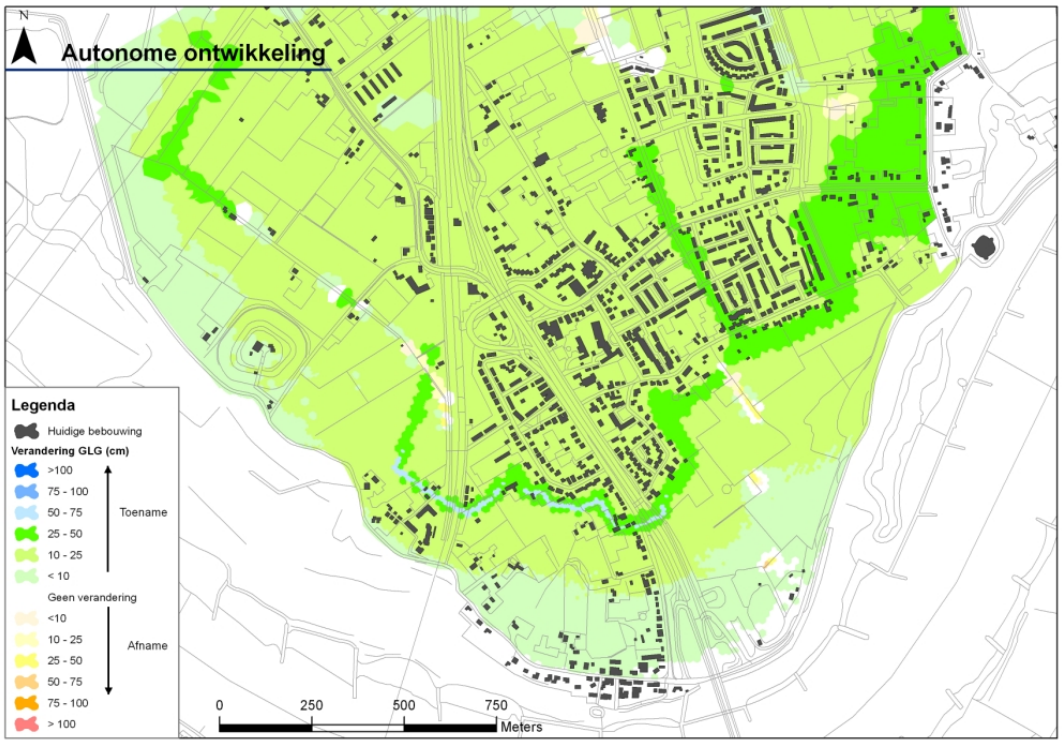
De effecten van de dijkteruglegging worden beschreven ten opzichte van de autonome situatie. Om deze veranderingen goed te kunnen interpreteren is het tevens van belang om inzicht te hebben in de hydrologische effecten van de autonome ontwikkelingen (autonome situatie) ten opzichte van de hydrologische situatie over de periode 1990-2009 (zie paragraaf 3.5).

De autonome ontwikkelingen (AO), zoals hierboven beschreven zijn in het model verwerkt en vervolgens tijdsafhankelijk berekend over de periode 1990-2009. Deze periode (met alle bijbehorende Waalstanden en neerslag en verdampingsgegevens) heeft immers alle gewenste uitvoersituaties in zich.

In figuur 4.3 en 4.4 is de verandering van de grondwaterstand als gevolg van de autonome ontwikkeling in respectievelijk een gemiddelde wintersituatie (GHG) en zomersituatie (GLG) weergegeven.



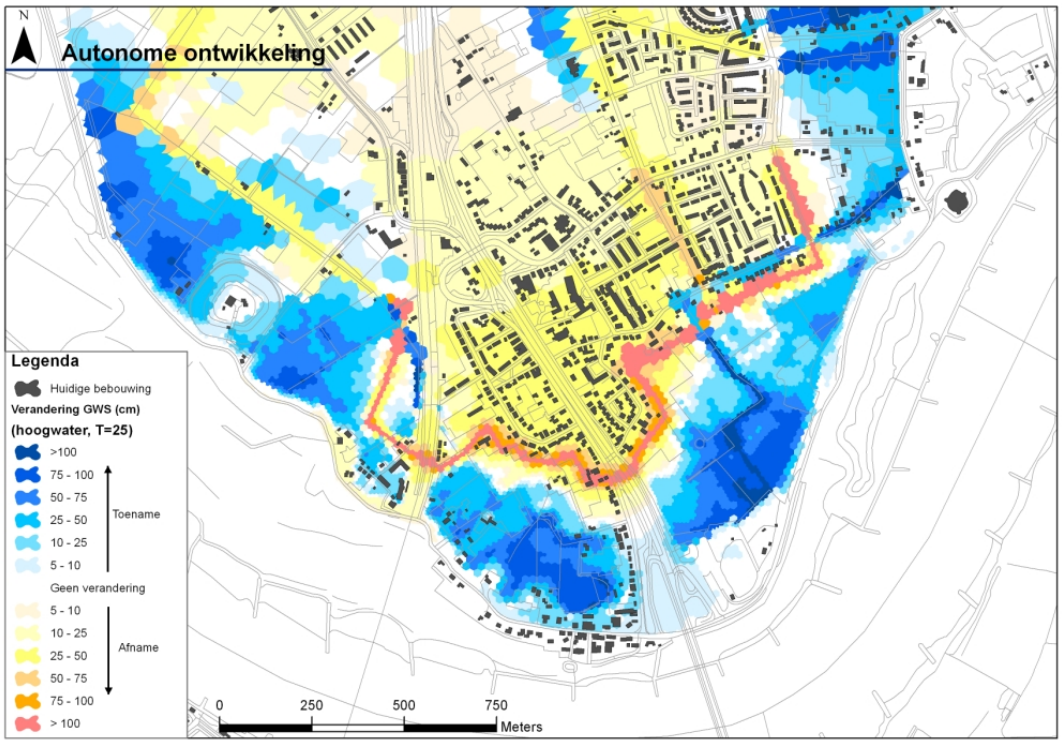
Figuur 4.3: Verandering grondwaterstand als gevolg van autonome ontwikkeling ten opzichte van de hydrologische situatie over de periode 1990-2009, GHG-situatie



Figuur 4.4: Verandering grondwaterstand als gevolg van autonome ontwikkeling ten opzichte van de hydrologische situatie over de periode 1990-2009, GLG-situatie

Uit figuur 4.3 blijkt dat in de wintersituatie de nieuwe inrichting van het oppervlaktewatersysteem duidelijke effecten sorteert. Ter plaatse van de Singel en in de aangrenzende zone is een verlaging van de grondwaterstand te zien. De Singel heeft hier immers een belangrijke drainerende functie. Tevens is lokaal een verhoging van de grondwaterstand te zien als gevolg van het dempen van watergangen (direct ten westen van het spoor en ten zuidoosten van Lent). De verhoging van de grondwaterstand ten noorden van het Wijnfort is een gevolg van het stopzetten van drinkwaterwinning Lent. In de zomersituatie is voor een groot deel van het gebied een verhoging van de grondwaterstand te zien als gevolg van de nieuwe inrichting van het watersysteem met een verbeterd wateraanvoersysteem. Tevens is ook in de zomersituatie de verlaging van de grondwaterstand als gevolg van het stopzetten van drinkwaterwinning Lent goed waar te nemen.

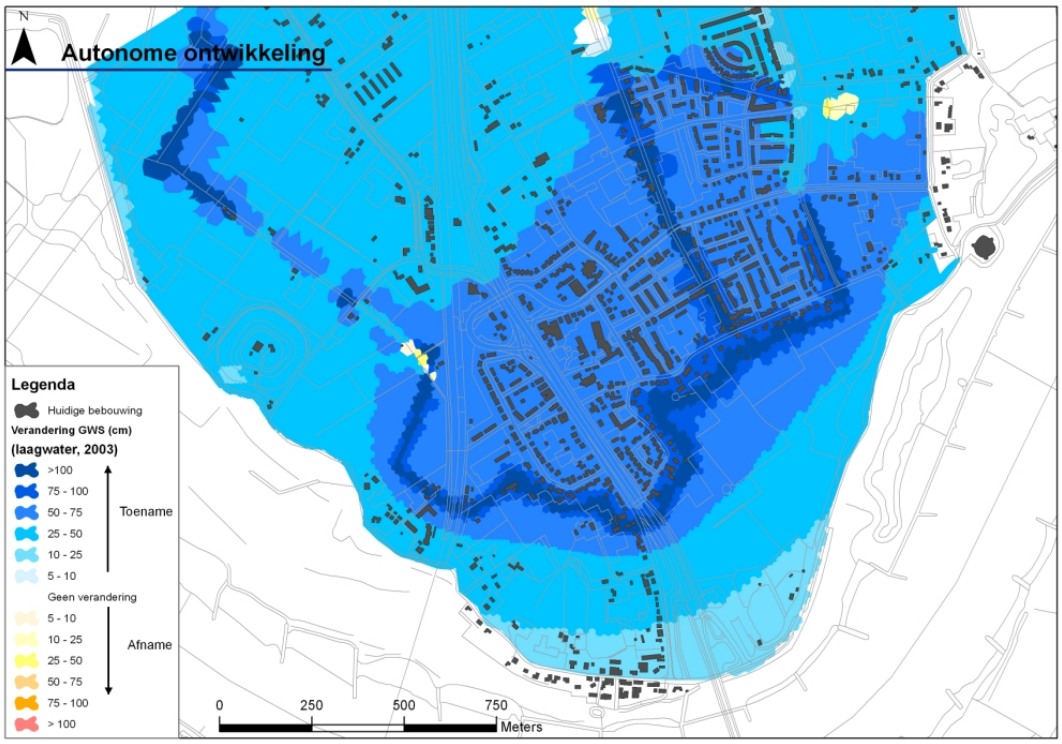
In figuur 4.5 is de verandering van de grondwaterstand als gevolg van autonome ontwikkeling in een hoogwatersituatie (volgens 1993, T=25) weergegeven.



Figuur 4.5: Verandering grondwaterstand als gevolg van autonome ontwikkeling ten opzichte van de hydrologische situatie over de periode 1990-2009, hoogwatersituatie (T=25, vergelijk 1993)

In de figuur is goed het drainerend effect van het nieuw ingerichte watersysteem waar te nemen. Tevens zijn gebieden te zien met een grondwaterstandsverhoging. Dit is een gevolg van de maaiveldverhoging en enkele watergangen die niet meer aanwezig zijn in de autonome situatie. Water dat in het verleden aan maaiveld kwam en vervolgens werd afgevoerd blijft immers in de autonome situatie, als gevolg van de maaiveldverhoging, geborgen in de ondergrond.

In figuur 4.6 is de verandering van de grondwaterstand als gevolg van autonome ontwikkeling in een laagwatersituatie (vgl 2003) weergegeven. Hieruit blijkt een integrale verhoging van de grondwaterstand voornamelijk als gevolg van de nieuwe inrichting van het watersysteem met het verbeterde wateraanvoersysteem.



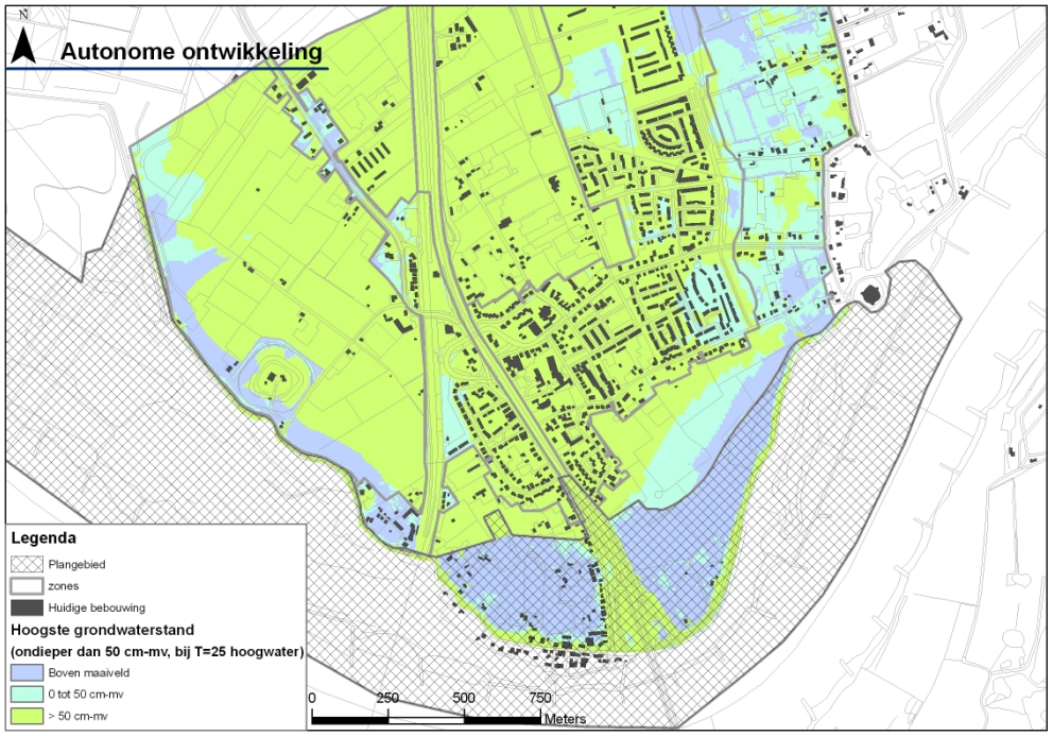
Figuur 4.6: Verandering grondwaterstand als gevolg van autonome ontwikkeling ten opzichte van de hydrologische situatie over de periode 1990-2009, laagwatersituatie (vergelijk 2003)

4.4 Referentiesituatie (AO) conform beoordelingskader

De effecten van autonome ontwikkeling zijn, als referentiesituatie, tevens volgens de vier subcriteria van het beoordelingskader gekwantificeerd en ruimtelijk in beeld gebracht.

In figuur 4.7 zijn de gebieden in beeld gebracht met potentiële grondwateroverlast in de autonome situatie. Hiervoor is de maximaal berekende grondwaterstand tijdens een hoogwatersituatie (1993, T=25) vergeleken met het maaiveldniveau van de autonome situatie. Alle gebieden waarbij de ontwateringsdiepte minder is dan 0,5 m zijn ruimtelijk in beeld gebracht. Ten opzichte van de huidige situatie (maaiveldniveau 2010, hoogwatergolf 1993) is het areaal met potentiële grondwateroverlast als gevolg van de verbeterde waterhuishoudkundige situatie en ophoging significant verminderd. Hierop zijn twee uitzonderingen:

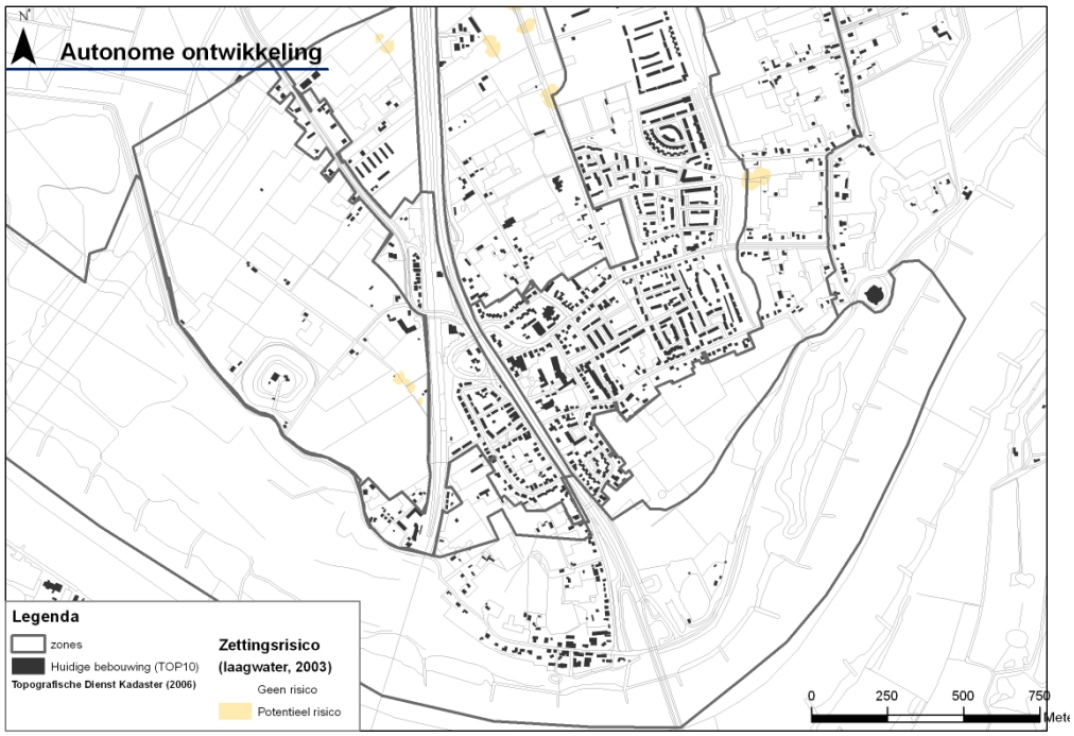
- bij de bestaande bebouwing direct ten westen van het spoor verslechtert de situatie, waarschijnlijk als gevolg van ophogingen in de omgeving;
- ten westen van de Vossenpelsstraat wordt een groter gebied berekend waar de ontwateringsdiepte vermindert. De verandering wordt veroorzaakt door aanpassingen aan de watergangen in de omgeving en door de stopzetting van de waterwinning van Vitens.



Figuur 4.7: Overzicht van gebieden met potentiële grondwateroverlast autonome situatie tijdens hoogwater (T=25) NB: dit figuur is op groter formaat opgenomen in bijlage 4

In figuur 4.8 zijn alle gebieden in beeld gebracht waar mogelijk een zettingsrisico ontstaat in de autonome situatie.

Hiervoor is de berekende minimale grondwaterstand volgens de autonome situatie tijdens een laagwatersituatie (conform 2003) vergeleken met een historisch laag opgetreden grondwaterstand (zomer 2003). Waar de grondwaterstand lager wordt is een potentieel zettingsrisico. Uit het overzicht blijkt dat op enkele locaties een potentieel zettingsrisico aanwezig is. Een vergelijking met de bestaande bebouwing geeft aan dat bij veel locaties waar het potentiële risico aanwezig is geen bebouwing zit. Het zettingsrisico voor bestaande bebouwing is dan ook uiterst gering.



Figuur 4.8: Overzicht van gebieden met zettingsrisico autonome situatie tijdens laagwater (vgl 2003)

In tabel 4.1 zijn de resultaten van de beoordeling, volgens het MER beoordelingskader samengevat.

Tabel 4.1: Huidige situatie (maaiveld 2010) en autonome situatie volgens MER beoordelingskader

	Areaal potentiële grondwateroverlast bebouwd gebied [ha], T=25		**Areaal met zettingsrisico [ha], 2003**	**afvoer hoogwater [m^3/dag], 1993**	**wegzijging laagwater[m^3/dag], 2003**
	Zone 1	*Zone 2*			
Huidige situatie (maaiveld 2010)	*163,6*	*41,4*	Nvt	19.930	2.482
	205				
Autonome situatie	*74,4*	*26,1*	2,7	21.410	8.447
	100,5				

Zone 1: te ontwikkelen gebied

Zone 2: bestaand bebouwd gebied

De berekende afvoer in de autonome situatie blijkt ten opzichte van de hydrologische situatie over de periode 1990-2009 (huidige situatie, maaiveld 2010) tijdens hoogwater toe te nemen. Dit wordt met name veroorzaakt door een verbeterd ingericht oppervlaktewatersysteem. De wegzijging in het gebied is ten opzichte van de hydrologische situatie over de periode 1990-2009 (huidige situatie, maaiveld 2010) sterk toegenomen. Ook dit wordt veroorzaakt door het nieuw ingerichte oppervlaktewatersysteem met name vanwege de sterk verbeterde wateraanvoer, waardoor het streefpeil in het gebied ook in de zomer gehaald wordt, maar er ook extra wegzijging optreedt.

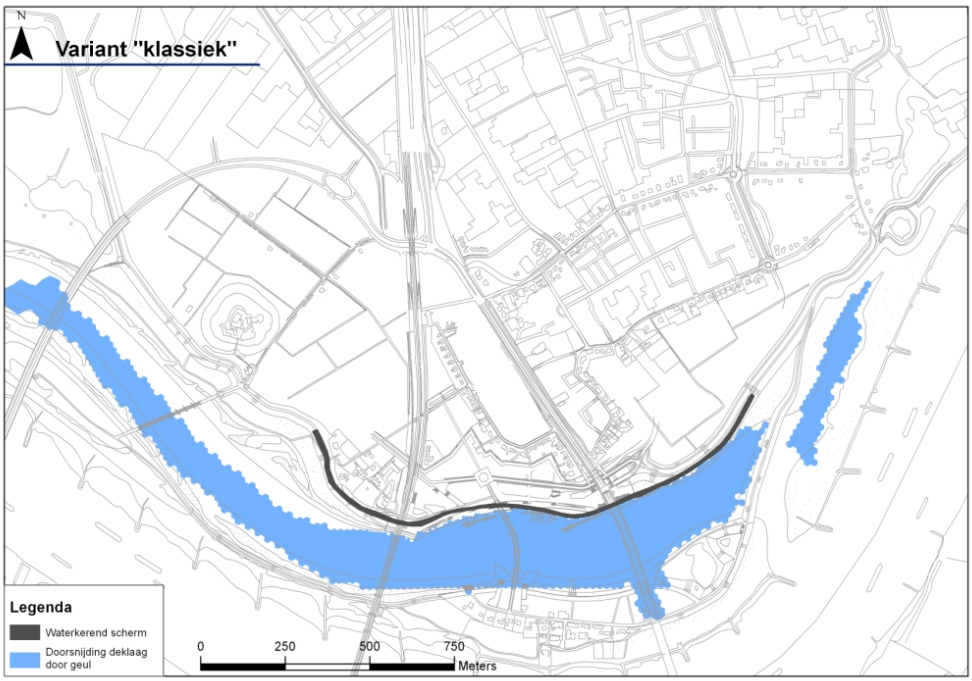
5 DRIE VARIANTEN: KLASSIEK, MOZAIEK EN DYNAMIEK

5.1 Variant Klassiek

Bij variant *Klassiek* ligt de nadruk op de stedenbouwkundige invulling van het eiland met landmark aan de oostzijde van de Waalbrug naast de (bij alle varianten te behouden) Kolk van Wijk.

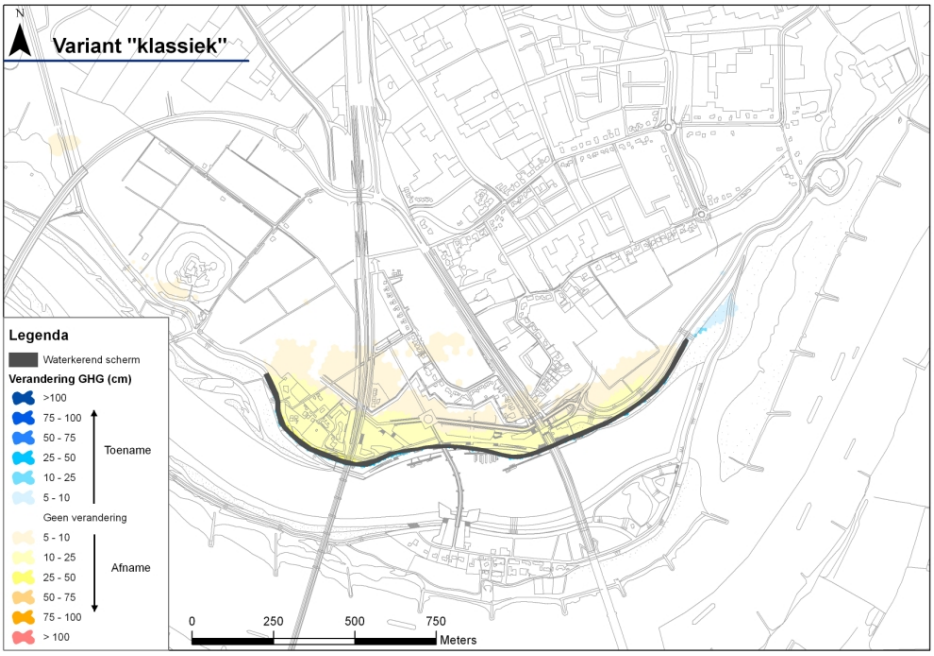
De hydrologisch relevante wijzigingen van de variant ten opzichte van de autonome situatie zijn 1) de dijkteruglegging waardoor de invloed van de rivier een stukje opschuift, 2) de aanleg van een waterkerend scherm en 3) de aanleg van een hoogwatergeul met een doorsnijding van de oorspronkelijke deklaag en direct contact maakt met het watervoerende zandpakket eronder (het contactoppervlak tussen de rivier en het zandpakket neemt dus toe, en daarmee ook de potentiële invloed van de rivier).

Het verschil tussen de drie varianten is gelegen in de begrenzing van de geul en de ontgraving van de deklaag. De begrenzing van de geul en de doorsnijding van de deklaag voor de variant *Klassiek* is weergegeven in figuur 5.1. De geul is in het model ingebracht door de weerstand van de deklaag te reduceren ter plaatse van de geul afhankelijk van de kleidikte die bekend is vanuit de zandbanenkaart (zie figuur 2.3).

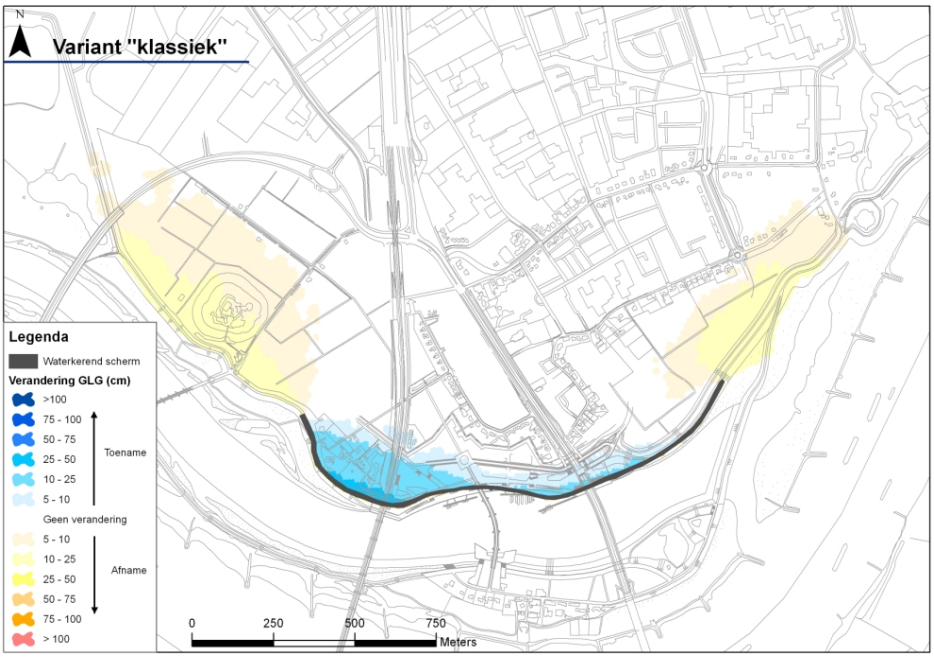


Figuur 5.1: Begrenzing geul en doorsnijding deklaag variant Klassiek

Het model is vervolgens tijdsafhankelijk doorgerekend met de waterstanden en klimatologische gegevens over de periode 1990-2009. Vervolgens zijn de effecten ten opzichte van de autonome situatie ruimtelijk in beeld gebracht. In figuur 5.2 en 5.3 is de verandering van de grondwaterstand bij de klassieke variant in respectievelijk een gemiddelde wintersituatie (GHG) en zomersituatie (GLG) weergegeven.



Figuur 5.2: Verandering grondwaterstand klassieke variant ten opzichte van de autonome situatie, GHG-situatie

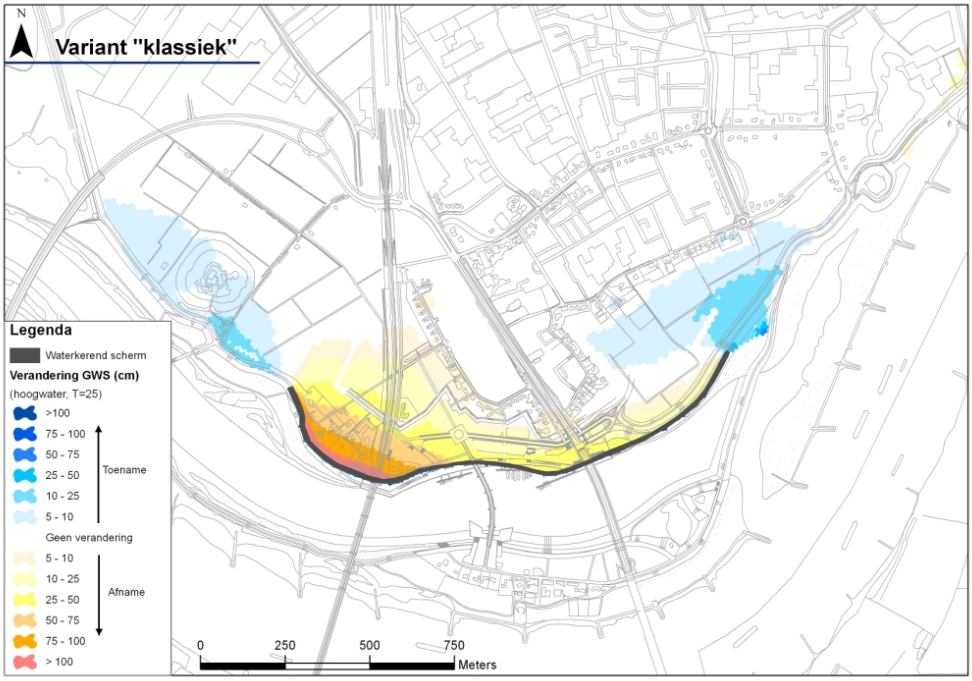


Figuur 5.3: Verandering grondwaterstand klassieke variant ten opzichte van de autonome situatie, GLG-situatie

Uit de figuren blijkt dat in de wintersituatie (GHG) er een verlaging van de grondwaterstand optreedt direct achter het waterkerend scherm. Tijdens deze situatie heeft de Waal een infiltrerende werking en zonder aanleg van het scherm zou de grondwaterstand achter de dijk toenemen. Het waterkerend scherm zorgt nu echter voor een verlaging van de grondwaterstand.

