

BEKENDELLE

Effectbepaling hydrologie

13 NOVEMBER 2017



Contactpersonen

5.1.2e

Specialist Water

T 5.1.2e
E 5.1.2e @arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

5.1.2e

Junior Hydroloog

M 5.1.2e
E 5.1.2e @arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

5.1.2e

(WRIJ)

Specialist Planvorming

M 5.1.2e
E 5.1.2e @wrij.nl

Ws Rijn en IJssel
Postbus 148
7000 AC Doetinchem
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
1.1	Doel	4
1.2	Leeswijzer	4
2	WERKWIJZE	5
2.1	Maatregelen scenario's	5
2.1.1	Ontzanden	6
2.1.2	Vispassage	7
2.1.3	Scenarioberekeningen	7
2.2	Oppervlaktewatermodel	7
2.2.1	Afvoerdynamiek en regime	7
2.3	Grondwatermodel	8
2.3.1	Aanpassing watersysteem	9
2.3.2	Beoordeling AMIGO-grondwatermodel	9
2.3.3	Scenarioberekeningen	10
2.4	Toetsing vegetatietypen Bekendelle	10
3	RESULTATEN	13
3.1	Oppervlaktewater	13
3.1.1	Scenarioberekeningen	13
3.2	Grondwater	15
3.2.1	Aanpassing Watersysteem	15
3.2.2	Gevoeligheidsanalyse drainageweerstand	17
3.2.3	Beoordeling AMIGO-grondwatermodel	19
3.2.4	Scenarioberekeningen	19
3.3	Toetsing Vegetatietypen Bekendelle	25
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	31
4.1	Aanbevelingen	32

1 INLEIDING

De Boven Slinge zand sterk aan op het traject 'Berenschot Watermolen' en de vispassage 'Broekmolen'. Met name vanaf de molenkolk tot iets voorbij de Stenenbrug (Klandermansweg) is de bodem fors omhooggekomen als gevolg van aanzanding. Dit leidt tot frequentere inundatie en hogere waterstanden bij piekafvoeren. Om deze ontwikkeling tegen te gaan, wordt een deel van de Boven Slinge opgeschoond. Het traject waar deze maatregelen genomen moeten worden bevindt zich in het N2000/PAS-gebied Bekendelle. Het is daarom van belang dat de aanpassingen niet leiden tot een verslechtering van de omstandigheden voor de natuurdoelen in dit gebied. De maatregelen moeten uiterlijk in 2021 gereed zijn, maar vanwege de belangen in de streek wil het waterschap zo snel mogelijk overgaan tot uitvoering. De aanzanding in Bekendelle en de mogelijke maatregelen worden in 2 sporen onderzocht:

In Spoor I wordt de morfologie van de Boven Slinge nader onderzocht met als doel meer grip te krijgen op de processen die een rol spelen bij de (sterke) aanzanding. De inzichten moeten helpen bij en formuleren van (eventuele) aanvullende maatregelen om het opschonen van de Boven Slinge geen 'jaarlijks terugkerende onderhoudspraktijk' te laten worden.

In Spoor II wordt er gekeken naar de effecten van eventuele aanpassingen van de Boven Slinge. Hierbij wordt het verschil tussen de originele legger situatie ten opzichte van de actuele situatie onderzocht. Hieruit zijn de hogere waterstanden te herleiden als gevolg van de aanzanding. Vervolgens worden een aantal scenario's doorgerekend om de effecten van de mogelijke maatregelen te berekenen. De maatregelen bestaan uit een combinatie van het ontzanden van (een deel van) de Boven Slinge en het aanpassen van vispassage 'Broekmolen', benedenstrooms van Bekendelle.

In dit rapport zijn de resultaten van spoor II uitgewerkt.

1.1 Doel

Het doel van spoor II is het inzicht krijgen in de verandering van de grondwaterstanden als gevolg van de te nemen maatregelen en het beoordelen van de grondwaterafhankelijke functies bij deze veranderingen.

Omdat het exacte maatregelenpakket nog niet bekend is, worden diverse scenario's beoordeeld. De effecten worden doorgerekend met het AMIGO-grondwatermodel (versie 2.1). De leggerwatergangen worden daarbij opnieuw geschematiseerd met behulp van SOBEK-modellen. Om de hoofdvraag te beantwoorden, worden de volgende aspecten onderzocht:

- Beoordeling van de bruikbaarheid van AMIGO v2.1 door een vergelijking met AMIGO v2.0;
- Beoordeling van de interactie tussen het oppervlaktewatersysteem en het grondwatersysteem met behulp van een gevoeligheidsanalyse waarbij wordt gevarieerd in de drainageweerstand;
- Het uitvoeren van een 5-tal scenarioberekeningen waarmee het grondwaterstandsverloop en de verandering daarin inzichtelijk kan worden gemaakt.
- Een 'kwantitatieve beoordeling' van de scenario's voor de verschillende grondwaterafhankelijke functies. Het gaat hierbij primair om het effect op de grondwaterafhankelijke vegetatietypen in het N2000 gebied 'Bekendelle'.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens de (model)resultaten uitgewerkt en volgt de beoordeling van de grondwaterafhankelijke natuur. Vervolgens worden de conclusies en aanbevelingen gegeven in hoofdstuk 4.

2 WERKWIJZE

Wij geven eerst een korte beschrijving van het onderzoeksgebied en de gewenste maatregelen. Vervolgens wordt de inzet van het oppervlaktewatermodel toegelicht, gevolgd door de koppeling tussen het oppervlaktewatermodel en het grondwatermodel. Daarna wordt de grondwatermodellering beschreven en hoe de uitkomsten daarvan worden getoetst op de natuurfuncties binnen het N200-gebied 'Bekendelle'.

2.1 Maatregelenscenario's

Het onderzoekstraject bevindt zich in het N2000/PAS-gebied Bekendelle, tussen Berenschot Watermolen en Vispassage Broekmolen (zie Figuur 1). Er zijn leggerwatergangen die binnen dit traject op de Boven Slinge afwateren. Dit zijn de Klandersmans Waterleiding, Mister Mark Waterleiding, Schepers Waterleiding en de Limbeek.



