

# RAPPORT

## Hydrologische effecten door bodemdaling

Zoutwinning Haaksbergen

Klant: Nouryon Salt B.V.

Referentie: BH5570WATRP2103231402

Status: Definitief/01

Datum: 22 maart 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35  
3818 EX AMERSFOORT  
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**  
+31 33 463 36 52 **F**  
reception.ame-la@nl.rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Hydrologische effecten door bodemdaling

Ondertitel:  
Referentie: BH5570WATRP2103231402  
Status: 01/Definitief  
Datum: 22 maart 2021  
Projectnaam: MER Haaksbergen  
Projectnummer: BH5570  
Auteur(s): 5.1.2.e

Opgesteld door: RHDHV

Gecontroleerd door: 5.1

Datum: 22 maart 2021

Goedgekeurd door: 5.1

Datum: 22 maart 2021

Classificatie

Projectgerelateerd

*Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.*

*Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.*

## Inhoud

|          |                                                          |          |
|----------|----------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                         | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>Opbouw ondergrond</b>                                 | <b>2</b> |
| <b>3</b> | <b>Klimaat</b>                                           | <b>3</b> |
| 3.1      | Samenvatting resultaten 2012/2013 ten aanzien van de GXG | 3        |
| 3.2      | Nadere beschouwing in kader van de klimaatverandering    | 4        |
| 3.3      | Klimaatverandering en afvoer van de beken                | 5        |
| <b>4</b> | <b>Conclusies</b>                                        | <b>6</b> |
| 4.1      | Samenvatting conclusies rapportage 2013                  | 6        |
| 4.2      | Aanvullende conclusies 2021                              | 6        |

## Figuren

|                                                                                                                                            |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Figuur 2-1: Doorsnede ondergrond REGIS II v2.2.                                                                                            | 2 |
| Figuur 3-1: Berekende verandering (in 2013) van de GHG en GLG ten gevolge van de bodemdaling na 50 jaar (figuur 4.7 en 4.8 van bijlage 1). | 3 |
| Figuur 3-2: Berekend effect klimaatverandering (2050) met LHN op GHG (boven) en GLG (onder).                                               | 5 |

## Bijlagen

|                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Bijlage 1: Rapport hydrologische effecten door bodemdaling 2013                       |  |
| Bijlage 2: Vergelijking modelparameters REGIS II v2.2 met de parameters van het model |  |

## 1 Inleiding

In 2013 heeft Royal HaskoningDHV een modelonderzoek uitgevoerd naar de hydrologische effecten van bodemdaling ten gevolge van zoutwinning bij Haaksbergen. De studie is verricht in opdracht van Nouryon die de zoutwinning wil gaan uitvoeren. De studie is uitgevoerd in het kader van het opstellen van een milieueffectrapport (MER).

Op basis van een gegeven bodemdaling is onderzocht wat de hydrologische effecten zijn. Er is daarbij gebruik gemaakt van het grondwatermodel van toenmalig waterschap Regge en Dinkel (nu: Vechtstromen). Naast de hydrologische effecten zijn ook afgeleide effecten beschouwd.

De MER-studie is opnieuw opgestart. In deze aanvullende rapportage is gezien of de conclusies uit het geohydrologisch onderzoek van 2013 nog geldig zijn.

Het rapport met de beschrijving van de hydrologische effecten uit 2013 is opgenomen in bijlage 1. Er zijn een tweetal redenen denkbaar waardoor de uitkomsten van de studie niet meer geldig zouden zijn:

1. Er is sprake van veranderd inzicht in de opbouw van de ondergrond.
2. De referentie-situatie is veranderd, bijvoorbeeld doordat GLG en GHG in de tijd variëren en er tegenwoordig ook rekening gehouden wordt met klimaatverandering om de effecten te beoordelen.

Het rapport uit 2013 en deze aanvulling is voorgelegd aan het waterschap Vechtstromen. Het waterschap heeft op 12 maart 2021 per email aangegeven in te kunnen stemmen met de gevolgde analyse.

### *Leeswijzer*

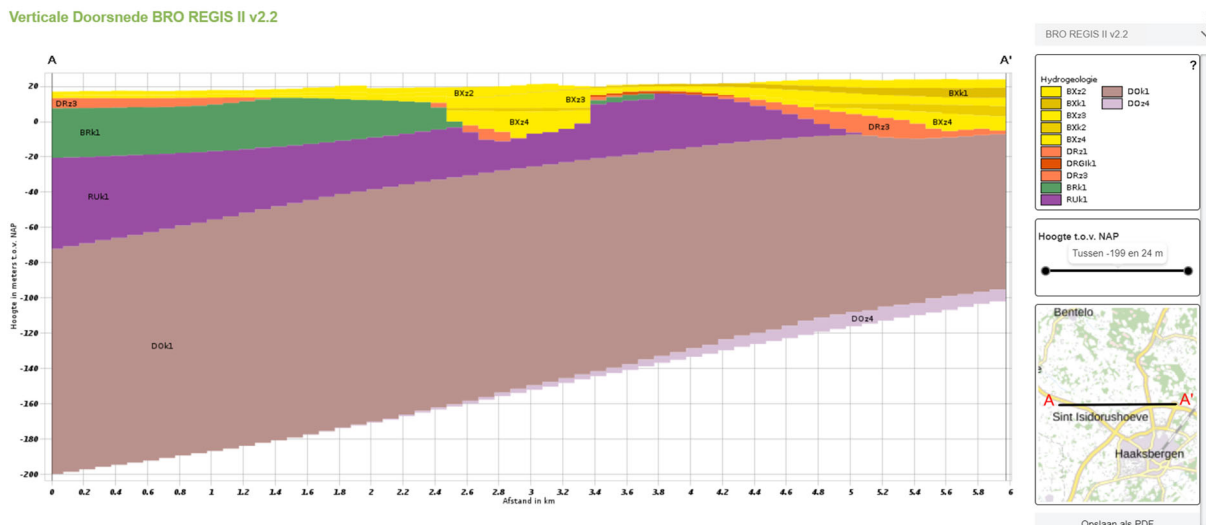
Een beschouwing over de ondergrond is opgenomen in hoofdstuk 2. Hoe effecten zullen wijzigen ten gevolge van klimaatverandering is beschreven in hoofdstuk 3.

De conclusies uit het rapport van 2013 zijn samengevat in paragraaf 4.1. In paragraaf 4.2 zijn de conclusies samengevat van het aanvullende onderzoek.

## 2 Opbouw ondergrond

Een belangrijk onderdeel van het grondwatermodel is de schematisatie van de ondergrond in lagen. Deze geschematiseerde opbouw komt tot stand op basis van boringen. Het inzicht hoe de boringen geïnterpreteerd kunnen worden, verandert in de tijd. Ook worden boringen bijgeplaatst. In dat licht is het van belang om te bezien of de interpretatie, zoals die destijds in het model is opgenomen, nog vergelijkbaar is met de huidige inzichten. Daartoe zijn het doorlaatvermogen en de weerstand van de modellagen vergeleken met de nieuwste inzichten zoals te vinden in REGIS II v2.2 (dinoloket TNO). In Figuur 2-1 is een doorsnede weergegeven zoals deze te vinden is in REGIS.

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



Figuur 2-1: Doorsnede ondergrond REGIS II v2.2.

Kenmerkend is de aanwezigheid van slechts een dun pakket (10 à 40 meter) van watervoerende lagen op dikke kleiafzettingen. De zandige afzettingen bestaan uit afzettingen uit de formatie van Bortel en Drenthe en iets zuidelijker komen in het oosten ook zandige afzettingen van de Formatie van Appelscha voor. Binnen de zandige afzettingen van de Formatie van Bortel komen kleilagen voor. REGIS geeft ook het doorlaatvermogen en de weerstand van de verschillende lagen.

In bijlage 2 zijn het totale doorlaatvermogen (kD) van de zandlagen en de weerstand van de Bortelklei (bxk2) vergeleken met het model. Een vergelijking van de kaarten laat zien dat het doorlaatvermogen in het model wat betreft ordegruute goed overeenkomt met wat in REGIS te vinden is.

In de verbreiding zijn er verschillen, maar de structuur met geulopvulling is in beide schematisaties te herkennen. Opgemerkt dient te worden dat de parameterwaarden in het model gekalibreerd zijn. De parameterwaarden in REGIS zijn dat niet. Van de weerstand van bxk2 is niet veel terug te vinden in modellaag C2 (overigens ook niet in C1). Voor de weerstand van bxk2 is in REGIS uitgegaan van een k-waarde van 0,005 m/d, een uniforme doorlatendheid die aan de lage kant is.

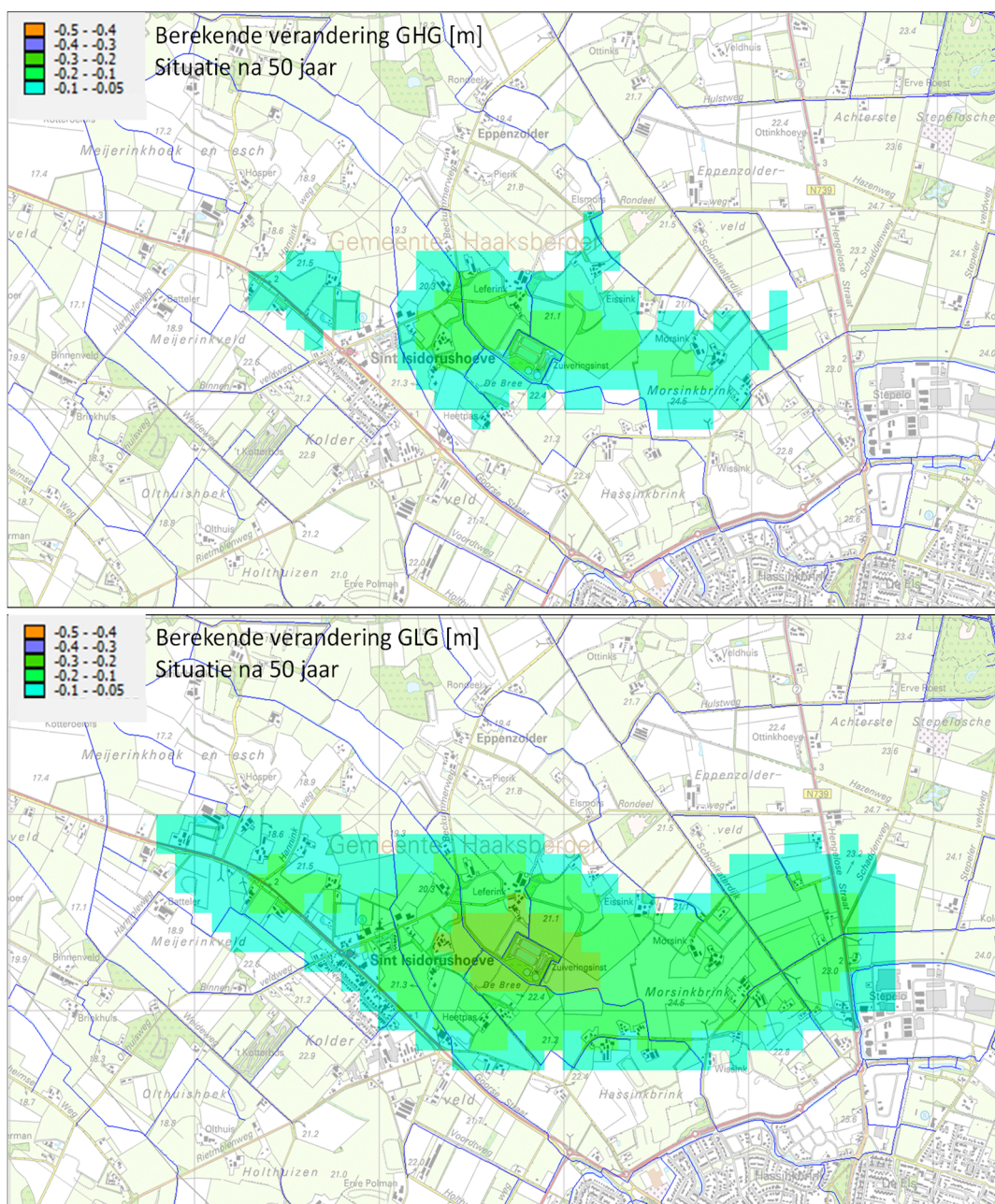
De nieuwe inzichten wat betreft het doorlaatvermogen zullen niet leiden tot grote veranderingen in de voor de bodemdaling in 2012 berekende effecten. Het feit dat met minder weerstand in de geulen wordt gerekend kan ertoe leiden dat de verbreiding van de effecten berekend met het model wat groter is dan als met de weerstand uit REGIS zou zijn gerekend. De effecten worden daarmee in ieder geval niet onderschat.

Op basis van deze bevindingen lijkt het niet noodzakelijk de effecten van de bodemdaling opnieuw te bepalen met een aangepast model.

## 3 Klimaat

### 3.1 Samenvatting resultaten 2012/2013 ten aanzien van de GXG

De grondwatersituatie verandert ten gevolge van bodemdaling. Omdat zowel grondwater als oppervlaktewater niet mee dalen met de bodem komt de grondwaterstand dichterbij maaiveld. In 2013 is een verandering van de GHG en GLG berekend zoals weergegeven in Figuur 3-1. In beide situaties wordt de toestand natter. Bij een te verwachten bodemdaling van maximaal 50 cm is de te verwachten verandering van de GHG maximaal kleiner dan 20 cm en de te verwachten verandering van de GLG maximaal kleiner dan 30 cm.



Figuur 3-1: Berekende verandering (in 2013) van de GHG en GLG ten gevolge van de bodemdaling na 50 jaar (figuur 4.7 en 4.8 van bijlage 1).

De verhoging in de zomer heeft positieve gevolgen voor landbouw en natuur. De verhoging in de winter leidt tot een geringe toename van de landbouwschade en in enkele rekencellen is er mogelijk sprake van het sneller ontstaan van wateroverlast. De afgeleide effecten zijn beschreven in de rapportage van 2013 (bijlage 1).

### **3.2 Nadere beschouwing in kader van de klimaatverandering**

Het effect van de bodemdaling op de grondwaterstand is in de zomer (GLG) groter dan in de winter (GHG), doordat bij de GHG de verhoging van de grondwaterstand meer wordt tegengegaan door een verhoogde afvoer dan in de zomer. In de zomer vallen meerdere waterlopen immers droog.