Tijdens de zomersituatie (GLG) is een tegenovergesteld effect te zien. Tijdens deze hydrologische situatie heeft de Waal een drainerende werking en zorgt het waterkerend scherm voor een reductie van de drainage. Hierdoor neemt de grondwaterstand direct achter het waterkerend scherm toe. Aan de beide uiteinden van het scherm is juist, als gevolg van de dijkteruglegging, een verlaging van de grondwaterstand te zien.

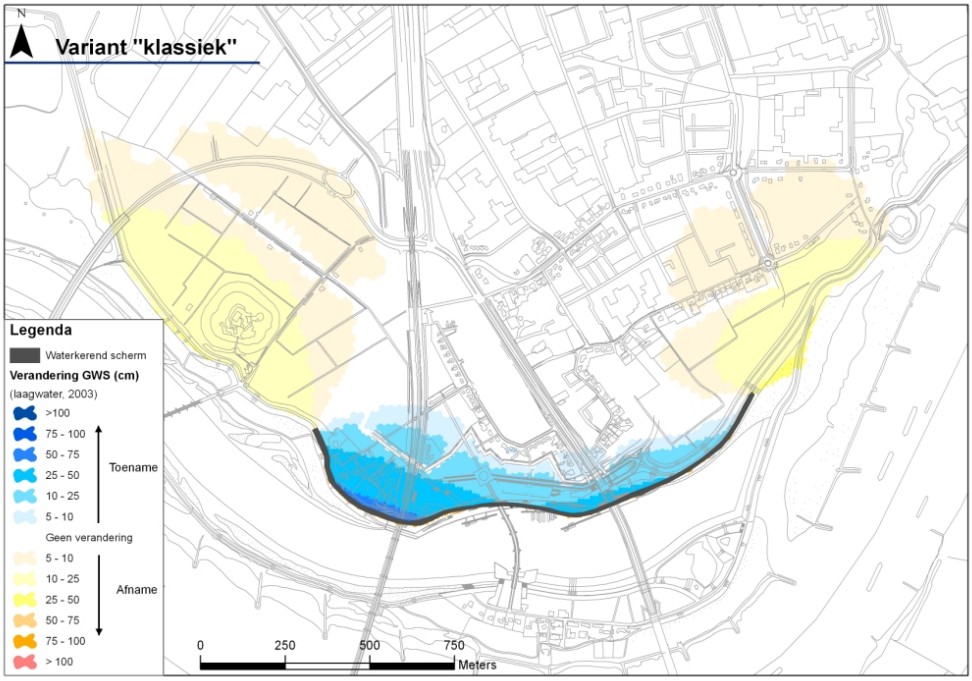
In figuur 5.4 is de verandering van de grondwaterstand in een hoogwatersituatie (vgl 1993, T=25) weergegeven.



Figuur 5.4: Verandering grondwaterstand klassieke variant ten opzichte van de autonome situatie, hoogwatersituatie (T=25, vergelijk 1993)

Uit het figuur blijkt dat tijdens hoogwater de verlaging van de grondwaterstand omvangrijker is dan in een gemiddelde wintersituatie. Daarnaast is te zien dat aan beide uiteinden van het scherm een verhoging van de grondwaterstand optreedt. De verhoging van de grondwaterstand in deze zones is een direct gevolg van de toenemende invloed van de Waal als gevolg van de dijkteruglegging. De Waal heeft tijdens deze situatie immers een infiltrerende werking.

In figuur 5.5 is de verandering van de grondwaterstand in een laagwatersituatie (vgl 2003) gepresenteerd.



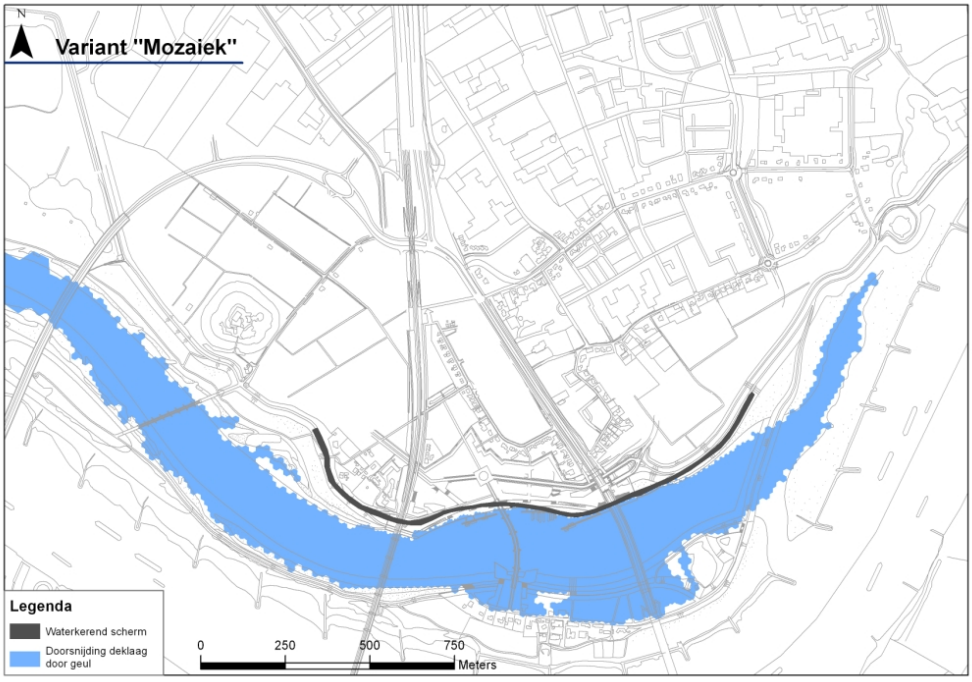
Figuur 5.5: Verandering grondwaterstand klassieke variant ten opzichte van de autonome situatie, laagwatersituatie (vergelijk 2003)

De effecten tijdens laagwater zijn in grote lijnen vergelijkbaar met een gemiddelde zomersituatie maar zijn groter in omvang.

5.2 Variant mozaïek

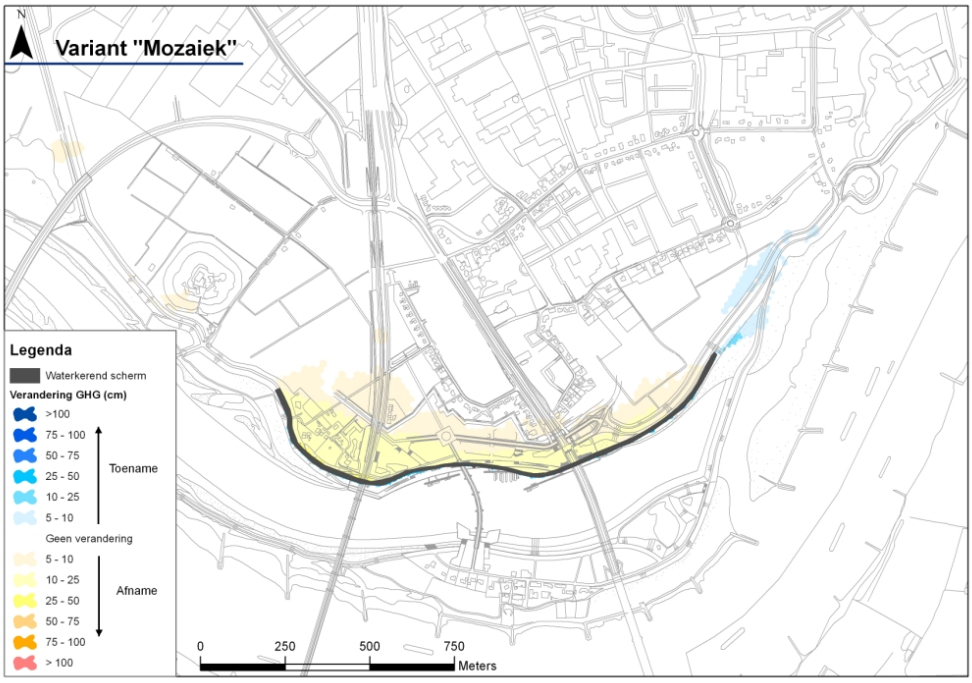
Bij de inrichtingsvariant *Mozaïek* is de situatie met betrekking tot de kade identiek aan beide andere inrichtingsvarianten. Bij de drempel in de Lentse uiterwaarde is nu sprake van een doorlopend fietspad door de uiterwaarden langs de rivier buitenom het Wijnfort, terwijl de bestaande natuurgeul is doorgegraven en direct verbonden met de nieuwe nevengeul. Op de Landtong West is nu anders dan bij *Klassiek* ruimte voor de aanleg van een groot evenemententerrein en in de Oosterhoutse uiterwaarden zijn ook aan de Waal voorzieningen voor strandrecreatie.

In vergelijking met de klassieke variant is de begrenzing van de geul en de ontgraving van de deklaag groter in omvang met name aan de westzijde (zie figuur 5.6).

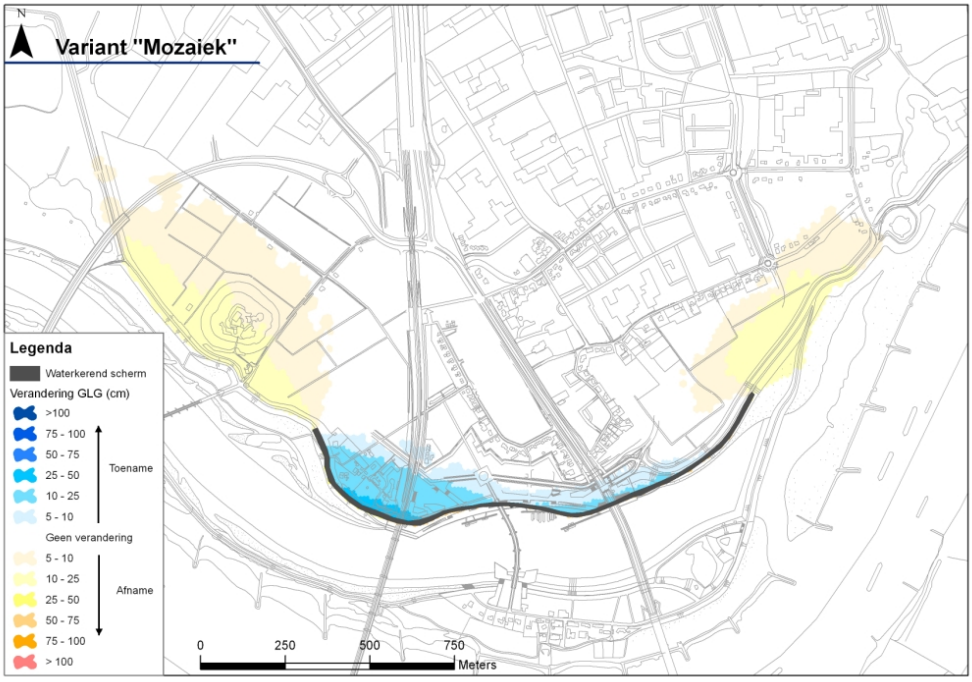


Figuur 5.6: Begrenzing geul en doorsnijding deklaag variant Mozaïek

In figuur 5.7 en 5.8 is de verandering van de grondwaterstand voor respectievelijk een gemiddelde wintersituatie (GHG) en zomersituatie (GLG) weergegeven.



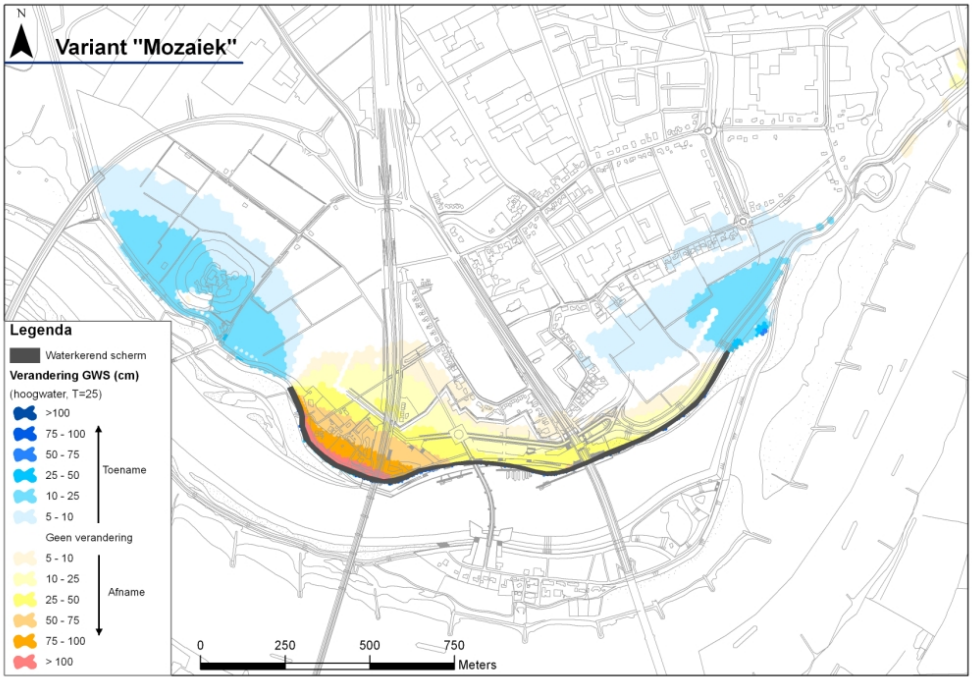
Figuur 5.7: Verandering grondwaterstand variant mozaïek ten opzichte van de autonome situatie, GHG-situatie



Figuur 5.8: Verandering grondwaterstand variant mozaïek ten opzichte van de autonome situatie, GLG-situatie

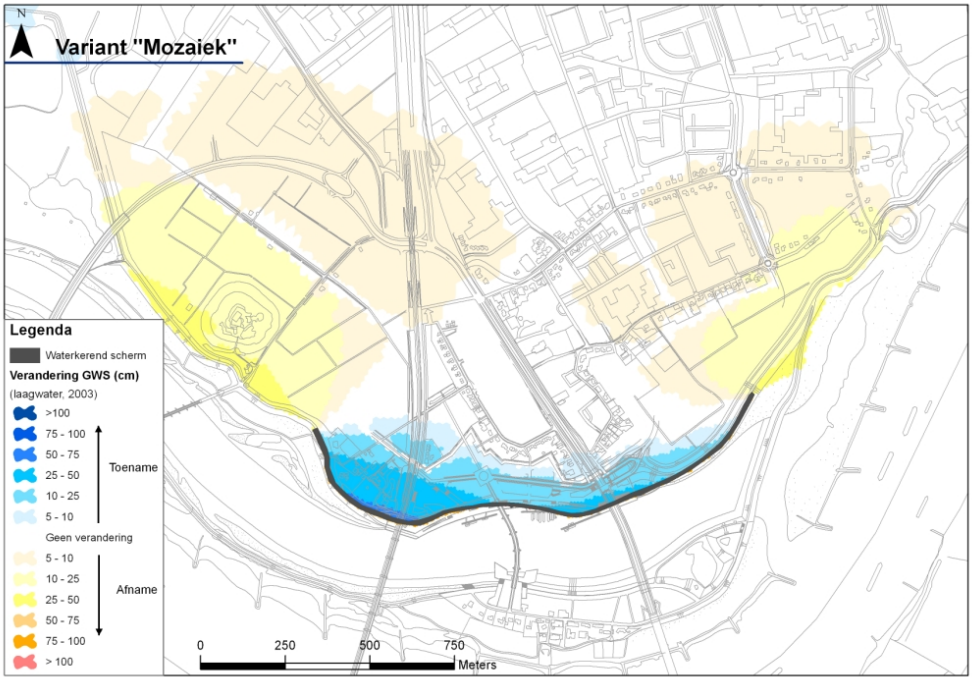
Ten opzichte van de klassieke variant zijn de veranderingen in grondwaterstanden nagenoeg gelijk voor deze hydrologische situaties.

In figuur 5.9 is de verandering van de grondwaterstand in een hoogwatersituatie (vgl 1993, T=25) weergegeven en in figuur 5.10 is de verandering van de grondwaterstand in een laagwatersituatie (vgl 2003) gepresenteerd .



Figuur 5.9: Verandering grondwaterstand variant mozaïek ten opzichte van de autonome situatie, hoogwatersituatie (T=25, vergelijk 1993)

Ten opzichte van de klassieke variant zijn met name de gebieden met een verhoging van de grondwaterstand omvangrijker als gevolg van de ontgraving van de deklaag die iets groter is. Een, weliswaar omgekeerd, maar vergelijkbaar effect is te zien bij de laagwatersituatie.

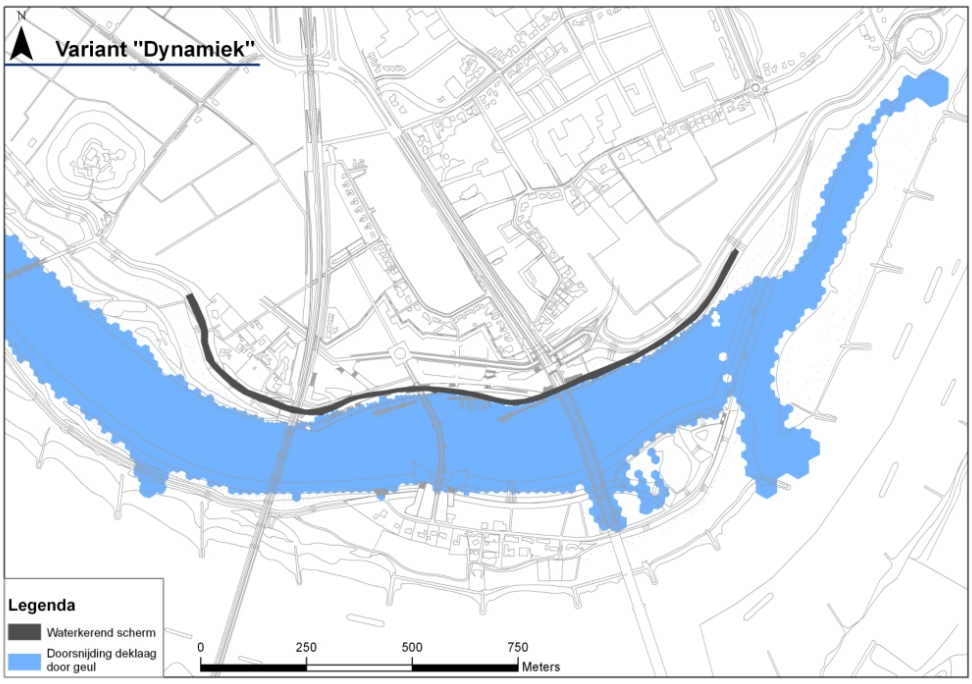


Figuur 5.10: Verandering grondwaterstand variant mozaïek ten opzichte van de autonome situatie, laagwatersituatie (vergelijk 2003)

5.3 Variant dynamiek

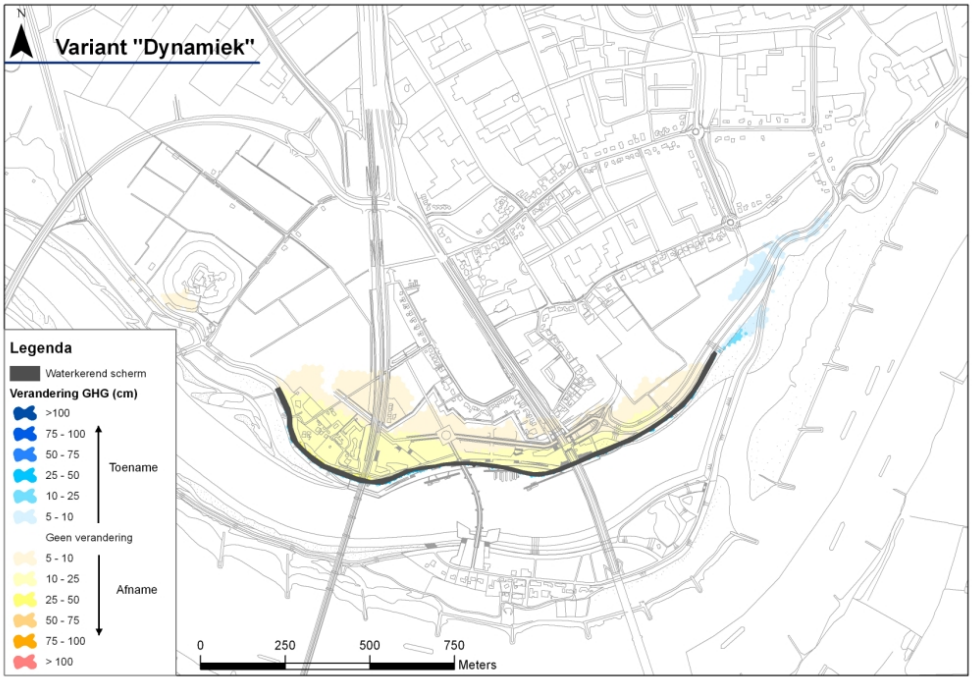
Bij de variant *Dynamiek* ligt de nadruk sterk op een zo groot mogelijk herstel van de rivierdynamische processen. De vormgeving van de geul is natuurlijker en heeft een kleine permanente instroomopening waardoor het water mee stroomt met de rivier. Op het eiland is een tweetal verbindingen gemaakt tussen nevengeul en rivier.

In vergelijking met de klassieke variant en de mozaïek variant is de begrenzing van de geul en de ontgraving van de deklaag het meest omvangrijk (zie figuur 5.11).



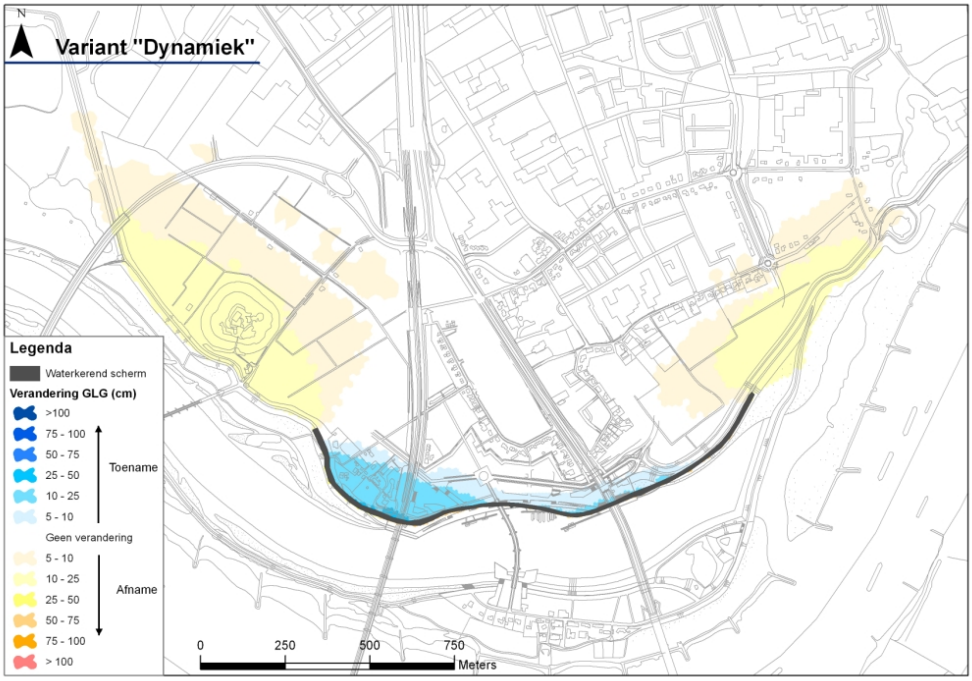
Figuur 5.11: Begrenzing geul en doorsnijding deklaag variant Dynamiek

In figuur 5.12 en 5.13 is de verandering van de grondwaterstand voor respectievelijk een gemiddelde wintersituatie (GHG) en zomersituatie (GLG) weergegeven.



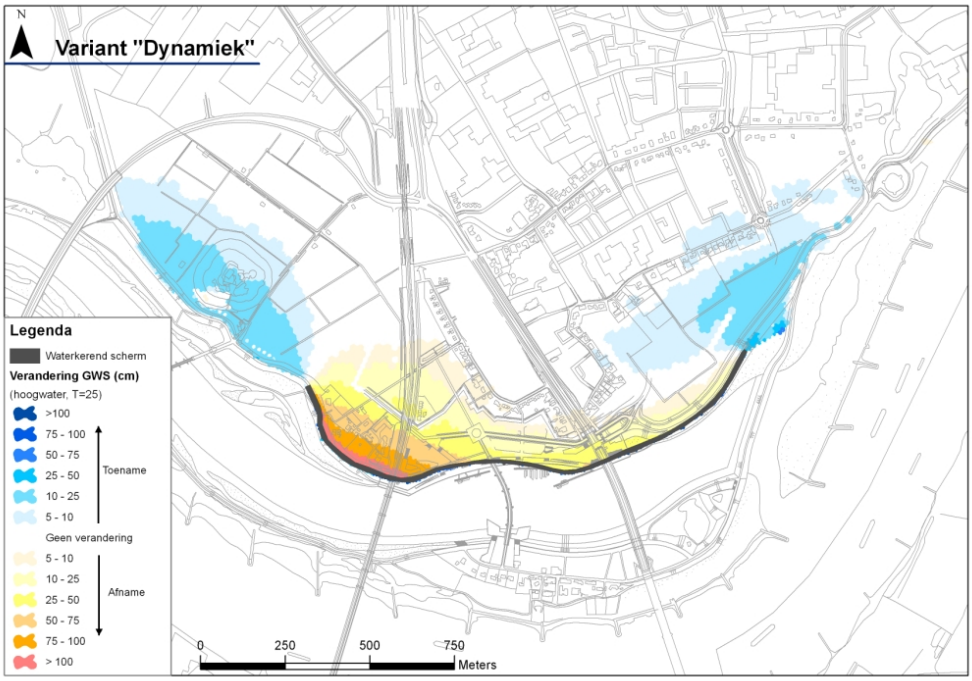
Figuur 5.12: Verandering grondwaterstand variant dynamiek ten opzichte van de autonome situatie, GHG-situatie

Ten opzichte van de klassieke variant zijn de veranderingen in grondwaterstanden nagenoeg gelijk voor deze hydrologische situaties. Alleen bij de zomersituatie is het gebied met een verlaging van de grondwaterstand iets omvangrijker.

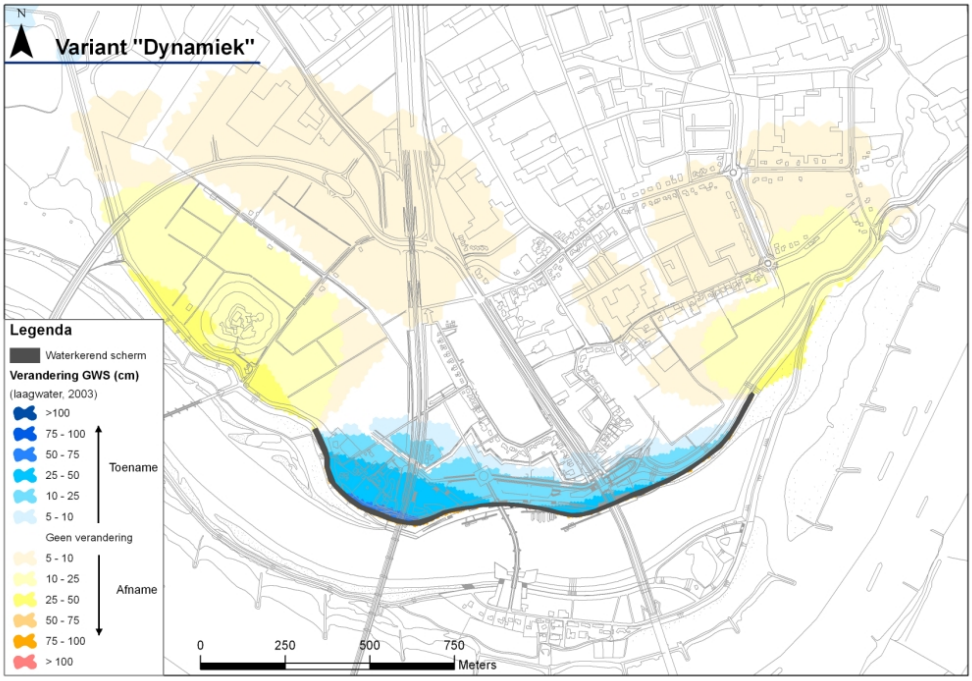


Figuur 5.13: Verandering grondwaterstand variant dynamiek ten opzichte van de autonome situatie, GLG-situatie

In figuur 5.14 is de verandering van de grondwaterstand in een hoogwatersituatie (vgl 1993, T=25) weergegeven en in figuur 5.15 is de verandering van de grondwaterstand in een laagwatersituatie (vgl 2003) gepresenteerd .