Figuur 1 Overzicht van het onderzoeksgebied

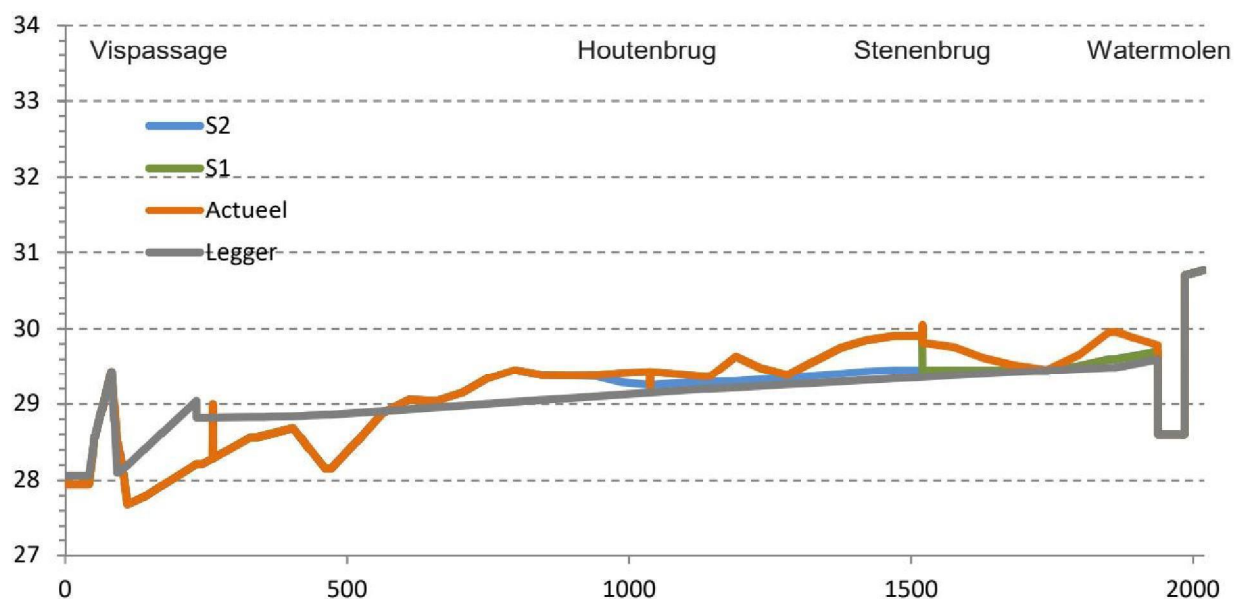
De forse aanzanding leidt tot peilstijging bij hoge afvoeren. De eerste stap in dit onderzoek is het kwantificeren van deze peilstijging. Hiervoor wordt het oppervlaktewatersysteem van actuele situatie (ingemeten in 2016) vergeleken met de theoretische situatie zoals deze is vastgesteld in de legger van het Waterschap. Hiermee wordt de totale omvang en het maximale effect inzichtelijk gemaakt.

Vervolgens worden twee hydrologische maatregelen om de pijlstijging op de Boven Slinge tegen te gaan onderzocht. Het (deels) ontzanden van de Boven Slinge en het aanpassen van de vispassage 'Broekmolen'. Naast het opstuwende effect als gevolg van aanzanding of de aanleg van de vispassage zijn meerdere oorzaken denkbaar. Eén daarvan is het voorkomen van hout in de beek. In dit rapport wordt er uitgegaan van een schone beek. De opstuwing als gevolg van hout in de beek wordt in deze studie niet gekwantificeerd. Uit andere onderzoeken is bekend dat dit effect niet verwaarloosbaar mag worden verondersteld.

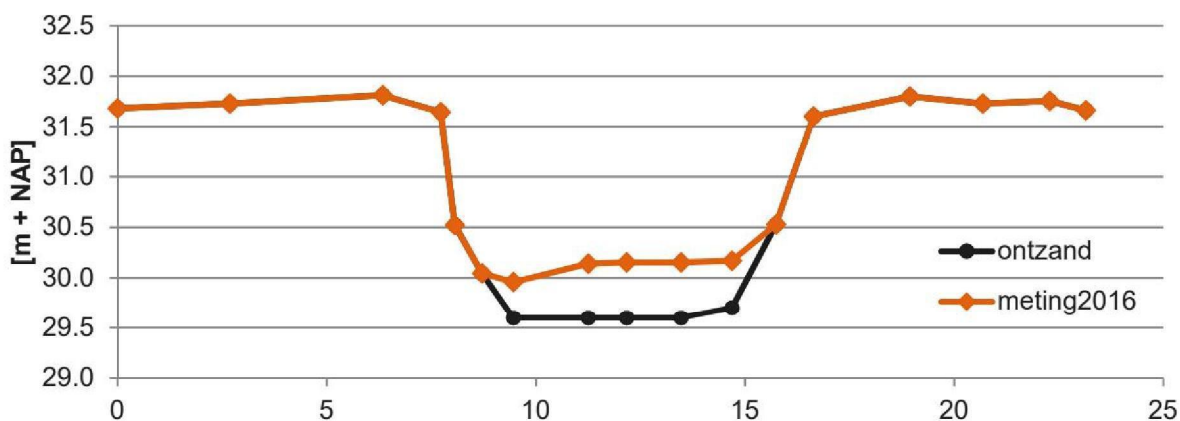
2.1.1 Ontzanden

In figuur 2 zijn de bodemhoogtes uit de inmeting van 2016 en de bodemhoogte volgens de legger gepresenteerd voor het traject Berenschot Watermolen – Vispassage Broekmolen. Deze figuur laat duidelijk zien dat op sommige locaties de bodem zeker 60 centimeter hoger is dan de bodemhoogte conform de legger.

In hetzelfde figuur zijn ook de bodemhoogtes van de verschillende scenario's te zien. Bij het ontzanden van de Boven Slinge worden twee varianten onderzocht. In het eerste scenario (S1) wordt de bodem tussen de Berenschot Watermolen tot de Stenenbrug verlaagd. In dit scenario blijft er nog een duidelijke verhoging in de bodem zichtbaar tussen Houtenbrug en Stenenbrug. Bij het tweede scenario (S2) wordt het traject tussen de Berenschot Watermolen en de Houtenbrug ontzand. In scenario 2 worden de eerder genoemde verhoging ook opgeschoond. De Boven Slinge wordt op dit traject niet teruggebracht tot de bodemhoogte in de legger, maar tot 10 cm boven de theoretische bodemhoogte. Dit zijn afspraken die volgen uit de GGOR en de PAS-maatregelen voor dit gebied. In figuur 3 is ter illustratie de aanpassing van dwarsprofiel '189986' weergegeven.



Figuur 2 Bodemhoogtes uit SOBEK



Figuur 3 Voorbeeld van ontzanding tot 10 cm boven leggerniveau (189986 ontzand tot 29,6+NAP)

2.1.2 Vispassage

De aanpassing aan Vispassage Broekmolen wordt meegenomen als variant op de bovengenoemde 2 scenario's van ontzanden. In variant A blijft de vispassage bestaan conform de huidige inrichting. In variant B is de vispassage aangepast zodat deze géén opstuwende werking meer heeft ten opzichte van de situatie vóór de aanleg van de cascade. De cascade wordt verlaagd tot een effectieve stuwhoogte van 29,20 m +NAP, conform de oorspronkelijke hoogteligging van de Boven Slinge voor de realisatie van de cascade.