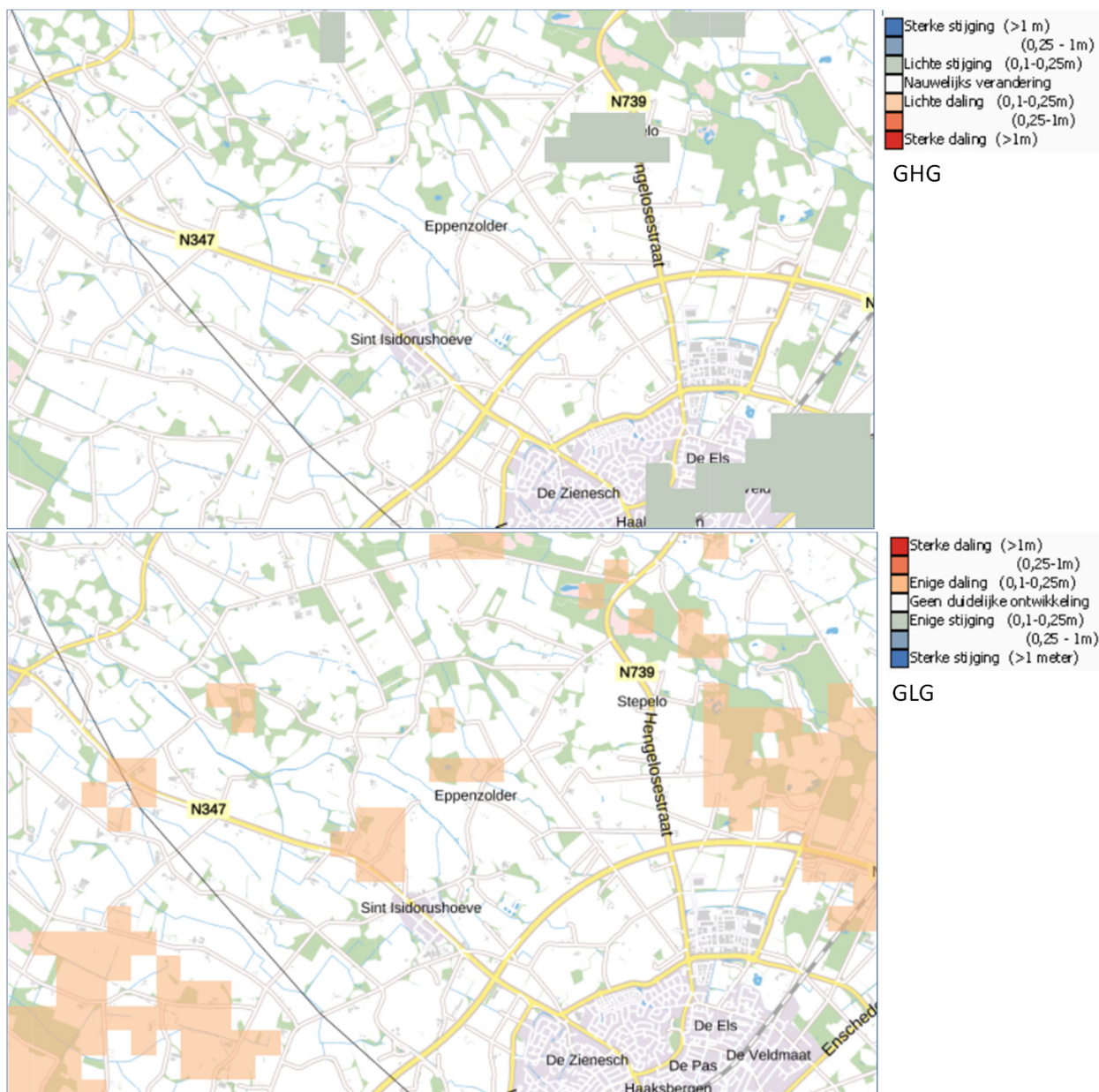
De grootte van de effecten zijn enigszins afhankelijk van de hoogte van de GLG en GHG in de referentiesituatie. Als de GHG natter is zullen de effecten op de grondwaterstand kleiner zijn als er meer waterlopen of andere drainagemiddelen actief worden. Dit effect is echter zeer gering en een orde grootte kleiner dan het verschil in effect bij GLG en GHG (verschil tussen beide figuren van Figuur 3-1).

Het feit dat de GLG en GHG in de tijd iets kunnen variëren kan aanleiding zijn tot geringe veranderingen in het effect zoals berekend.

Ook klimaatverandering zal leiden tot een verandering van de GLG en GHG. Doordat het warmer wordt treedt er meer verdamping op in de zomer (bij klimaatscenario Wh voor 2050). Er zal echter ook meer neerslag vallen met grotere piekbuien, zowel in de zomer als in de winter. Met het landelijk model van Deltares (LHN) zijn berekeningen uitgevoerd die het effect op de GXG bepalen. De resultaten zijn gepubliceerd in de klimateffectatlas ([www.klimateffectatlas.nl](http://www.klimateffectatlas.nl)). De resultaten zijn onzeker maar geven wel een indicatie van wat er te verwachten is.

Voor deze studie is voornamelijk de te verwachten verandering van de GHG van belang. De verlaging van de GLG wordt juist gecompenseerd door de verhoging van de GLG ten gevolge van de bodemdaling.

De te verwachten verhoging van de GHG treedt op in het gebied dat door de bodemdaling wordt beïnvloed en is kleiner dan 10 cm. Dit betekent dat het effect van de bodemdaling en de klimaatverandering op de grondwaterstand vrijwel onafhankelijk van elkaar zijn.



Figuur 3-2: Berekend effect klimaatverandering (2050) met LHN op GHG (boven) en GLG (onder).

### 3.3 Klimaatverandering en afvoer van de beken

In de rapportage van 2013 is aangegeven dat basisafvoer in de winter verhoogt ten gevolge van de bodemdaling. Hoewel niet zeker is of de GHG door klimaatverandering werkelijk zal verhogen, zal bij verhoging door klimaatverandering de basisafvoer van de beken toenemen. Tevens zal door de toename van de intensiteit van de buien de piekafvoer in de beken toenemen. Het waterschap zal met alle drie de gevolgen rekening moeten houden, maar de effecten van de bodemdaling en de klimaatverandering zijn wel onafhankelijk van elkaar te beschouwen.

In de zomer (GLG-situatie) zal de basisafvoer ten gevolge van de bodemdaling toenemen. De beken zullen daardoor minder snel droogvallen.

## 4 Conclusies

### 4.1 Samenvatting conclusies rapportage 2013

In het rapport van 2013 (opgenomen als bijlage 1) is een beschouwing gegeven van de effecten na 20 jaar bodemdaling en na 50 jaar bodemdaling. De conclusies zijn hieronder samengevat.

#### **Na 20 jaar**

- De effecten op de GLG zijn gering (maximaal 0,1 meter) en positief voor de landbouw. De effecten op de GHG zijn gering (maximaal 0,06 meter) en leiden op enkele locaties tot een toename van de landbouwschade van 5% à 10%.
- Er is geen effect te verwachten voor de bebouwing in het gebied. Er is geen risico op zetting.
- De basisafvoer van de beken neemt in een aantal afwateringseenheden toe, maximaal 55 m<sup>3</sup>/dag. Omdat de waterlopen ingericht zijn voor afvoer tijdens hoogwatersituaties zal een verhoging van de basisafvoer niet tot problemen leiden.
- Door de afname van het verhang met circa 0,015% over een traject van 1.200 meter in het stroomafwaarts gelegen deel binnen het bodemdalingsgebied van de Bolscherbeek zal het peil tijdens hoogwatersituaties toenemen en kan er vaker inundatie optreden. Verdere kwantificering is op basis van de studie uit 2013 niet mogelijk.

#### **Na 50 jaar**

- De effecten op de GLG zijn gering (maximaal 0,25 meter) en positief voor de landbouw. De effecten op de GHG zijn gering (maximaal 0,15 meter) en leiden op enkele percelen tot een toename van de landbouwschade van 5% à 15%.
- Nagenoeg alle cellen waar een GHG hoger dan 0,8 meter onder maaiveld berekend wordt, vallen buiten de bebouwingslocaties. In enkele cellen treedt mogelijk een toename van wateroverlast op. Er is geen risico op zetting.
- De basisafvoer van de beken neemt in een aantal afwateringseenheden toe, maximaal 145 m<sup>3</sup>/dag. Omdat de waterlopen ingericht zijn voor afvoer tijdens hoogwatersituaties zal een verhoging van de basisafvoer niet tot problemen leiden.
- Door de afname van het verhang met circa 0,03% over een traject van 1.500 meter in het stroomafwaarts gelegen deel binnen het bodemdalingsgebied van de Bolscherbeek zal het peil tijdens hoogwater toenemen en kan er vaker inundatie optreden. Kwantificering is op basis van de studie uit 2013 niet mogelijk.

### 4.2 Aanvullende conclusies 2021

- Op basis van de bevindingen ten aanzien van de schematisatie van de ondergrond lijkt het niet noodzakelijk de effecten van de bodemdaling opnieuw te bepalen met een aangepast model.
- De te verwachten verhoging van de GHG ten gevolge van de klimaatverandering is in het gebied, dat door de bodemdaling wordt beïnvloed, kleiner dan 10 cm. Het effect op de GHG ten gevolge van de bodemdaling en de klimaatverandering zijn daarmee onafhankelijk van elkaar te beschouwen.
- Door een hogere GHG ten gevolge van klimaatverandering zal de basisafvoer van de beken toenemen.
- De verwachte verlaging van de GLG ten gevolge van de klimaatverandering wordt gecompenseerd door de verhoging van de GLG ten gevolge van de bodemdaling.
- In de zomer (GLG-situatie) zal de basisafvoer ten gevolge van de bodemdaling toenemen. De beken zullen daardoor minder snel droogvallen.

- De piekbuien kunnen ten gevolge van klimaatverandering toenemen zowel in de winter als in de zomer. Het waterschap zal hier rekening mee moeten houden.

## **Bijlage 1**

### **Rapport hydrologische effecten door bodemdaling 2013**



## **Definitieve notitie hydrologische effecten door bodemdaling zoutwinning Haaksbergen**

AkzoNobel

15 augustus 2013

Definitief rapport

9W5639.01

**HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.**  
**INDUSTRY, ENERGY & MINING**

Boschveldweg 21  
Postbus 525  
5201 AM 's-Hertogenbosch  
+31 73 687 41 11 Telefoon  
+31 73 612 07 76 Fax  
info@rhdhv.com E-mail  
www.royalhaskoning.com Internet  
Arnhem 09122561 KvK

|                        |                                                                                     |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Documenttitel          | Definitieve notitie hydrologische effecten door bodemdaling zoutwinning Haaksbergen |
| Verkorte documenttitel | Notitie                                                                             |
| Status                 | Definitief rapport                                                                  |
| Datum                  | 15 augustus 2013                                                                    |
| Projectnaam            | MER Zoutwinning IHS                                                                 |
| Projectnummer          | 9W5639.01                                                                           |
| Opdrachtgever          | AkzoNobel                                                                           |
| Referentie             | 9W5639.01/R0001/500914/DenB                                                         |

|                  |            |         |
|------------------|------------|---------|
| Auteur(s)        | 5.1.2.e    | 5.1.2.e |
| Collegiale toets | 5.1.2.e    |         |
| Datum/paraaf     | 15-08-2013 |         |
| Vrijgegeven door | 5.1.2.e    | 5.1.2.e |
| Datum/paraaf     | 15-08-2013 |         |

## INHOUDSOPGAVE

|                                                       | Blz. |
|-------------------------------------------------------|------|
| 1 INLEIDING                                           | 1    |
| 2 UITGANGSPUNTEN EN GRONDWATERMODEL                   | 3    |
| 2.1 Bodemdaling                                       | 3    |
| 2.2 Grondwatermodel                                   | 4    |
| 2.3 Bodemdaling in het grondwatermodel                | 8    |
| 3 UITGEVOERDE BEREKENINGEN EN EFFECTBEPALING          | 11   |
| 3.1 Uitgevoerde berekeningen                          | 11   |
| 3.2 Hydrologische effecten                            | 11   |
| 3.3 Effecten op landbouw, natuur en bebouwing         | 12   |
| 4 BEREKENDE EFFECTEN BODEMDALING                      | 13   |
| 4.1 Hydrologische effecten na 20 jaar                 | 13   |
| 4.2 Effect op landbouw en bebouwing na 20 jaar        | 15   |
| 4.3 Hydrologische effecten na 50 jaar                 | 17   |
| 4.4 Effect op landbouw en bebouwing na 50 jaar        | 19   |
| 5 CONCLUSIES EN BESCHOUWING VAN DE BEREKENDE EFFECTEN | 25   |



## 1 INLEIDING

### *Kader*

AkzoNobel is voornemens om zout te gaan winnen uit de nieuwe winningslocatie ten noordwesten van Haaksbergen. De keuze voor de locatie Haaksbergen heeft te maken met de dikte van het zoutpakket, de ingeschatte risico's en de kwaliteit van het zout. Op dit moment wordt een MER studie uitgevoerd waarin verschillende varianten worden uitgewerkt. De in dit rapport beschreven effecten van de bodemdaling worden gebruikt bij de MER-studie.

De bodemdaling voor een aantal scenario's is berekend door KBB. De bodemdaling heeft mogelijk gevolgen voor de hydrologie en daarvan afgeleid zijn er mogelijk gevolgen voor de landbouw, de natuur en bebouwing in het gebied. In deze studie zijn de hydrologische effecten en de afgeleide effecten bepaald voor een worst case bodemdalingsscenario voor zowel de situatie na 20 jaar als na 50 jaar.

De hydrologische effecten zijn bepaald met behulp van een grondwatermodel van Waterschap Regge en Dinkel. Gezien het regionale karakter van de bodemdaling heeft Royal HaskoningDHV er voor gekozen het beschikbare model met cellen van 100 m bij 100 m te gebruiken voor de berekeningen (TNO-rapport: NITG 04-020-B, 12 mei 2004). Het model is geschikt gemaakt voor deze studie.



**Figuur 1: Winningslocatie**

### *Leeswijzer*

De te verwachten bodemdaling is beschreven in hoofdstuk 2. In dit hoofdstuk zijn tevens het grondwatermodel, de modelaanpassingen en de hydrologische situatie beschreven. Hoe de bodemdaling in het model is doorgevoerd is beschreven in de laatste paragraaf van hoofdstuk 2.

Met het model een drietal berekeningen uitgevoerd, de referentiesituatie, de situatie na 20 jaar bodemdaling en de situatie na 50 jaar bodemdaling. De berekeningen worden kort toegelicht in hoofdstuk 3.

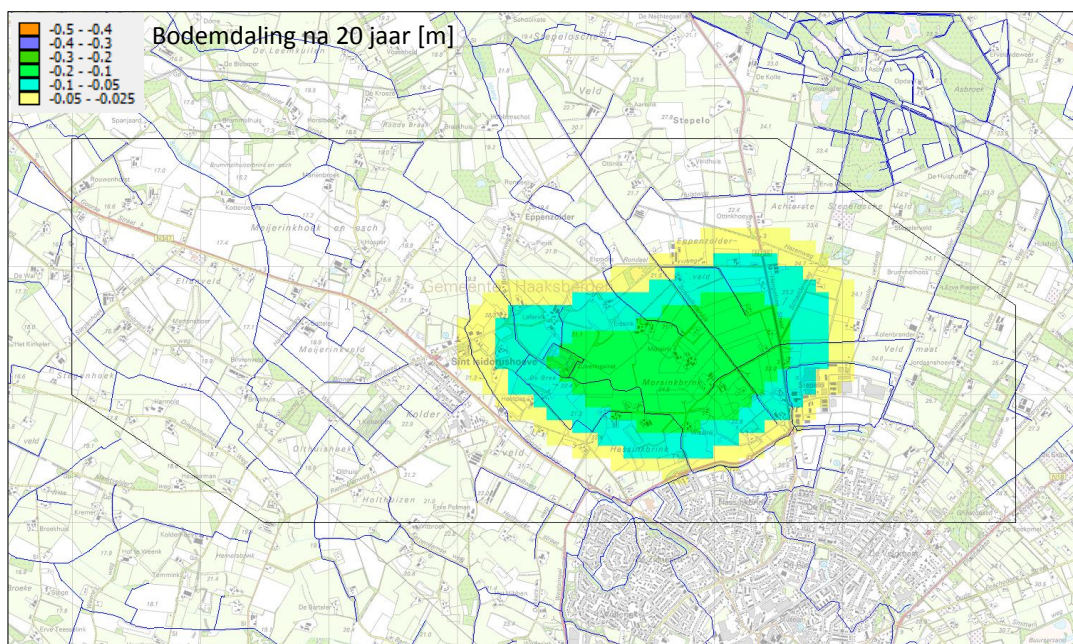
In hoofdstuk 3 is tevens beschreven hoe de effecten van de bodemdaling worden beoordeeld. Het betreft de hydrologische effecten en de effecten op landbouw, natuur en bebouwing. Voor de landbouw geldt dat er mogelijk sprake is van opbrengstderving ten gevolge van een veranderende grondwaterstand. Of dit gebeurt, is bepaald met Waternood, een instrument voor landbouwschadeberekeningen. Ook natuur is gevoelig voor een grondwaterstand die verandert. Voor de bebouwing wordt gekeken naar het mogelijk ontstaan van wateroverlast in natte perioden en naar het risico op zetting in droge perioden.