Figuur 5.14: Verandering grondwaterstand variant dynamiek ten opzichte van de autonome situatie, hoogwatersituatie (T=25, vergelijk 1993)



Figuur 5.15: Verandering grondwaterstand variant dynamiek ten opzichte van de autonome situatie, laagwatersituatie (vergelijk 2003)

Hoewel de verschillen gering zijn, is bij deze variant, omdat de ontgraving van de deklaag het meest omvangrijk is, tevens de veranderingen van de grondwaterstand het meest omvangrijk.

5.4 De drie varianten vergeleken

De effecten van de drie varianten zijn tevens volgens de vier subcriteria van het beoordelingskader gekwantificeerd. In tabel 5.1 zijn de resultaten van deze beoordeling samengevat.

Tabel 5.1: Effecten autonome situatie volgens MER beoordelingskader

	Areaal potentiële grondwateroverlast bebouwd gebied [ha], T=25		**Areaal met zettingsrisico [ha], 2003**	**afvoer hoogwater [m^3/dag], 1993**	**wegzijging laagwater[m^3/dag], 2003**
	Zone 1	*Zone 2*			
Autonome situatie	*74,4*	*26,1*	2,7	21.410	8.447
	100,5				
Variant klassiek	*74,8*	*23,8*	3,5	19.310	8.598
	98,6				
Variant mozaïek	*74,9*	*24,1*	3,7	19.399	8.713
	99,0				
Variant dynamiek	*75,0*	*24,2*	3,6	19.415	8.707
	99,2				

Zone 1: te ontwikkelen gebied

Zone 2: bestaand bebouwd gebied

Uit het overzicht blijkt dat het areaal met potentiële grondwateroverlast tijdens hoogwatersituaties bij alle drie de varianten in geringe mate afneemt ten opzichte van de autonome situatie. Dit komt in belangrijke mate door de aanleg van het waterkerend scherm. Omdat het waterkerend scherm bij alle drie de varianten aanwezig is met dezelfde dimensies zijn de verschillen tussen de varianten onderling gering.

De berekende afvoer tijdens een hoogwatersituatie blijkt eveneens bij alle drie de varianten af te nemen ten opzichte van de autonome situatie. Hier ligt de aanleg van het waterkerend scherm aan ten grondslag. Immers door de dijkteruglegging schuift de rivier een stukje op in binnendijkse richting. Dit zou zonder waterkerend scherm resulteren in een toename van de kwel in het binnendijks gebied met een toename van de afvoer tot gevolg. Dit is echter niet het geval, de afvoer neemt zelfs iets af.

De berekende wegzijging tijdens een laagwatersituatie blijkt bij alle drie de varianten iets toe te nemen ten opzichte van de autonome situatie. Dit is een gevolg van de dijkteruglegging. De dijkteruglegging zorgt voor een toename van de invloed van de rivier waardoor tijdens de laagwatersituatie de rivier een versterkte drainerende werking heeft. Dit zorgt voor een verlaging van de grondwaterstand met een toename van de wegzijging tot gevolg. Het waterkerend scherm reduceert dit effect (achter het waterkerend scherm stijgt de grondwaterstand) maar deze reductie is niet zodanig dat het effect van de dijkteruglegging netto wordt weggenomen.

De figuren 5.3, 5.5, 5.8, 5.10 en 5.13 laten zien dat het grondwaterstandsverlagend effect links en rechts “om het waterkerend scherm heen krult”.
De omvang van het gebied met grondwaterstandsverlagingen is groter dan het gebied met grondwaterstandsverhogingen (figuren 5.2, 5.4, 5.7, 5.9, 5.12 en 5.14). Waarschijnlijk speelt de tijdsduur van hoog- resp. laagwater hierbij een rol. Aangezien er gerekend wordt met een dynamisch model, maakt de tijdsduur van een natte of droge situatie verschil; deze bepaalt in hoeverre het grondwatersysteem de tijd heeft om zich in te stellen op de nieuwe situatie met verhoging of verlaging van de grondwaterstand.

Het areaal met een verhoogd zettingsrisico neemt voor alle drie de varianten iets toe ten opzichte van de autonome situatie. Een vergelijking met de bestaande bebouwing geeft aan dat bij veel locaties waar het potentiële risico aanwezig is geen bebouwing aanwezig is en dat het zettingsrisico voor bestaande bebouwing zeer gering is.

Samenvatting effecten
Gelet op het bovenstaande worden de drie varianten volgens het MER beoordelingskader als volgt beoordeeld (zie tabel 5.2). Hierbij is het effect van de afname van de afvoer als ‘+’ beoordeeld omdat het hier tijdens een kritieke situatie om een afname van de afvoer gaat van ca 2000 m^3 /s. Bij laagwater gaat het om max. 250 m^3 /s en dit is, in samenspraak met Waterschap Rivierenland, vanwege de geringe consequenties voor de waterhuishouding als neutraal beoordeeld.

Tabel 5.2: Samenvatting effecten drie varianten volgens MER beoordelingskader

	Areaal potentiële grondwateroverlast bebouwd gebied	**Areaal met zettingsrisico**	**afvoer hoogwater, 1993**	**wegzijging laagwater, 2003**
Variant klassiek	0	0	+	0
Variant mozaïek	0	0	+	0
Variant dynamiek	0	0	+	0

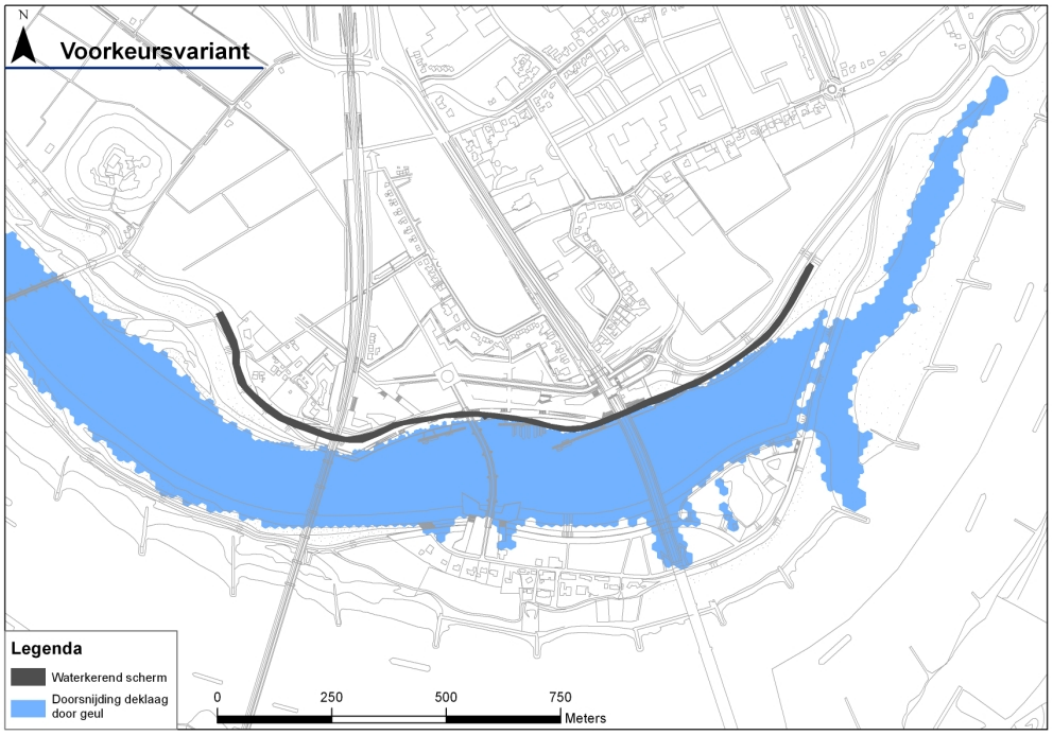
6 VOORKEURSVARIANT (VKV)

6.1 Beschrijving van de variant

De basis van de keuze voor de VKV vloeit voort uit het antwoord op de vraag welke inrichting het beste tegemoet komt aan de doelstelling om te zorgen voor een optimale balans tussen drie gebiedsopgaven: de stedelijke ontwikkeling, water en natuur). Het antwoord op deze vraag komt voort uit de afweging bestaande uit de uitkomsten van de toetsing van de varianten, de gesprekken met betrokken partijen (de consultatie) en de aansluiting bij het ruimtelijke kader.

Zoals uit de vergelijking van de drie varianten is gebleken is geohydrologie geen onderscheidend thema. De verschillen tussen de drie varianten zijn in hydrologisch opzicht immers gering en zijn alleen onderscheidend in de begrenzing van de geul en de doorsnijding van de deklaag. De ligging en diepte van het waterkerend scherm, in hydrologische zin een sterk bepalend aspect, is immers voor alle drie de varianten gelijk.

De begrenzing van de geul en de doorsnijding van de deklaag bij de VKV is gepresenteerd in figuur 6.1. Het ontwerp van de geul lijkt het meest op het ontwerp van de variant “Dynamiek”.

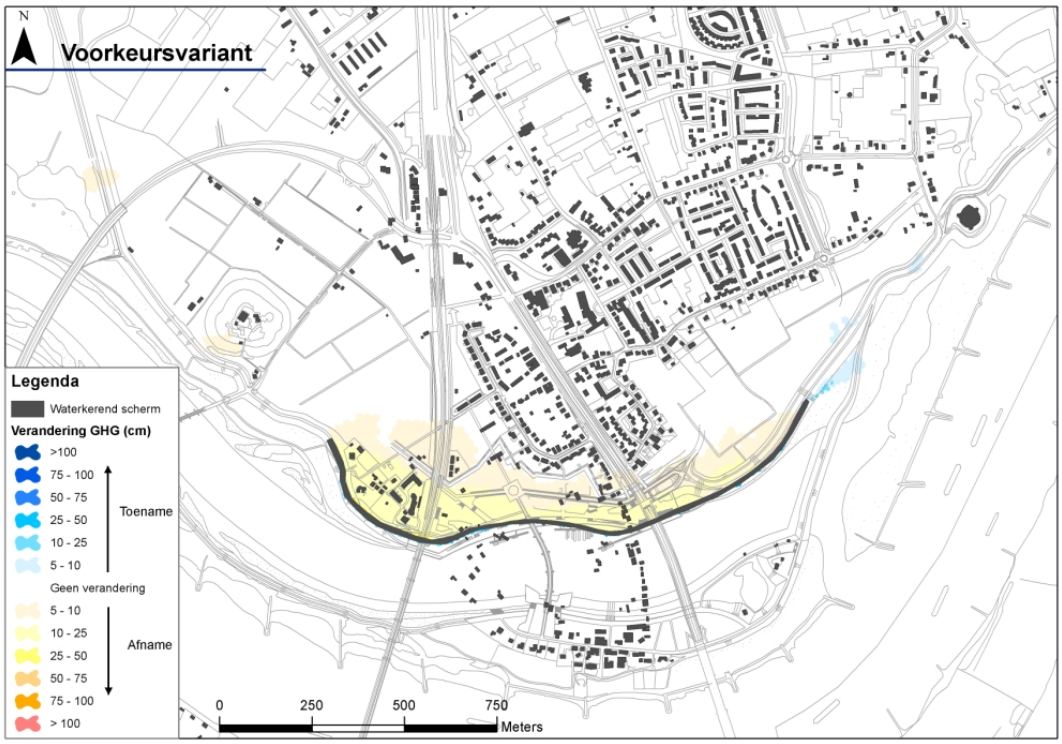


Figuur 6.1: Begrenzing geul en doorsnijding deklaag VKV

6.2 Hydrologische effecten voorkeursvariant

Het model is met de kenmerken van de VKV tijdsafhankelijk doorgerekend met de waterstanden en klimatologische gegevens over de periode 1990-2009. Vervolgens zijn de effecten ten opzichte van de autonome situatie ruimtelijk in beeld gebracht.

In figuur 6.2 en 6.3 is de verandering van de grondwaterstand bij de VKV in respectievelijk een gemiddelde wintersituatie (GHG) en zomersituatie (GLG) weergegeven.



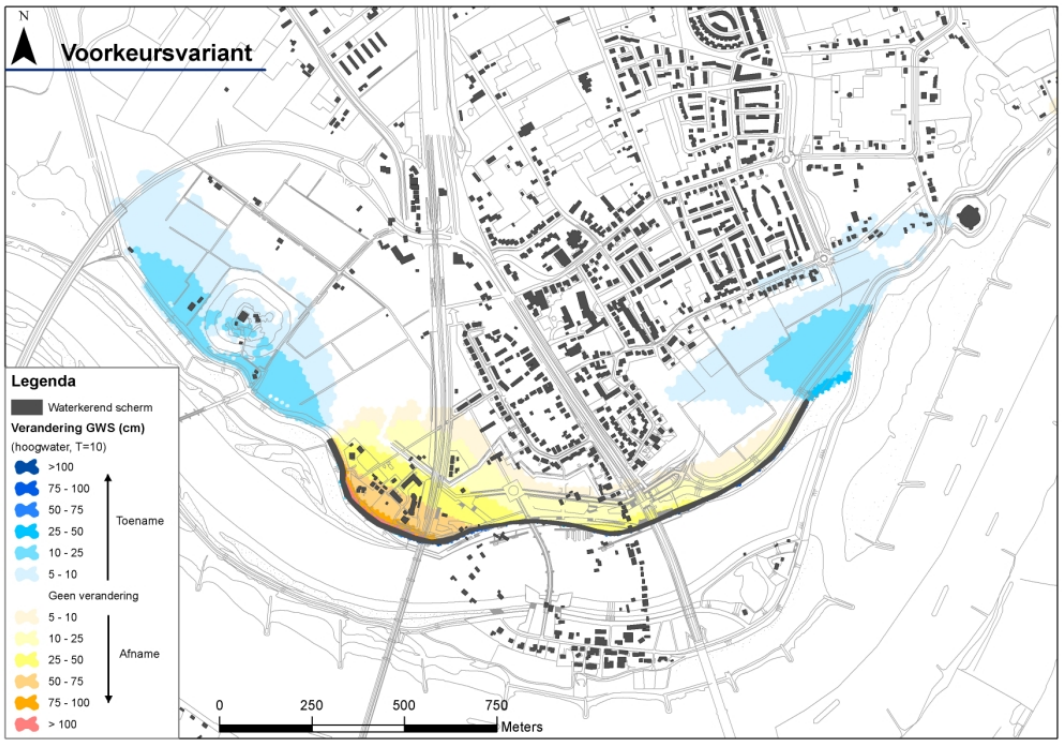
Figuur 6.2: Verandering grondwaterstand VKV ten opzichte van de autonome situatie, GHG-situatie

Uit de figuren blijkt, zoals verwacht, een vergelijkbaar beeld met die van de drie varianten gepresenteerd in hoofdstuk 5. In de wintersituatie is een verlaging van de grondwaterstand te zien direct achter het waterkerend scherm. Tijdens deze situatie heeft de Waal een infiltrerende werking en zonder aanleg van het scherm zou de grondwaterstand achter de dijk toenemen. Het waterkerend scherm zorgt nu echter voor een verlaging van de grondwaterstand.

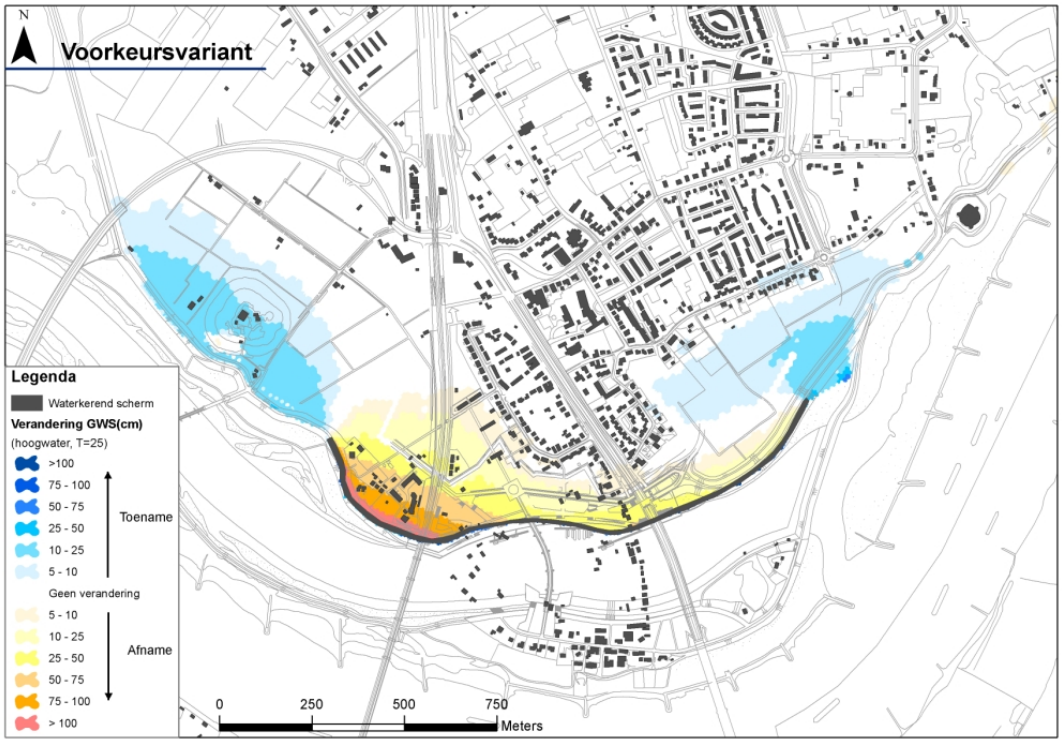
Figuur 6.3: Verandering grondwaterstand VKV ten opzichte van de autonome situatie, GLG-situatie

Tijdens de zomersituatie (GLG) is precies een tegenovergesteld effect te zien. Tijdens deze hydrologische situatie heeft de Waal een drainerende werking en zorgt het waterkerend scherm voor een reductie van de drainage. Hierdoor neemt de grondwaterstand direct achter het waterkerend scherm toe. Aan de beide uiteinden van het scherm is juist, als gevolg van de dijkteruglegging en ontgraving van de deklaag, een verlaging van de grondwaterstand te zien.

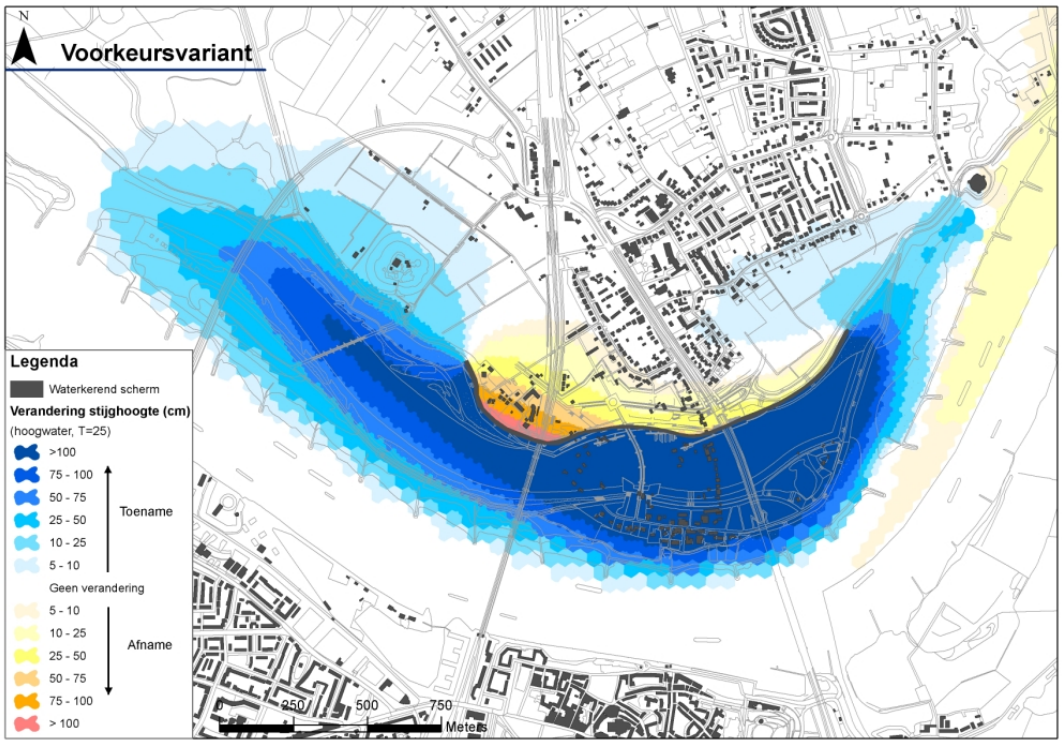
In figuur 6.4 en 6.5 is de verandering van de grondwaterstand in een hoogwatersituatie (respectievelijk T=10 en T=25) weergegeven. Tevens is de verandering van de stijghoogte voor een T=25 situatie gepresenteerd (zie figuur 6.6).



Figuur 6.4: Verandering grondwaterstand VKV ten opzichte van de autonome situatie, hoogwatersituatie (T=10)



Figuur 6.5: Verandering grondwaterstand VKV ten opzichte van de autonome situatie, hoogwatersituatie (T=25, vergelijk 1993)

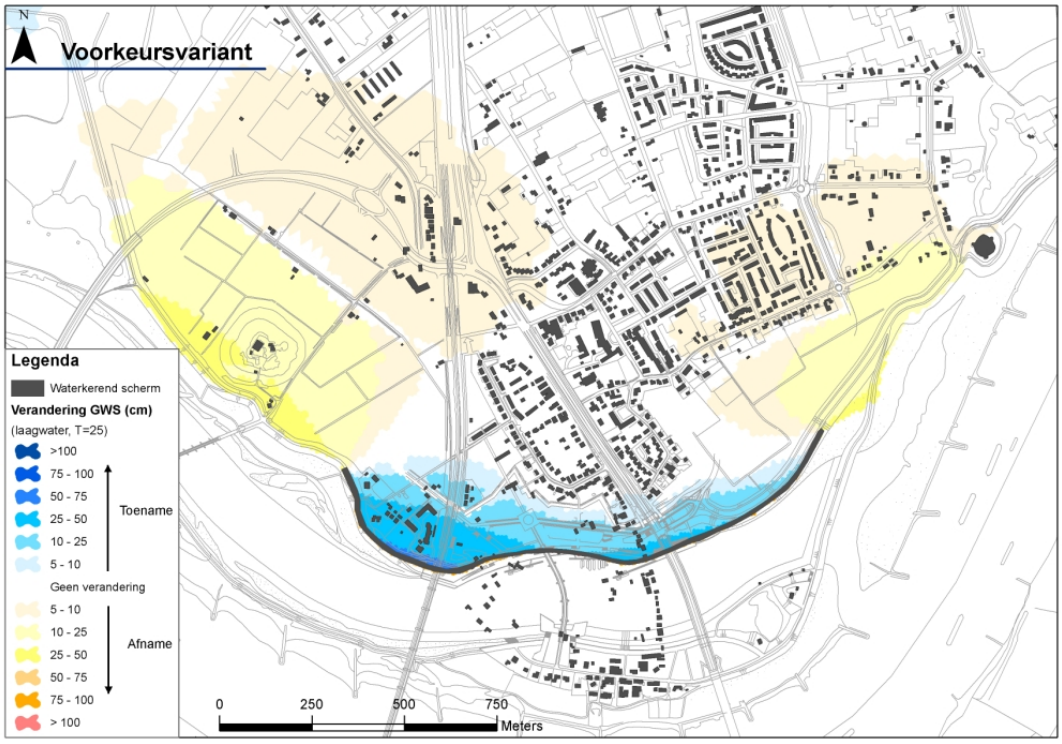


Figuur 6.6: Verandering stijghoogte VKV ten opzichte van de autonome situatie, hoogwatersituatie (T=25, vergelijk 1993)

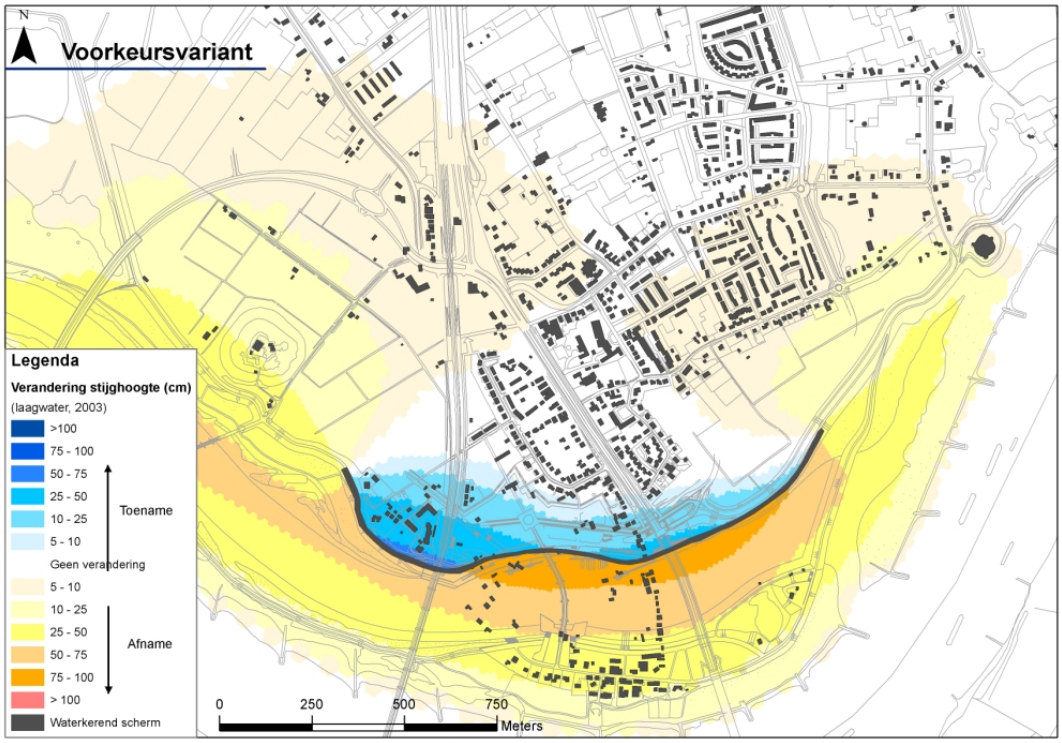
Uit de figuren blijkt dat tijdens hoogwater, wanneer de Waal een sterk infiltrerende werking heeft, een verlaging van de grondwaterstand te zien is direct achter het scherm en een verhoging van de grondwaterstand aan beide uiteinden van het scherm. Deze effecten zijn bij een T=25 situatie iets groter dan bij een T10-situatie. De verhoging van de grondwaterstand in deze zones is een direct gevolg van de toenemende invloed van de Waal als gevolg van de dijkteruglegging. De Waal heeft tijdens deze situatie immers een infiltrerende werking. De invloed van de Waal op het grondwatersysteem (direct in verbinding met het eerste watervoerend pakket) is goed geïllustreerd in de verandering van de stijghoogte (figuur 6.6). De verhogingen treden op op plaatsen die opnieuw ontwikkeld gaan worden. Uitzondering daarop is de omgeving van de Steltsestraat: daar is een verhoging van de grondwaterstand berekend t.o.v. de autonome ontwikkeling van 5-10 cm. Deze verhoging leidt niet tot een verslechtering t.o.v. de huidige situatie omdat deze gecompenseerd wordt door het effect van de autonome ontwikkeling, zie figuur 4.5. Het resultaat is te zien in figuur 6.10: de ontwateringsdiepte blijft daar rond de 50 cm.

In figuur 6.7 en 6.8 is de verandering van de grondwaterstand in een laagwatersituatie (respectievelijk T=10 en situatie conform 2003) weergegeven. Tevens is de verandering van de stijghoogte WVP1 voor de situatie van 2003 gepresenteerd (zie figuur 6.9).