2.1.3 Scenarioberekeningen

De theoretische situatie conform de legger, de huidige situatie volgens de inmeting in 2016, en de 4 varianten die als maatregelenscenario worden doorgerekend, leveren 6 modelscenario's. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende scenario's.

Tabel 1 Overzicht Scenario's

#	Naam	Omschrijving
Th_10	Legger 1,0 d	Watergang conform de legger, drainageweerstand 1,0 d (origineel)
Sc0	Meting 2016	Watergang conform inmeting 2016, rekening houden met doorstroomprofiel bij de bruggen
Sc1_A	STB	Scenario 0 + opschonen tot Stenenbrug*
Sc1_B	STB_B	Scenario 0 + opschonen tot Stenenbrug + aanpassing vispassage 'Broekmolen)**
Sc2_A	HTB	Scenario 0 + opschonen tot Houtenbrug*
Sc2_B	HTB_B	Scenario 0 + opschonen tot Houtenbrug + aanpassing vispassage 'Broekmolen)**

* Opschonen: bodem verlagen tot ca. 10 cm boven de legger.

** Aanpassing Broekmolen: opstuwende werking wegnemen door het verlagen van de cascade tot een effectieve stuwhoogte van 29,20m + NAP

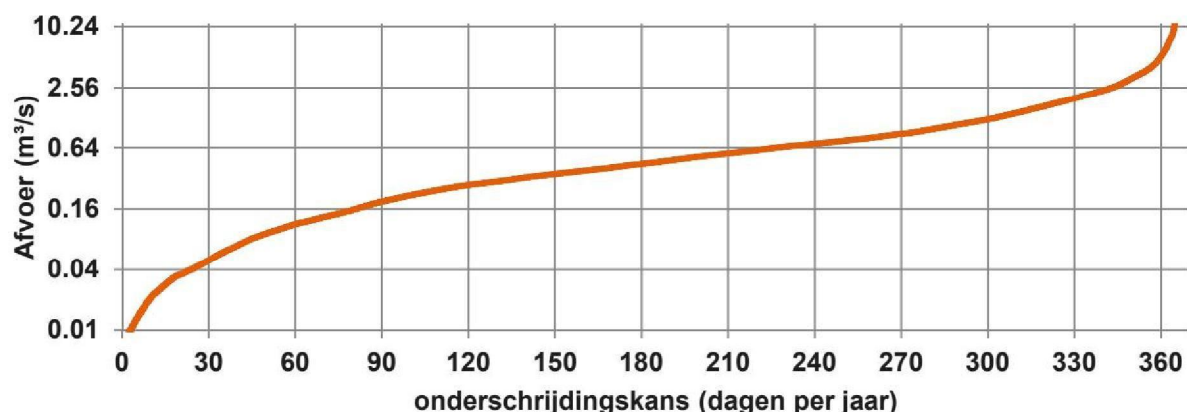
2.2 Oppervlaktewatermodel

Het oppervlaktewatermodel wordt ingezet om de peilstijging bij extreme afvoer en bij basisafvoer te kwantificeren. Daarnaast wordt het oppervlaktemodel ingezet om het grondwatermodel te verfijnen. Het AMIGO-grondwatermodel rekent met een gemiddeld zomer- en winterpeil. Dit doet géén recht aan de grote dynamiek waardoor de Boven Slinge wordt gekarakteriseerd.

2.2.1 Afvoerdynamiek en regime

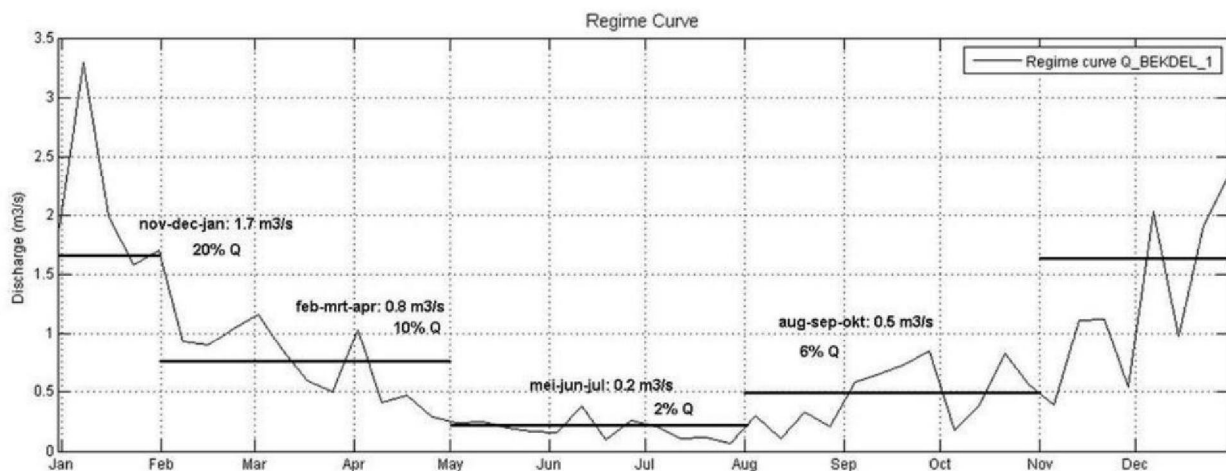
De afvoerdynamiek ter hoogte van Berenschot Watermolen is inzichtelijk gemaakt door middel van een duurlijn met onderschrijdingskans (Figuur 4). De duurlijn is gebaseerd op alle metingen bij de zandvang aan de Misterweg (Berenschotbrug) vanaf 2010. De duurlijn is gecorrigeerd voor de afvoer uit de 4 zij-instromen.

De afvoer die hier gemiddeld één dag per jaar wordt overschreden (Q) bedraagt 8.5 m³/s. De afvoer die 1x per 100 jaar wordt overschreden (2Q) bedraagt 17 m³/s. 0,01Q wordt op basis van de onderstaande afvoerverdeling ca 45 dagen per jaar overschreden. Deze afvoer bedraagt slechts 85 liter per seconde.



Figuur 4 Onderschrijdingskans (duurlijn) afvoer Boven Slinge ten hoogte van Berenschot Watermolen

Het afvoerregime is inzichtelijk gemaakt door middel van een regimecurve (Figuur 5). Hieruit blijkt duidelijk dat gebruik maken van een gemiddeld zomer- en winterpeil geen recht doen aan het regime van de Boven Slinge. Er is gekozen voor een representatief waterpeil per seizoen. Hiervoor is het jaar opgedeeld in 4 kwartalen. Voor ieder kwartaal is de gemiddelde afvoer bepaald om vervolgens met behulp van het SOBEK-oppervlaktewatermodel de bijbehorende waterpeilen uit te rekenen.