In hoofdstuk 4 zijn de effecten van de bodemdaling voor de situatie na 20 jaar en na 50 jaar beschreven. Er wordt kort ingegaan op mogelijk compenserende maatregelen. In hoofdstuk 5 worden de conclusies samengevat en worden de effecten beschouwd.

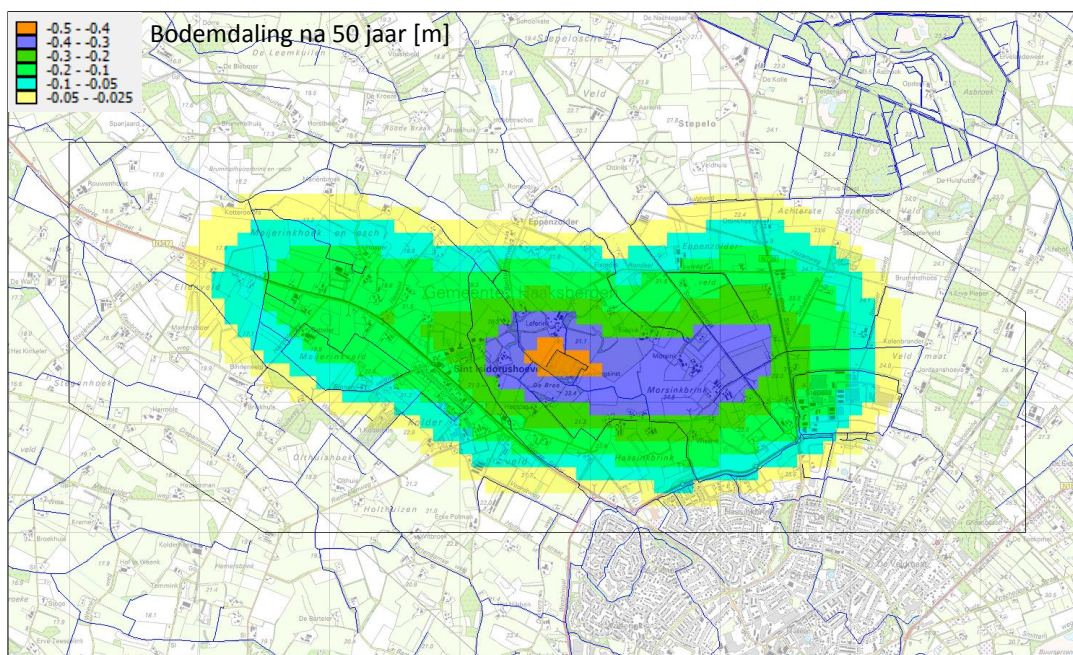
## 2 UITGANGSPUNTEN EN GRONDWATERMODEL

### 2.1 Bodemdaling

Ten gevolge van de voorgenomen zoutwinning zal de bodem ten noordwesten van Haaksbergen dalen. De verwachte daling na 20 en 50 jaar is met modellen berekend door KBB en als invoer voor deze studie aangeleverd op een raster van 50 m bij 50 m.



Figuur 2.1: Te verwachten bodemdaling na 20 jaar



Figuur 2.2: Te verwachten bodemdaling na 50 jaar

In figuur 2.1 en 2.2 zijn de te verwachten dalingen weergegeven op het modelraster van het grondwatermodel (100 m bij 100 m). In het centrum van het winningsgebied bedraagt de berekende bodemdaling maximaal circa 18 cm na 20 jaar en circa 45 cm na 50 jaar.

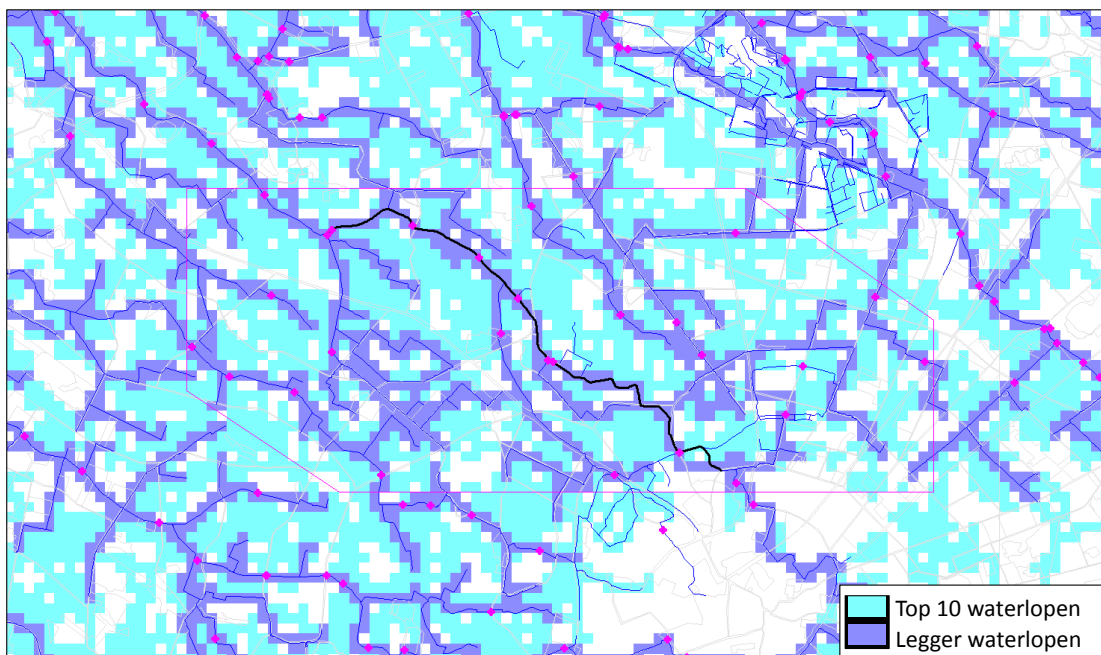
## 2.2 Grondwatermodel

Het grondwatermodel van waterschap Regge en Dinkel is opgebouwd uit 3 watervoerende lagen. Het is een tijdsafhankelijk model, dat de grondwaterstand tijdsafhankelijk met een representatief weerjaar berekent. De GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand), de GVG (gemiddelde voorjaars grondwaterstand) en de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) worden hieruit afgeleid.

In het model zijn verschillende typen waterlopen en drainageniveau's opgenomen. Het volgende onderscheid is gemaakt:

- de leggerwatergangen;
- de kleinere "top10" waterlopen;
- landbouwkundige drains;
- maaiveld.

De leggerwatergangen en de kleinere "top10" waterlopen zijn in figuur 2.3 opgenomen. De cellen waar waterlopen voorkomen zijn gekleurd. In elke cel kunnen meerdere waterlopen afzonderlijk worden gedefinieerd.

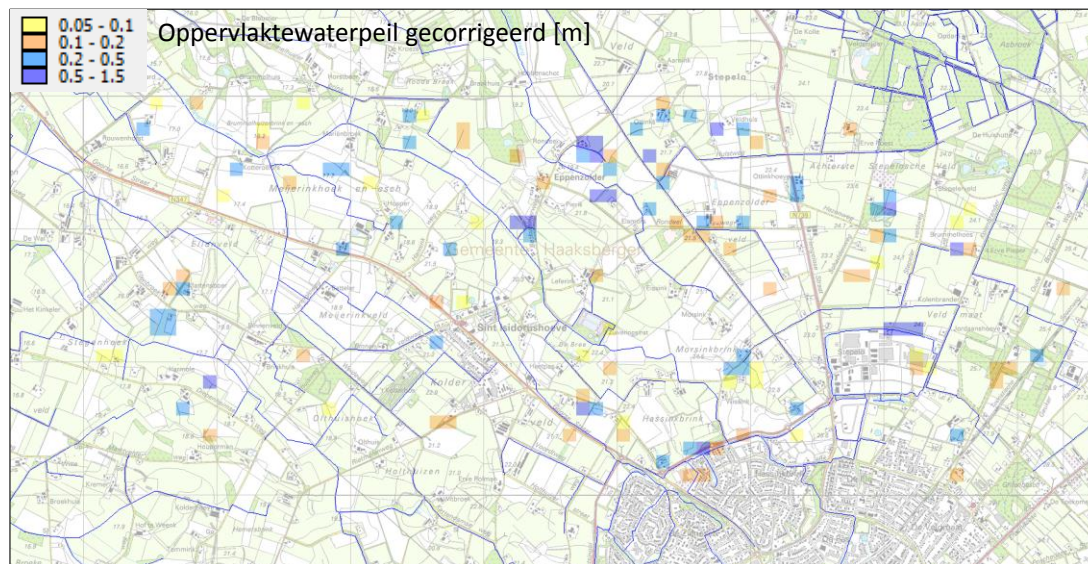


**Figuur 2.3: Waterlopen in het grondwatermodel**

### *Aanpassingen in het grondwatermodel*

Het grondwatermodel is niet gekoppeld aan een oppervlaktewatermodel. Grondwater kan verticaal het grondwatermodel verlaten via de drainerende middelen. Het verdere verloop van het uittredende water in het oppervlaktewater wordt echter niet gevolgd.

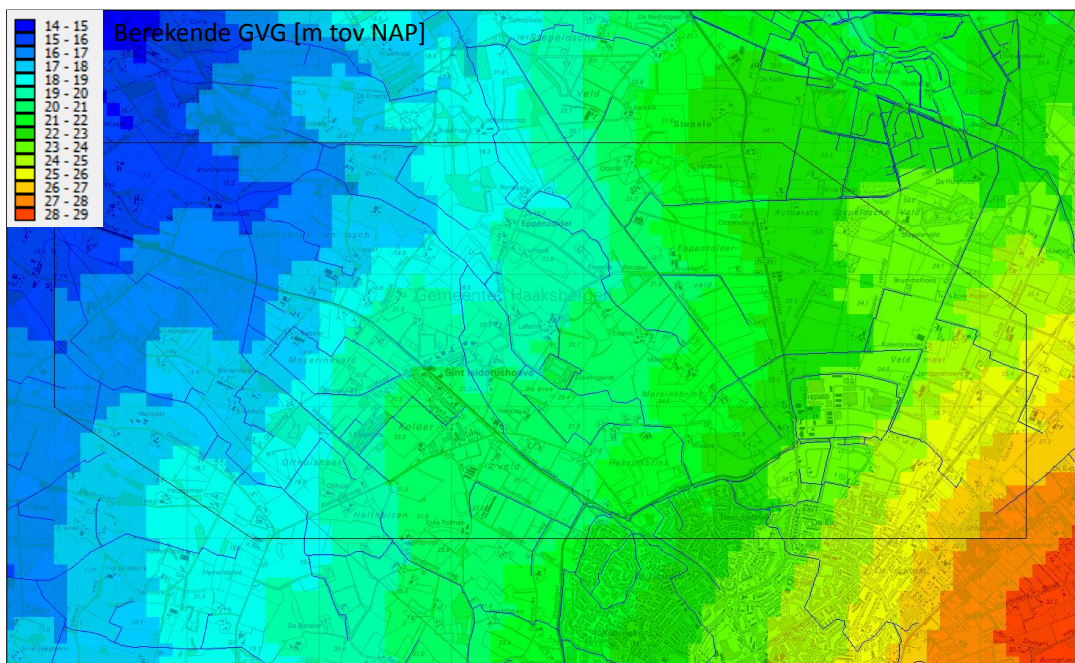
Het blijkt dat in het grondwatermodel in een aantal cellen het opgegeven drainerende waterpeil lager is dan in de omliggende cellen. In het grondwatermodel is dat geen enkel probleem, echter het water kan vervolgens niet wegstromen via het oppervlaktewater en het peil is dus te laag gekozen, tenzij er sprake zou zijn van een bemaling. In deze cellen, zie figuur 2.4 is het oppervlaktewaterpeil gecorrigeerd.



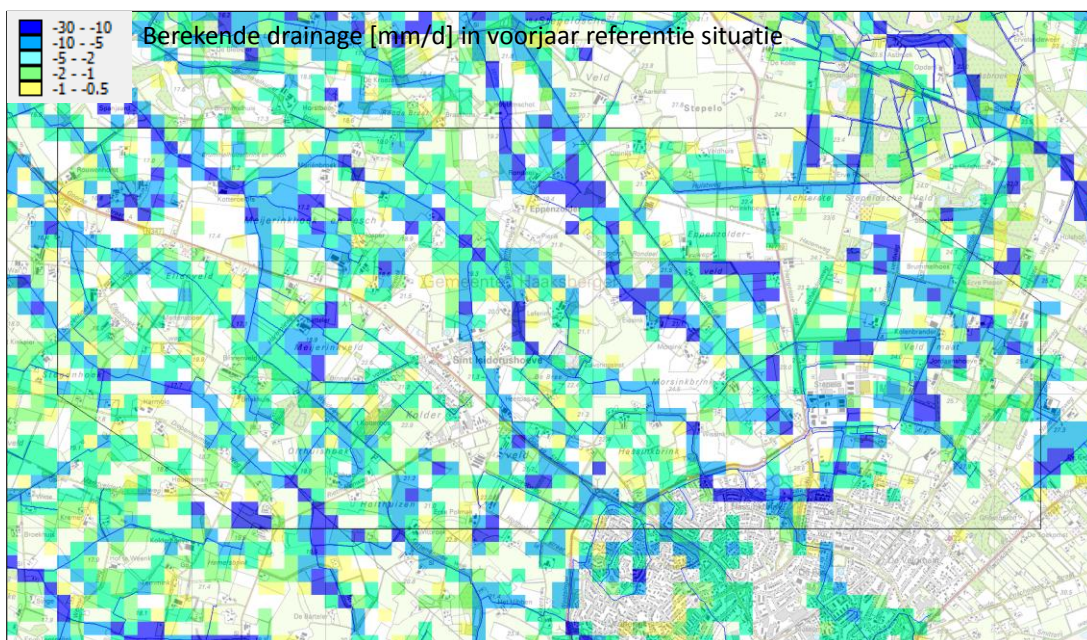
**Figuur 2.4:** Cellen waar oppervlaktewaterpeil in grondwatermodel is aangepast

#### *Hydrologische situatie*

De berekende grondwaterstand (GVG) is weergegeven in figuur 2.5. De GVG verloopt van circa NAP +28 meter in de zuidoost hoek tot circa NAP +15 meter in de noordwest hoek, een verval van 13 meter. Het is duidelijk zichtbaar dat de isolijnen (lijnen met gelijke grondwaterstand) naar de waterlopen toe afbuigen. De waterlopen draineren het grondwater. Dit wordt ook duidelijk in figuur 2.6 waarin de hoeveelheid drainage is weergegeven in het voorjaar.