Figuur 6.7: Verandering grondwaterstand VKV ten opzichte van de autonome situatie, laagwatersituatie (T=10, vergelijk 2005)



Figuur 6.8: Verandering grondwaterstand VKV ten opzichte van de autonome situatie, laagwatersituatie (vergelijk 2003)



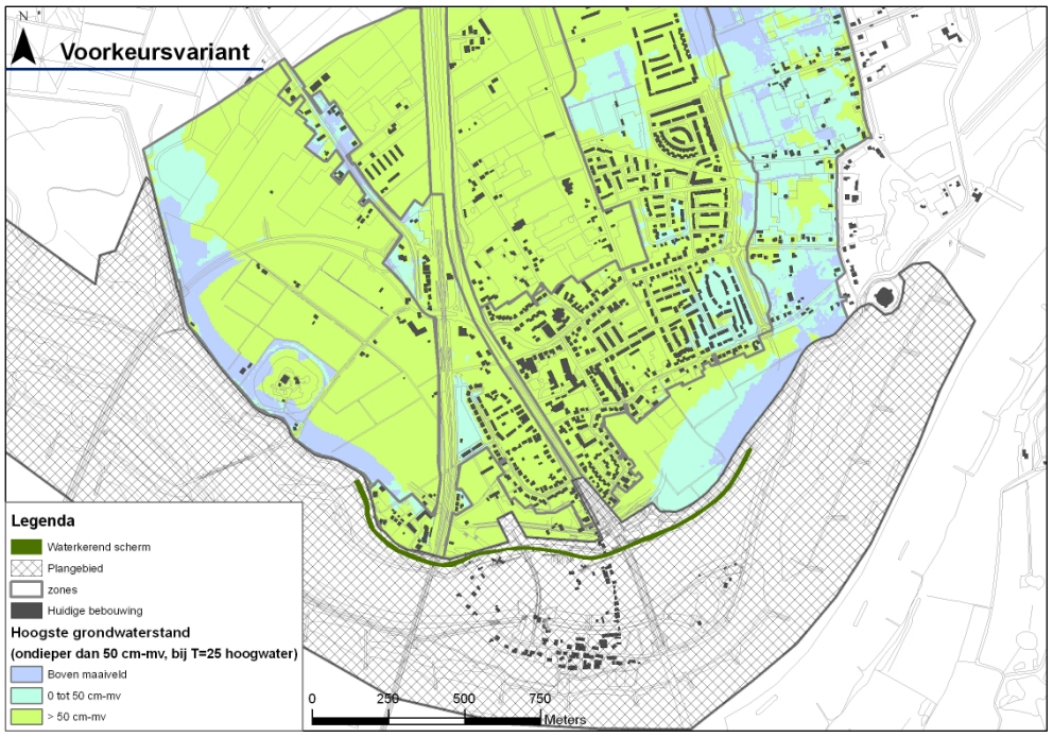
Figuur 6.9: Verandering stijghoogte WVP1 VKV ten opzichte van de autonome situatie, laagwatersituatie (vergelijk 2003)

De effecten tijdens laagwater zijn in grote lijnen vergelijkbaar met een gemiddelde zomersituatie maar zijn groter in omvang. Tijdens het laagwater van 2003 is de absolute grondwaterstand aanzienlijk lager dan bij het laagwater van 2005. Doordat de laagwaterperiode van 2003 veel korter is dan tijdens het laagwater van 2005 is de verbreiding van het gebied met een verlaging van de grondwaterstand iets minder groot. De invloed van de Waal op het grondwatersysteem (direct in verbinding met het eerste watervoerend pakket) is goed geïllustreerd in de verandering van de stijghoogte (figuur 6.9).

6.3 Effecten voorkeursvariant conform beoordelingskader

De effecten van autonome situatie zijn tevens volgens de vier subcriteria van het beoordelingskader gekwantificeerd en ruimtelijk in beeld gebracht.

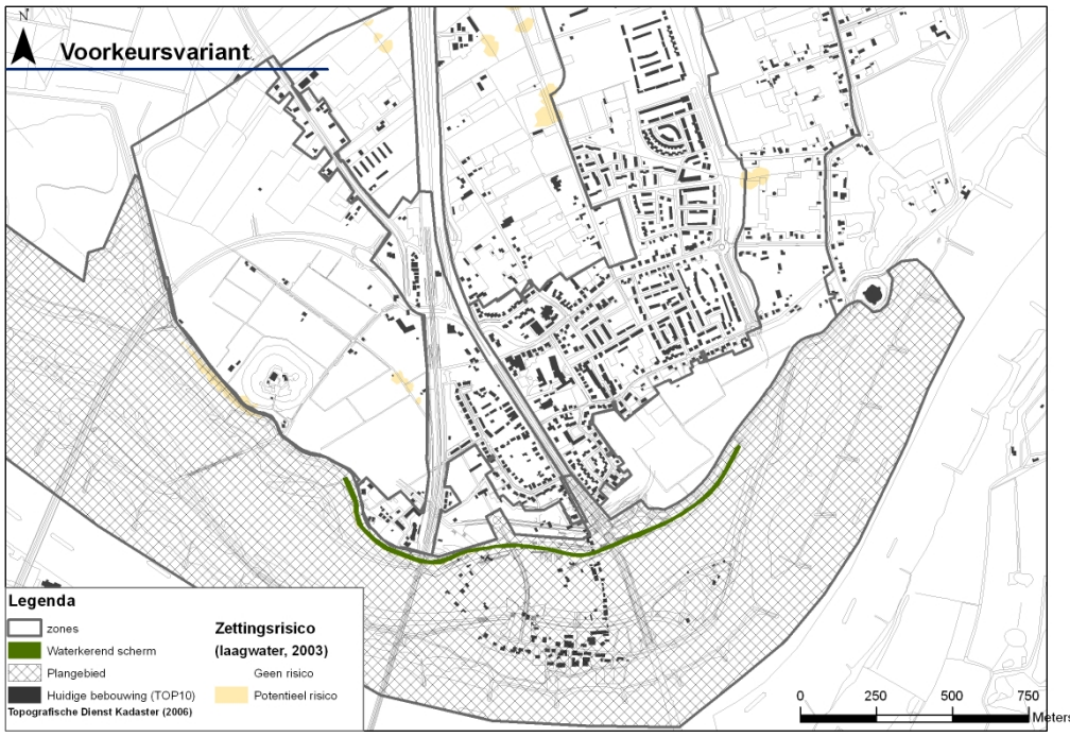
In figuur 6.10 zijn de gebieden in beeld gebracht met potentiële grondwateroverlast bij de VKV. Hiervoor is de maximaal berekende grondwaterstand tijdens een hoogwatersituatie (1993, T=25) vergeleken met het maaiveldniveau van de autonome situatie. Alle gebieden waarbij de ontwateringsdiepte minder is dan 0,5 m zijn ruimtelijk in beeld gebracht.



Figuur 6.10: Overzicht van gebieden met potentiële grondwateroverlast bij de VKV tijdens hoogwater (T=25) NB: dit figuur is op groter formaat opgenomen in bijlage 4

Uit figuur 6.10 blijkt dat er weinig verschillen zijn ten opzichte van de autonome situatie. In de zone achter de dijk direct ten westen van het spoor is een gebied waar de ontwateringsdiepte iets is toegenomen; hier treedt dus een verbetering op t.o.v. de autonome situatie.

In figuur 6.11 zijn alle gebieden in beeld gebracht waar mogelijk een zettingsrisico ontstaat bij de VKV. Hiervoor is de berekende minimale grondwaterstand volgens de autonome situatie tijdens een laagwatersituatie (conform 2003) vergeleken met een historische laag opgetreden grondwaterstand (zomer 2003). Waar de grondwaterstand lager wordt is een potentieel zettingsrisico.



Figuur 6.11: Overzicht van gebieden met zettingsrisico bij de VKV tijdens laagwater (vgl 2003)

Uit het kaartbeeld blijkt dat de toename in areaal zettingsrisico vooral zit bij de dijk in de omgeving van de citadel. Hier zit echter geen bestaande bebouwing en het zettingsrisico is dan ook uiterst gering.

In tabel 6.1 zijn de resultaten van de beoordeling, volgens het MER beoordelingskader, samengevat.

Tabel 6.1: Effecten voorkeursvariant volgens MER beoordelingskader

	Areaal potentiële grondwateroverlast bebouwd gebied [ha], T=25		**Areaal met zettingsrisico [ha], 2003**	**afvoer hoogwater [m^3/dag], 1993**	**wegzijging laagwater[m^3/dag], 2003**
	Zone 1	*Zone 2*			
Autonome situatie	*74,4*	*26,1*	2,7	21.410	8.447
	100,5				
Voorkeursvariant	*74,9*	*24,0*	3,6	19.374	8.697
	98,9				

Zone 1: te ontwikkelen gebied

Zone 2: bestaand bebouwd gebied

De berekende afvoer tijdens een hoogwatersituatie neemt bij de VKV af ten opzichte van de autonome situatie. Dit wordt enerzijds veroorzaakt doordat in het plangebied voor de dijkteruglegging nu geen water meer afgevoerd wordt en anderzijds doordat het waterkerend scherm nu aanwezig is. De berekende wegzijging neemt iets toe (250 m^3/dag) tijdens een laagwatersituatie. Deze toename is gezien vanuit de waterhuishouding ter plaatse, marginaal.

Het effect van de rivierverruiming met waterkerend scherm pakt bij hoog- en laagwater dus anders uit; dit verschil is reeds besproken in par. 5.4.

Conclusie
De hoofdconclusie uit het grondwateronderzoek is de bevestiging dat het waterkerend scherm een effectieve en afdoende maatregel is om de grondwatereffecten van de dijkterugglegging te mitigeren.

Samenvatting effecten MER
Gelet op het bovenstaande is de VKV volgens het MER beoordelingskader als volgt beoordeeld (zie tabel 6.2). Hierbij is het effect van de afname van de afvoer als '+' beoordeeld omdat het hier tijdens een kritieke situatie om een afname van de afvoer gaat van ca 2000 m^3 /s. Bij laagwater gaat het om ca 250 m^3 /s en dit is, in samenspraak met Waterschap Rivierenland, als neutraal beoordeeld

Tabel 6.2: Samenvatting effecten VKV volgens MER beoordelingskader

	Areaal potentiële grondwateroverlast bebouwd gebied	**Areaal met zettingsrisico**	**afvoer hoogwater, 1993**	**wegzijging laagwater, 2003**
Voorkeursvariant	0	0	+	0

6.4 Effecten tijdens uitvoering

Bij de beschrijving van grondwatereffecten is de situatie na uitvoering van het project Ruimte voor de Waal als uitgangspunt genomen. De effecten tijdens uitvoering zullen altijd kleiner uitvallen[3] dankzij de uitvoeringsvolgorde. Oorzaak van de grondwatereffecten is immers de verlegging van de waterkering en de aanleg van de geul; deze effecten worden gemitigeerd door het waterkerend scherm. Volgens planning (zie uitvoeringsplan) wordt eerst de nieuwe waterkering inclusief het waterkerend scherm aangelegd en vervolgens de huidige dijk verwijderd en de geul gegraven. Op het eiland Veur-Lent zijn geen grondwatereffecten te verwachten; de situatie voor de huidige (buitendijkse) woningen verandert niet en de nieuwe woningen worden gebouwd op een hoogwatervrij opgehoogd terrein.

[3] Een uitzondering hierop betreft de eventueel noodzakelijke tijdelijke bronbemalingen voor de aanleg van kunstwerken. In deze fase van het project is hier nog geen zicht op. De effecten van deze eventuele bemalingen vormen een aandachtspunt voor het vervolg.

7 RISICOANALYSE

7.1 Onzekerheden ten aanzien van het waterkerend scherm

Zoals geformuleerd in de doelstelling van het geohydrologisch onderzoek is het belangrijk om te bepalen of de oplossingsrichtingen die in het kader van het project worden onderzocht voldoen aan de randvoorwaarde dat de kwelsituatie in Lent niet mag verslechteren.

Zoals uit de effectberekeningen is gebleken, spelen de Singel en het waterkerend scherm een belangrijke rol in de optredende effecten.

Omdat er mogelijk een faseverschil is in het moment van aanleg van de Singel en de realisatie van de dijkteruglegging is het nodig dat met de GEM afspraken worden gemaakt om de Singel tijdig aan te leggen, zodat de effecten op de grondwaterstand gerealiseerd worden op het moment dat de dijk wordt teruggelegd.

In de uitgangspunten is aangegeven dat bij alle varianten de ligging en diepte van het waterkerend scherm gelijk is conform de uitwerking van het Ruimtelijk Plan (december 2007).
Ten aanzien van dit waterkerend scherm is het van belang te realiseren dat er risico's zijn op basis waarvan de toekomstige situatie ongunstiger kan zijn dan waar nu vanuit is gegaan:

- bij de uitwerking van de hydrologische berekeningen is er van uitgegaan dat het waterkerend scherm 100 % ondoorlatend is. Er is echter een risico dat het scherm als gevolg van de aanleg en in combinatie met de opbouw van de ondergrond enigszins doorlatend zal zijn;
- de weerstandslaag onder het scherm (diepte op ca 20 à 25 m) kan meer zwakke plekken hebben dan waar nu vanuit is gegaan en/of de weerstandswaarde kan geringer zijn dan waar nu van uit is gegaan.

Om inzicht te verkrijgen in de hydrologische effecten bij een meer doorlatend scherm of een meer doorlatende leemlaag zijn aanvullende hydrologische berekeningen uitgevoerd. Daarnaast is voor het VKV een hoogwatersituatie van T=150 berekend om beter inzicht te verkrijgen in de gevoeligheid van het watersysteem tijdens een zeer extreem hoge waterstand op de Waal.

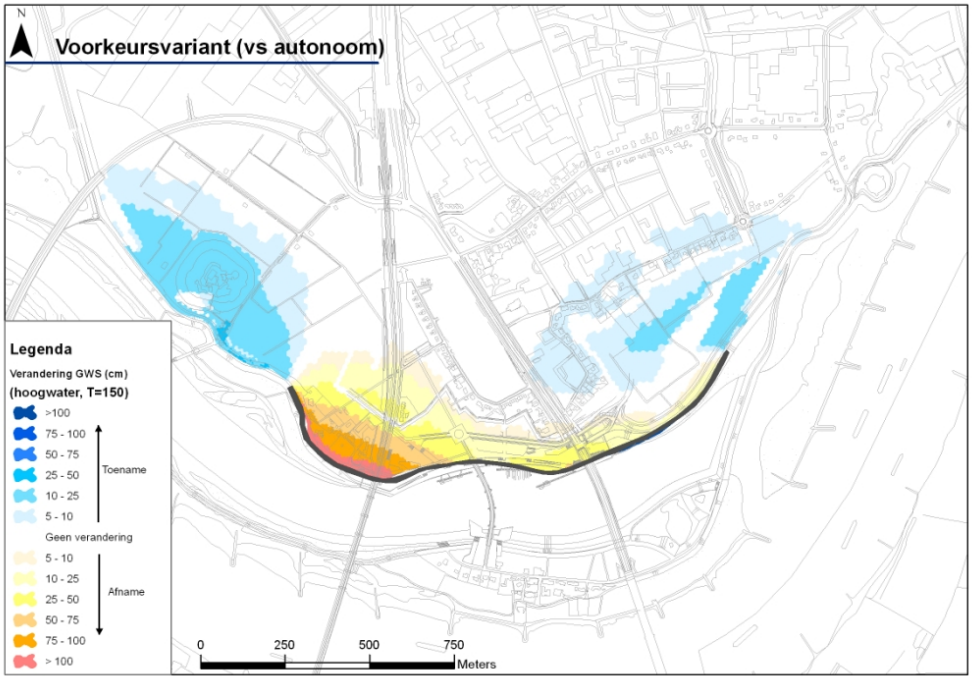
7.2 Effecten VKV T=150

Met het berekenen van een T=150 situatie voor de VKV wordt inzicht verkregen in de gevoeligheid van het watersysteem bij zeer hoge waterstanden op de Waal. Hiervoor zijn de waterstanden van de Waal die horen bij een T=150 situatie voor een VKV-situatie afgeleid aan de hand van beschikbare tabellen. De waterstanden zijn afkomstig uit rekenmodellen waarbij de Ruimte voor de Rivier projecten zijn meegnomen. Bij T=150 is de afvoer gelijk aan ca. 13.100 m^3/s bij Lobith. Op de Waal is de afvoer dan ca. 8.550 m^3/s. De waterstanden behorende bij deze afvoer zijn opgenomen in tabel 7.1.

Tabel 7.1: waterstanden Waal T=150 situatie VKV

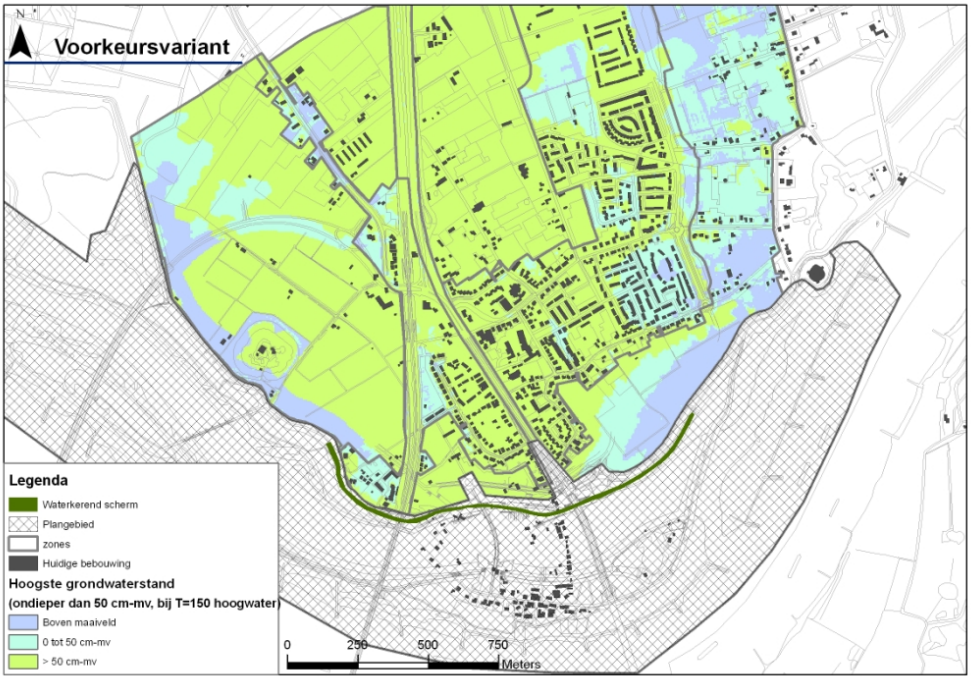
Km-punt	Waterstand T=150 (NAP m)
Wa_880	14.51
Wa_881	14.43
Wa_882	14.26
Wa_883	14.18
Wa_884	14.02
Wa_885	13.94
Wa_886	13.73
Wa_887	13.67

In figuur 7.1 zijn de veranderingen van de grondwaterstand voor de VKV weergegeven tijdens de hoogwatersituatie T=150. In grote lijnen zijn de veranderingen van de grondwaterstand van de VKV vergelijkbaar met de situatie van T=25. Aan de oostzijde zitten komen tussen de gebieden waar vernatting wordt berekend gebieden voor waar geen verandering is berekend. Dit komt omdat de grondwaterstand hier aan maaiveld zit.



Figuur 7.1: Verandering grondwaterstand VKV ten opzichte van de autonome situatie, hoogwatersituatie (T=150)

In figuur 7.2 zijn de gebieden in beeld gebracht met potentiële grondwateroverlast bij de VKV T=150.



Figuur 7.2: Overzicht van gebieden met potentiële grondwateroverlast bij de VKV tijdens hoogwater (T=150)

De gevolgen van deze hoogwatersituatie met het VKV voor het areaal potentiële grondwateroverlast zijn samengevat in tabel 7.2.

Tabel 7.2: Areaal potentiële grondwateroverlast voorkeursvariant tijdens T=150 situatie

	Areaal potentiële grondwateroverlast bebouwd gebied [ha], T=25		**Areaal potentiële grondwateroverlast bebouwd gebied [ha], T=150**	
	Zone 1	*Zone 1*	*Zone 1*	*Zone 2*
Autonome situatie	*74,4*	*26,1*	*88,6*	*32,7*
	100,5		121,3	
Voorkeursvariant	*74,9*	*24,0*	*87,6*	*32,8*
	98,9		120,4	

Zone 1: te ontwikkelen gebied

Zone 2: bestaand bebouwd gebied

Uit de figuren en het overzicht blijkt dat er aanzienlijke verschillen zijn ten opzichte van de hoogwatersituatie van T=25. De grondwaterstand ligt voor het gehele aandachtsgebied op een integraal hoger niveau waardoor er meer gebieden in beeld komen waarbij de ontwateringsdiepte minder is dan 50 cm. In vergelijking met de T=25 situatie is er voor de VKV een toename van ruim 21 ha. De uitbreiding van de gebieden zit onder meer ter plaatse van Visveld, Woenderskamp en de Graaf Allardsingel. Het geplande maaiveldniveau voor de Graaf Allardsingel is NAP +10, 2 m (zie figuur 2.4) en de berekende grondwaterstand tijdens deze situatie is hier hoger dan NAP +9,7 m.

Uit het overzicht blijkt tevens dat het areaal met potentieel grondwateroverlast voor de VKV iets afneemt ten opzichte van de autonome situatie.

7.3 Doorlatendheid waterkerend scherm

Voor het bepalen van de gevoeligheid van de doorlatendheid van het waterkerend scherm is het scherm stapsgewijs meer doorlatend gemaakt. Hierbij zijn percentages van 2, 5 en 10% toegepast. Dit percentage is ten opzichte van de oorspronkelijke doorlatendheid (0%). De berekeningsresultaten zijn beoordeeld volgens het MER beoordelingskader en zijn samengevat in tabel 7.3.

Tabel 7.3: Resultaat risicoanalyse doorlatendheid waterkerend scherm

	Areaal potentiële grondwaterover-last bebouwd gebied [ha], T=25		**Areaal met zettingsrisico [ha], 2003**	**afvoer hoogwater [m^3/dag], 1993**	**wegzijging laagwater[m^3/dag], 2003**
	Zone 1	*Zone 2*			
Autonome situatie	*74,4*	*26,1*	2,7	21.410	8.447
	100,5				
Voorkeursvariant (0% doorlatend)	*74,9*	*24,0*	3,6	19.374	8.697
	98,9				
Voorkeursvariant (2% doorlatend)	*76,4*	*27,1*	3,7	20.158	9.133
	103,5				
Voorkeursvariant (5% doorlatend)	*76,8*	*28,2*	3,8	20.718	9.331
	105,0				
Voorkeursvariant (10% doorlatend)	*77,0*	*28,9*	3,8	21.133	9.451
	105,9				

Zone 1: te ontwikkelen gebied

Zone 2: bestaand bebouwd gebied

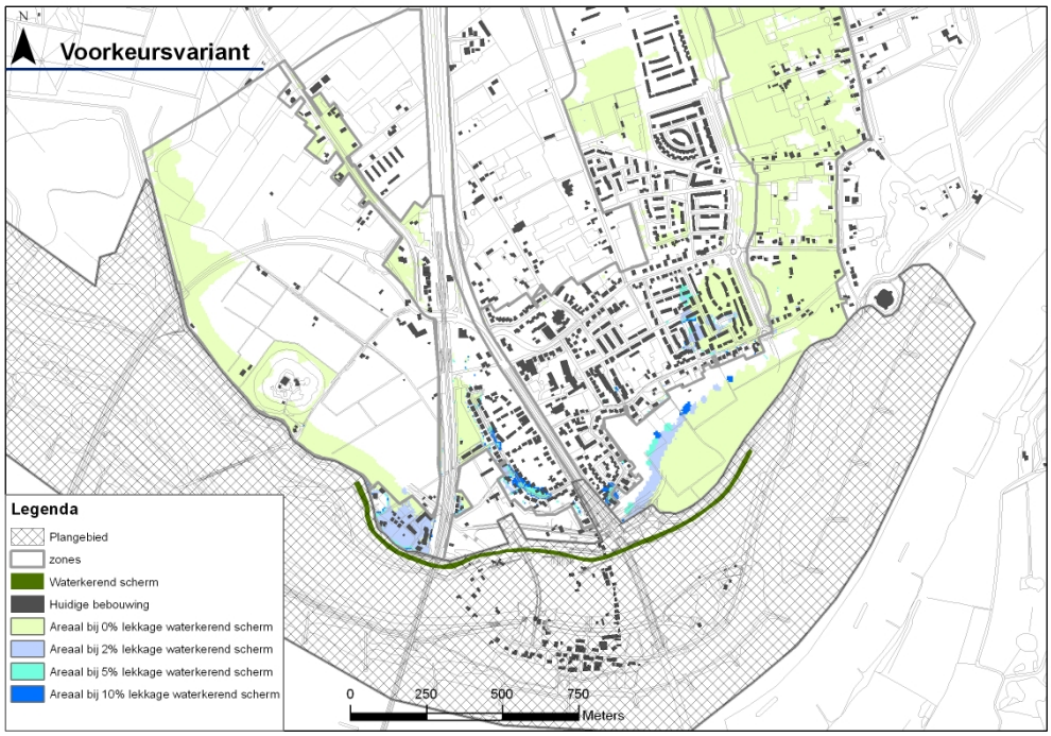
Uit de tabel blijkt dat de berekende afvoer tijdens een hoogwatersituatie in alle situaties afneemt ten opzichte van de autonome situatie. Dit is een direct gevolg van de aanleg van het waterkerend scherm. Door de dijkteruglegging schuift de rivier immers een stukje op in binnendijkse richting. Zonder waterkerend scherm resulteert dit in een toename van de kwel in het binnendijks gebied met een toename van de afvoer tot gevolg. Dit is echter niet het geval, de afvoer neemt zelfs iets af, zelfs bij een scherm dat 10 % doorlatend is. De toename in afvoer loopt niet evenredig op met de toename van het percentage doorlatendheid van het waterkerend scherm[4].

[4] Dit niet-lineaire effect wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij verandering van de grondwaterstand meer of juist minder oppervlaktewater of drainage mee gaat doen met het afvoeren van grondwater dan wel weglekken naar het grondwater. Het "in- of uitschakelen" van oppervlaktewater en drainage zorgt voor een discontinu verloop van de effecten.

De berekende wegzijging tijdens een laagwatersituatie blijkt in alle situaties toe te nemen ten opzichte van de autonome situatie. De dijkteruglegging zorgt voor een toename van de invloed van de rivier waardoor tijdens de laagwatersituatie de rivier een versterkte drainerende werking heeft. Dit zorgt voor een verlaging van de grondwaterstand met een toename van de wegzijging tot gevolg.

Het waterkerend scherm reduceert dit effect (achter het waterkerend scherm stijgt de grondwaterstand) maar deze reductie is niet zodanig dat het effect van de dijkteruglegging netto wordt weggenomen. De tijdsduur van de laagwatersituatie zal hierbij ook een rol spelen (zie bespreking in par. 5.4).

In figuur 7.3 zijn de gebieden in beeld gebracht met potentiële grondwateroverlast (ontwatering minder dan 50 cm) bij de VKV met een volledig ondoorlatend scherm en de uitbreiding van deze gebieden met een steeds meer doorlatend scherm.



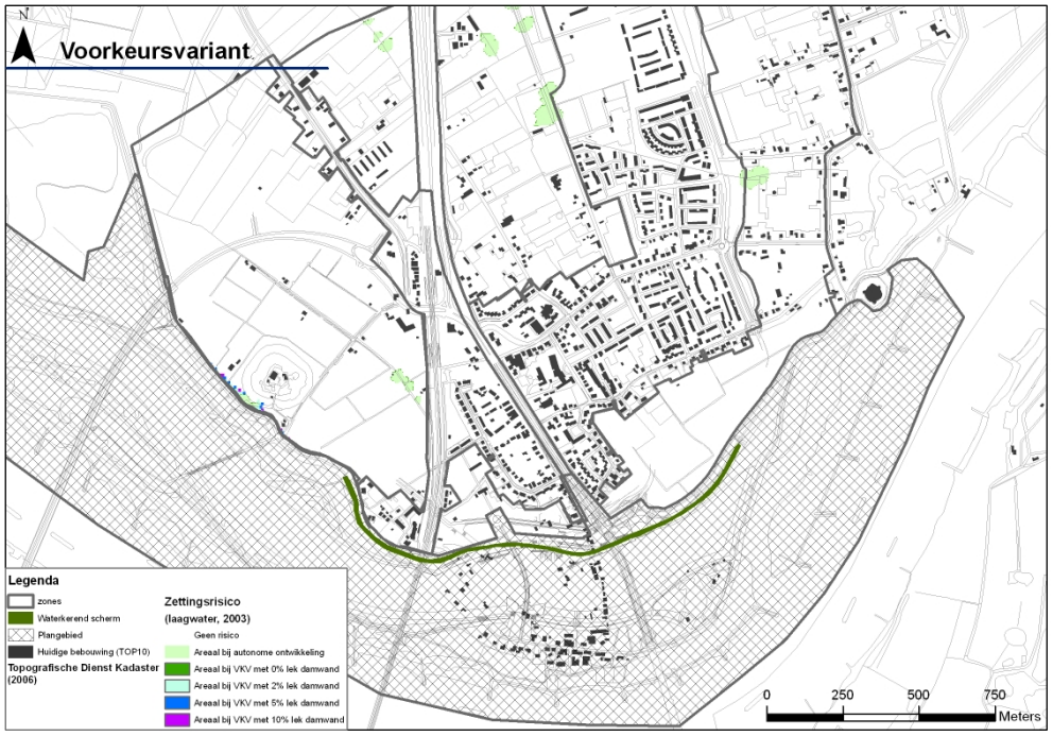
Figuur 7.3: Gevoeligheid lekkage waterkerend scherm potentiële grondwateroverlast tijdens hoogwater (T=25) NB: dit figuur is op groter formaat opgenomen in bijlage 4

Uit de tabel blijkt dat het areaal met potentiële grondwateroverlast in bebouwd gebied geleidelijk toeneemt naarmate het scherm meer doorlatend wordt. De uitbreiding van het areaal zit vooral in de zone direct achter het scherm aan de westzijde van de spoorbaan, in het zuidelijk deel van de oude kern van Lent en in een zone ten oosten van de Prins Mauritssingel.

Deze relatief grote gevoeligheid van de grondwaterstanden voor de doorlatendheid van het waterkerend scherm maakt duidelijk dat het scherm in vrijwel ondoorlatend moet zijn om de doelstelling (voorkómen van grondwateroverlast door kwel) te halen. Deze eis is vertaald in de keuze voor een bepaald type constructie van het scherm; zie hiervoor de rapportage m.b.t. het ontwerp van de waterkering die in het kader van de planstudie is opgesteld.

De gevoeligheid van de doorlatendheid van het scherm op de wegzijging uit het gebied is in relatieve zin groter dan op de afvoer. Bij een 10% doorlatendheid van het scherm is bijna 1000 m^3/dag extra wateraanvoer nodig om het oppervlaktewater op het gewenste peil te houden.