Figuur 5 Afvoersituaties voor de Boven Slinge

2.3 Grondwatermodel

De effecten van de maatregelen op het grondwater worden uitgerekend met behulp van het regionale grondwatermodel AMIGO. Afgelopen jaren heeft het AMIGO-model verschillende malen verbeterd, met als meest recente versie 2.1. Bij GGOR-studie Bekendelle (2011) is gebruik gemaakt van versie 1.1. Ten behoeve van deze GGOR-studie zijn enkele verbeteringen doorgevoerd. Deze aanpassingen zijn deels in versie 2.0 geïntegreerd, deels pas in versie 2.1 en deels gaat het om specifieke aanpassingen binnen de GGOR. Een stapsgewijze transitie van deze aanpassingen is uitgewerkt in Bijlage A.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de meest recente versie van AMIGO (AMIGO v2.1). De uitkomsten kunnen hierdoor verschillen van de resultaten uit de GGOR-studie.

Een uitgebreide modelkalibratie wordt in dit onderzoek niet uitgevoerd. In het grondwatermodel zijn reeds de meest actuele inzichten verwerkt, waardoor wordt aangenomen dat deze versie van het model een betere schematisatie is van de werkelijke situatie, dan de voorgaande (reeds goedgekeurde) versie. Daarbij is voor dit onderzoek het oppervlaktewaterstelsel aangepast op basis van de nieuwste inzichten en de uitgevoerde SOBEK-berekeningen. Ook is de drainageweerstand beoordeeld door middel van een gevoeligheidsanalyse.

2.3.1 Aanpassing watersysteem

Het oppervlaktewatersysteem wordt geschematiseerd aan de hand van vier parameters, te weten waterpeil, bodemhoogte, conductance en infiltratiefactor. Het waterpeil en de bodemhoogte zijn overgenomen van de uitgevoerde SOBEK-berekeningen.

Infiltratiefactor

In het originele AMIGO v2.1 model wordt verondersteld dat de infiltratieweerstand 5 x zo hoog is als de drainageweerstand. Bij de zandige, diep ingesleten Boven Slinge is dit niet waarschijnlijk. Omdat er nagenoeg géén slib op de bodem is aangetroffen, is het zelfs zeer waarschijnlijk dat de drainageweerstand en de infiltratieweerstand aan elkaar gelijk zijn. Aan de andere kant wordt géén significante infiltratie vanuit de Boven Slinge verwacht. Alleen kortstondig bij zeer hoge afvoeren zal infiltratie optreden. Om een overschatting van de infiltratie te voorkomen, wordt de mogelijkheid om te infiltreren uitgeschakeld. Hiervoor is de infiltratiefactor op 0 gezet.

Conductance

De conductance is de reciproke-weerstand, gecorrigeerd voor het natte oppervlak. Voor het bepalen van de conductance is een drainageweerstand van 1 dag aangenomen. Het natte oppervlak volgt uit de SOBEK-berekeningen en is daarmee afhankelijk van het berekende waterpeil. Omdat de weerstand niet in het veld is gemeten, zit er een bepaalde onzekerheid aan deze waarde. Omdat deze weerstand een grote invloed kan hebben op de grondwaterberekeningen, wordt de gevoeligheid geanalyseerd.

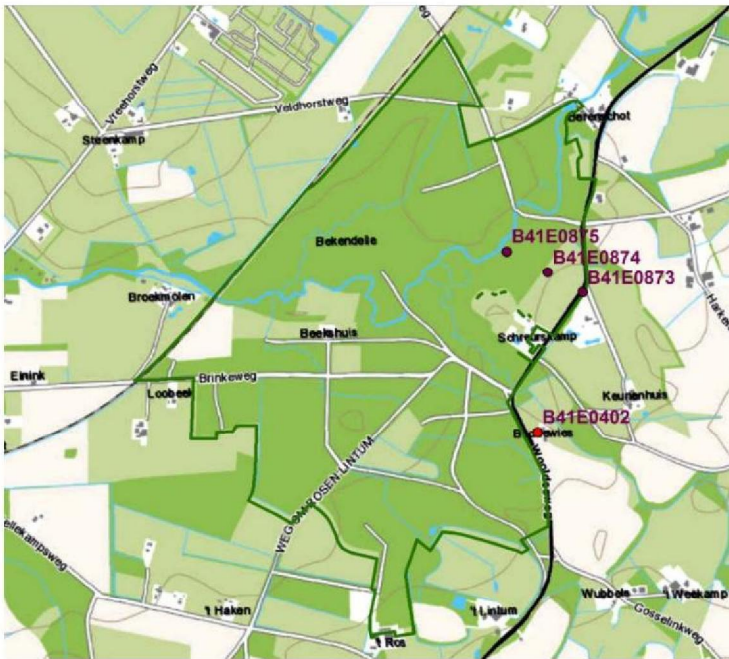
Voor deze gevoeligheidsanalyse is de theoretische situatie nog een tweetal keren doorgerekend met een aangepaste drainageweerstand. Het betreft een halvering (factor 0,5 = 0,5 dagen) en een verviervoudiging (factor 5 = 5 dagen), zoals in Tabel 2 beschreven. Aan de hand van deze gevoeligheidsanalyse wordt het effect van de onzekerheid in de drainageweerstand voor het grondwatermodel bepaald.

Tabel 2 Overzicht scenario's gevoeligheidsanalyse

#	Naam	Omschrijving
Th_10	Legger 1,0 d	Watergang conform de legger, drainageweerstand 1,0 d (origineel)
Th_05	Legger 0,5 d	Watergang conform de legger, drainageweerstand 0,5 d
Th_50	Legger 5,0 d	Watergang conform de legger, drainageweerstand 5,0 d

2.3.2 Beoordeling AMIGO-grondwatermodel

Om de bruikbaarheid van het nieuwe AMIGO-versie 2.1 te onderbouwen, worden de modelresultaten gevalideerd door een vergelijking met grondwaterstandsmetingen uit een peilbuis op de rand van de Bekendelle (B41E0402). Deze peilbuis maakt onderdeel uit van het primaire meetnet van de provincie. Van de peilbuizen uit het anti-verdrogingsmeetnet van de provincie zijn nog geen meetgegevens beschikbaar. In Figuur 6 zijn de locaties van deze peilbuizen gegeven.



Figuur 6 Locatie van peilbuizen van het meetnet van de provincie

2.3.3 Scenarioberekeningen

Met het grondwatermodel zijn de verschillende scenario's doorgerekend, op basis van de uitkomsten van het oppervlaktewatermodel (zie ook Tabel 1). In deze scenarioberekeningen wordt steeds dezelfde klimatologische periode 1994 t/m 2004 doorgerekend. De GxG wordt berekend over hydrologische jaren 1996 t/m 2004, zodat de eerste twee jaren kunnen worden beschouwd als 'inlooperperiode' van het grondwatermodel. Door berekende GxG-kaarten onderling te vergelijken, kunnen de effecten van de aanzanding op het grondwater worden bepaald. Voor de leesbaarheid van dit rapport worden alleen de GHG- en GLG-kaarten gepresenteerd. De GVG-kaarten zijn opgenomen in de bijlage.