**Figuur 2.5: Berekende grondwaterstand**



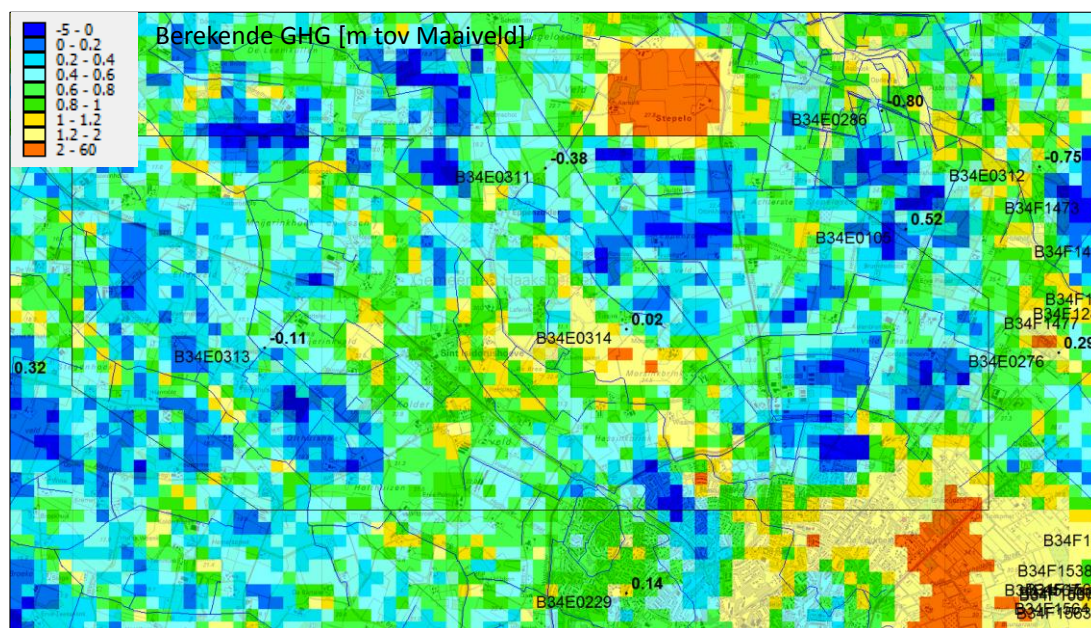
**Figuur 2.6: Berekende drainage in de voorjaarssituatie**

### *Calibratie*

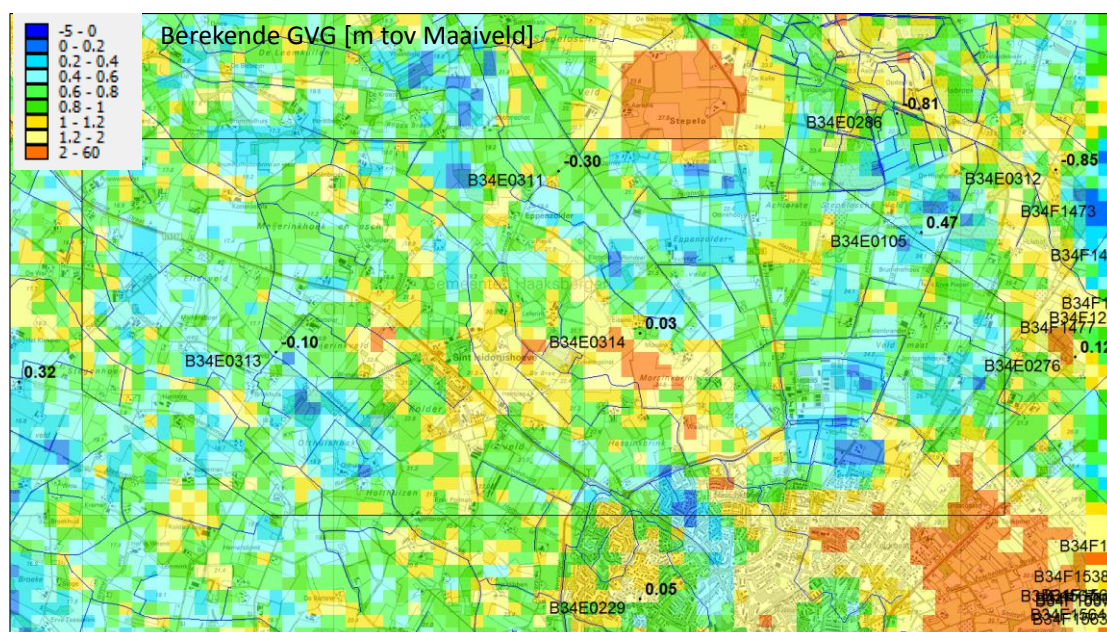
Het model is gecontroleerd met behulp van peilbuismetingen. Van alle beschikbare peilbuizen zijn de metingen opgevraagd bij het DINO-loket ([www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)) voor de periode 2001-2010. Uit de meetreeksen is een GLG, GVG en GHG bepaald en deze zijn vergeleken met de berekende GLG, GVG en GHG.

In figuur 2.7, 2.8 en 2.9 zijn de GHG, GVG en GLG ten opzichte van maaiveld weergegeven inclusief de afwijkingen die berekend zijn ten opzichte van de gemeten waarden. Een positieve afwijking betekent dat het model de grondwaterstand te hoog ofwel de situatie te nat berekent.

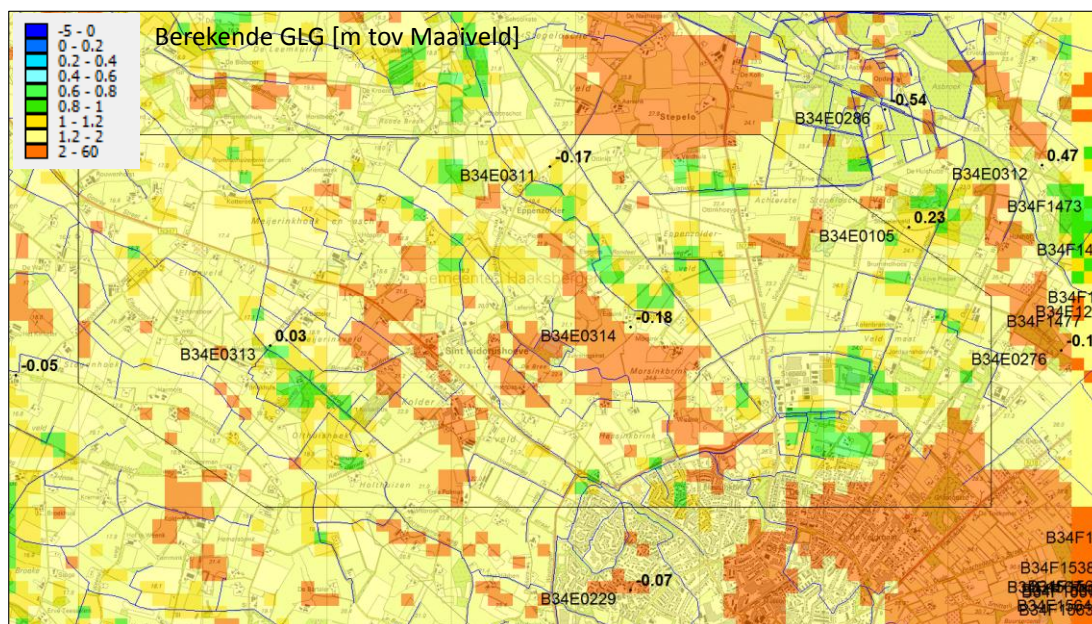
Er zijn slechts weinig meetpunten beschikbaar binnen het gebied waar de bodemdaling optreedt. Er worden geringe afwijkingen gevonden, behalve in een meetpunt ten oosten van de bodemdalingszone (B34E0105) waar de GHG 0,52 meter te hoog berekend wordt. Verder weg worden nog enkele grotere afwijkingen gevonden van circa 0,8 meter.



Figuur 2.7: Berekende GHG ten opzichte van maaiveld



Figuur 2.8: Berekende GVG ten opzichte van maaiveld



Figuur 2.9: Berekende GLG ten opzichte van maaiveld

## 2.3 Bodemdaling in het grondwatermodel

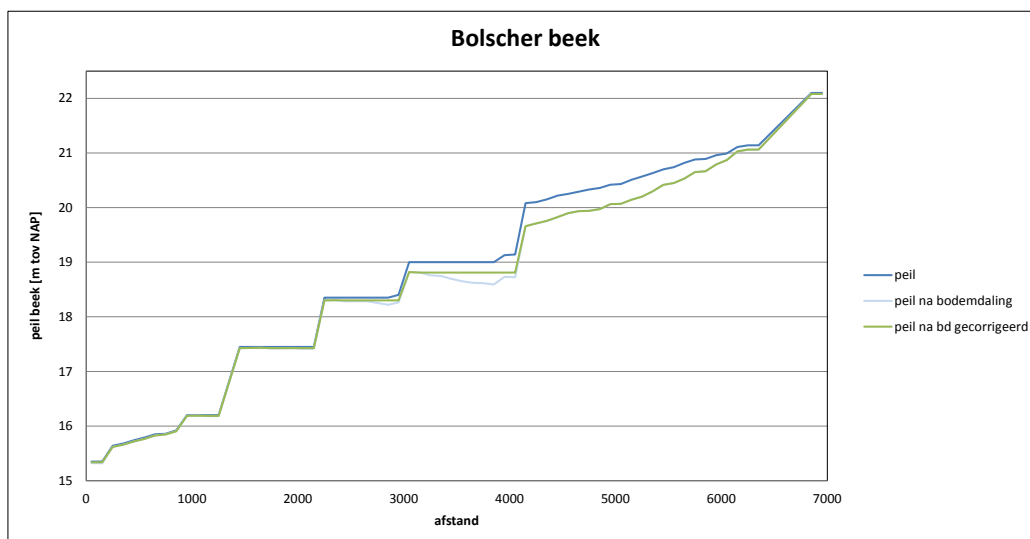
De bodemdaling leidt er toe dat alles in het gebied zal dalen. In het model moeten daarom alle drainageniveau's worden verlaagd. Het betreft het niveau in:

- de leggerwatergangen;
- de kleinere "top10" waterlopen;
- drains;
- maaiveld.

Zowel het bodemniveau van de waterlopen als de stuwpeilen van de stuwen in de waterlopen zullen dalen. Het is echter mogelijk dat het peil in de waterlopen minder daalt dan de bodem omdat water immers niet omhoog zal stromen. Dit wordt toegelicht aan de hand van de Bolscher Beek.

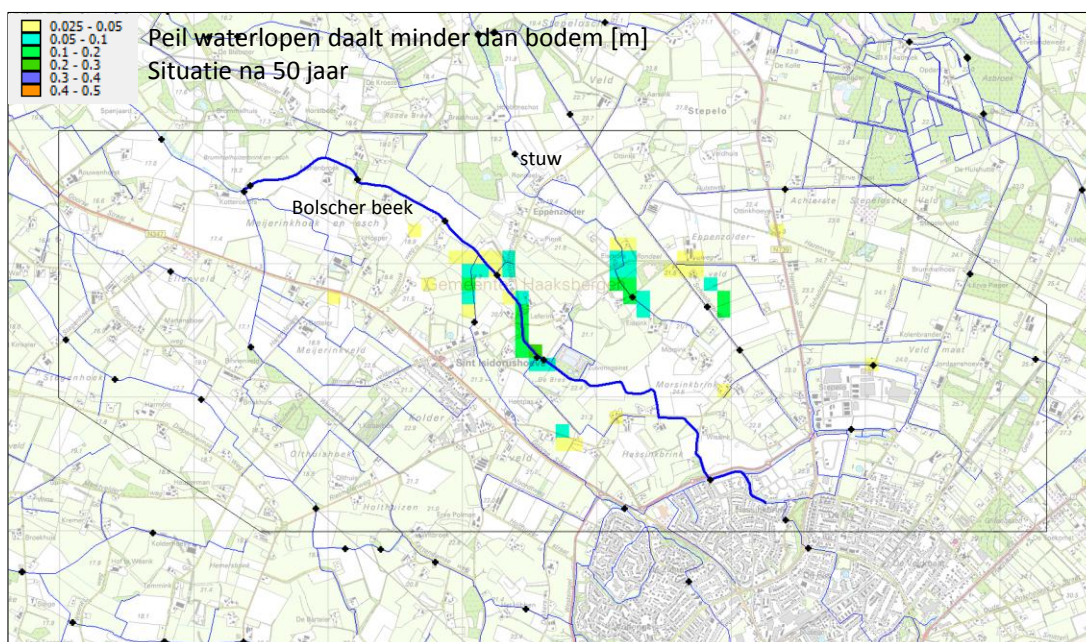
In figuur 2.10 is als voorbeeld weergegeven wat de bodemdaling na 50 jaar betekent voor de Bolscher beek. Het beekpeil verloopt van circa NAP+22 meter bovenstrooms tot circa NAP +15 meter benedenstrooms, waarbij het peil op een aantal locaties is gestuwd. Het in de figuur weergegeven peil is overgenomen uit het grondwatermodel. Het verhang in de beek is gemiddeld 7 meter op 7 kilometer ofwel 0,1 %

De bodemdaling is doorgevoerd door het peil in de referentiesituatie (bovenste lijn in figuur 2.10) te verminderen met de bodemdaling. Het resultaat is de onderste lijn in het figuur. Achter de stuw op 3000 meter in de grafiek ontstaat in de onderste lijn een zone waar het waterpeil stroomafwaarts omhoog gaat. Aangezien dit niet mogelijk is wordt het peil gecorrigeerd tot de middelste lijn. Hier is dus de daling van het peil kleiner dan de bodemdaling.



**Figuur 2.10: Beekpeil Bolscher beek**

Het feit dat het waterpeil minder daalt dan het bodemniveau doet zich in meerdere waterlopen voor, ook in de kleinere waterlopen. De modelcellen waar het peil minder zal dalen dan de bodem is weergegeven in figuur 2.11.



**Figuur 2.11: Cellen waar het peil minder daalt dan de bodem van de waterlopen**

## 2.4 Hoogwater situatie.

Een hoger beekpeil tijdens hoogwater kan leiden tot meer en grotere inundatiezones met een hoger waterpeil. Inundatie is enerzijds ongewenst. Er is risico voor bebouwing als deze niet hoog genoeg ligt. Inundatie tijdens hoogwater is anderszijds gewenst om de afvoerpieken stroomafwaarts te verkleinen.

Het waterschap heeft onlangs plannen uitgewerkt voor de herinrichting van de Bolscherbeek. Er is een uitgebreide modelstudie uitgevoerd door HKV (pr2279.20, maart 2012), waarbij de effecten tijdens hoogwater zijn beschouwd. Gesteld is dat door de herinrichting van de beek bij een situatie die eens in de 100 jaar voor komt het inundatieoppervlak niet mag toenemen.

HKV heeft het inundatieoppervlak bepaald door het maximale berekende beekpeil te vergelijken met het maaiveldhoogte in een strook van 100 meter rond de beek. Het maximale beekpeil is samengesteld uit het berekende beekpeil voor 7 verschillende maatgevende situaties, 6 dynamische en 1 stationaire situatie.

Het waterschap heeft het Sobekmodel waarmee HKV de berekeningen heeft uitgevoerd beschikbaar gesteld aan Royal HaskoningDHV om de effecten van de bodemdaling te onderzoeken. In overleg met het waterschap is er voor gekozen het effect op het beekpeil van de bodemdaling na 50 jaar voor de situatie na herinrichting van de beek te bepalen. Deze situatie na herinrichting van de beek (ontwerp 1.3) is voor deze studie de referentiesituatie. Er is contact geweest met HKV over de keuze van het juiste berekeningsscenario en de maatgevende situatie. De situatie na herinrichting (ontwerp 1.3) is stationair herberekend. Het uit 7 berekeningen samengestelde maatgevende peil is door HKV aangeleverd.

### 3 UITGEVOERDE BEREKENINGEN EN EFFECTBEPALING

#### 3.1 Uitgevoerde berekeningen

Met het grondwatermodel zijn een drietal berekeningen uitgevoerd:

- de referentiesituatie;
- de situatie na 20 jaar bodemdaling;
- de situatie na 50 jaar bodemdaling.

De referentiesituatie is de situatie die representatief is voor de huidige situatie. Hiervoor is de situatie zoals die berekend wordt met het door het waterschap aangeleverde model gebruikt met de aanpassingen die zijn beschreven in paragraaf 2.2.

Voor de situatie na 20 jaar en 50 jaar bodemdaling zijn berekeningen uitgevoerd waarbij alle drainageniveau's en het maaiveld zijn verlaagd volgens de bodemdaling zoals weergegeven in figuur 2.1 en 2.2. Bij de berekeningen is rekening gehouden met het feit de daling van het waterpeil in de waterlopen niet overal gelijk is aan de daling van het bodemniveau, zie paragraaf 2.3.