In figuur 7.4 zijn de gebieden in beeld gebracht waar mogelijk een zettingsrisico ontstaat bij de VKV met een volledig ondoorlatend scherm en de uitbreiding van deze gebieden met een steeds meer doorlatend scherm.



Figuur 7.4: Gevoeligheid lekkage waterkerend scherm zettingsrisico tijdens hoogwater (T=25)

Uit de figuur blijkt dat de toename van het areaal beperkt is en vooral zit in de zone bij de citadel. De overlap met bestaande bebouwing is zeer beperkt.

De gevoeligheidsberekeningen van de doorlatendheid van het scherm kunnen ook beschouwd worden als een analyse van het ondieper maken van het waterkerend scherm. Dit is in de hydrologische schematisatie vergelijkbaar omdat het eerste watervoerend pakket (zei tabel 3.1) als één modellaag is geschematiseerd. Dit betekent dat een 10 % doorlatend scherm in dit verband gelijk is aan een scherm dat 10% ondieper is.

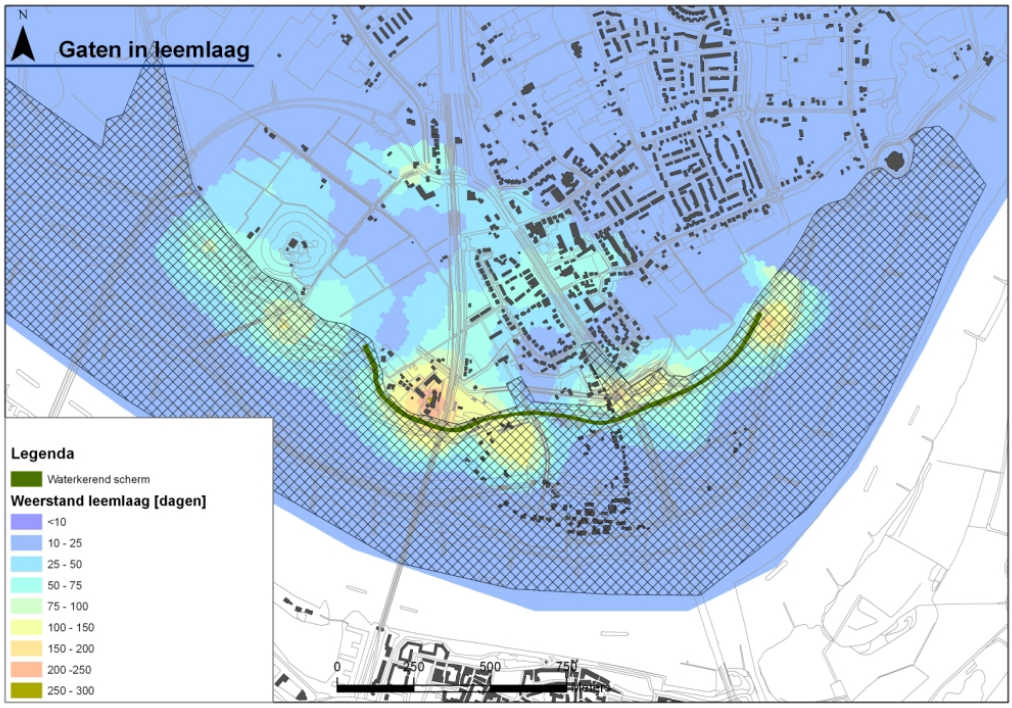
Het schematiseren van de ondergrond in watervoerende pakketen en scheidende lagen is vereist om het model te structureren en op een goede wijze parameters te kunnen toekennen aan de hydrogeologische eenheden.

De resultaten van de berekeningen geven aan dat, om effectief te zijn, het waterkerend scherm zeker tot in de slecht doorlatende leemlaag moet worden doorgezet. Dit komt omdat het scherm een barrièrefunctie heeft waarbij het belangrijk is dat het watervoerend pakket wordt afgesloten (vergelijk hefdeur van een sluis). Wanneer het scherm al een beetje doorlatend is ontstaat er vrijwel direct een toename van het areaal met potentiële grondwateroverlast ten opzichte van de autonome situatie.

7.4 Weerstand leemlaag

Voor het bepalen van de gevoeligheid van de weerstand onder het waterkerend scherm is de weerstandswaarde met 25% verlaagd. Een extremere reductie zou leiden tot weerstandswaarden die niet meer overeenkomen met de realiteit zoals die uit de boorgegevens naar voren komt (zie ook par. 3.3).

Daarnaast is een scenario doorgerekend waarbij lokaal de weerstandswaarde is verlaagd (gaten in de leemlaag). In figuur 7.5 is de weerstand van de leemlaag bij deze situatie weergeven. Hiervoor is ter plaatse van de zones waar geen of weinig boringen/sonderingen aanwezig de weerstand van de leemlaag sterk gereduceerd (vergelijk figuur 3.5).



Figuur 7.5: Weerstand leemlaag lokaal verlaagd (gaten in leemlaag)

De berekeningsresultaten zijn eveneens beoordeeld volgens het MER beoordelingskader en zijn samengevat in tabel 7.4.

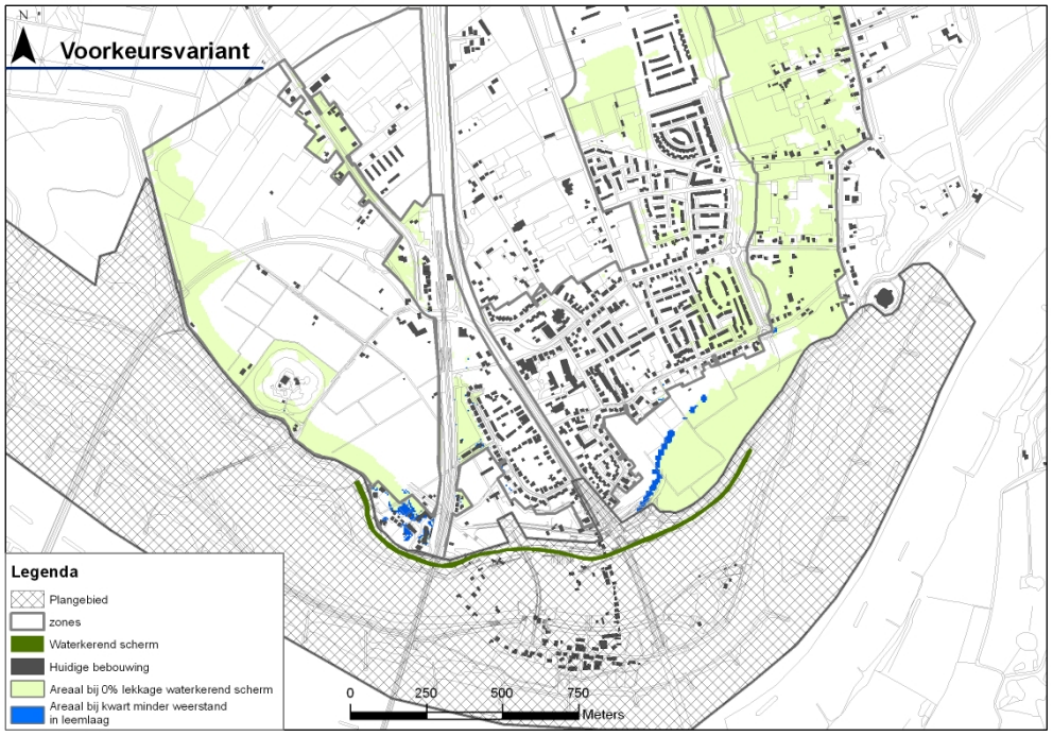
Tabel 7.4: Resultaat risicoanalyse weerstand leemlaag

	Areaal met grondwaterover-last bebouwd gebied [ha], T=25		**Areaal met zettingsrisico [ha], 2003**	**afvoer hoogwater [m^3/dag], 1993**	**wegzijging laagwater[m^3/dag], 2003**
	Zone 1	*Zone 2*			
Autonome situatie	*74,4*	*26,1*	2,7	21.410	8.447
	100,5				
Voorkeursvariant (0% doorlatend)	*74,9*	*24,0*	3,6	19.374	8.697
	98,9				
Voorkeursvariant Weerstand – 25%	*75,6*	*24,8*	3,6	19.593	8.820
	100,4				
Voorkeursvariant Gaten leemlaag	*75,2*	*24,3*	3,6	19.471	8.749
	99,6				

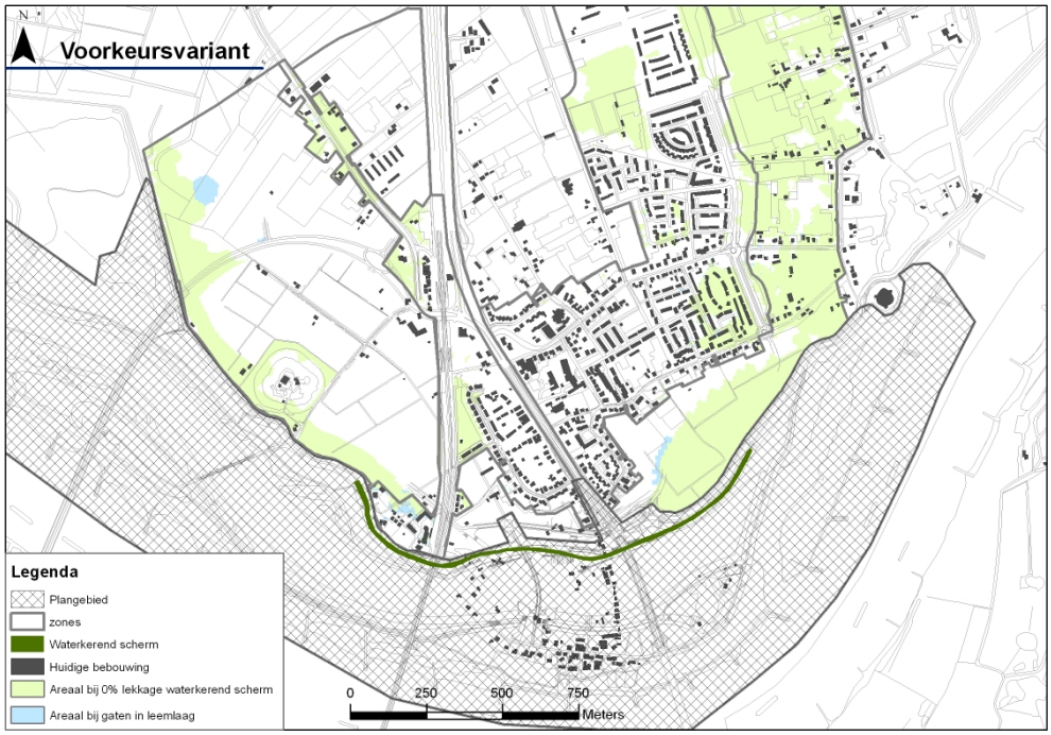
Zone 1: te ontwikkelen gebied

Zone 2: bestaand bebouwd gebied

In figuur 7.6 zijn de gebieden in beeld gebracht met potentiële grondwateroverlast (ontwatering minder dan 50 cm) bij de VKV met een verminderde weerstand van de leemlaag (minus 25%) en in figuur 7.7 de gebieden met potentiële grondwateroverlast (ontwatering minder dan 50 cm) waarbij gaten in de leemlaag zijn aangebracht.



Figuur 7.6: Gevoeligheid verminderde weerstand leemlaag voor potentiële grondwateroverlast tijdens hoogwater (T=25)



Figuur 7.7: Gevoeligheid gaten in leemlaag voor potentiële grondwateroverlast tijdens hoogwater (T=25)

Uit de figuren en de tabel blijkt dat, in relatieve zin, er een geringe uitbreiding van het areaal met potentiële grondwateroverlast ontstaat. De overige aspecten zoals verandering afvoer en wegzijging blijken eveneens weinig te veranderen. Dit betekent dat de weerstand van de leemlaag (binnen de onderzochte bandbreedte) een relatief weinig gevoelige parameter is voor het optreden van potentiële grondwateroverlast.

Dit betekent overigens niet dat het niet belangrijk is dat de leemlaag aanwezig is omdat de leemlaag de begrenzing vormt voor de onderzijde van het eerste watervoerend pakket. Het is immers belangrijk dat het watervoerend pakket door het waterkerend scherm wordt afgesloten (zie paragraaf 7.3).

8 RISICOBEHEERSENDE MAATREGELEN

In de eerste 6 hoofdstukken zijn de effecten van de dijkteruglegging op de geohydrologie bepaald. Daaruit is gebleken dat ten gevolge van het aanbrengen van een waterkerend scherm de situatie niet verslechtert t.o.v. de huidige situatie inclusief de autonome ontwikkeling.

Uit bovenstaande blijkt dat er geen aanvullende maatregelen nodig zijn om verslechtering van de kwelproblematiek te voorkomen. Omdat uit de uitgevoerde risicoanalyse (hoofdstuk 7) blijkt dat er altijd risico's resteren, worden in dit hoofdstuk mogelijke risicobeheersende maatregelen beschreven. Deze maatregelen kunnen worden overwogen indien en wanneer uit de monitoring blijkt dat het aangelegde systeem onvoldoende effect heeft op de grondwaterstand (zgn. aanvullende maatregelen).

8.1 Monitoring en analyse risico's en risicobeheersende aanvullende maatregelen

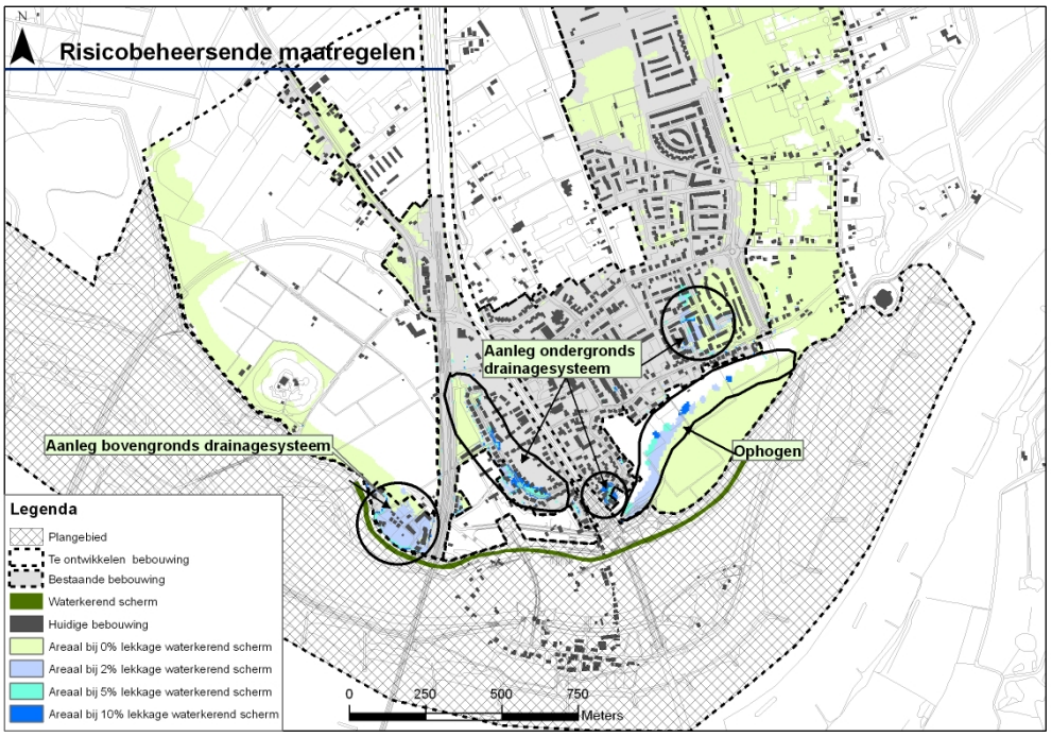
Monitoring
Het grondwatermodel dat is ingezet voor deze studie is getoetst aan gemeten waarden van grondwaterstanden en stijghoogten in de beschikbare peilbuizen in het gebied (zie figuur 3.6). Ook voor de toekomst, met alle geplande ontwikkelingen, is het belangrijk dat het grondwatersysteem goed gemonitord wordt. Hiervoor wordt een monitoringsplan opgesteld. Het doel van de monitoring van het grondwatersysteem is tweeledig:

1. te toetsen of de beoogde effecten (zowel autonome ontwikkeling als dijkteruglegging) ook in werkelijkheid gaan optreden. Speciale aandacht gaat hierbij uit naar de werking en effectiviteit van het waterkerend scherm;
2. het inzicht in de werking van het hydrologisch systeem te verbeteren zodat de uitwerking / bijsturing van mogelijk te treffen maatregelen verbeterd kan worden.

Aan de hand van de meetresultaten en de analyse daarvan zal regelmatig beoordeeld worden of de getroffen maatregelen voldoende effectief zijn of dat er nog aanvullende maatregelen moeten worden ingezet.

Analyse risico's
Uit de resultaten van de risicoanalyse blijkt dat vooral bij een eventuele lekkage van het waterkerend scherm het areaal met potentiële wateroverlast relatief snel groter wordt ten opzichte van de autonome situatie. De gevoeligheid van het watersysteem voor een verminderde weerstand van de leemlaag en / of gaten in de leemlaag blijkt veel geringer. Daarom zijn de resultaten van de risicoanalyse over de gevoeligheid van het watersysteem voor lekkage van het waterkerend scherm als basis gebruikt voor de uitwerking van aanvullende maatregelen.

In figuur 8.1 is een overzicht gegeven van de uitbreiding van de gebieden met potentiële grondwateroverlast als gevolg van lekkage (diffuus) van het waterkerend scherm.



Figuur 8.1: Uitbreiding areaal potentiële grondwateroverlast als gevolg van lekkage waterkerend VKV, tijdens hoogwater (T=25) en risicobeheersende maatregelen

In de figuur zijn tevens risicobeheersende aanvullende maatregelen voorgesteld als gevolg van mogelijke lekkage van het waterkerend scherm. De inzet van deze maatregelen zal worden gebaseerd op de analyse van monitoringresultaten van het grondwatermeetnet.

Er zijn 3 typen risicobeheersende maatregelen mogelijk:
1. Aanleg bovengronds drainagesysteem (slotensysteem);
2. Aanleg ondergronds drainagesysteem (drainagebuizen);
3. Ophogen maaiveld.

De inzet van deze risicobeheersende maatregelen is afhankelijk van de mate van lekkage. De eerste twee maatregelen hebben betrekking op het bestaand bebouwd gebied. Hier is het immers vanwege de bebouwing niet mogelijk om het maaiveldniveau op te hogen. In de te ontwikkelen gebieden bestaat wel die mogelijkheid.

Voor het gebied direct ten westen van het spoor, direct achter de dijk, wordt een bovengronds drainagesysteem voorgesteld als aanvullende maatregel, waarbij het grondwater wordt afgevangen in een sloot direct achter de dijk. Indien voor de sloot geen ruimte kan worden gevonden, kan een ondergronds systeem worden overwogen.

Voor de andere bebouwde gebieden wordt, gelet op het ruimtebeslag een ondergronds drainagesysteem voorgesteld ter plaatse van het openbare profiel. Geadviseerd wordt om vooruitlopend op de resultaten van de monitoring in bestaand bebouwd gebied rekening te houden met de aanleg van de drainagesystemen en hiervoor de noodzakelijke voorbereidingen te treffen (ontwerp opstellen). Een eventuele (geringe) lekkage van het waterkerend scherm kan immers niet worden uitgesloten. De inzet van verschillende typen drainagesystemen (al of niet bemalen) is voldoende voor het oplossen van de potentiële grondwateroverlast ter plaatse van de bestaande bebouwing bij elke berekende mogelijke lekkage van het waterkerend scherm.

Voor de nog te ontwikkelen gebieden (de Stelt) wordt geadviseerd rekening te houden met ophoging en deze af te stemmen op de berekende grondwaterstanden tijdens de hoogwatersituaties en de mogelijke lekkage van het scherm. Hiervoor zijn dan geen aanvullende maatregelen noodzakelijk.

8.2 Uitwerking en toelichting risicobeheersende maatregelen

In tabel 8.1 is een overzicht opgenomen van de toename van het areaal met potentiële grondwateroverlast bij verschillende percentages lek van het waterkerend scherm onderverdeeld naar zone 1 (te ontwikkelen gebied) en zone 2 (bestaande bebouwing).

Tabel 8.1: Uitwerking risicobeheersende maatregelen

	Areaal pot. grondwateroverlast [ha]	**Toename areaal zone 1 [ha] (te ontwikkelen gebied)***	**Toename areaal zone 2 [ha] (bestaande bebouwing)***
Huidige situatie (maaiveld 2010)	*205*	*nvt*	*nvt*
Autonome situatie	*100,5*	*nvt*	*nvt*
VKV 0% lekkage	98,9	-	-
VKV 2% lekkage	103,5	1,5	3,1
VKV 5% lekkage	105,0	0,4	1,1
VKV 10% lekkage	105,9	0,2	0,7

*: toename areaal is niet cumulatief

Uit het overzicht blijkt dat al bij 2% lekkage er direct een relatief grote toename is van het areaal. Bij 5 en 10% lekkage is de toename relatief geringer.

Aan de hand van de berekende arealen is in tabel 8.2 aangegeven bij welke percentages lek de voorgestelde maatregelen van toepassing zijn.

Tabel 8.2: Uitwerking risicobeheersende maatregelen

	1. Bovengrondse drainage	**2. Ondergrondse drainage**	**3. Ophogen maaiveld**
0% lekkage	-	-	-
2% lekkage	2,5 ha	0,6 ha	1,5 ha
5% lekkage	0,1 ha	1,0 ha	0,4 ha
10% lekkage	0,0 ha	0,7 ha	0,2 ha

1. Bovengrondse drainage
Bij eventuele lekkage van het waterkerend scherm ontstaat voor een areaal van ca 2,5 ha potentiële grondwateroverlast. Het bovengronds drainagesysteem wordt voorgesteld in de zone direct achter de dijk ten westen van het spoor.

Het bovengronds drainagesysteem bestaat uit een watergang direct achter de dijk en een watergang door het gebied die de afvoer verzorgt naar de Singel. De watergang wordt peilgestuurd zodanig dat de eventuele extra toestromende hoeveelheid water als gevolg van lekkage afgevoerd wordt om te zorgen dat de ontwateringsdiepte niet minder wordt dan 0,5 m. Gelet op het maaiveldniveau in het gebied (gemiddeld ca NAP +10,5 m) en het streefpeil in het gebied (NAP +7,9 m) is het mogelijk dat het water onder vrij verval naar de Singel afgevoerd kan worden.

Bij een hoger percentage lek neemt het areaal met potentiële grondwateroverlast nauwelijks toe en zijn er geen aanvullende maatregelen vereist.

2. Ondergrondse drainage
Het ondergrondse drainagesysteem wordt als aanvullende maatregel voorgesteld binnen de bestaande bebouwde kern van Lent (zie figuur 9.1). Hiervoor wordt het ontwerp van een samengesteld drainagesysteem ingezet waarbij het systeem ter plaatse van het openbare profiel wordt toegepast in het zandcunet. Het stelsel wordt aangelegd in alle wegen binnen het aangewezen gebied. Het samengestelde systeem betekent dat alle buizen worden aangesloten op de hoofddrain, welke in verbinding staat met open water. Dit kan een werkende drain zijn, maar kan ook het HWA-riool zijn. De drains worden gekoppeld op een put, zodat controle en doorspuiten mogelijk is.

Het areaal omvat 0,6 ha bij 2% lekkage en neemt geleidelijk toe tot 2,3 ha bij 10 % lekkage. Door in het openbare gebied een drainage systeem aan te leggen wat peilgestuurd is kan de grondwaterstand worden beheerst. Door het drainagesysteem te dimensioneren op een lekkage van 10 % ontstaat er een robuust systeem wat voldoende capaciteit en levensduur heeft.

3. Ophogen maaiveld
Om potentiële grondwateroverlast tegen te gaan ten tijde van een hoogwatergolf ligt voor de nog te ontwikkelen gebieden het aanvullend ophogen van het maaiveldniveau voor de hand. Het areaal omvat 1,5 ha bij 2% lekkage en neemt geleidelijk toe tot 1,9 ha bij 10 % lekkage. Voor de aanvullende ophoging is, uitgaande van een maximale ontwateringsdiepte van 0,5 m ten tijde van een hoogwatergolf (T=25) een ophoging van 0,3 m vereist.

Bijlage 1
Opbouw grondwatermodel

Opbouw grondwatermodel modelbeschrijving
Voor de berekeningen van de hydrologische effecten in dit MER is gebruik gemaakt van het softwarepakket TRIWACO®[5]. Er is gerekend met een eindige elementen netwerk.

Waalsprongmodel als basis
Als basis voor het model is gebruik gemaakt van het model dat is opgezet voor de MER dijkteruglegging 2004. Dit model is gebaseerd op het hydrologische model gemaakt voor de MER Waalsprong 2003.

De belangrijkste aanpassing ten opzichte van de oorspronkelijke modellen is de aanpassing van de laagopbouw. De laagopbouw is opnieuw samengesteld met gegevens uit REGIS 2 (TNO, 2003) aangevuld met boringen en sonderingen die in het aandachtsgebied zijn uitgevoerd.

Het rekennetwerk en modelrand
Om voldoende nauwkeurige resultaten te berekenen in het gebied waar de effecten van het project Dijkteruglegging Lent worden verwacht, is het netwerk van sterk verfijnd. De resolutie van het netwerk is plaatselijk rond de Singel en het voorgenomen waterkerend scherm verdicht tot 10 m en neemt geleidelijk af naar de randen van het model.

Op de randen van het model is een vaste stijghoogte of grondwaterstand aangehouden die bepaald is op basis van gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. Op de rand ter plaatse van de Waal is voor modellaag 1 t/m 4 de Waalstand als vaste randvoorwaarde opgegeven. Voor de diepere modellagen is een vaste flux opgegeven. Deze flux is met een voorafgaande stationaire berekening bepaald. Hierdoor kan de stijghoogte op de rand ook in de diepere pakketten, wel door de weerstand van de erboven gelegen scheidende lagen gedempt, meebewegen met de Waalstand.

Geohydrologische schematisatie en modelparameters
Het grondwatermodel is opgebouwd uit 6 watervoerende modellagen (WVL) en 5 scheidende lagen (SDL). In tabel B1.1 is de parameterisatie per modellaag samengevat.

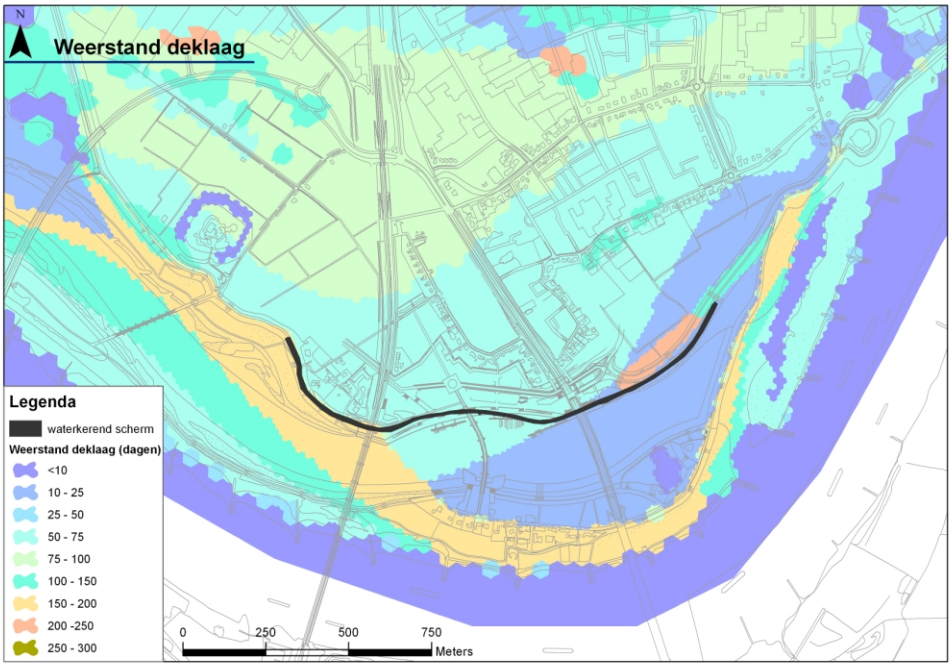
De ruimtelijke verbreiding van belangrijke geohydrologische parameters zijn opgenomen in figuur B1.1 tot en met B1.4. Dit betreft de weerstand van de deklaag (B1.1), het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket (laag 1, B1.2), het doorlaatvermogen van laag 1b (B1.3) en het doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket (laag 2, B1.4).