2.4 Toetsing vegetatietypen Bekendelle

De berekende effecten (verandering van GxG) van alle scenario's worden kwantitatief beoordeeld. Het gaat hierbij primair om het effect op de grondwaterafhankelijke vegetatietypen in het N2000 gebied 'Bekendelle'. In totaal zijn er 6 beschermde vegetatietypen, zoals beschreven in Tabel 3. In Figuur 7 is een overzicht van de ruimtelijke verdeling van de verschillende vegetatietypen weergegeven.

Tabel 3 Overzicht vegetatietypes in Bekendelle

nr	Habitattype	Habitatnaam	Vegetatietype (VNCODE)	Naam vegetatietype
1	H9120	Beuken-eikenbos met hulst	42AA02	Beuken-zomereikenbos
2	H9160A	Eiken-haagbeukenbossen	43AB01F	Eiken-Haagbeukenbos (subas met witte klaverzuring)
3	H91E0C	Vochtige alluviale bossen	39RG04	Rompgemeenschap elzenbroek
4	H91E0C	Vochtige alluviale bossen	43Aa05	Vogelkers-Essenbos
5	H91E0C	Vochtige alluviale bossen	39Aa02	Elzenzegge-Elzenbroek
6	H91E0C	Vochtige alluviale bossen	05CA01	Callitricho-Hottonietum

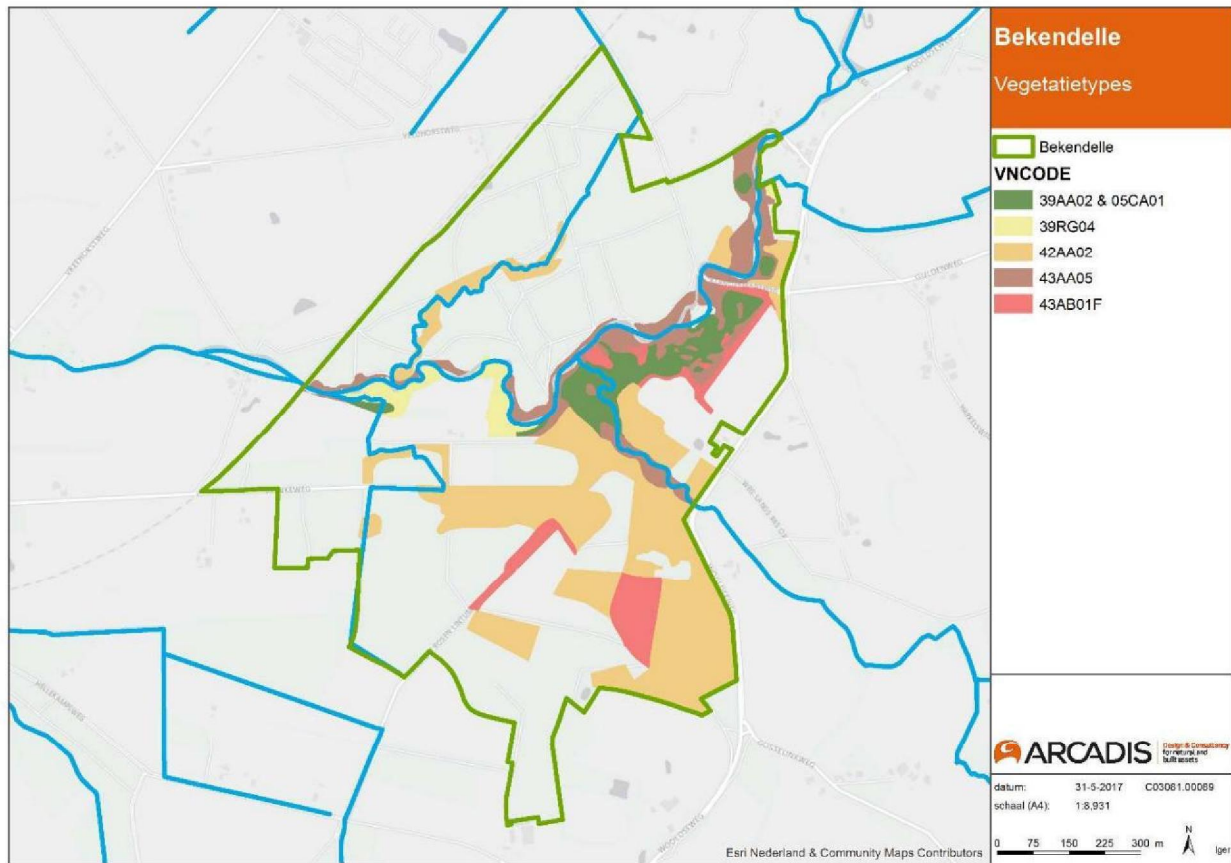
De beoordeling van de vegetatietypen wordt met behulp van kaarten en tabellen ruimtelijk geduid. Hierbij wordt er gekeken naar de optimale en suboptimale condities voor de verschillende vegetatietypen. Deze condities zijn specifiek bepaald voor dit gebied en aangeleverd door de Provincie Gelderland. Zij berusten zich hierbij op SynBioSys van Alterra. In Tabel 4 en Tabel 5 zijn deze condities bepaald voor de GVG en GLG respectievelijk. Hierin is te zien dat Beuken-zomereikbos geen eisen heeft voor het grondwaterregime. Een waarde tussen B1 en B2 geeft aan dat de condities optimaal zijn voor de desbetreffende vegetatietype. Een waarde tussen A1 en B1 of B2 en A2 geeft aan dat de condities sub-optimaal zijn. Voor optimale condities voor de GLG van het vegetatietype Vogelkers-Essenbos heeft de Provincie geen B1 waarde aangeleverd. Hiervoor is de A2 waarde van de GVG aangenomen.