#### 3.2 Hydrologische effecten

De hydrologische effecten die te verwachten zijn ten gevolge van de bodemdaling zijn de volgende:

1. Effect op de grondwaterstand;
2. Effect op de afvoeren van de beken;
3. Effect op het peil en het verhang van de Bolscher beek,

##### *Ad.1*

Met het model worden effecten berekend op de GHG, GVG en GHG, die gebruikt worden voor de berekening van de afgeleide effecten op de landbouw en de bebouwing. De verandering van de GHG en de GLG ten opzichte van de referentiesituatie worden per situatie (na 20 jaar en na 50 jaar) gepresenteerd en beschreven.

##### *Ad. 2*

Het model berekent de verandering van de drainage naar het oppervlaktewater. Het feit dat de drainage in een bepaald gebied vermindert of toe neemt heeft invloed op de afvoer van de beken. De verandering van de drainage wordt per situatie weergegeven voor de verschillende afwateringseenheden die het Waterschap hanteert. Er is voor gekozen om het effect zichtbaar te maken voor de voorjaarssituatie wanneer de basisafvoer het grootst is.

##### *Ad. 3*

Hoewel ook in gemiddelde afvoersituaties er enige verandering van het verhang is te verwachten, speelt dit aspect met name een rol bij hoogwatersituaties. De stuwen zijn dan waar nodig en waar mogelijk gestreken. Een vergroting van het verhang leidt tot wat lagere peilen en een verkleining van het verhang leidt tot hogere peilen. Dit is van belang omdat langs de Bolscher beek bij hoogwater op enkele locaties in een smalle zone langs de beek overstroming (inundatie) plaats vindt.

Bij een hoger peil zal de frequentie van de inundatie wat toenemen en bij een lager peil zal de frequentie afnemen. Voor beide situaties (na 20 jaar en 50 jaar) wordt aangegeven waar dit aspect een rol speelt.

### 3.3 Effecten op landbouw, natuur en bebouwing

#### *Landbouw*

Een verandering van de grondwaterstand kan leiden tot een toename of afname van de landbouwopbrengst. De gebruikelijke methode om de verandering van de landbouwopbrengst te bepalen is het waternoodinstrumentarium (lit.). Op basis van de GHG en de GLG wordt een natschade en een droogteschade berekend, zowel voor de referentiesituatie als voor de situatie na 20 jaar en na 50 jaar. Er worden verschilkaarten gepresenteerd en beschreven. De verschillen worden alleen getoond waar de verandering van de GLG of de GHG groter is dan 0,05 meter.

In waternood is de landgebruikskaart LGN5 toegepast en het door het waterschap aangeleverde AHN, beide op een raster van 25 bij 25 meter. Om gebruik te kunnen maken van dit detailniveau zijn de berekende GXG (ten opzichte van NAP) geïnterpoleerd van het modelraster naar het 25 bij 25 raster.

#### *Natuur*

In het aandachtsgebied komen geen beschermde natuurgebieden voor. Bij de effectbeschrijving wordt geen aandacht aan de natuur besteed.

#### *Bebouwing*

Het waterschap hanteert voor locaties met bebouwing dat de GHG niet hoger mag komen dan 0,8 meter onder maaiveld. Bij de situatie na 20 jaar en na 50 jaar wordt een kaart gepresenteerd met de zones waar in de huidige situatie de GHG hoger is dan 0,8 meter ten opzichte van maaiveld en waar dat verandert na 20 jaar of na 50 jaar. Beide zones worden alleen zichtbaar gemaakt waar de verandering van de GHG groter is dan 0,05 meter.

Als er sprake is van een verlaging van de grondwaterstand in de zomer is er mogelijk een risico op zetting van gebouwen. Een mogelijk risico wordt voor beide situaties beschreven.

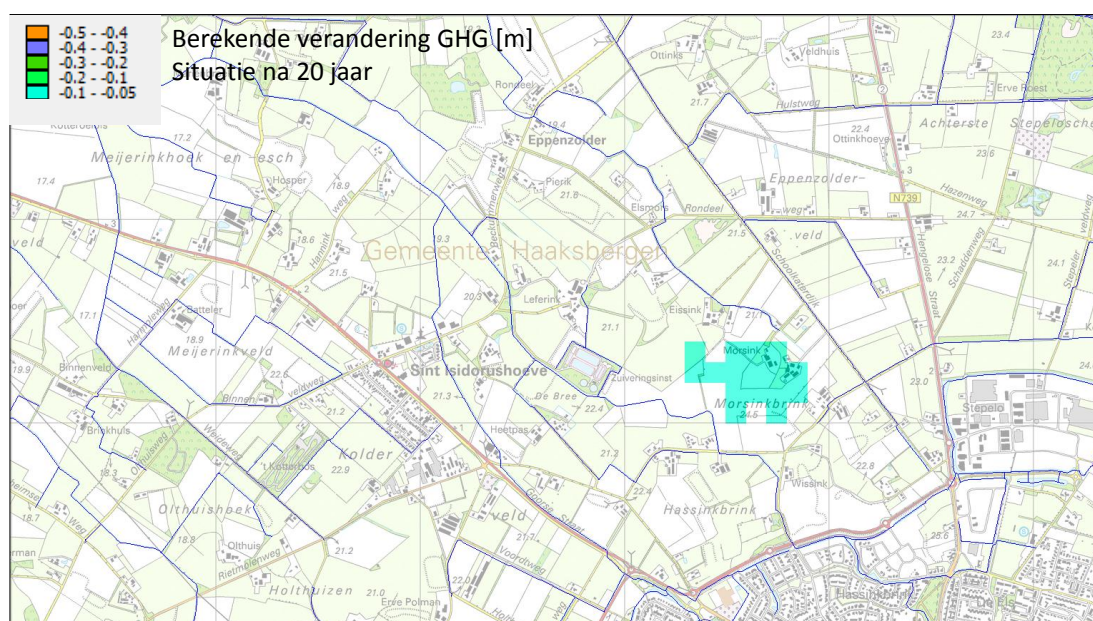
Een hoger beekpeil tijdens hoogwater kan leiden tot wateroverlast bij bebouwing. Dit is onderzocht met het oppervlaktewatermodel voor de situatie na 50 jaar.

## 4 BEREKENDE EFFECTEN BODEMDALING

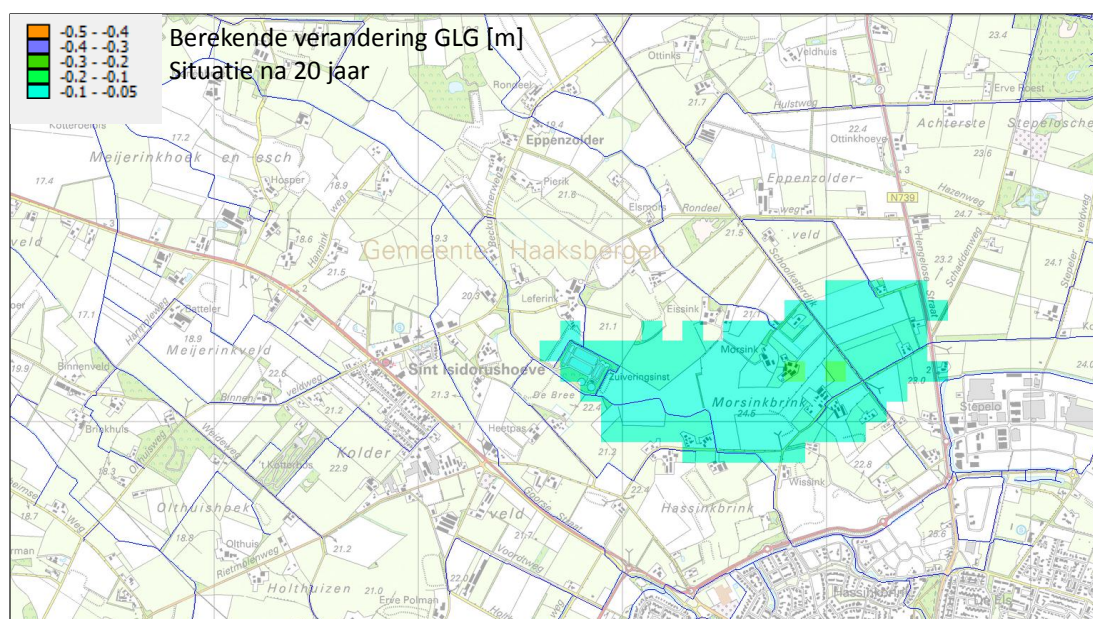
### 4.1 Hydrologische effecten na 20 jaar

#### *Effect op de grondwaterstand*

In het centrale deel van het gebied, waar de berekende bodemdaling maximaal circa 18 cm is, wordt de GHG maximaal circa 6 cm hoger (natter) berekend. Ook de GLG wordt natter berekend. Het berekende effect op de GLG is iets groter dan het effect op de GHG, namelijk ca.10 cm.



**Figuur 4.1: Berekende effect op de GHG**

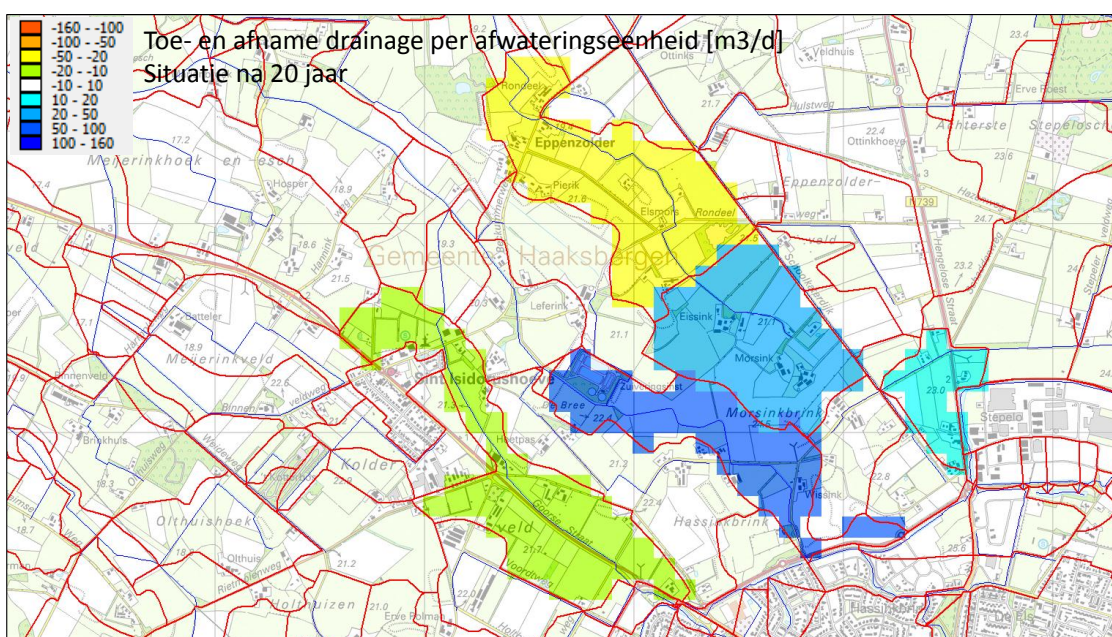


**Figuur 4.2 Berekende effect op de GLG**

De vernatting treedt op, omdat door de diepere ligging van het maaiveld en de waterlopen meer water via het grondwater uit de omgeving zal toestromen en minder grondwater zal afstromen. Het feit dat het effect op de GHG kleiner is dan op de GLG komt doordat 's winters meer waterlopen draineren die het effect op de grondwaterstand verkleinen.

#### *Effect op de afvoer van de beken*

Het oppervlaktewatersysteem zal door de vernatting meer water afvoeren dan in de referentiesituatie. De toename en afname van de drainage is per afwateringseenheid gegeven in figuur 4.3. In het zuidelijk deel van de Bolscher beek neemt de drainage in het voorjaar volgens de berekening toe met 55 m<sup>3</sup>/dag. In de zone rond het gebied waar vernatting wordt berekend neemt de drainage wat af.



**Figuur 4.3: Verandering drainage afwateringseenheden**

#### *Effect op het peil en het verhang in de Bolscher beek*

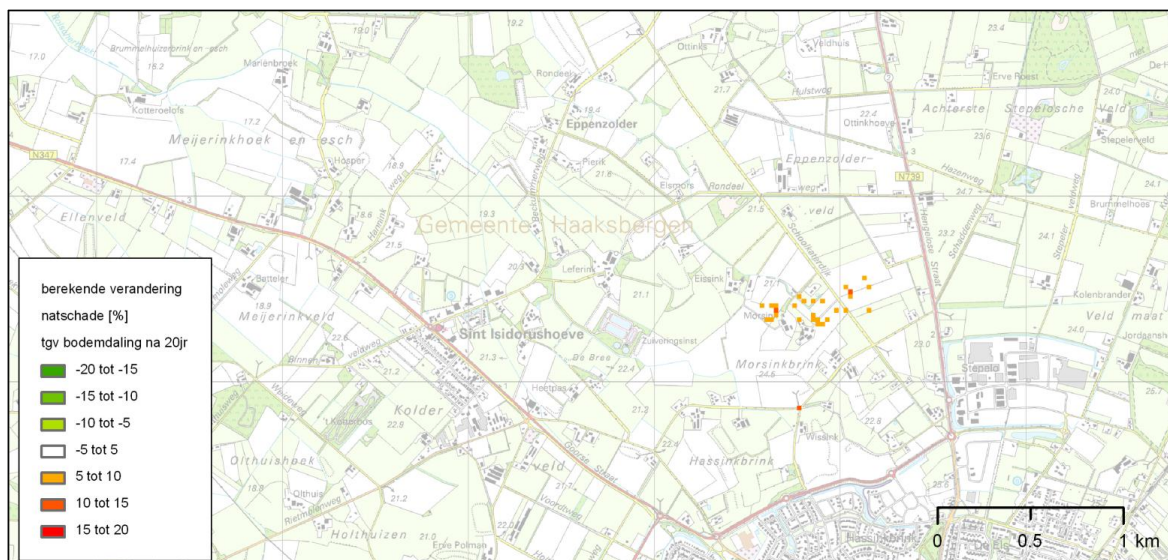
De afvoer van waterlopen is gericht van het zuidoosten naar het noordwesten. In het stroomafwaarts gelegen deel van de bodemdalingszone zal het verhang afnemen met gemiddeld 0,18 meter over een traject circa 1200 meter, circa 0,015%. In deze zone neemt de frequentie van inundatie mogelijk op een aantal locaties in een smalle zone langs de beek toe.

Het effect op het peil van de beek tijdens hoogwater is alleen voor de situatie na 50 jaar bepaald, zie paragraaf 4.3. Aangezien geen extra overlast tijdens hoogwater voor de bebouwing wordt verwacht na 50 jaar zal dat zeker niet het geval zijn na 20 jaar.