[5] Zie www.triwaco.nl voor meer informatie

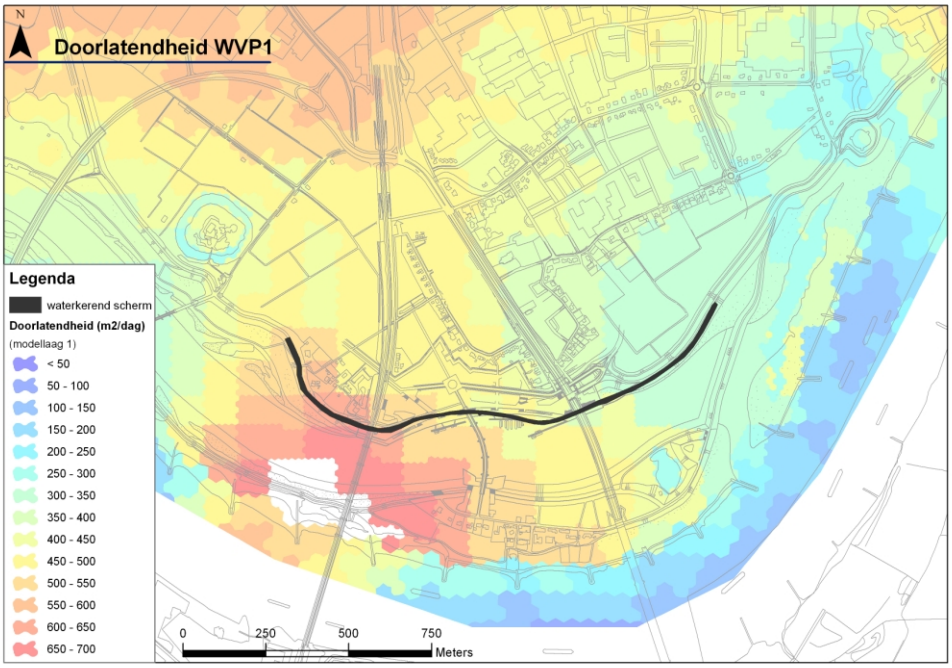
Tabel B1.1: Geohydrologische parameterisatie

Geohydrologie	Formatie	Dikte	doorlatendheid (k), doorlaatvermogen (kD) of weerstand (c)
Deklaag	Betuwe Formatie	0.5-6 m	k = 0-2 m/dag; c = 0-250 dagen
Watervoerend pakket (1)	Formatie Kreftenheye / Drenthe	10-20 m	kD = 10- 1700 m^2/dag
Leemlaag (1a)	Gestuwde afzettingen Formatie van Drenthe	0-20 m	c = 10 – 1100 dagen
Watervoerend pakket (1b)	Veghel/Sterksel	2-10 m	kD = 4-600 m^2/dag
1e Scheidende laag	Waalre	0-5 m	c = 0 - 200 dagen
Watervoerend pakket (2)	Waalre	10-45 m	kD = 50-600 m^2/dag
2e Scheidende laag	Waalre	2-50 m	c = 200-5000 dagen
Watervoerend pakket (3)	Maassluis	30-60 m	KD = 600-1200 m^2/dag
Basis	Formatie van Breda		

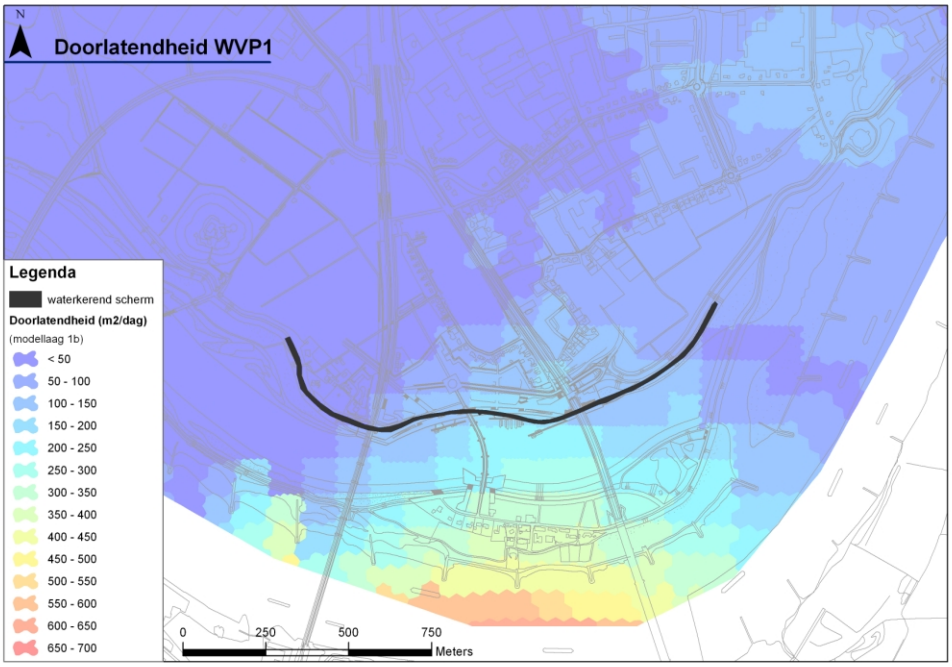
De weerstand van de deklaag is gebaseerd op de Zandbanenkaart (zie figuur 2.4) waarbij een weerstand van 50 dagen per meter klei is gehanteerd.



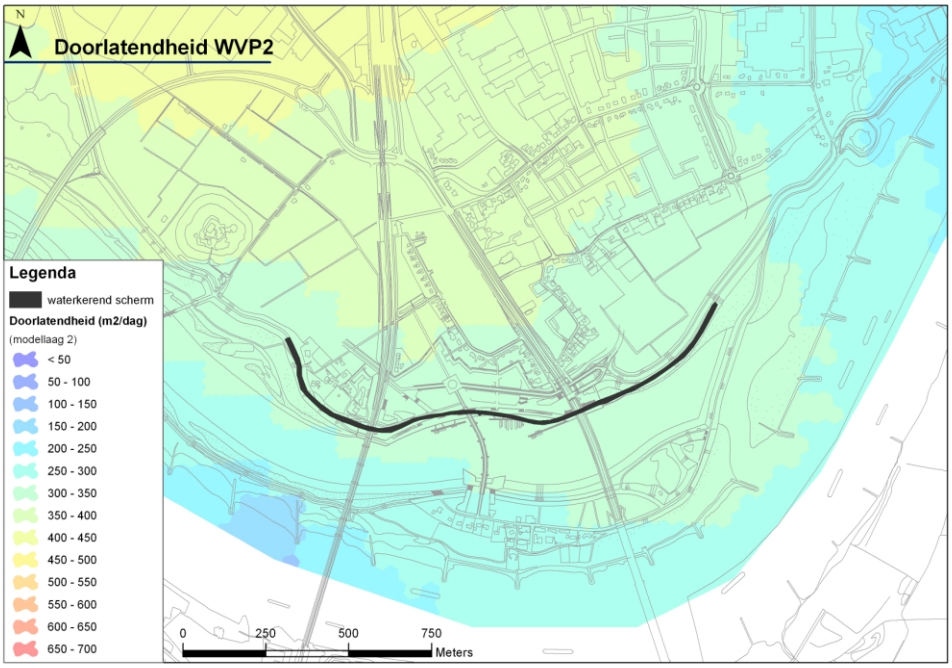
Figuur B1.1: Weerstand deklaag [dag]



Figuur B1.2: Doorlaatvermogen eerste watervoerend pakket, laag 1 [m^2/dag]



Figuur B1.3: Doorlaatvermogen eerste watervoerend pakket, laag 1b [m^2/dag]



Figuur B1.4: Doorlaatvermogen tweede watervoerend pakket, laag 2 [m^2/dag]

Interactie grond- oppervlaktewater

Lent maakt onderdeel uit van het afwateringsgebied Over-Betuwe. Dit afwateringsgebied watert af op de Linge. In het gebied kunnen twee deelgebieden worden onderscheiden met aparte streefpeilen. De scheiding tussen deze gebieden wordt gevormd door de Prins Mauritssingel.

Momenteel is het streefpeil in het gebied ten oosten van de Prins Mauritssingel NAP +8,20 m en ten westen NAP +7,90 m. In de zomerperiode worden deze streefpeilen momenteel vaak niet gehaald, mede door een beperkte wateraanvoercapaciteit en zakt het peil met de grondwaterstand. Daarom is in het model gerekend met een zomerpeil dat 35 cm lager ligt dan het streefpeil.

De interactie tussen het grond- en oppervlaktewater wordt in een grondwatermodel middels randvoorwaarden in de vorm van topsystemen beschreven. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in lijnelementen en zogenaamde vlakparameters. Bij de inzet van vlakparameters wordt niet zozeer de exacte ligging van de waterlopen gebruikt maar wordt de werking van het oppervlaktewatersysteem versmeerd over het betreffende gebied. De volgende waterlopen en afwateringsmiddelen worden onderscheiden:

- Waal (vlakparameter);
- hoofd- en secundaire waterlopen (lijnen);
- drainage over maaiveld (vlakparameter);
- drainage nieuwbouwwijken (vlakparameter).

Waterhuishouding hydrologische situatie periode 1990-2009
In figuur B1.5 zijn de verschillende waterlopen in het model voor de hydrologische situatie over de periode 1990-2009 situatie weergegeven. Hierbij worden op basis van waterhuishoudkundige informatie van Waterschap Rivierenland twee soorten waterlopen onderscheiden, hoofdwaterlopen (primair systeem) en secundaire waterlopen (secundair systeem).

Figuur B1.5: Waterlopen in het model hydrologische situatie periode 1990-2009 (blauw: hoofdwaterlopen, rood: secundaire waterlopen)

In natte perioden hebben de waterlopen vooral een drainerende functie. In drogere perioden kunnen de waterlopen droog vallen en is wateraanvoer van toepassing. Tijdens deze omstandigheden is er sprake van infiltratie vanuit de waterlopen naar het grondwatersysteem. Alleen voor de hoofdwaterlopen is deze potentiële infiltratie actief omdat de wateraanvoer hoofdzakelijk via dit systeem verloopt. De infiltratie vanuit de waterlopen is daarnaast alleen mogelijk als het oppervlaktewaterpeil in het systeem hoger is dan het bodemniveau. De secundaire waterlopen zijn kleiner en werken vooral drainerend. Op basis van ervaringswaarden is een inschatting gemaakt van de drainage- en infiltratieweerstand van de waterlopen. In tabel B1.2 zijn de waarden voor weergegeven.

Tabel B1.2: drainage/infiltratieweerstand waterlopen: hydrologische situatie periode 1990-2009

Type	Drainageweerstand [d]	Infiltratieweerstand [d]
hoofdwatergang	2	4
Secundaire watergang	5	10
Singel	Nvt	Nvt
Singel beleemd	Nvt	Nvt

Waterhuishouding autonome situatie
Als gevolg van de ontwikkeling van de Waalspong wordt het oppervlaktewatersysteem opnieuw ingericht. In figuur 4.1 van het hoofdrapport is het nieuwe watersysteem van de Waalsprong weergegeven. Ten noorden van Lent is conform het Voorkeursmodel van de Waalsprong een waterplas gepland. Deze plas dient als buffer voor het uit de Waalsprong afgevoerde water. Hiermee wordt tevens de mogelijkheid van wateraanvoer gecreëerd zodat het streefpeil ook in de zomer gehaald kan worden.

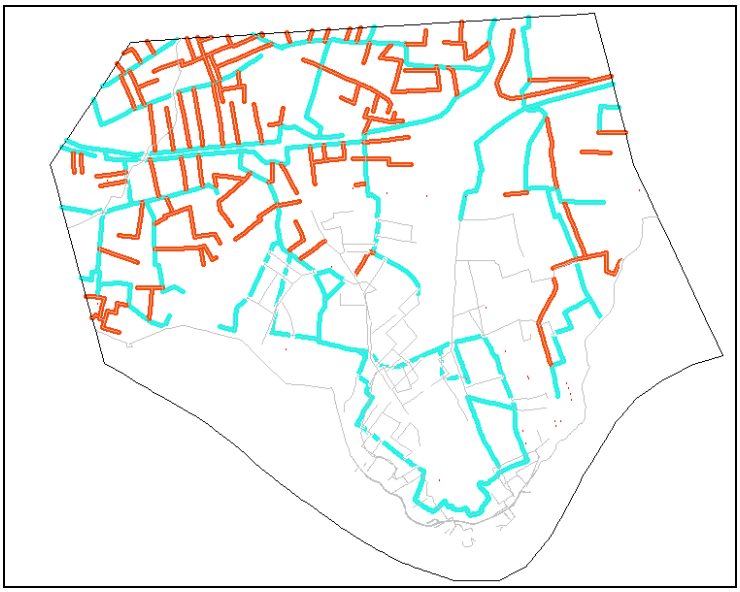
In de autonome situatie wordt het streefpeil voor het gehele gebied NAP +7,9 m. In tegenstelling tot de hydrologische situatie over de periode 1990-2009 is de aanvoercapaciteit in de autonome situatie wel voldoende. In droge perioden mag het waterpeil zakken tot NAP 7,6 meter en vanaf dit moment wordt het peil gehandhaafd middels wateraanvoer vanuit de plassen.

Een belangrijk aspect van het oppervlaktewatersysteem is de aanleg van de Singel in het zuidelijke deel van het gebied. De Singel wordt ter plaatse van de nieuwbouwwijk Oosterhout en ten oosten van Lent beleemd. De rest van de Singel wordt niet beleemd.

De achtergrond van het belemen van de Singel is dat de wegzijging vanuit de watergang naar het grondwater in droge perioden beperkt blijft en dat de watergang niet droogvalt. In natte perioden dient de watergang echter ook voldoende drainerend te zijn. Daarom wordt de Singel niet over de volledige natte omtrek beleemd (zie figuur 4.2).

Bij grondwaterstanden lager dan NAP + 8.1 meter wordt de drainage en infiltratie van de Singel beperkt door een kleilaag. Bij grondwaterstanden boven de NAP + 8.1 meter zal de Singel goed kunnen draineren, echter voor een beperkt deel van de natte omtrek.

In figuur B1.6 zijn de waterlopen weergegeven die bij de autonome ontwikkeling in het model zijn opgenomen. De kleinere waterlopen ter plaatse van het nieuwe stedelijke gebied zijn vervangen door een vlakdekkend drainagesysteem. Dit is representatief voor de drains die ter plaatse van de wadi’s aangelegd worden. Voor dit systeem is een diepte van 0.8 meter ten opzichte van maaiveld en een drainageweerstand van 500 dagen aangehouden.



Figuur B1.6: Waterlopen in het model autonome situatie(blauw: hoofdsysteem, rood: secundair systeem)

De hoofdwaterlopen hebben ook in de tweede modellaag een drainerende of infiltrerende werking wanneer de dikte van de kleideklaag minder is dan 1,5 meter (de gemiddelde diepte is van de hoofdwatergangen). In tabel B1.3 zijn de waarden voor de drainage en infiltratieweerstanden weergegeven.

Tabel B1.3: drainage/infiltratieweerstand waterlopen: autonome situatie

Type	Drainageweerstand [d]	Infiltratieweerstand [d]
hoofdwatergang	2	4
Secundaire watergang	5	10
Singel	2	4
Singel beleemd	10	100

Waal

Voor de Waal kan voor de interactie met het grondwater onderscheid gemaakt worden tussen het winterbed en het zomerbed. In het zomerbed wordt de weerstand in verband met de permanente stroming (geen vorming sliblaag) zeer beperkt verondersteld. Daarom is het model een drainage- en infiltratieweerstand van 1 dag aangehouden. In het winterbed is er geen sprake van permanente stroming en hier is een weerstand van 5 dagen (zowel drainage als infiltratie) aangehouden.

Maaivelddrainage

Het grondwater dat boven maaiveld komt wordt onderdeel van de afvoer.

Grondwateraanvulling

Periode tot 2000

Voor de periode tot 2000 is de grondwateraanvulling afgeleid van neerslag- en verdampinggegevens (decadecijfers) van het KNMI (zoals gebruikt in het model voor het MER van 2004) . Hierbij is onderscheid gemaakt tussen landelijk en stedelijk gebied . In het landelijk gebied is de grondwateraanvulling gelijk gehouden aan de neerslag min de gewasverdamping voor gras.

In het stedelijk gebied is rekening gehouden met het oppervlak verhard, onverhard, wadi en open water. De grondwateraanvulling in bestaand stedelijk gebied, zoals de woonkern van Lent, is op basis van ervaringscijfers met ongeveer 75% gereduceerd ten opzichte van landelijk gebied. In een woonwijk met wadi's is deze reductie ingeschat op ongeveer 40%.

Periode 2000-2009

Voor de periode 2001 – 2009 is gebruik gemaakt van de onverzadigde-zone module FLUZO om de grondwateraanvulling te bepalen. Deze methode maakt onder meer gebruik van het bodemtype, het landgebruik en de dikte van de onverzadigde zone om de grondwateraanvulling te berekenen. De grondwateraanvulling is berekend op basis van verdampingsgegevens van weerstation Volkel (station 375) en neerslaggegevens van neerslagstation Nijmegen (station 539).

Grondwateronttrekkingen

Er zijn twee grote grondwateronttrekkingen in het studiegebied en een aantal kleinere. In het model zijn alleen de grote onttrekkingen opgenomen:

- de onttrekking van pompstation Lent van Vitens aan de oostkant van het gebied (kaartcoördinaten 189100, 431259) met een debiet van 1,1 mln m^3/jaar; Deze onttrekking is in 2004 stopgezet;
- de onttrekking van Evers in Ressen (kaartcoördinaten 186730, 433548) met een debiet van ca. 350.000 m^3/jaar.

Deze onttrekkingen hebben hun filters het tweede en deels derde watervoerend pakket.

Modelberekeningen

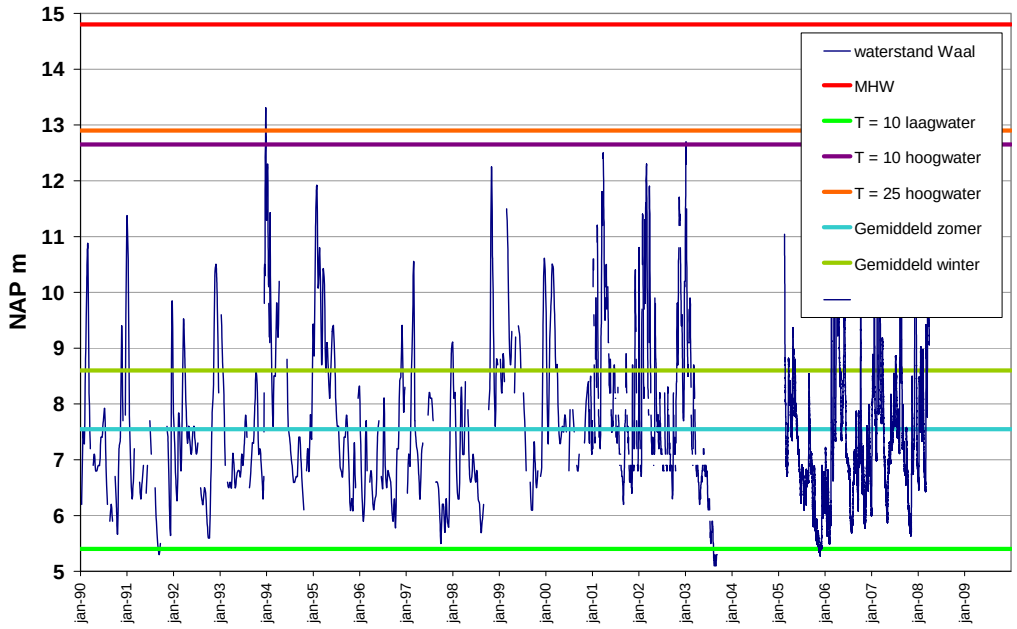
Omdat het watersysteem een sterke dynamiek kent als gevolg van de Waal zijn de hydrologische effecten van de dijkteruglegging voor verschillende (extreme) hydrologische situaties in beeld gebracht:

- een hoogwater met een herhalingstijd van 25 jaar (T=25), zoals de hoogwatergolf van 1993;
- een hoogwater met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar (T=10);
- een gemiddelde wintersituatie (GHG);
- een gemiddelde zomersituatie (GLG);
- een extreem laagwater, zoals in 2003;
- een laagwatersituatie met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar (T=10).

Om deze situaties te simuleren zijn met het model tijdsafhankelijke berekeningen uitgevoerd voor de volgende perioden:

- 1993, met invoer op dagbasis gedurende de hoogwatergolf;
- 1990-2000, met invoer op decadebasis, grondwateraanvulling vereenvoudigd;
- 2000-2009, met invoer op decadebasis, grondwateraanvulling met inzet van FLUZO.

Deze perioden bevatten zowel natte als droge perioden, maar ook extreem natte en droge situaties. Op basis van de berekeningen zijn dan ook de gewenste uitvoersituaties te bepalen. De gemiddelde winter- en zomersituatie zijn bepaald op basis van langjarige tijdsafhankelijke berekeningen over de periode 2000-2009.



Figuur B1.7: Waterstand Waal periode 1990-2009

In figuur B1.7 is het verloop van de Waalstand tussen 1990 en 2009 weergegeven. Hierin zijn ook de waterpeilen weergegeven die bij de verschillende herhalingstijden horen.

Kalibratie

Het grondwatermodel, dat is opgezet voor MER dijkteruglegging 2004, fungeert als basis voor het model van onderhavige studie. Dit model is destijds stationair gekalibreerd. Voor de kalibratie van het geactualiseerde model is gebruik gemaakt van alle beschikbare meetreeksen over de periode 1990-2009.

Er is bij de kalibratie voor gekozen om de tussentijdse wijzigingen in het waterhuishoudkundig systeem van de Waalspong over deze periode niet in het model te verwerken omdat deze wijzigingen geleidelijk plaatsvinden en in hydrologische zin weliswaar relevant zijn maar in absolute zin een gering effect hebben. De wijzigingen zijn voor de autonome situatie wel volledig in beeld gebracht. Het stopzetten van winning Lent in 2004 is eveneens niet tussentijds verwerkt tijdens de kalibratie. Voor de kalibratie betekent dit dat alleen in meetpunt 40CP0086 na 2004 de grondwaterstand circa 0,15 tot 0,2 meter te laag berekend wordt.

De kalibratie van het geactualiseerde model is enerzijds gebaseerd op een vergelijking tussen gemeten en berekende waarden in peilbuizen en anderzijds op een vergelijking tussen luchtfoto's en berekeningsresultaten waarbij gebieden met water op maaiveld zijn te zien in 1993. Op de kaart is te zien dat de plekken met water op maaiveld vooral in een zone achter de dijk voorkomen. Voor de hoogwaterpiek van 1993 wordt met het model in een zone van ongeveer 300 meter achter de dijk water op maaiveld berekend. Dit komt op hoofdlijnen goed overeen met de het beeld van figuur 2.6.

Peilbuizen
Een overzicht van de beschikbare peilbuizen in het gebied is opgenomen in figuur 3.6 en bijlage 2. In het kader van de voorgaande studie zijn rond 2000 en 2005 extra peilbuizen geplaatst. In februari 2009 zijn daarnaast aanvullend 18 peilbuizen geplaatst. De beschikbare meetreeksen van deze nieuw geplaatste peilbuizen zijn kort waarbij geen piekwaterstanden zijn gemeten. De reeksen zijn wel opgenomen in het overzicht.

In bijlage 2 is een overzicht van grafieken opgenomen met de gemeten en berekende waarden per peilbuis.

Stijghoogten eerste watervoerend pakket
Uit het overzicht blijkt dat het grondwatermodel de dynamiek van het stijghoogteverloop in het eerste watervoerende pakket goed benadert. Zowel de reactiesnelheid van de berekende stijghoogten op de Waal als de demping van de Waalinvloed door de afstand tot de rivier komen goed overeen met de metingen. Verschillen tussen berekende en gemeten stijghoogten in het eerste watervoerend pakket lopen uiteen van enkele centimeters tot ongeveer vijfentwintig centimeter. Gelet op de grote dynamiek van het Waalpeil (verschillen tussen hoog en laag peil oplopend tot ongeveer zeven meter) zijn deze verschillen zeer gering.

Grondwaterstanden
Ook voor de grondwaterstanden blijkt dat het model de dynamiek van het hydrologisch systeem goed benadert. De verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden zijn daarbij over het algemeen gering. Bij een aantal peilbuizen zijn er wat bijzonderheden waar te nemen. Zo is bij peilbuis P08 en peilbuis BO_04 te zien dat de berekende grondwaterstand enigszins achterloopt bij de gemeten grondwaterstand. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat deze peilbuizen dicht bij een waterloop liggen en in het model tijdens een hoogwatergolf geen rekening wordt gehouden met de tijdelijke stijging van het oppervlaktewaterpeil als gevolg van de verhoogde hemelwaterafvoer. Daarnaast is in het overzicht te zien dat bij een aantal de filter droogvalt (zie bijvoorbeeld BO_03_03).

Bijlage 2
Vergelijking gemeten en berekende waarden

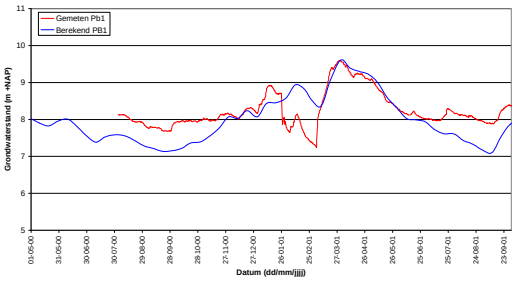
In tabel B2.1 is een overzicht van alle peilbuizen (incl. filterstelling) in het aandachtsgebied opgenomen. Hierin is tevens per filter aangegeven in welke modellaag ze zitten.

Tabel B2.1: Overzicht peilbuizen (zie ook figuur 2.7)

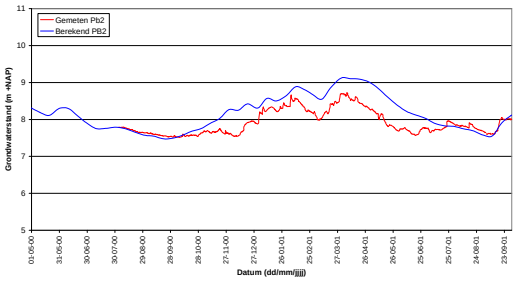
Naam 1	Naam 2	X-coord	Y-coord	Filter	Modellaag	Geïnstalleerd
B01	B01_1	187575	430023	1	5	2005
B01	B01_2			2	3	2005
B02	B02_1	188090	430073	1	5	2005
B02	B02_2			2	3	2005
B02	B02_3			3	2	2005
B03	B03_1	188242	430003	1	5	2005
B03	B03_2			2	3	2005
B03	B03_3			3	1	2005
B04	B04_1	188222	430401	1	5	2005
B04	B04_2			2	3	2005
1A1	1A	186737	430493	1	1	2009
1A2	1A	186737	430493	2	2	2009
1A3	1A	186737	430493	3	3	2009
1B1	1B	186843	430607	1	1	2009
1B2	1B	186843	430607	2	3	2009
1B3	1B	186843	430607	3	3	2009
1C1	1C	186935	430674	1	1	2009
1C2	1C	186935	430674	2	3	2009
1C3	1C	186935	430674	3	3	2009
1D1	1D	187077	430761	1	1	2009
1D2	1D	187077	430761	2	3	2009
1D3	1D	187077	430761	3	3	2009
2A1	2A	186989	430233	1	1	2009
2A2	2A	186989	430233	2	3	2009
2A3	2A	186989	430233	3	3	2009
2B1	2B	187067	430355	1	1	2009
2B2	2B	187067	430355	2	3	2009
2B3	2B	187067	430355	3	3	2009
2C1	2C	187159	430480	1	1	2009
2C2	2C	187159	430480	2	3	2009
2C3	2C	187159	430480	3	3	2009
2D1	2D	187263	430629	1	1	2009
2D2	2D	187263	430629	2	2	2009
2D3	2D	187263	430629	3	3	2009
3A1	3A	187507	429852	1	1	2009
3A2	3A	187507	429852	2	3	2009
3A3	3A	187507	429852	3	3	2009
3B3	3B	187567	430043	1	3	2009
3B11	3B	187567	430043	2	1	2009

Naam 1	Naam 2	X-coord	Y-coord	Filter	Modellaag	Geïnstalleerd
3B13	3B	187567	430043	3	3	2009
3C1	3C	187588	430311	1	1	2009
3C2	3C	187588	430311	2	2	2009
3C3	3C	187588	430311	3	3	2009
3D1	3D	187646	430451	1	1	2009
3D2	3D	187646	430451	2	3	2009
3D3	3D	187646	430451	3	5	2009
4A1	4A	188090	430070	1	1	2009
4A2	4A	188090	430070	2	3	2009
4A3	4A	188090	430070	3	3	2009
4B1	4B	188050	430215	1	1	2009
4B2	4B	188050	430215	2	2	2009
4B3	4B	188050	430215	3	5	2009
4C3	4C	188039	430410	1	3	2009
4C11	4C	188039	430410	2	1	2009
4C13	4C	188039	430410	3	5	2009
4D1	4D	187983	430561	1	1	2009
4D2	4D	187983	430561	2	3	2009
4D3	4D	187983	430561	3	3	2009
5A1	5A	188683	430182	1	1	2009
5A2	5A	188683	430182	2	3	2009
5A3	5A	188683	430182	3	3	2009
5B1	5B	188566	430238	1	1	2009
5B2	5B	188566	430238	2	3	2009
5B3	5B	188566	430238	3	5	2009
B40C0060	40CP0086	188950	430970	1	4	oud
B40C0060	40CP0086	188950	430970	2	5	oud
B40C0060	40CP0086	188950	430970	3	6	oud
B40C0513	40CB0030	187670	430370	1	4	oud
B40C0519	40CP0012	188199	432236	1	2	oud
B40C0521	40CP0015	188403	431765	1	3	oud
B40C0548	40CP0117	188630	431490	1	2	oud
PB1	PB1	185910	431970	1	2	2000
PB2	PB2	186950	431630	1	2	2000
PB3	PB3	186645	431725	1	2	2000
PB4	PB4	188550	432920	1	2	2000
PB5	PB5	188860	431625	1	2	2000
PB6	PB6	187875	431480	1	2	2000
PB7	PB7	187840	430120	1	2	2000
PB8	PB8	188140	430802	1	2	2000
PB9	PB9	187270	430595	1	2	2000