Tabel 4 Overzicht van de optimale condities voor de GVG (in cm-maaiveld)

nr	Vegetatietype (VNCODE)	naam	A1	B1	B2	A2
1	42AA02	Beuken-zomereikenbos				Geen toetsingseis
2	43AB01F	Eiken-Haagbeukenbos	10	25	80	100
3	39RG04	Rompgemeenschap elzenbroek		-20	10	25
4	43Aa05	Vogelkers-Essenbos	10	25	60	80
5	39Aa02	Elzenzegge-Elzenbroek		-20	10	25
6	05CA01	Callitricho-Hottonietum		-20	10	25

Tabel 5 Overzicht van de optimale condities voor de GLG (in cm-maaiveld)

nr	Vegetatietype (VNCODE)	naam	A1	B1	B2	A2
1	42AA02	Beuken-zomereikenbos				Geen toetsingseis
2	43AB01F	Eiken-Haagbeukenbos				Geen toetsingseis
3	39RG04	Rompgemeenschap elzenbroek		30	60	
4	43Aa05	Vogelkers-Essenbos		80	160	
5	39Aa02	Elzenzegge-Elzenbroek		30	60	
6	05CA01 *	Callitricho-Hottonietum		30	60	



Figuur 7 Ruimtelijk overzicht van de verschillende vegetatietypen

3 RESULTATEN

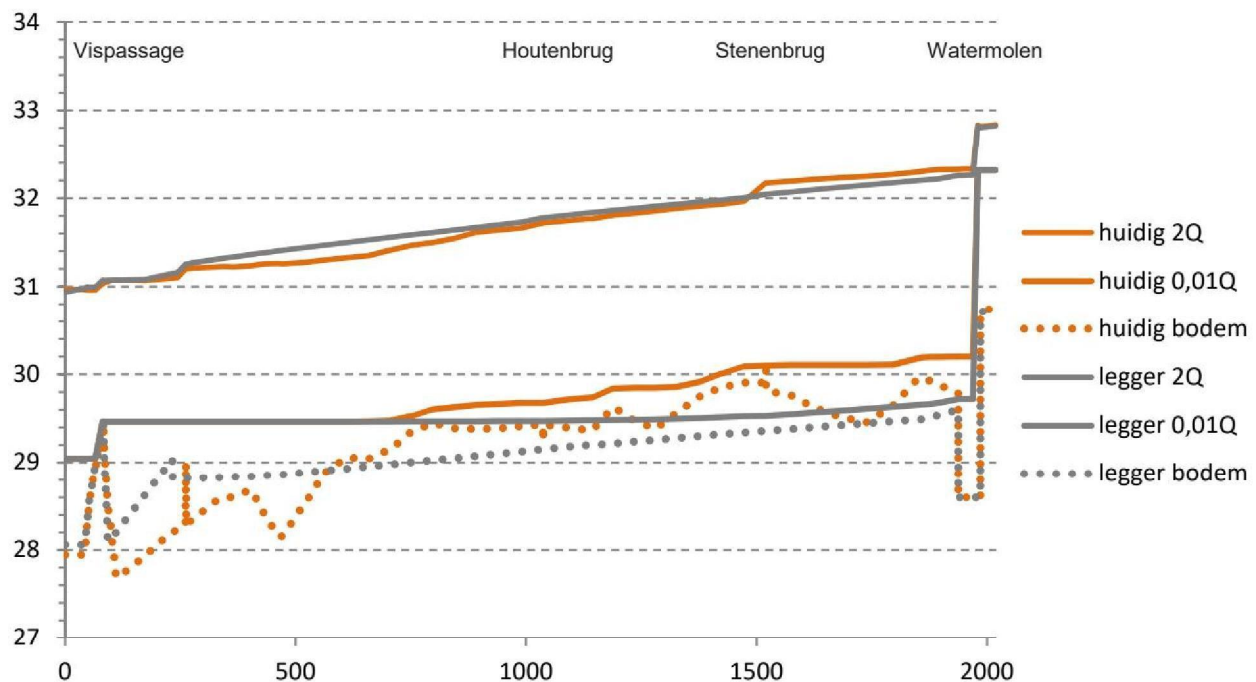
In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken voor het oppervlaktewater en het grondwater. Hiervoor zijn de verschillende scenario's doorgerekend voor verschillende afvoersituaties. Tot slot zijn deze uitkomsten geconfronteerd met de hydrologische randvoorwaarden voor de vegetatietypen in de Bekendelle.

3.1 Oppervlaktewater

3.1.1 Scenarioberekeningen

Scenario 0

In figuur 8 worden de waterstanden voor de huidige situatie (Sc0, inmeting 2016) en legger (Th_10) gepresenteerd. Bij lage afvoer (0,01Q) zijn de waterstanden voor de huidige situatie hoger. Ter hoogte van Stenenbrug is zijn de waterstanden 50 cm hoger. Bij extreem hoge afvoer (2Q) is er nauwelijks een effect van de aanzanding op het waterpeil, minder dan 10 cm.



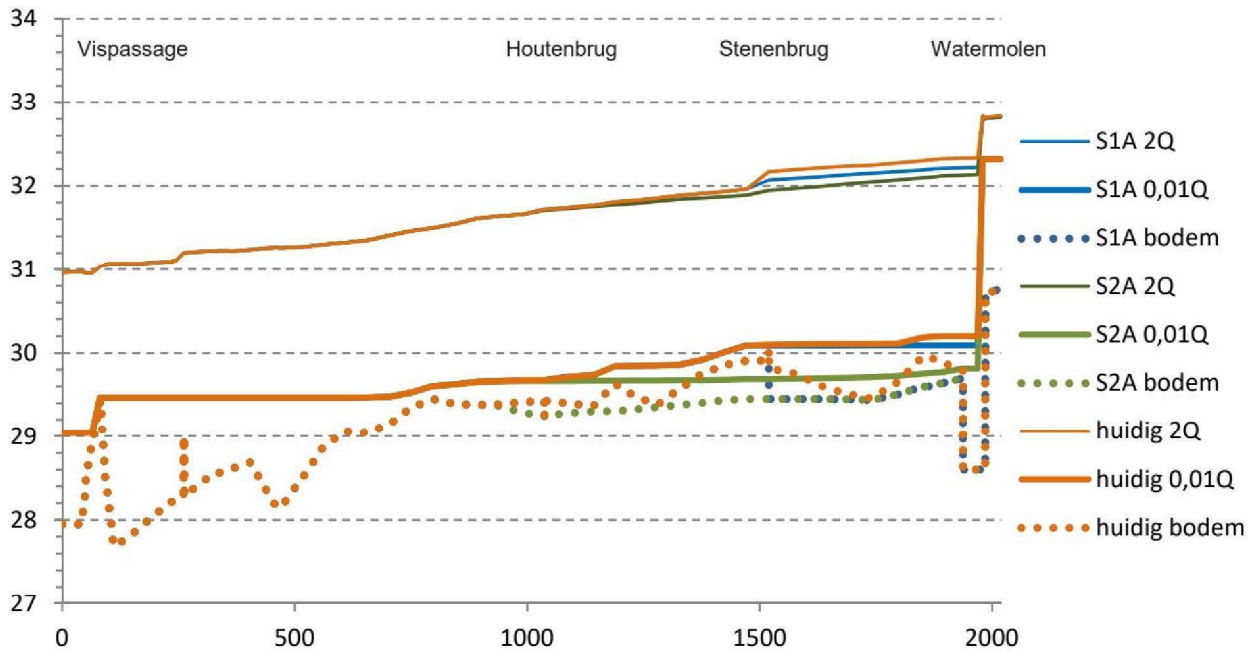
Figuur 8 Huidige situatie ten opzichte van legger

Scenario 1A vs. 2A

In figuur 9 zijn de waterstanden weergegeven voor de huidige situatie (Sc0, inmeting 2016), scenario 1A en scenario 2A. In deze scenario's is de Boven Slinge opgeschoond tot Stenenbrug en Houtenbrug respectievelijk.