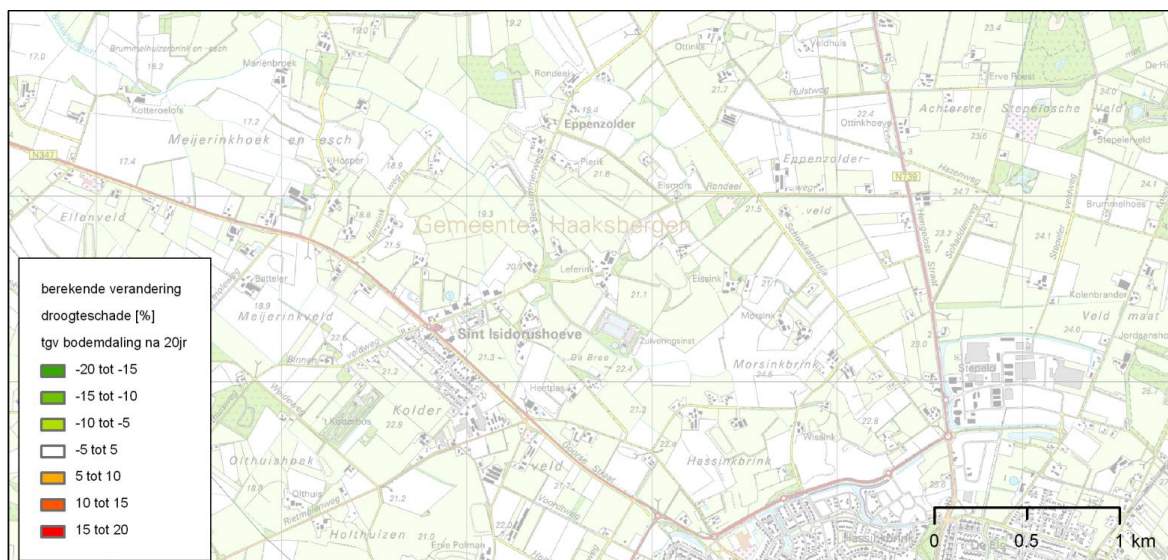
## 4.2 Effect op landbouw en bebouwing na 20 jaar

### Landbouw

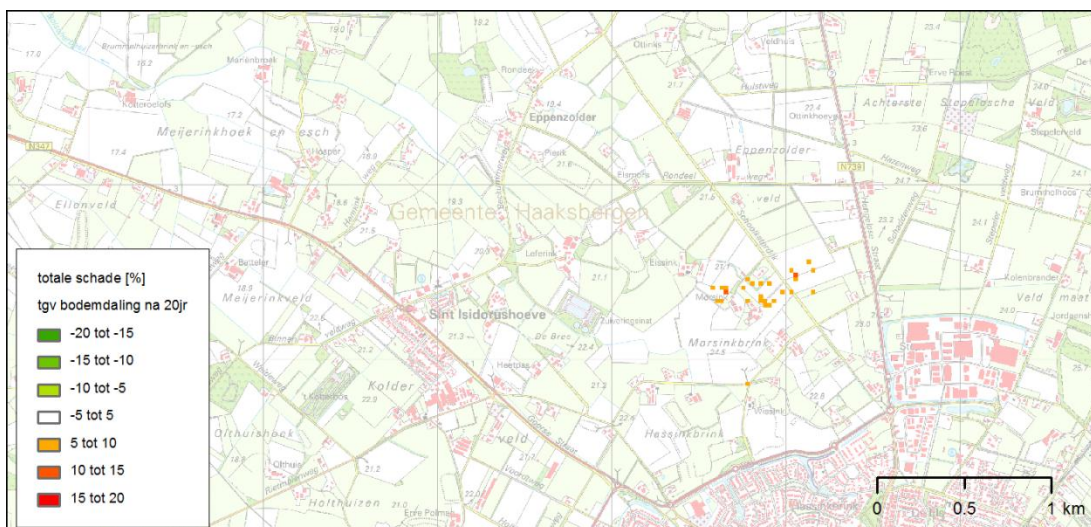
In het gebied waar de bodemdaling optreedt wordt in een aantal rekencellen (25 bij 25) een toename van 5% a 10% natschade verwacht. Vermindering van droogteschade wordt niet berekend omdat de GLG al in de uitgangssituatie veel te laag is. In figuur 4.6 is de verandering van de totaalschade volgens Waterhooft weergegeven.



Figuur 4.4: Berekende verandering natschade



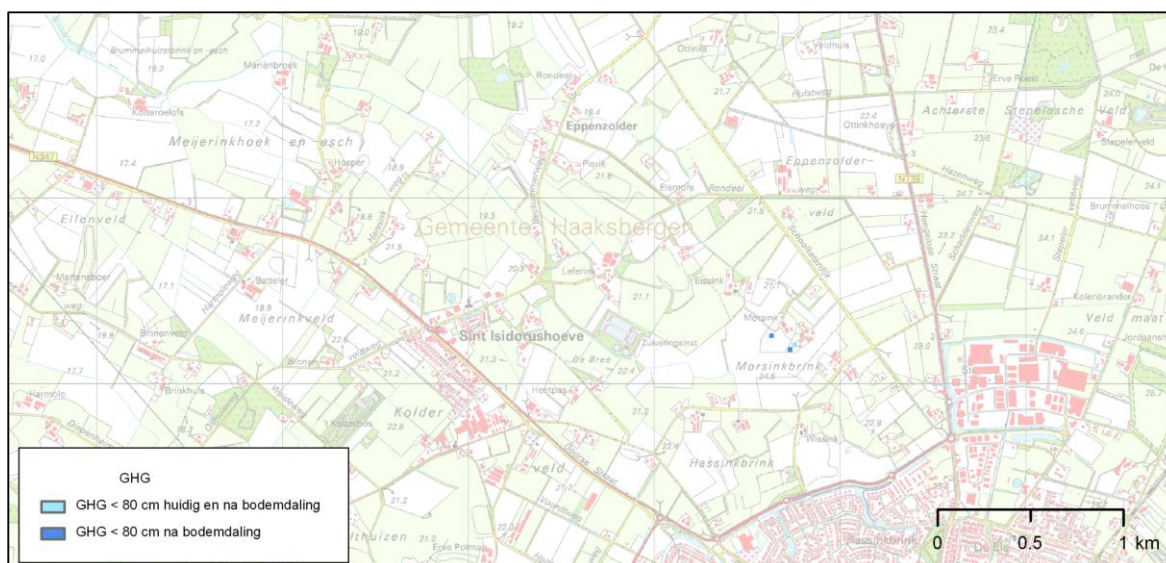
Figuur 4.5: Berekende verandering droogteschade



**Figuur 4.6: Berekende verandering totaalschade**

### *Effect op bebouwing*

De bebouwing is in figuur 4.7 in rood weergegeven. Er wordt ter plaatse van de bebouwing nergens een GHG hoger dan 0,8 meter berekend in het gebied waar de GHG meer dan 0,05 meter veranderd. Er is geen effect op de bebouwing te verwachten wat betreft wateroverlast ten gevolge van de GHG.



**Figuur 4.7: Zones waar GHG kleiner is dan 0,8 meter**

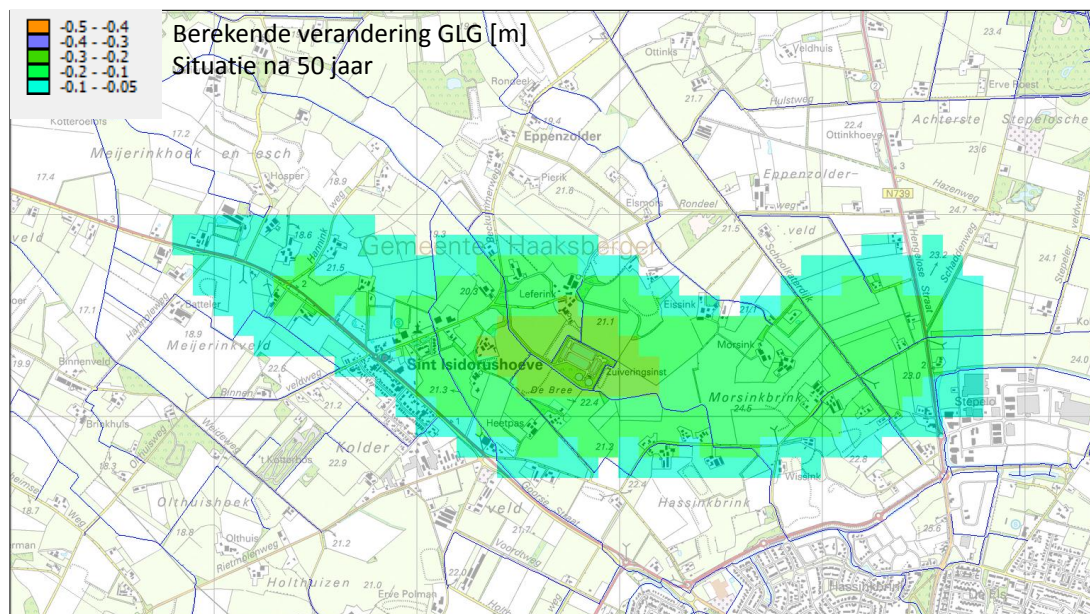
In een zone buiten het gebied waar vernatting wordt berekend ten gevolge van de bodemdaling wordt een geringe verlaging van de grondwaterstand berekend, kleiner dan 1 cm. Aangezien geen verlaging van enige betekenis wordt berekend, is er geen risico op zetting van bebouwing.

Toename van overlast ten gevolge van meer inundatie is alleen voor de situatie na 50 jaar bepaald.

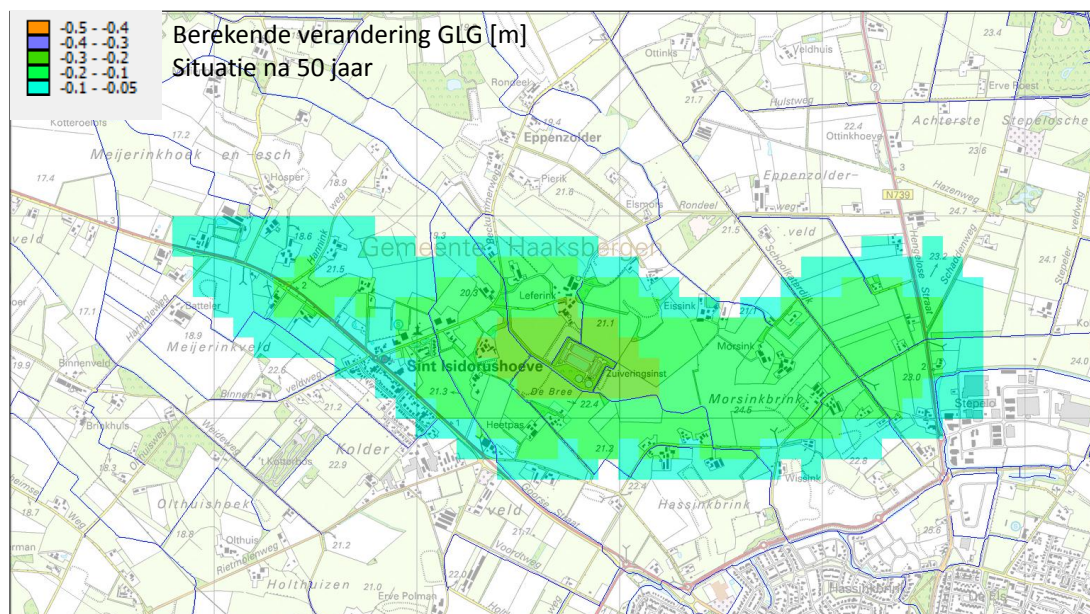
### 4.3 Hydrologische effecten na 50 jaar

#### *Effect op de grondwaterstand*

In het centrale deel van het gebied, waar de berekende bodemdaling maximaal circa 43 cm is, wordt de GHG maximaal circa 15 cm hoger (natter) berekend. Ook de GLG wordt natter berekend. Het berekende effect op de GLG is iets groter dan het effect op de GHG, namelijk ca. 25 cm.



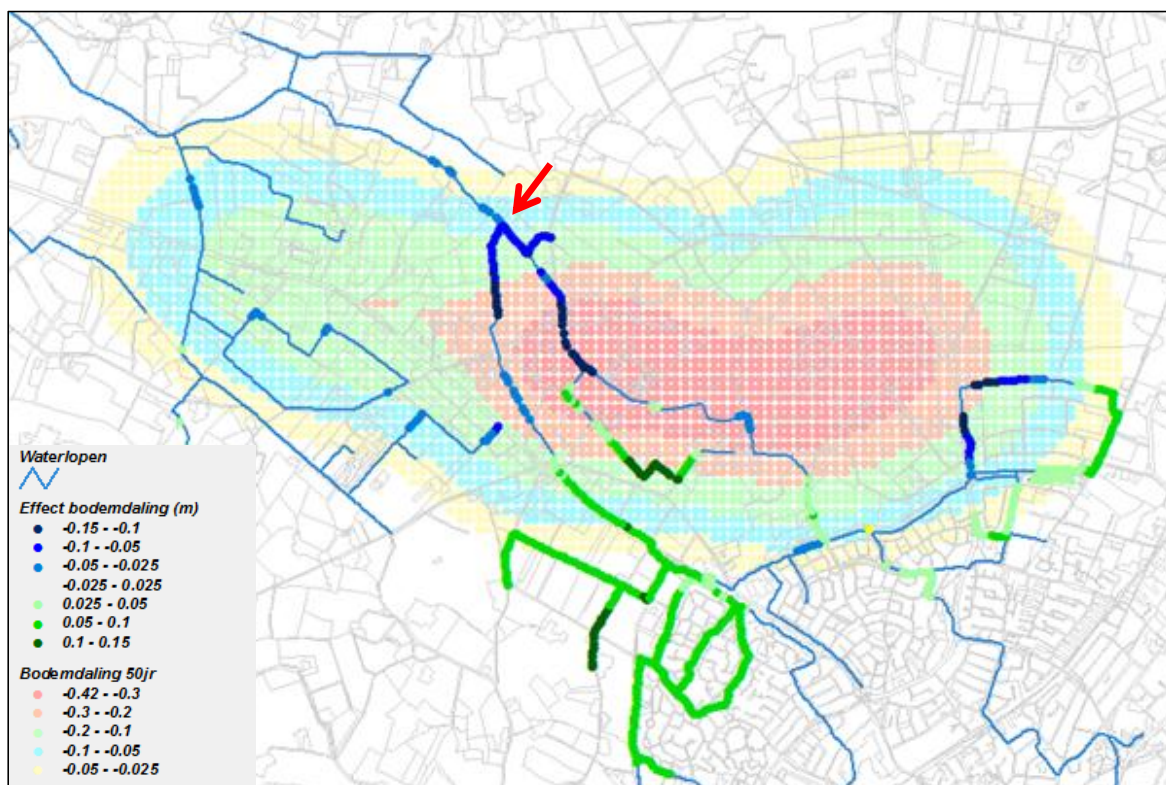
**Figuur 4.8: Berekende effect op de GHG**



**Figuur 4.9: Berekende effect op de GLG**

De vernatting treedt op, omdat door de diepere ligging meer water uit de omgeving zal toestromen en minder water zal afstromen.



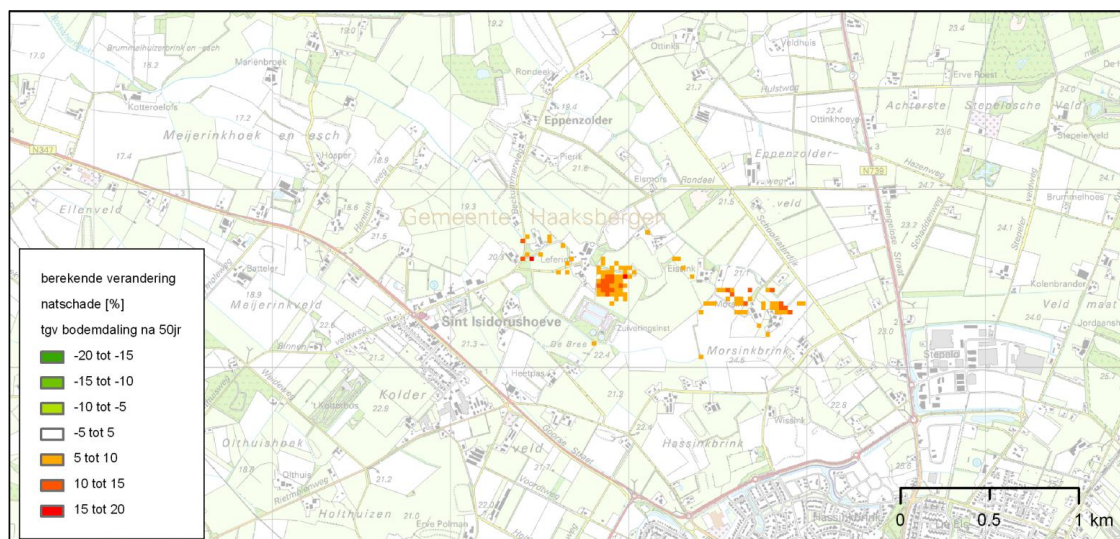


Figuur 4.11. Berekende effect op het beekpeil tgv bodemdaling na 50 jaar.