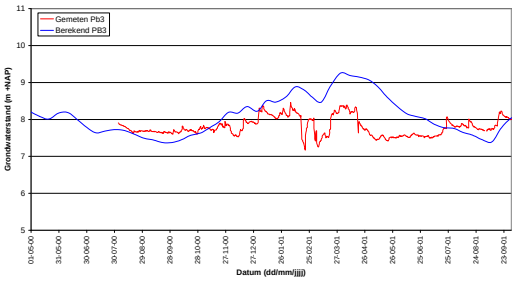
PB1



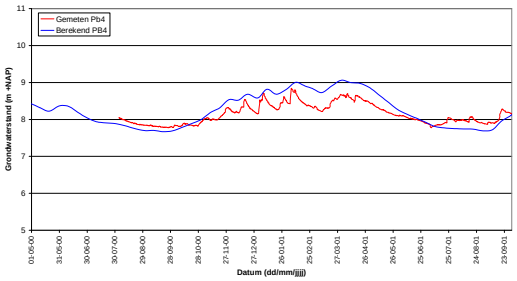
PB2



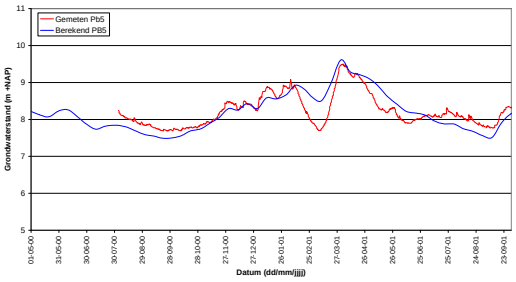
PB3



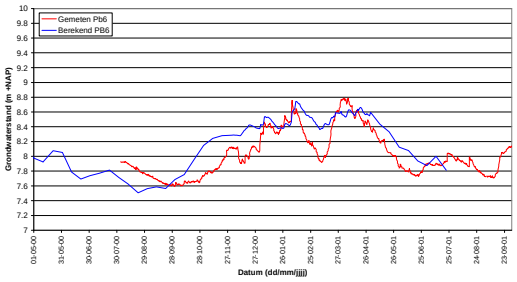
PB4



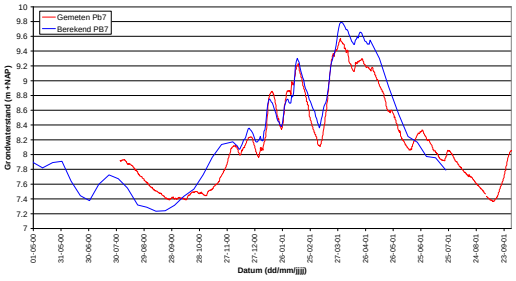
PB5



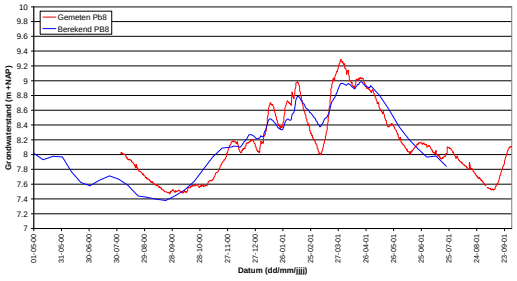
PB6



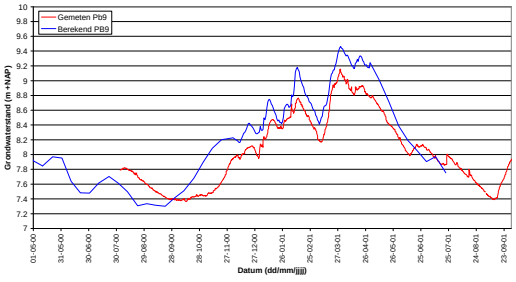
PB7



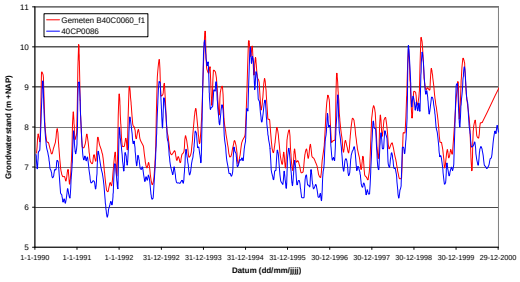
PB8



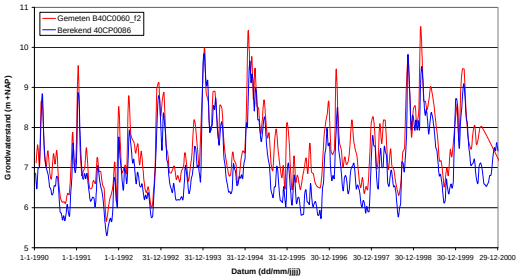
PB9



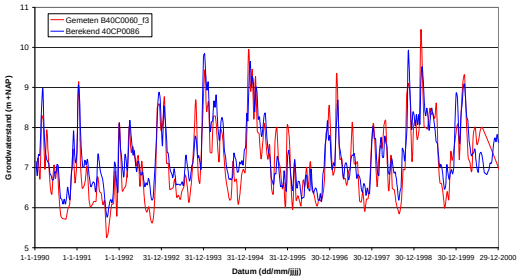
B40C0060/(40CP0086) filter 1



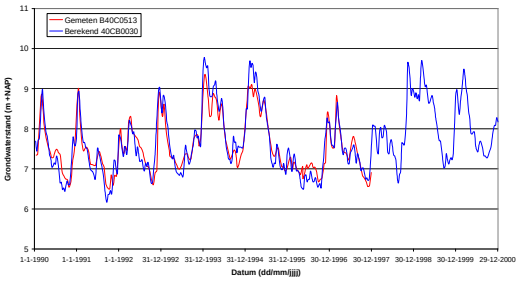
B40C0060/(40CP0086) filter 2



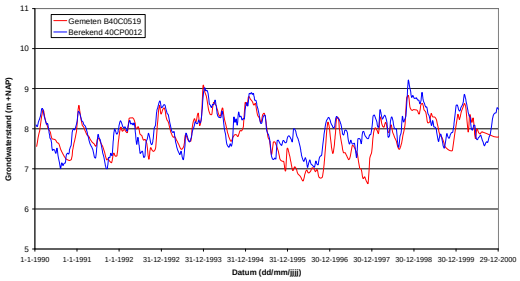
B40C0060/(40CP0086) filter 3



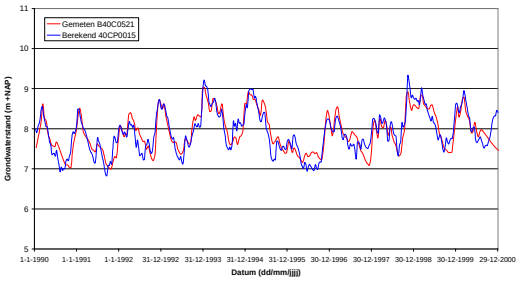
B40C0513/(40CB0030)



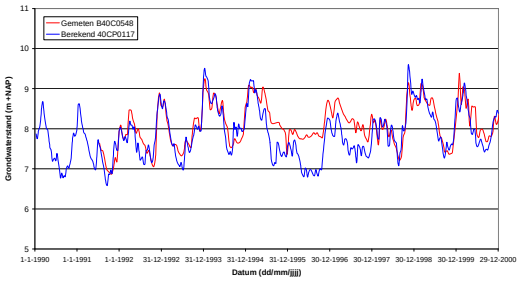
B40C0519/(40CP0012)



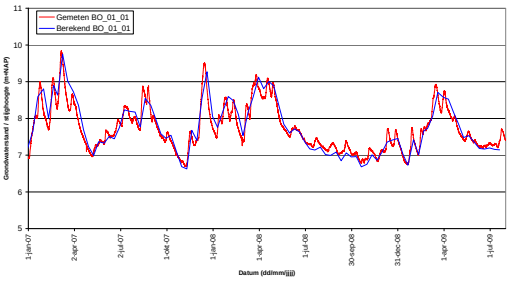
B40C0521/(40CP0015)



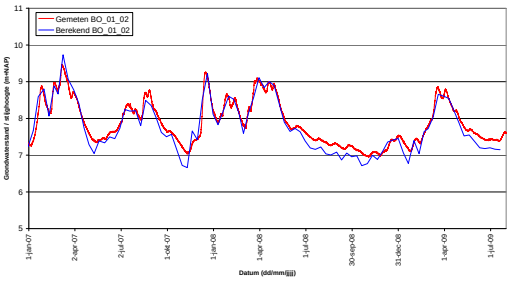
B40C0548/ (40CP0117)