Bij lage afvoer zorgt de verhoging van de bodem tussen Houtenbrug en Stenenbrug voor dermate veel opstuwung dat het opschonen van de Boven Slinge tot Stenenbrug (S1A) nauwelijks effect heeft. Maximaal 10cm. Het opschonen tot Houtenbrug (S2A) zorgt wel voor een forse peilverlaging van ca. 40 cm.

Bij hoge afvoer zijn kleine verschillen zichtbaar tot Stenenbrug. Scenario 1A zorgt voor een verlaging van ca. 10 cm vergeleken met de huidige situatie. Bij scenario 2A is deze verlaging ca. 20 cm. Dit effect is iets groter dan bij de theoretische situatie. Dit komt deels doordat de bodem ter hoogte van de spoorbrug fors lager ligt dan de legger (zie ook figuur 8). Daarnaast is het profiel van de Boven Slinge veelal iets breder dan de breedte conform de legger.



Figuur 9 Ontzanden tot Stenenbrug (S1A) of Houtenbrug (S2A)

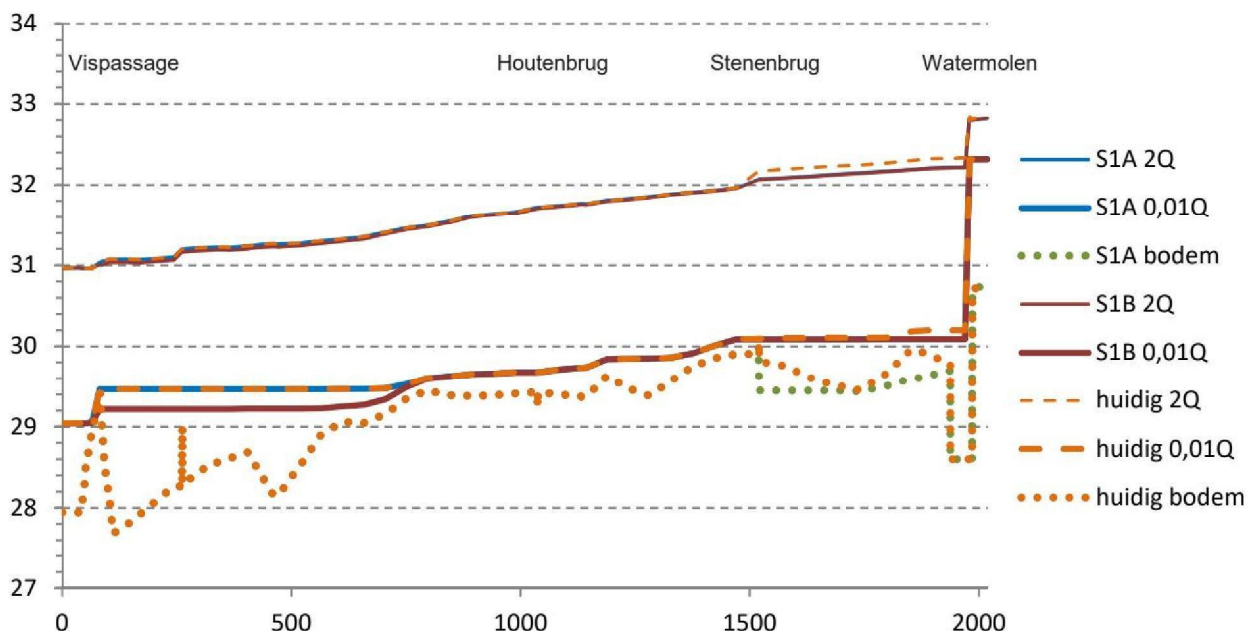
Scenario 1A vs. 1B

In figuur 10 zijn de modelresultaten weergegeven voor de huidige situatie (Sc0, inmeting 2016), scenario 1A en 1B. In scenario 1A wordt de Boven Slinge opgeschoond tot Stenenbrug. In variant B wordt tevens de vispassage aangepast zodat deze geen opstuwende werking heeft.

Bij lage afvoer levert de aanpassing van de vispassage een peilverlaging van maximaal 25 cm, direct bovenstrooms van de vispassage.

Bij hoge afvoer is nagenoeg geen verschil tussen variant A en B. Dit geeft aan dat de vispassage bij hoogwater geen extra opstuwing veroorzaakt.

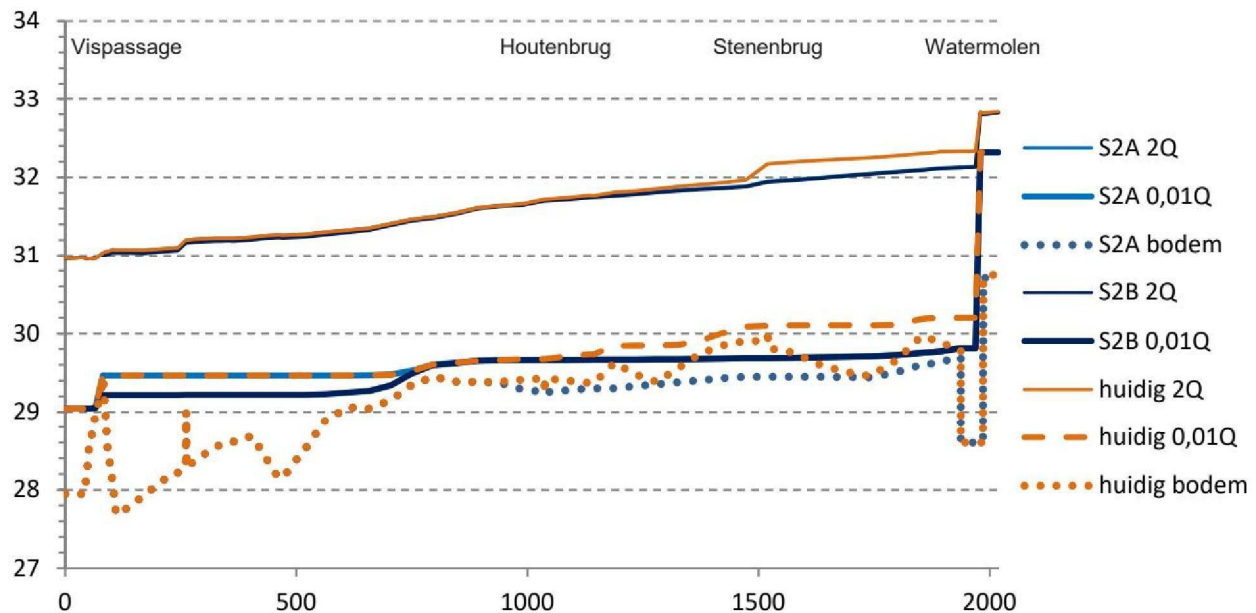
De opstuwing beperkt zich tot ca. 800m van de vispassage. Daarna lijkt de bodemhoogte bepalend voor het waterpeil.