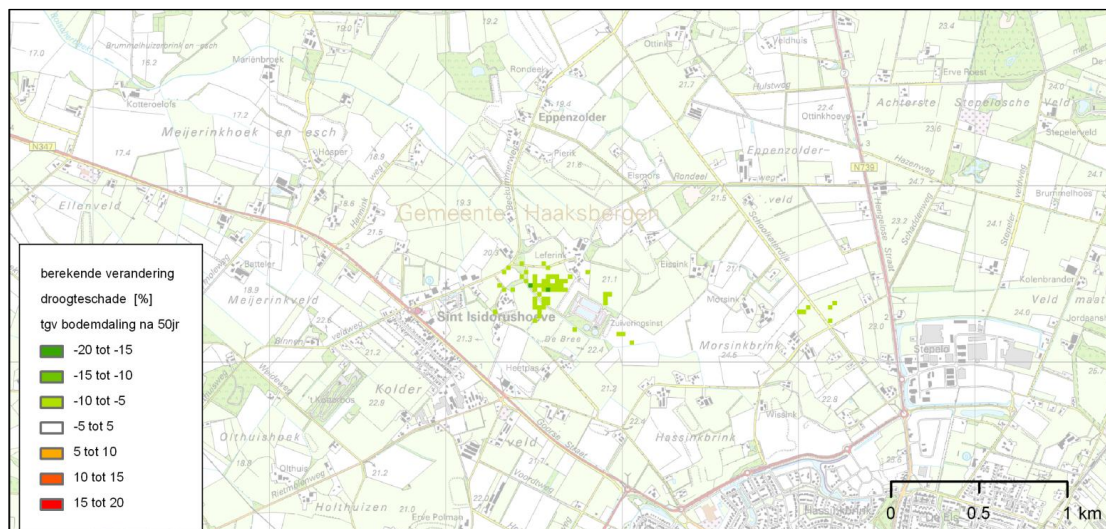
#### 4.4 Effect op landbouw en bebouwing na 50 jaar

##### *Landbouw*

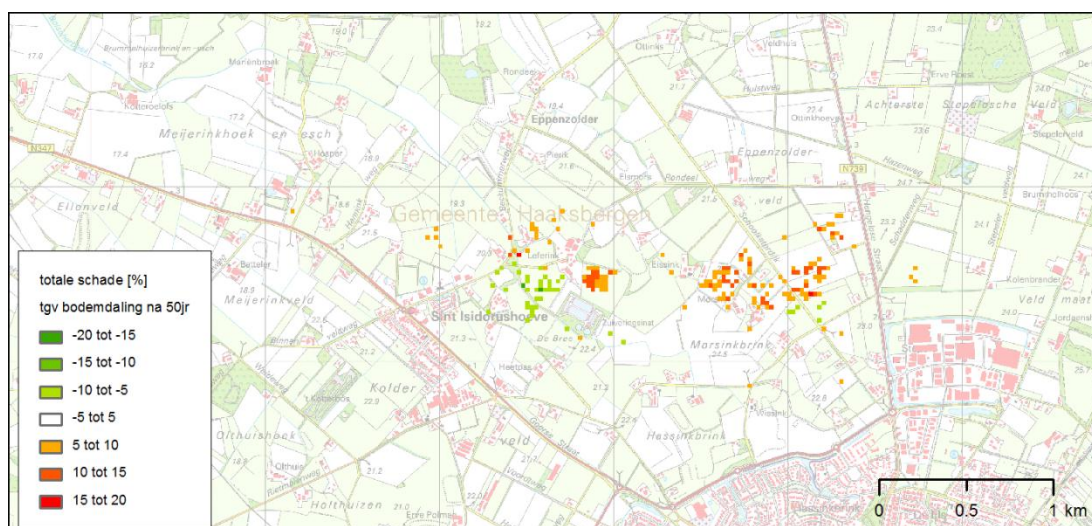
In het gebied waar de bodemdaling optreedt wordt op een aantal percelen een toename van 5% a 15% schade verwacht. In het westelijk deel wordt een vermindering van droogteschade berekend van 5% a 10%. De door Waterlood berekende verandering van de totaalschade laat een vergelijkbaar beeld zien.



Figuur 4.12: Berekende verandering natschade



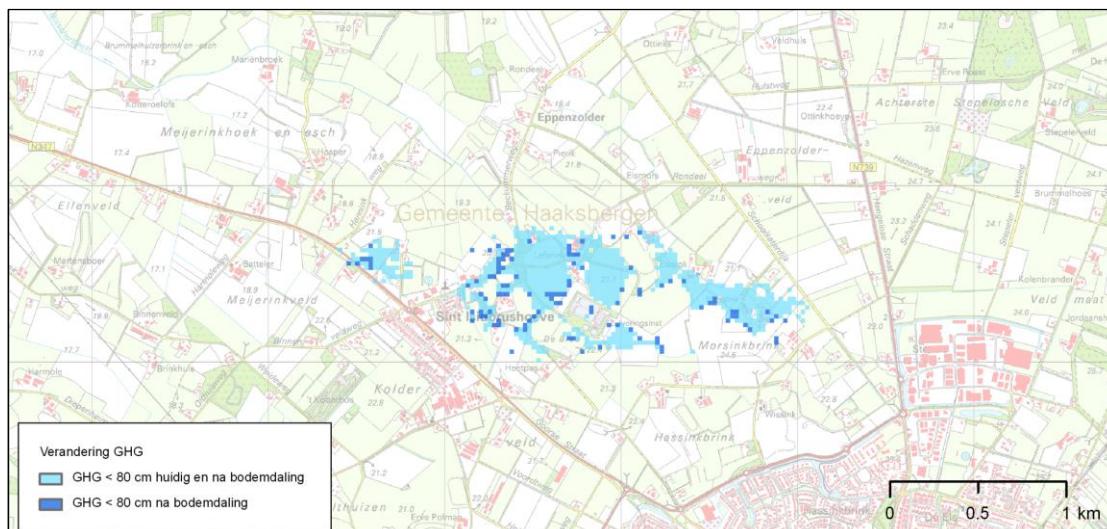
**Figuur 4.13: Berekende verandering droogteschade**



**Figuur 4.14: Berekende verandering totaalschade**

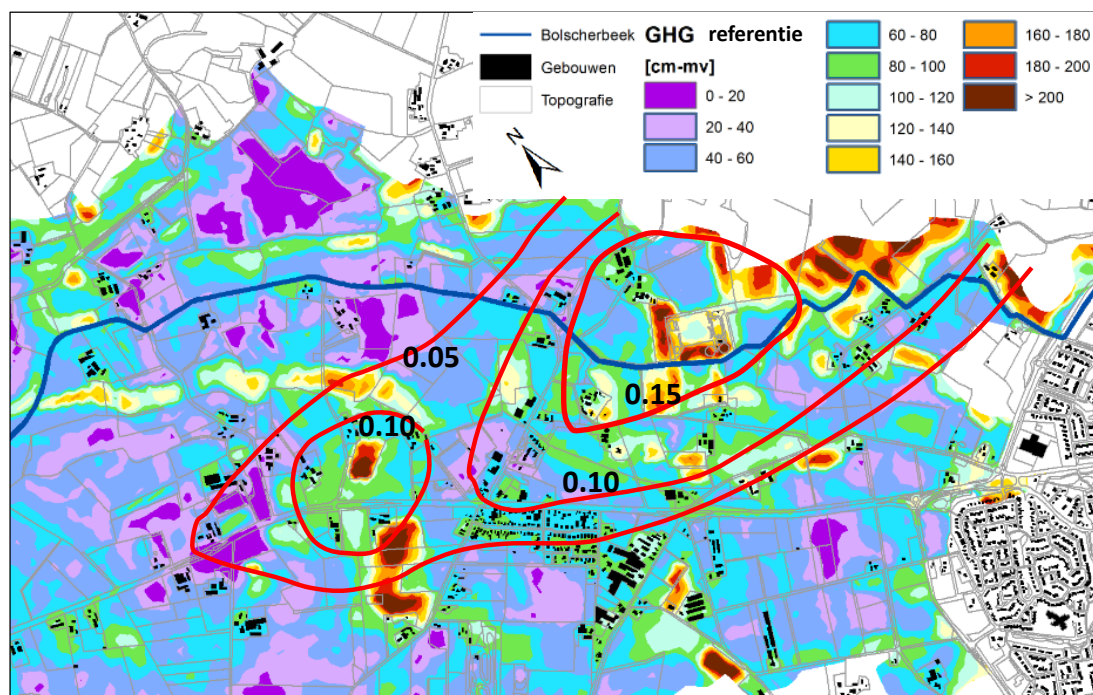
### *Effect op bebouwing*

De bebouwing is in figuur 4.15 in rood weergegeven. Nagenoeg alle cellen waar een GHG hoger dan 0,8 meter onder maaiveld berekend wordt na bodemdaling vallen buiten de bebouwingslocaties. Alleen in enkele cellen is er mogelijk een toename van wateroverlast te verwachten.



**Figuur 4.15** Zones waar GHG kleiner is dan 0,8 meter.

Het waterschap heeft in tweede instantie een gedetailleerdere kaart van de GHG aangeleverd (figuur 4.16), die voor de referentiesituatie een wat natter beeld te zien geeft dan de GHG berekend met het model (figuur 4.15). Daardoor heeft meer bebouwing volgens deze kaart in de referentiesituatie (de situatie na beekherstel) al te maken met overlast, dan uit figuur 4.15 blijkt.



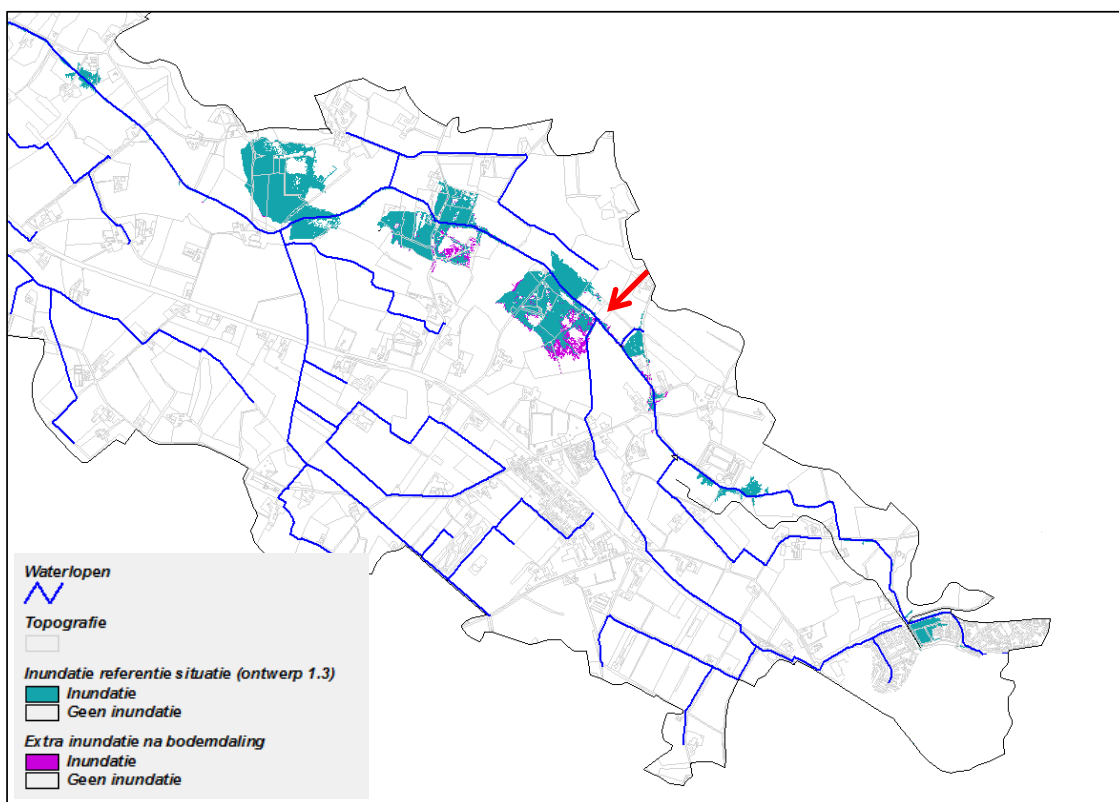
**Figuur 4.16.** GHG en contouren van de verandering van de GHG tgv bodemdaling

In figuur 4.16 zijn de berekende vernattingscontouren van de GHG ten gevolge van de bodemdaling (zie figuur 4.8) er overheen getekend. Waar de bebouwing binnen de contouren in de groene klasse valt kan ten gevolge van de bodemdaling de wateroverlast ontstaan als de GHG in de klasse 60-80 terecht komt. In de nattere blauwpaarse klassen neemt de overlast toe maar is er al sprake van overlast in de referentiesituatie.

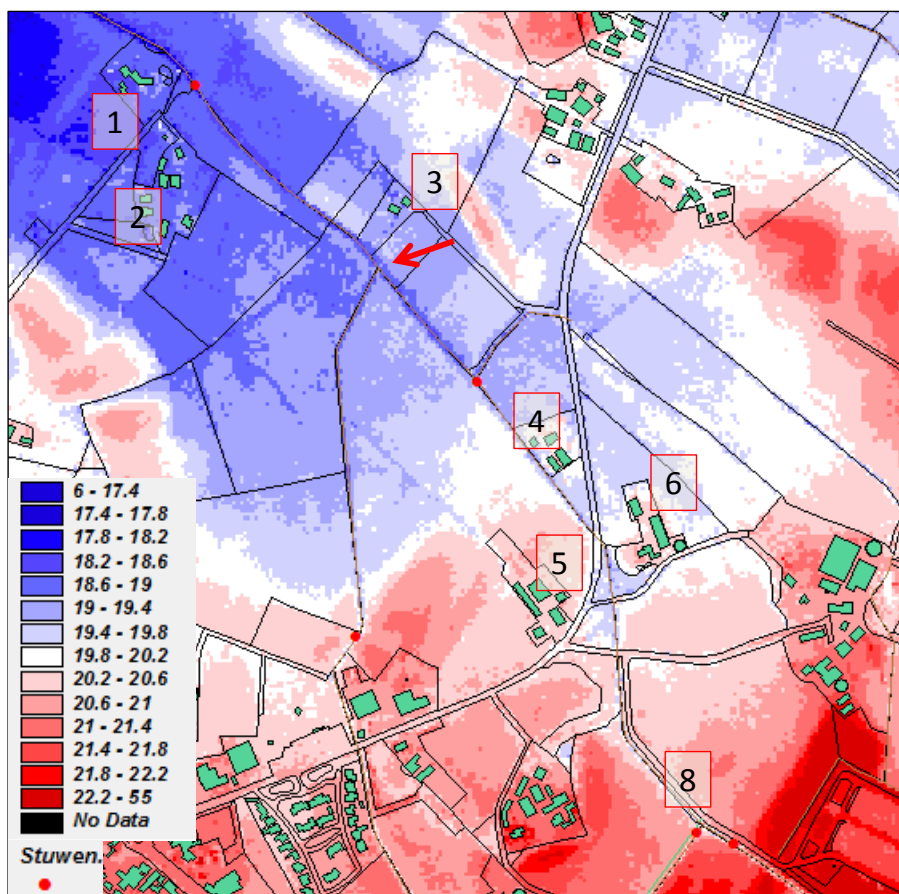
In het bodemdalingsgebied treedt alleen verhoging van de grondwaterstand op in de zomer. In een zone rond het bodemdalingsgebied wordt een geringe verlaging berekend van de grondwaterstand van maximaal circa 1 cm. Aangezien deze verlaging niet van enige betekenis is, is er geen risico op zetting van bebouwing.