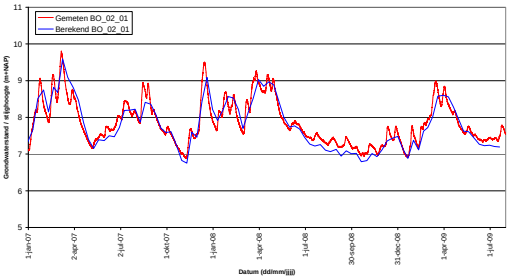
BO_01_01



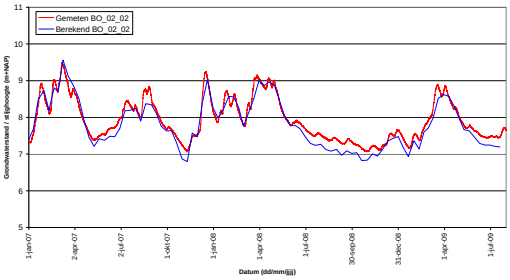
BO_01_02



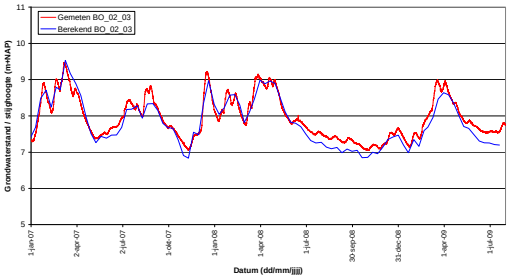
BO_02_01



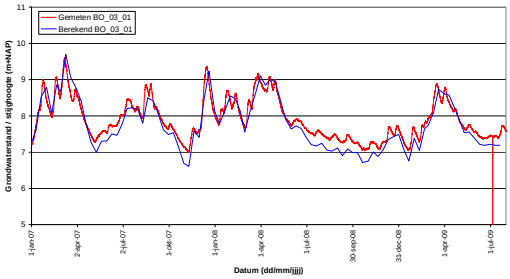
BO_02_02



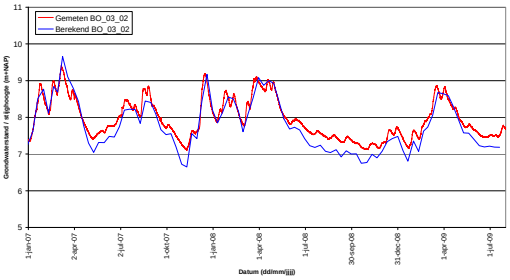
BO_02_03



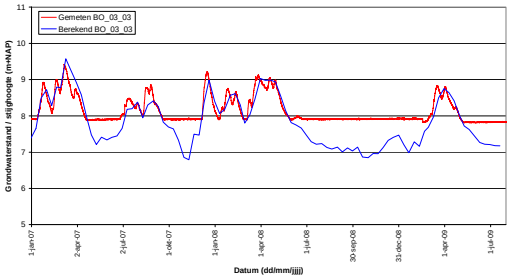
BO_03_01



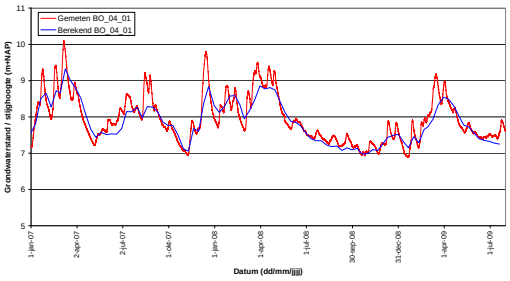
BO_03_02



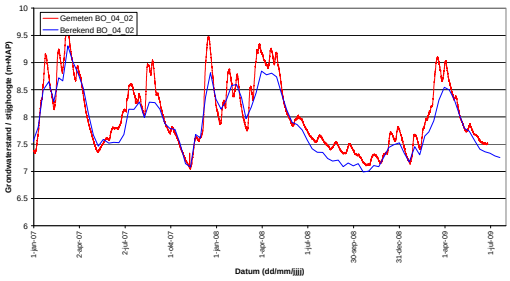
BO_03_03



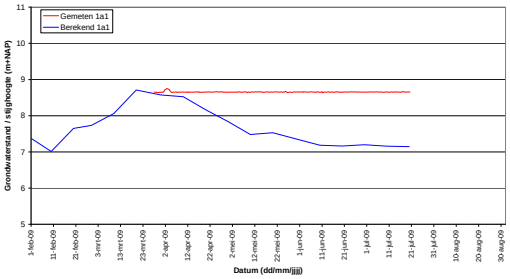
BO_04_01



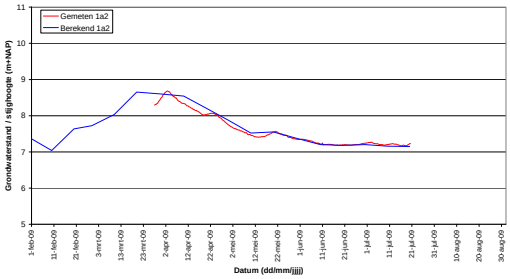
BO_04_02



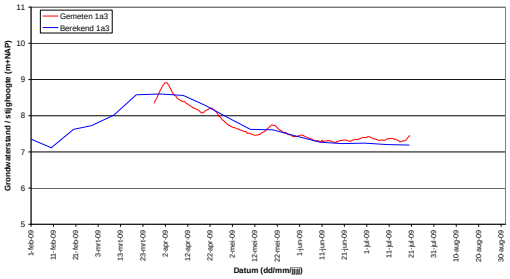
1a1



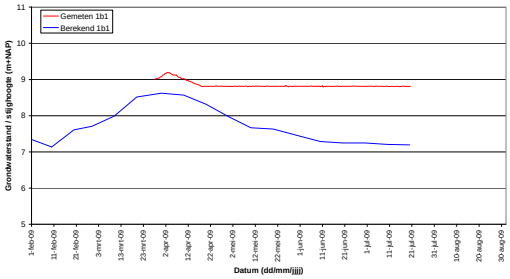
1a2



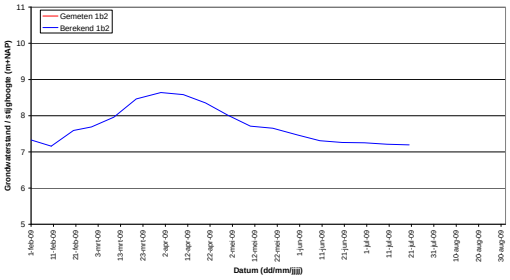
1a3



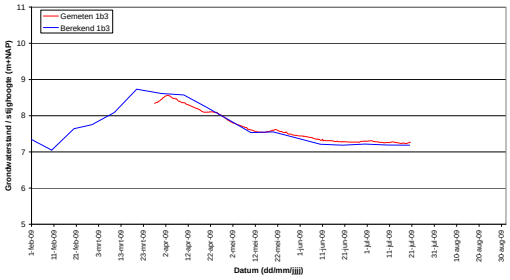
1b1



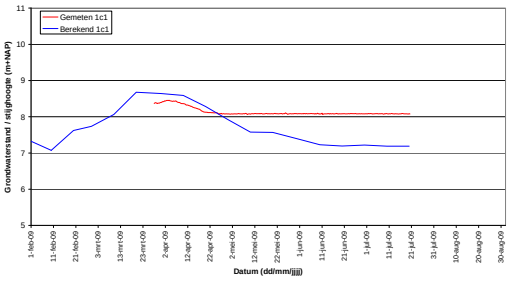
1b2



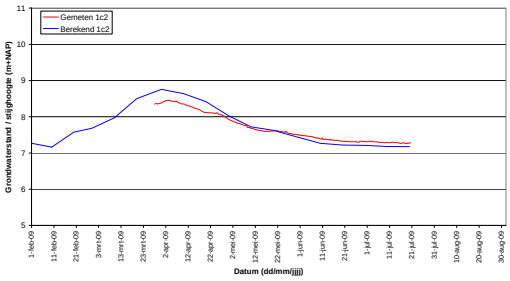
1b3



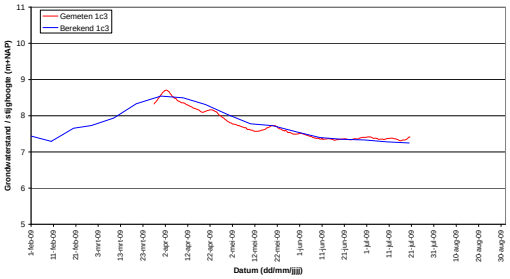
1c1



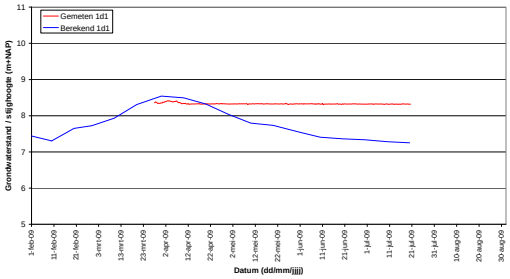
1c2



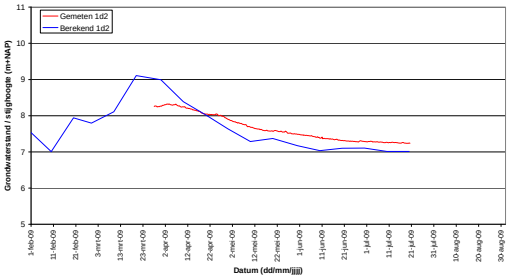
1c3



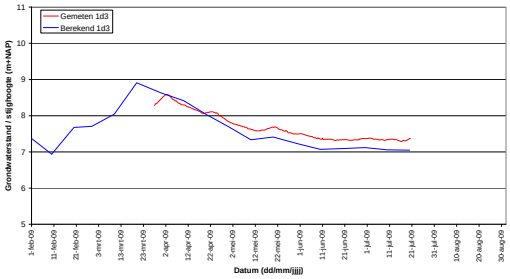
1d1



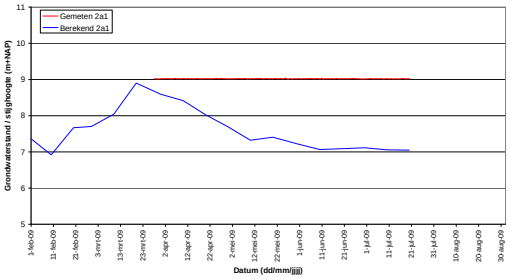
1d2



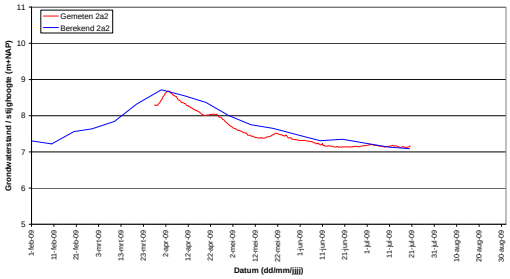
1d3



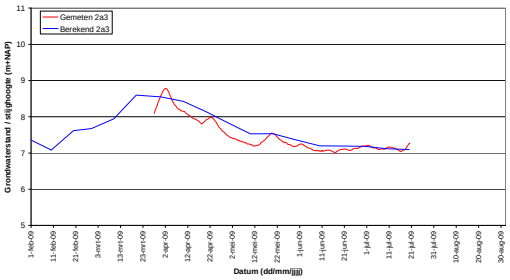
2a1



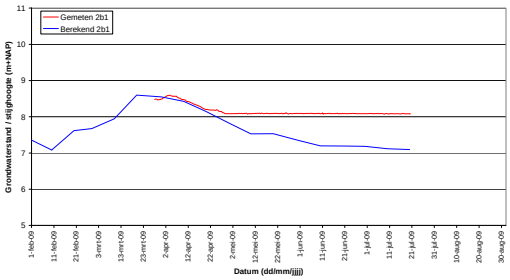
2a2



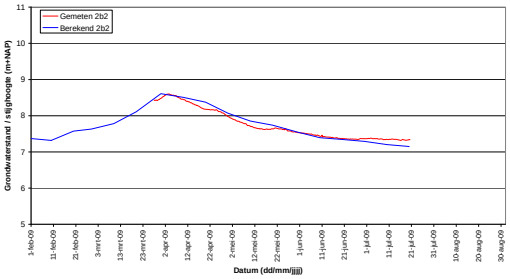
2a3



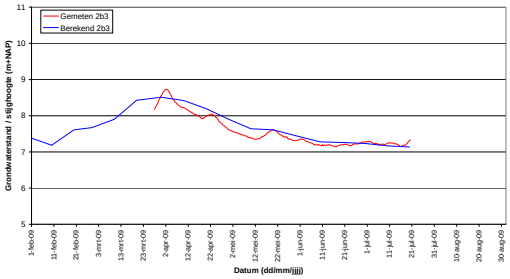
2b1



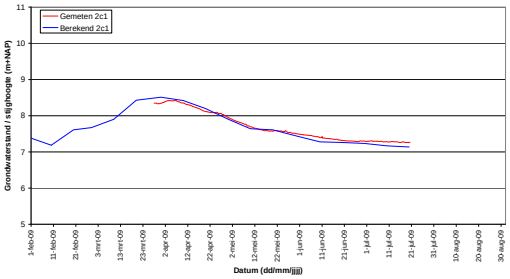
2b2



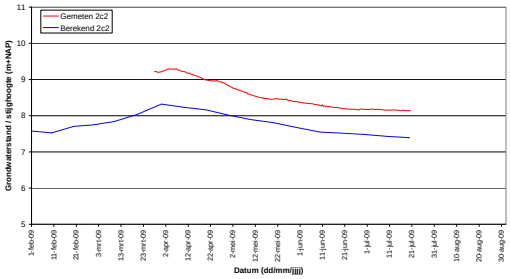
2b3



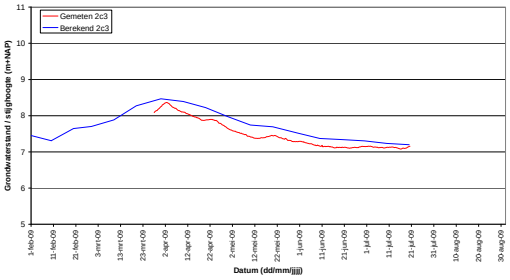
2c1



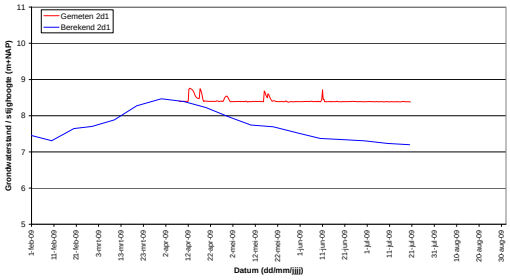
2c2



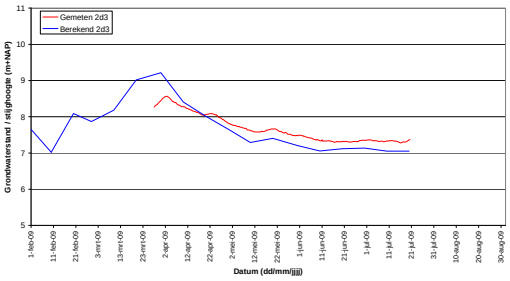
2c3



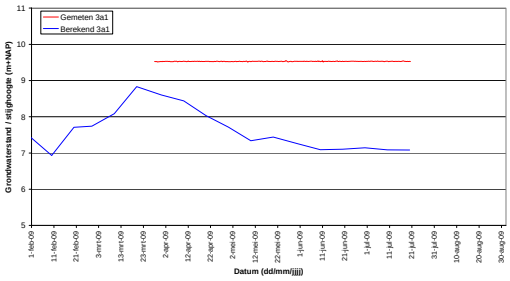
2d1



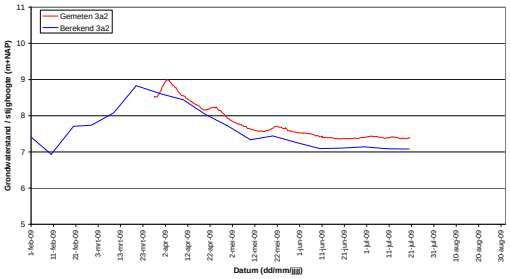
2d3



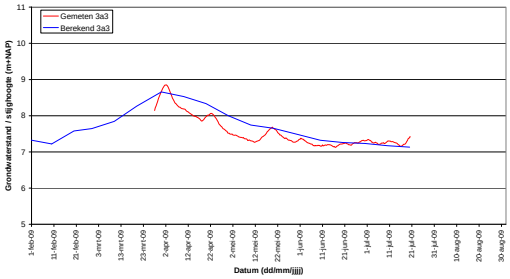
3a1



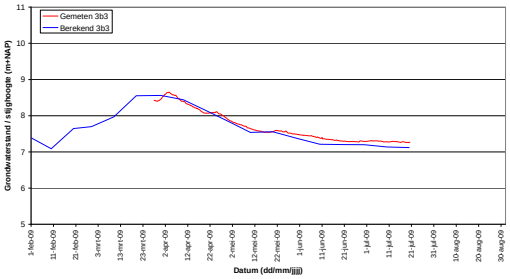
3a2



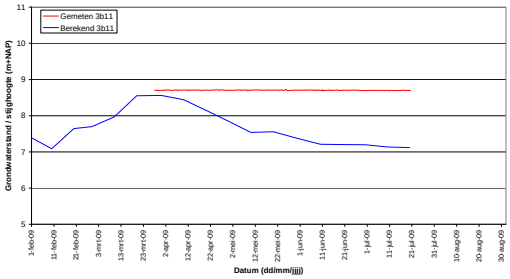
3a3



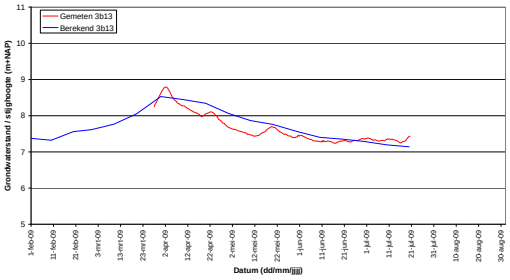
3b3



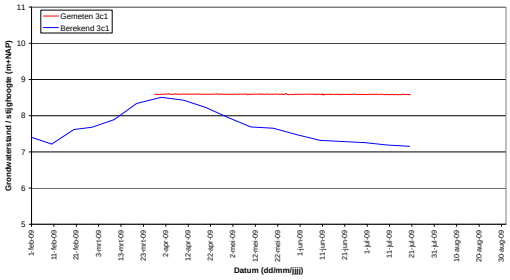
3b11



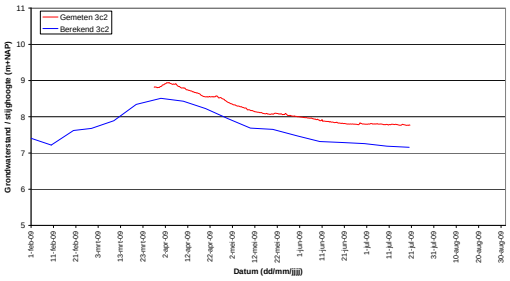
3b13



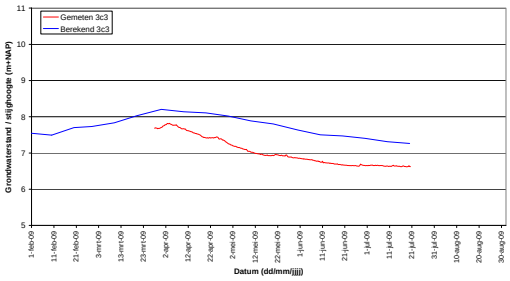
3c1



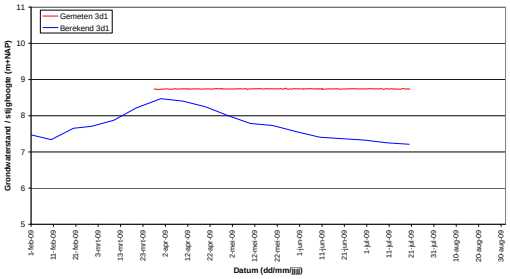
3c2



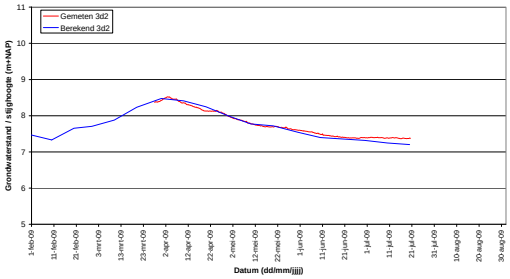
3c3



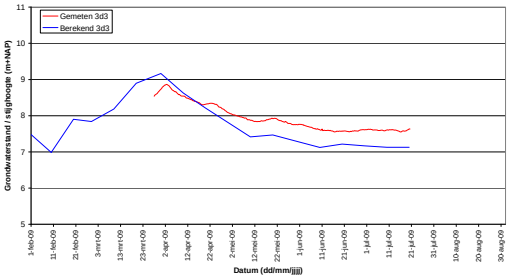
3d1



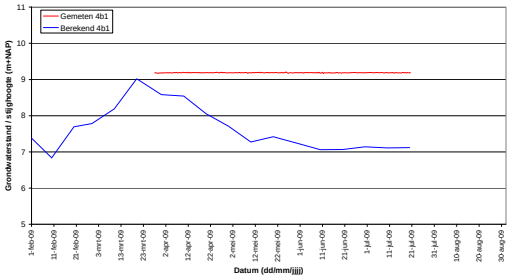
3d2



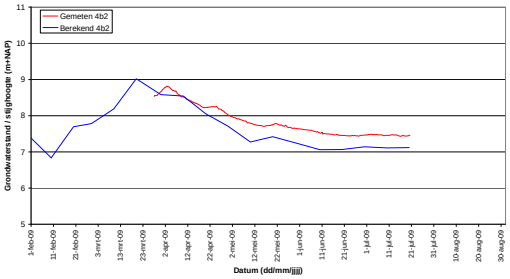
3d3



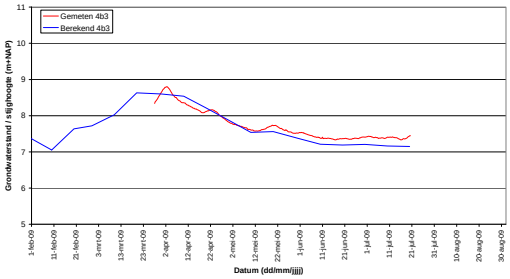
4b1



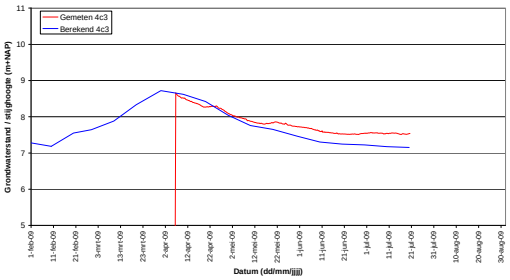
4b2



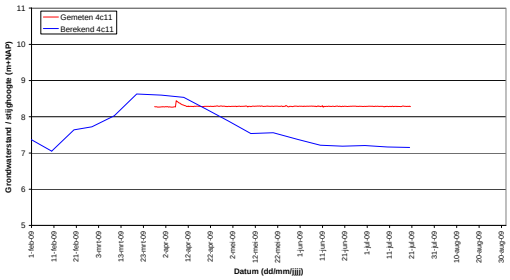
4b3



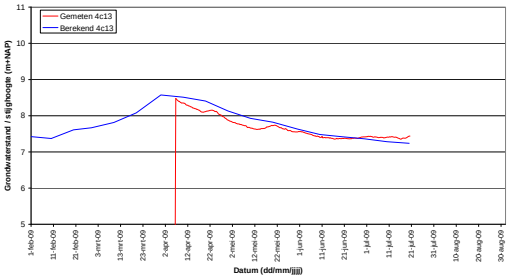
4c3



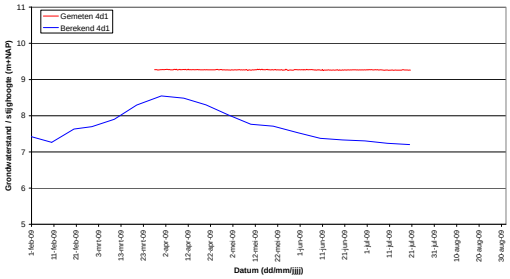
4c11



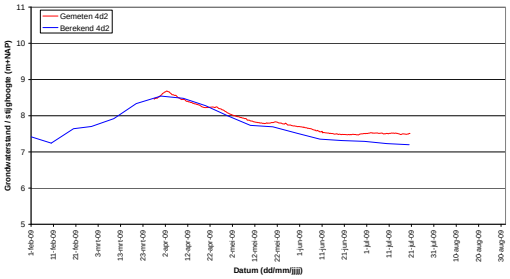
4c13



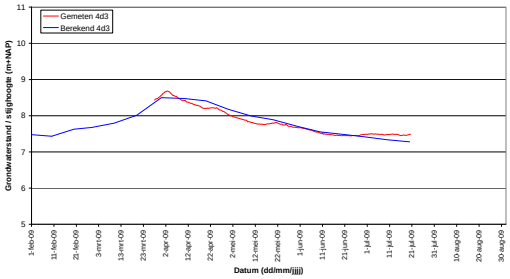
4d1



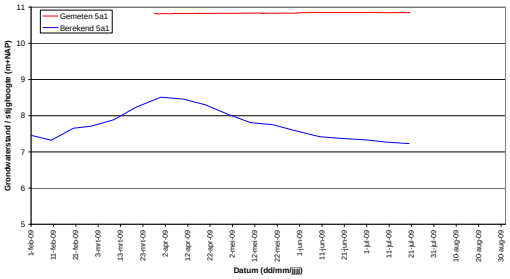
4d2



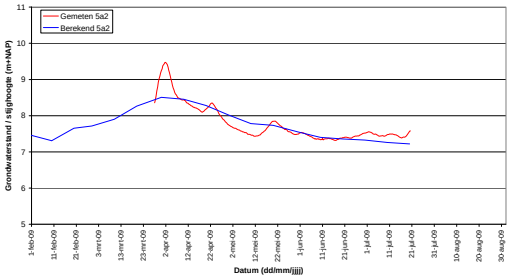
4d3

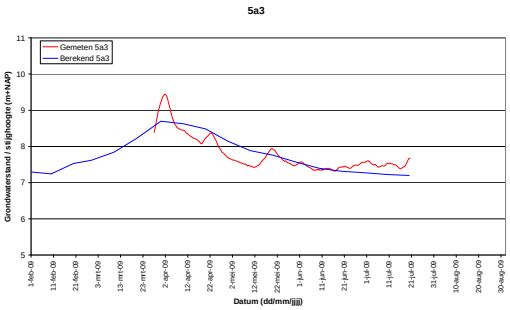


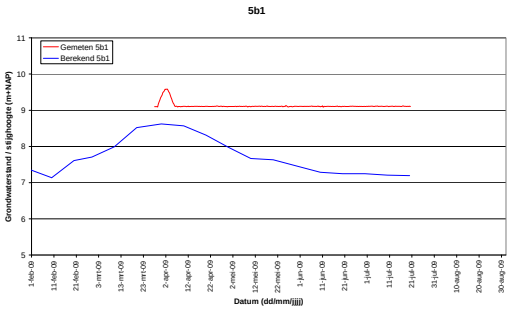
5a1

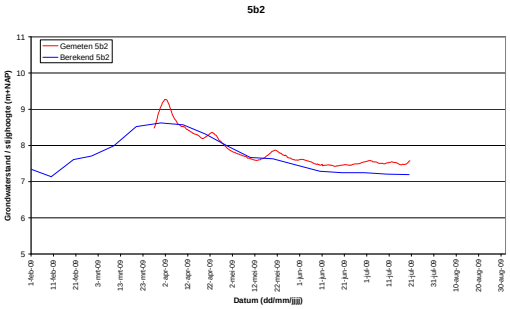


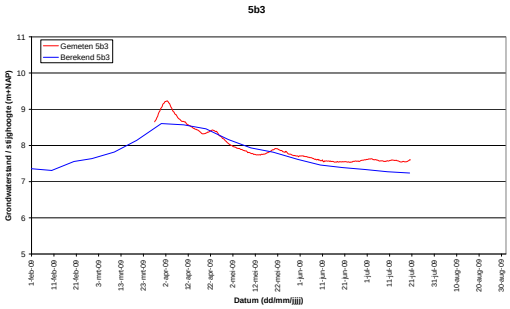
5a2




5a3
Gemeten 5a3
Berekend 5a3
Grondwaterstand / stijghoogte (m+NAP)
Datum (dd/mm/jjjj)


5b1
Gemeten 5b1
Berekend 5b1
Grondwaterstand / stijghoogte (m+NAP)
Datum (dd/mm/jjjj)


5b2
Gemeten 5b2
Berekend 5b2
Grondwaterstand / stijghoogte (m+NAP)
Datum (dd/mm/jjjj)


5b3
Gemeten 5b3
Berekend 5b3
Grondwaterstand / stijghoogte (m+NAP)
Datum (dd/mm/jjjj)

Bijlage 3
Bouwkundige inventarisatie Lent

Aan
Willem van Heeden
Registratienummer / datum
09.0032929 / 3 december 2009
Opgesteld door, telefoonnummer
Antal Zuurman, 2743
Extra afschriften voor
Haskoning: Ben van der Wal & Jasper Jansen
Waterschap Rivierenland: Mark Elzeman
Onderwerp
Bouwkundige inventarisatie Project MER dijkteruglegging Lent
Dit memo rapporteert kort de bouwkundige inventarisatie voor het project MER Dijkteruglegging Lent. Na de achtergrond wordt kort de werkwijze besproken met aansluitend de resultaten. De bij dit memo horende bijlagen zijn:
1. Inventarisatie bebouwing op basis van bouwjaar;
2. Inventarisatie bebouwing op basis van fundering en aanwezigheid kelders;
3. Excellijst met gegevens bouwkundige inventarisatie.

1. Achtergrond

Voor de dijkteruglegging Lent wordt een MER studie uitgevoerd. Onderdeel daarvan in het geohydrologisch bekijken van de maatregelen nodig om geen verslechtering van de grondwatersituatie te krijgen. De hoofdmaatregel is een damwand of diepwand over een bepaalde lengte onder de dijk. Op basis van deze maatregel worden modelmatig grondwaterstanden berekend in (extreme) droge en natte situaties. Deze situaties kunnen effect hebben op de bebouwing als houten paalkoppen droogvallen, kwel kelders zou opdrukken of zetting door inklinking bij lage grondwaterstanden kan optreden. Om het mogelijke gevaar in te schatten is een bouwkundige inventarisatie uitgevoerd van de aanwezigheid van kelders, paalfunderingen en fundering op staal.

2. Methodologie

Uit de het achtergrondrapport Geohydrologie, versie 6.0 d.d. 30 november 2009 bij Projectnota MER Dijkteruglegging Lent, zijn voor de verschillende belastingssituaties grondwaterstanden berekend. Deze zijn middels GIS in plaatjes vertaald. Uit de gegenereerde tekeningen is de invloedszone waarin grondwaterstandveranderingen kunnen plaatsvinden, bepaald. Deze is invloedszone is de afbakening van het gebied waarin de bouwkundige inventarisatie heeft plaatsgevonden.

Binnen het afgebakende gebied zijn de aanwezige gebouwen zoveel mogelijk onderzocht op aanwezigheid van kelders, paalfundering en funderingen op staal. De aanwezige bouwtekeningen in het digitale bouwarchief van Nijmegen zijn opgevraagd en beoordeeld. Het resultaat van het onderzoek is vertaald in twee tekeningen en een tabel. De tekeningen zijn gemaakt voor type fundering/aanwezigheid kelders en voor bouwjaar. Het blijkt dat bij de overdracht van Lent van gemeente Elst naar gemeente Nijmegen niet van alle gebouwen tekeningen beschikbaar waren of overgedragen zijn. In combinatie met funderingsgegevens van de omgeving kan een bouwjaar informatie verschaffen over het aanwezige type fundering. De tekeningen zijn als bijlage 1 en 2 toegevoegd.

In de tabel zijn naast fundering en kelders gegevens opgenomen van de adressen, bouwjaar en andere specifieke opmerkingen. De tabel is als bijlage 3 toegevoegd.

3. Resultaten

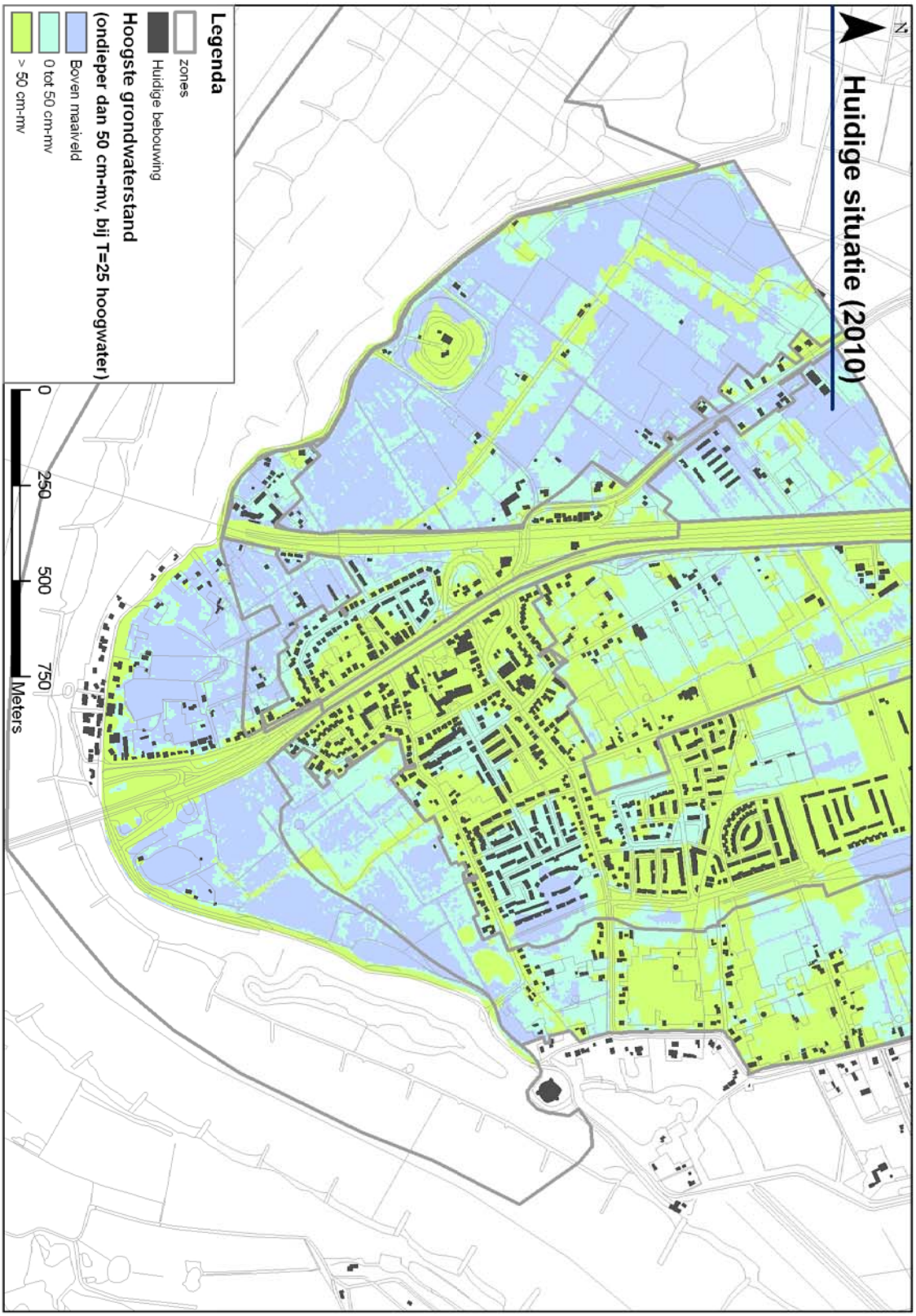
Er zijn 217 gebouwen bekeken. De gebouwen die in het bouwarchief in het geheel niet bekend zijn, zijn in deze optellingen niet meegenomen. Ook kleine bijgebouwen zoals schuurtjes zijn buiten beschouwing gebleven.

De voorlopige conclusies zijn:

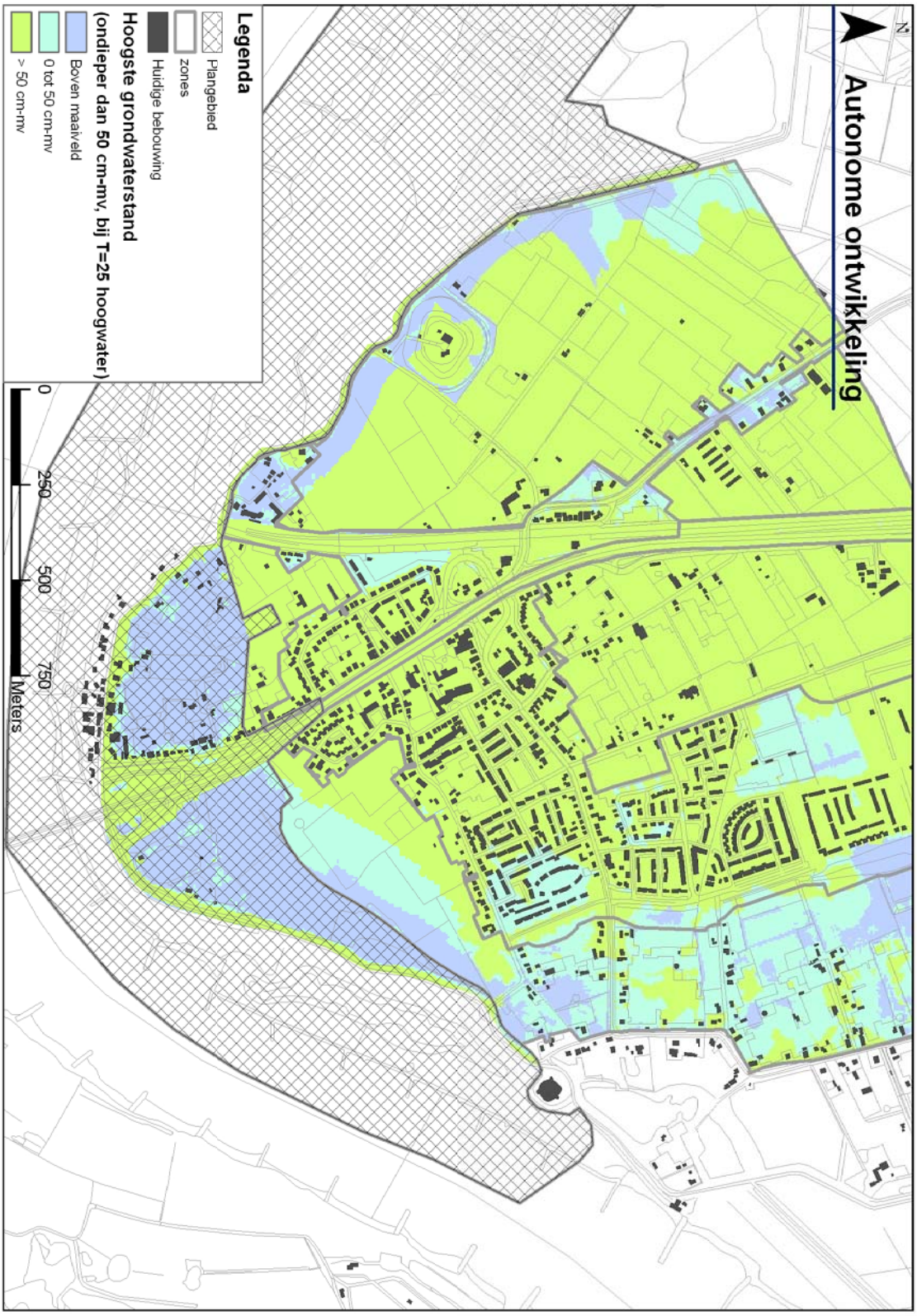
- van 76 % van de gebouwen is niet bekend of er kelders aanwezig zijn;
- van 71 % van de gebouwen is het type fundering niet bekend;
- er zijn geen houten paalkoppen aangetroffen, de 5 gebouwen met palen hebben alle betonnen palen. Sommige palen zijn slechts 2 m;
- er zijn slechts twee kelders aangetroffen, 1 betreft een elektriciteitshuis en een recente woning;
- gezien de beschikbare funderingsgegevens van een aantal woningen aan de Floralaan en dat deze woningen allemaal van hetzelfde woningtype zijn, is het zeer waarschijnlijk dat de gehele Floralaan een fundering op staal heeft;
- in 1993 en 1995 is het extreem hoogwater geweest, de luchtfoto's uit die tijd laten de gebieden zien waar water op het maaiveld kwam te staan. Als er in het verleden voor 1993 op grote schaal kelders zijn toegepast, dan was er een kans geweest dat woningen opgedrukt waren. Bij de Maas is dit in dezelfde periode bij een aantal woningen in nabij de uiterwaarden opgetreden. Van de gebouwen gebouwd voor 1993 is het waarschijnlijk dat er geen kelders aanwezig waren. Mits deze in het gebied lagen, waarin het grondwater zeer hoog kwam;
- uit beschikbare bodemopbouw gegevens blijkt dat de deklaag van klei 1 tot 2 m dik kan zijn in het onderzochte gebied. Hieronder een goede draagkrachtige zandlaag aanwezig. Het algemene beeld van de gebouwen waarvan wel funderingsgegevens bekend zijn, is dat deze op poeren tot van 0,7 tot 1,1 m staan. Op basis van de dikte van de deklaag lijkt het waarschijnlijk dat de meeste woningen in het onderzoeksgebied een fundering op staal hebben.

Het percentage gebouwen waarover weinig tot niets bekend is, is relatief groot. Het verdiend de aanbeveling dat deze gebouwen nader bekeken worden door een bouwkundige in het veld. Ook kan de aanwezigheid van eventuele kelders nader onderzocht worden door gebouwen te bezoeken of eigenaren te benaderen om informatie. Op basis van de huidige data kan een specialist op het gebied van funderingen meer conclusies afleiden.

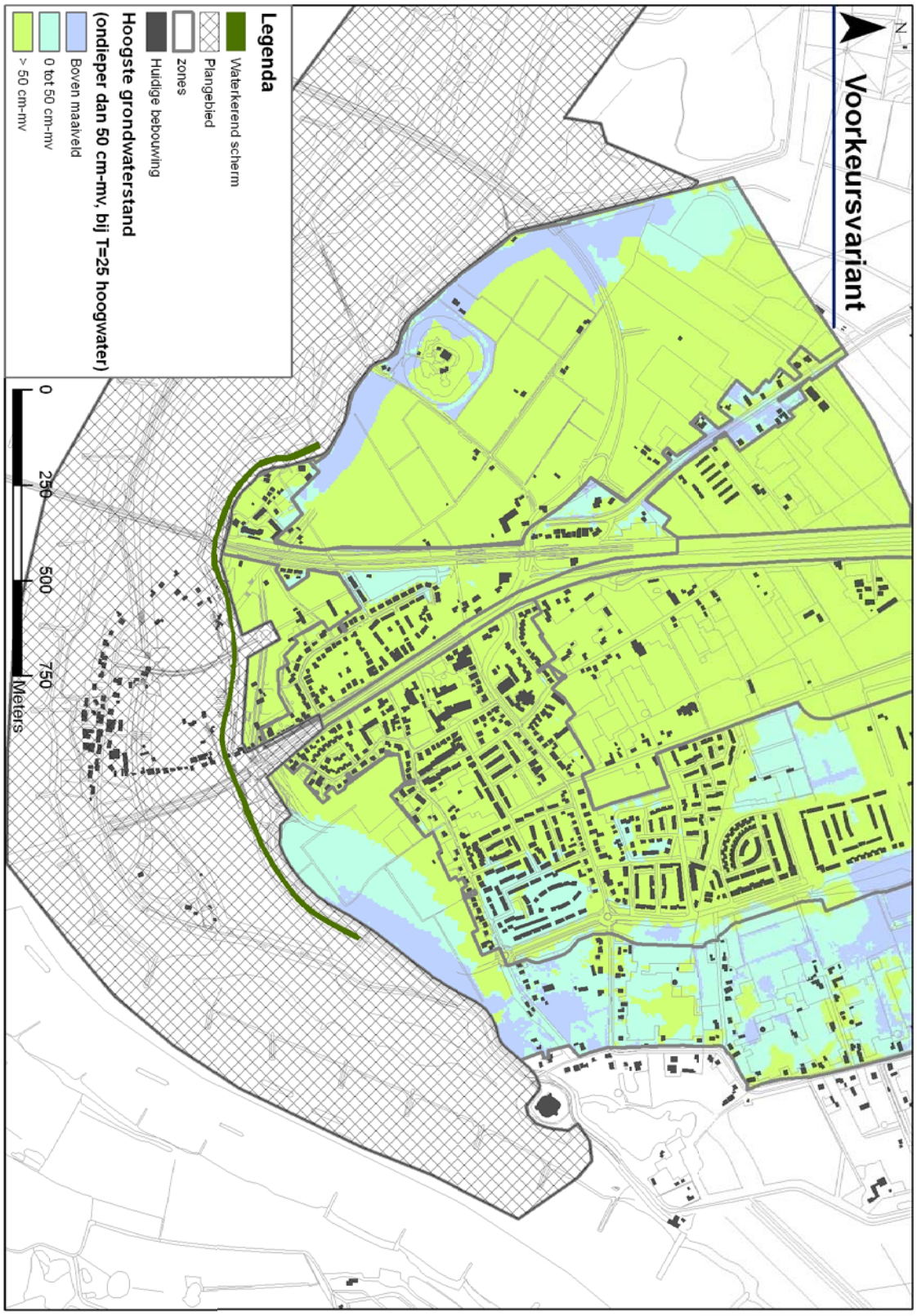
Bijlage 4
Selectie belangrijke figuren uit rapport op groter formaat



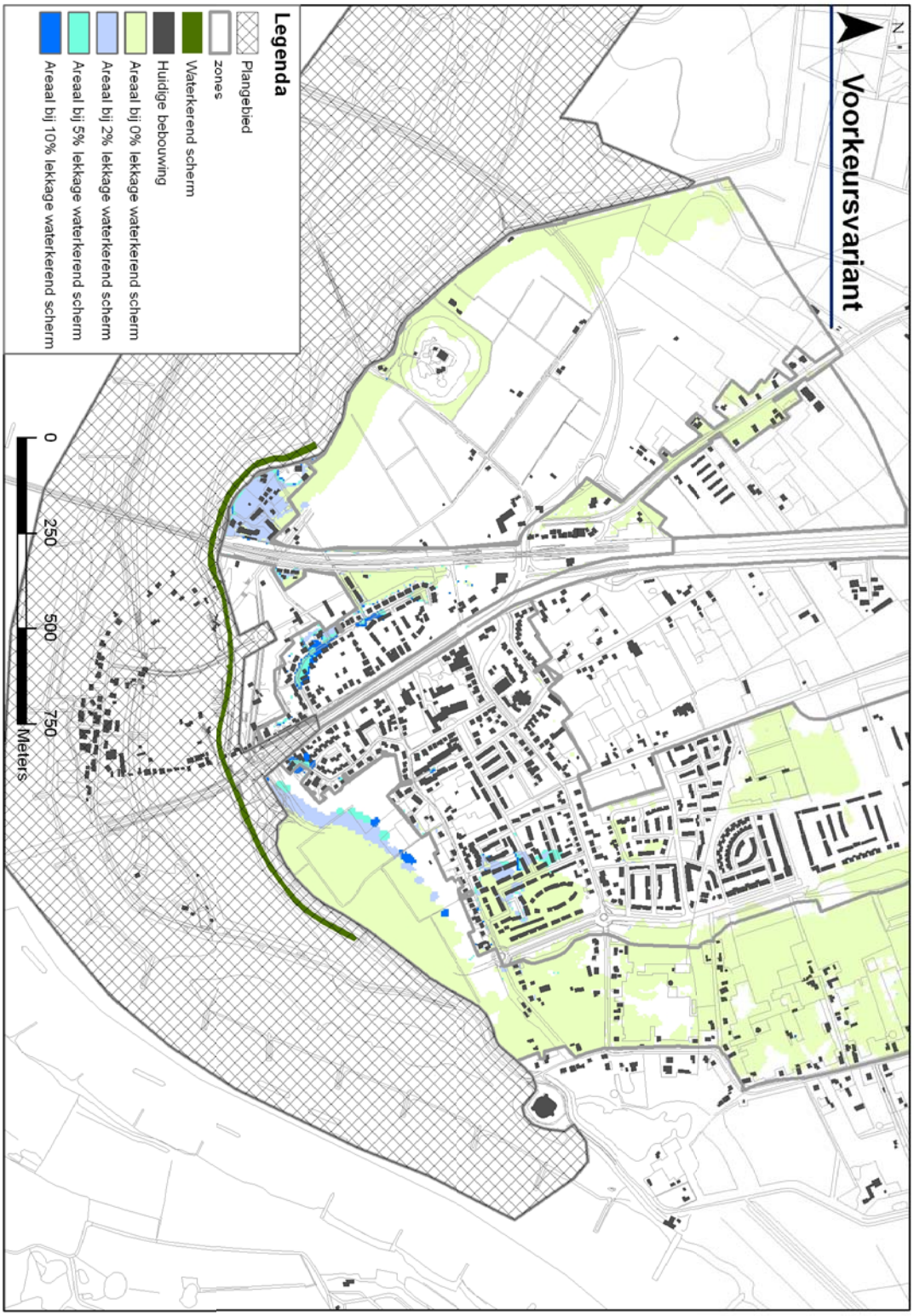
Figuur 4.1: Berekende ontwateringsdiepte huidige situatie (maaiveldniveau 2010) tijdens de hoogwatergolf van 1993 (T=25)



Figuur 4.2: Overzicht van gebieden met potentiële grondwateroverlast autonome situatie tijdens hoogwater (T=25)



Figuur 4.3: Overzicht van gebieden met potentiële grondwateroverlast bij de VKV tijdens hoogwater (T=25)



Figuur 4.4: Gevoeligheid lekkage waterkerend scherm potentiële grondwateroverlast tijdens hoogwater (T=25)