Met het berekende peil tijdens hoogwater zijn de inundatiezones bepaald die eens in de 100 jaar kunnen ontstaan, voor zowel referentiesituatie op basis van het aangeleverde peil door HKV als voor de situatie na bodemdaling na 50 jaar. Het maaiveld en het aangeleverde beekpeil zijn verlaagd met de bodemdaling na 50 jaar. De berekende beekpeilverandering is hierop gesuperponeerd.

De inundatiezones zijn bepaald met de rivertool die Royal HaskoningDHV voor het berekenen van inundatiezones heeft ontwikkeld. Deze tool houdt rekening met de drempels die in het maaiveldraaster (5m \* 5m) aanwezig zijn. In figuur 4.17 is de toename van de inundatie in paars weergegeven.



**Figuur 4.17. Berekende inundatiezones.**



Figuur 4.18. Verloop maaiveldhoogte in de huidige situatie in stappen van 0,4 meter

Onderzocht is wat de te verwachten gevolgen van een peilstijging zijn rond de berekende inundatiezones. In figuur 4.18 is het verloop van het maaiveld weergegeven met de bebouwing.

- Achter de noordelijke stuw in figuur 4.18 wordt inundatie berekend. Daar wordt een geringe peilstijging berekend door de bodemdaling. In de referentiesituatie wordt de bebouwing bij (2) deels ingesloten door de inundatie. Ten gevolge van de bodemdaling is bij slechts enkele modelvlakken (5 x 5 meter) extra inundatie berekend. De bebouwing bij (3) ligt net op de grens van het inundatiegebied en er ontstaat geen extra risico op wateroverlast ten gevolge van de bodemdaling.;
- Direct benedenstrooms van de stuw is geen inundatie berekend, ook niet na bodemdaling. Hier neemt het risico voor de bebouwing bij (1) niet toe;
- De percelen ten noorden en ten zuiden van de bebouwing bij (4) inunderen in de referentiesituatie. Het inundatiegebied krijgt een iets grotere omvang door de bodemdaling. De bebouwing bij (4), (5) en (6) ligt echter relatief hoog, zodat er geen extra risico ontstaat door wateroverlast;
- Tussen (5) en (6) ligt een smalle diep gelegen inundatiezone. Vanaf hier naar het zuiden wordt de grootste peilstijging berekend ten gevolge van de bodemdaling (0,1 – 0,15 meter). Doordat de inundatiezone diep ligt, heeft de peilstijging slechts geringe invloed op de grootte van de zone;
- Zuidelijker, bij (8), is de beek relatief diep ingesneden. Er is geen inundatie berekend, ook niet na bodemdaling.

Samenvattend wordt gesteld dat ten noorden van de rode pijl een geringe verhoging van het beekpeil wordt berekend ten gevolge van de bodemdaling. De grootte van de inundatiezones neemt hier licht toe. Er is geen extra risico voor de bebouwing. Door bodemdaling is het zuidelijk van de rode pijl berekende beekpeil hoger dan in de referentiesituatie. Door het verloop van het maaiveld kunnen de inundatiezones hier echter niet veel groter worden.

## 5 CONCLUSIES EN BESCHOUWING VAN DE BEREKENDE EFFECTEN

### Na 20 jaar

- De effecten op de GLG zijn gering (maximaal 0,1 meter) en positief voor de landbouw. De effecten op de GHG zijn gering (maximaal 0,06 meter) en leiden op enkele locaties tot een toename van de landbouwschade van 5% a 10%;
- Er is geen effect te verwachten voor de bebouwing in het gebied. Er is geen risico op zetting;
- De basisafvoer van de beken neemt in een aantal afwateringseenheden toe, maximaal 55 m<sup>3</sup>/dag. Omdat de waterlopen ingericht zijn voor afvoer tijdens hoogwatersituaties zal een verhoging van de basisafvoer niet tot problemen leiden;
- Door de afname van het verhang met circa 0,015% over een traject van 1200 meter in het stroomafwaarts gelegen deel binnen het bodemdalingsgebied zal het peil tijdens hoogwatersituaties toenemen en kan er vaker inundatie optreden. Een hoger beekpeil tijdens hoogwater leidt na 50 jaar niet tot meer overlast voor bebouwing. Na 20 jaar is dat zeker niet het geval.

### Na 50 jaar

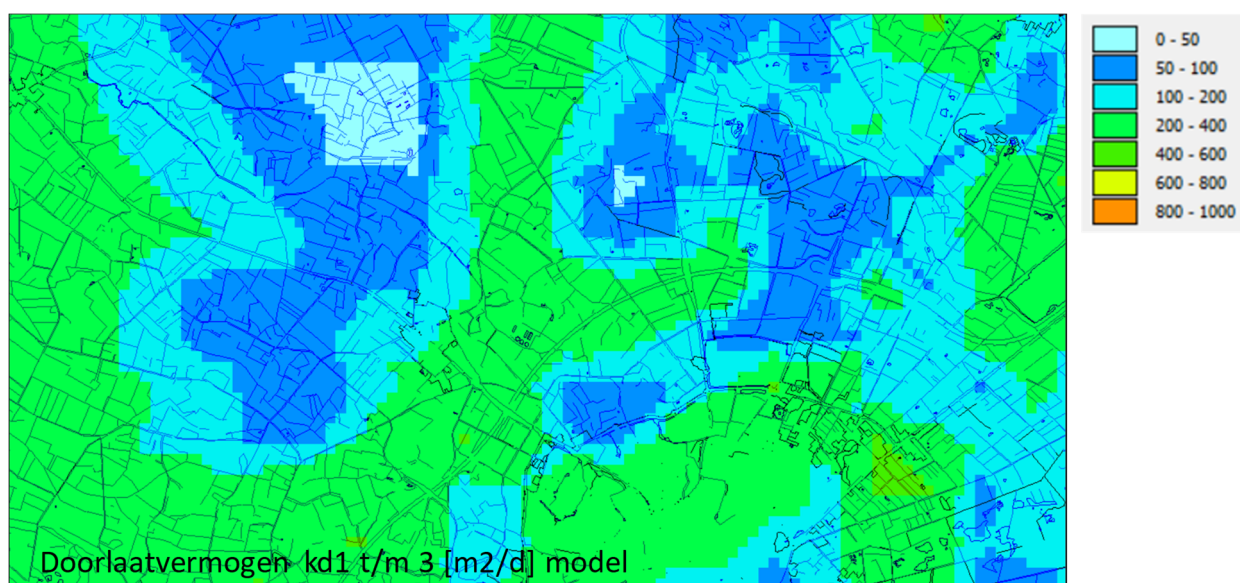
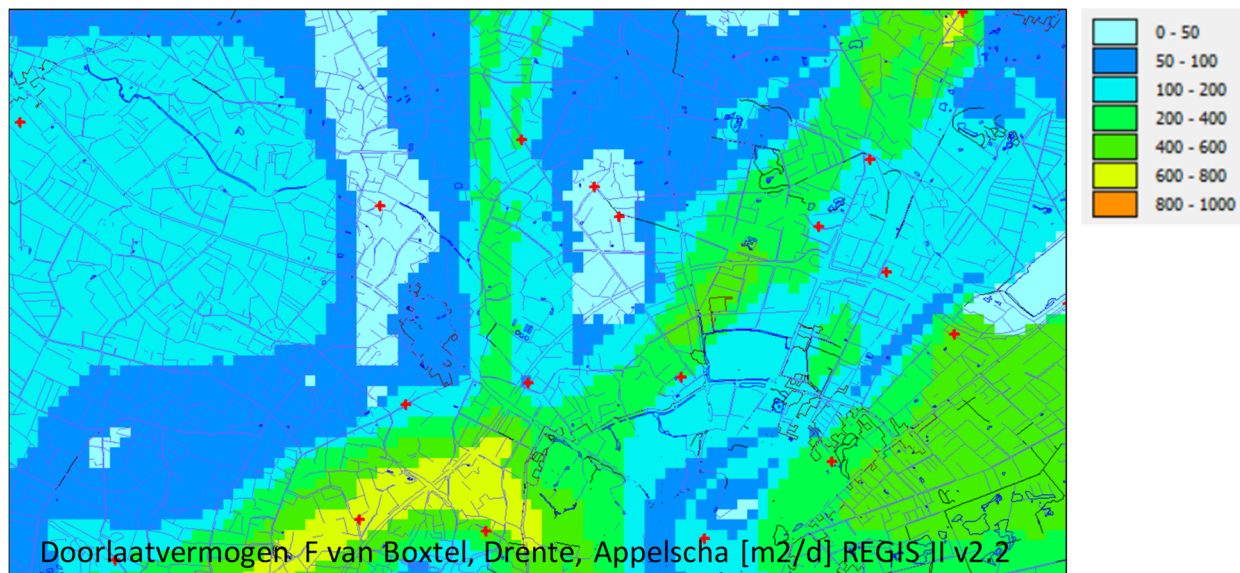
- De effecten op de GLG zijn gering (maximaal 0,25 meter) en positief voor de landbouw. De effecten op de GHG zijn gering (maximaal 0,15 meter) en leiden op enkele percelen tot een toename van de landbouwschade van 5% a 15%;
- Nagenoeg alle cellen waar een GHG hoger dan 0,8 meter onder maaiveld berekend wordt ten gevolge van de bodemdaling vallen buiten de bebouwingslocaties. Alleen in enkele cellen is er mogelijk een toename van wateroverlast te verwachten. In tweede instantie heeft het waterschap een gedetailleerdere kaart van de GHG aangeleverd voor de referentiesituatie die een wat natter beeld te zien geeft dan de met het model berekende GHG. Volgens deze kaart zal bij een aantal bebouwingslocaties overlast kunnen ontstaan. Er is geen risico op zetting;
- De basisafvoer van de beken neemt in een aantal afwateringseenheden toe, maximaal 145 m<sup>3</sup>/dag. Omdat de waterlopen ingericht zijn voor afvoer tijdens hoogwatersituaties zal een verhoging van de basisafvoer niet tot problemen leiden;
- Door de afname van het verhang met circa 0,03% over een traject van 1500 meter in het stroomafwaarts gelegen deel binnen het bodemdalingsgebied zal het peil tijdens hoogwater toenemen en kan er vaker inundatie optreden. Een hoger beekpeil tijdens hoogwater leidt na 50 jaar niet tot meer overlast voor bebouwing.

### Mogelijke compensatie

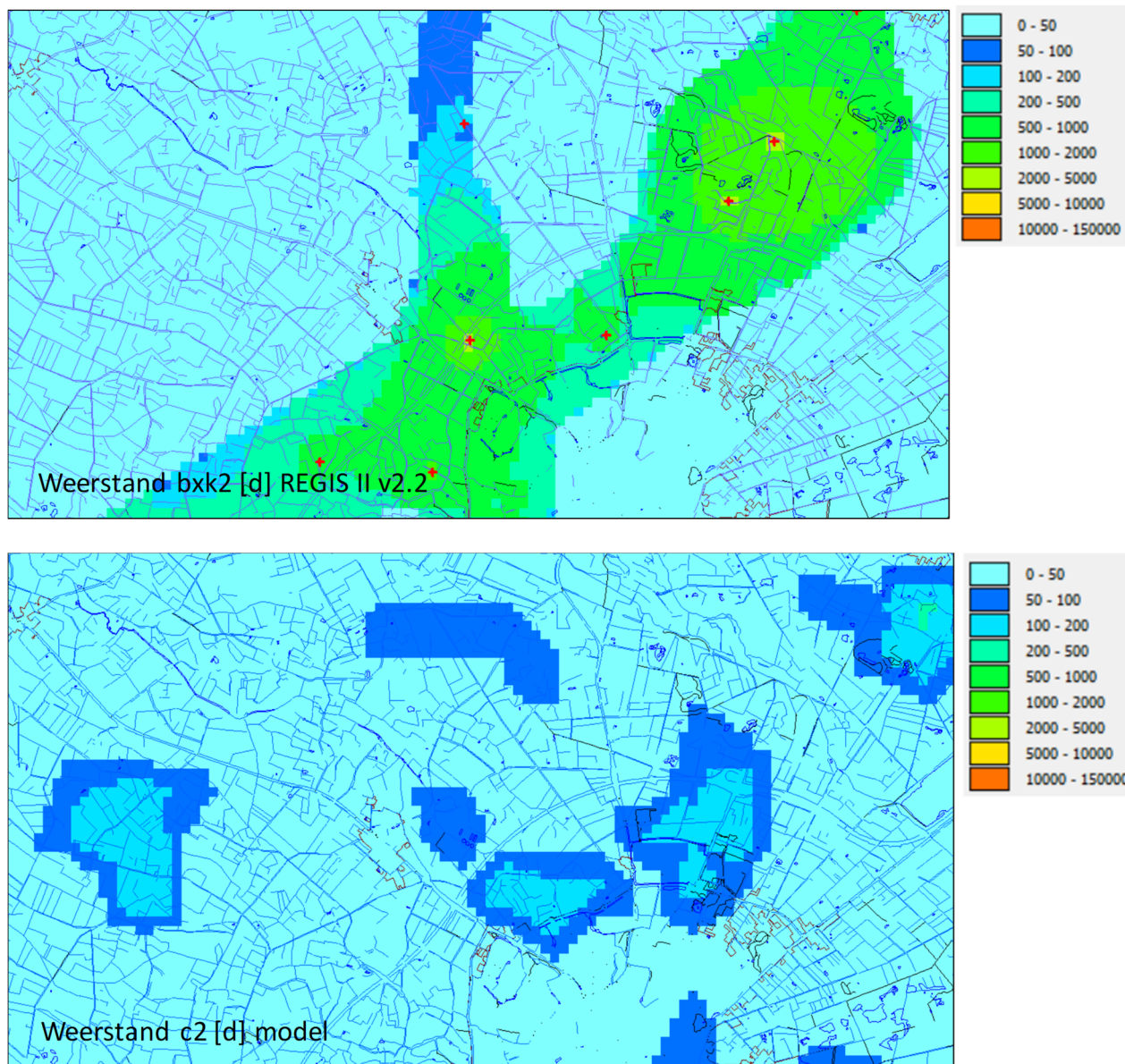
Effecten op grondwaterstand (GHG) en daarmee nadelige effecten voor de landbouw en op de bebouwing kunnen eenvoudig hydrologisch worden gecompenseerd door een stuwpeil te verlagen of door lokaal de kavelsloten te verdiepen of door lokaal op de percelen de drainage te intensiveren. Dit zal wel leiden tot een wat hogere basisafvoer in de beken. Ook hier geldt echter dat de waterlopen ingericht zijn voor afvoer tijdens hoogwatersituaties en zal een verhoging van de basisafvoer niet tot problemen leiden.

## **Bijlage 2**

### **Vergelijking modelparameters REGIS II v2.2 met de parameters van het model**



Figuur B2.1 Totale doorlaatvermogen zandige afzettingen in REGIS II v2.2 (boven) en doorlaatvermogen in het model (onder). Locaties van boringen waar de schematisatie van REGIS op gebaseerd is, zijn weergegeven met een rood plusteken.



Figuur B2..2 Weerstand bxx2 in REGIS II v2.2 (boven) en weerstand in het model (onder). Locaties van boringen waar de schematisatie op gebaseerd is, zijn weergegeven met een rood plusteken.