Figuur 10 Ontzanden tot Stenenbrug (S1A) + verlagen Broekmolen (S1B)

Scenario 2A vs. 2B

Figuur 11 geeft de waterstanden voor de huidige situatie (Sc0, inmeting 2016), scenario 2A en 2B. Het effect van het aanpassen van de vispassage is vergelijkbaar als bij Scenario 1 (1A vs 1B).



Figuur 11 Ontzanden tot Houtenbrug (S2A) + verlagen Broekmolen (S2B)

3.2 Grondwater

Voordat de berekende oppervlaktewaterstanden worden doorgerekend met het grondwatermodel, wordt AMIGO v2.1 geanalyseerd. Deze versie vormt immers de basis voor deze effectenstudie. De resultaten worden vergeleken met de eerdere modelversies en gemeten grondwaterstanden. Maar eerst wordt de aanpassing van het watersysteem nader onderzocht. Tot slot worden de resultaten voor de verschillende scenario's gepresenteerd.

3.2.1 Aanpassing Watersysteem

Het waterpeil en de conductance, welke zeer bepalend zijn voor de interactie tussen grond- en oppervlaktewater, zijn aangepast op basis van het SOBEK-oppervlaktewatermodel. Het waterpeil is niet langer als een zomer- en winterpeil geschematiseerd, maar per kwartaal is het meest representatieve waterpeil opgegeven. Omdat géén significante infiltratie vanuit de Boven Slinge wordt verwacht, hooguit kortstondig bij zeer hoge afvoeren, is tevens de mogelijkheid om te infiltreren uitgeschakeld.

Het effect van deze aanpassingen is inzichtelijk gemaakt door de doorgerekende theoretische situatie (Th_10) te vergelijken met de berekende grondwaterstanden met de modelresultaten van AMIGO v2.1. Het effect op de GHG en de GLG is weergegeven in figuur 12.

Benedenstrooms van Bekendelle is een verhoging van zowel de GHG als de GLG te zien. Dit betekent dat de Boven Slinge in het aangepaste model minder sterk draineert. De drainerende werking is afgenomen als gevolg van een hoger waterpeil en een lagere conductance. Mogelijk wordt dit verklaard door het ontbreken van de zandvang en vispassage in de originele modelinvoer.

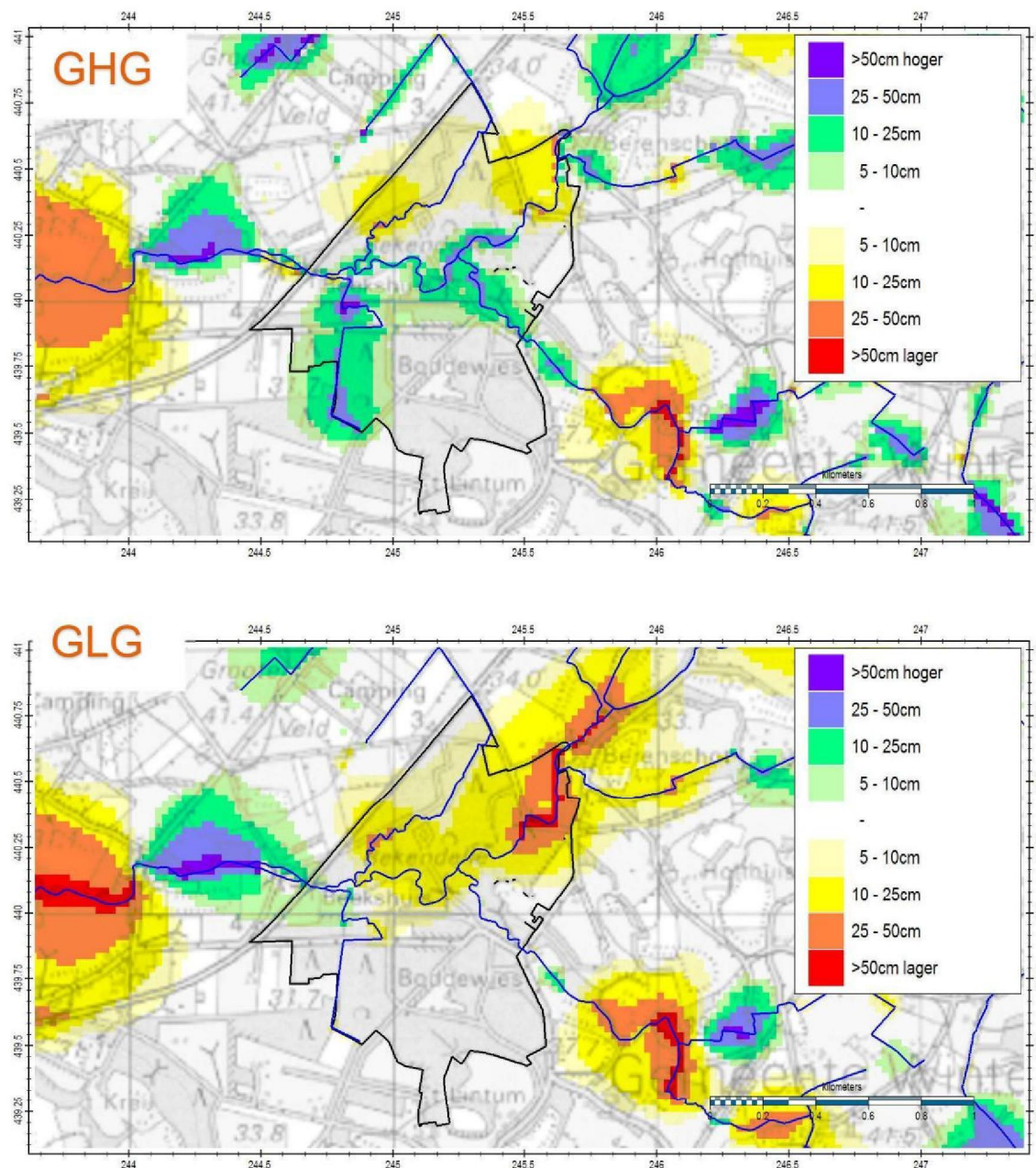
Rond de Klandersmans Waterleiding (noordzijde) en een deel van de Limbeek (zuidzijde) worden lagere grondwaterstanden berekend. Dit lijkt voor de GHG te worden veroorzaakt door lagere waterpeilen. In de zomer draineert de watergang nu niet of nauwelijks. Vermoedelijk werd hier de infiltratie in het originele model overschat.

De GHG rond de Mister Mark Waterleiding (zuidzijde) en het gebied rond Houtenbrug is aanzienlijk hoger geworden. Dit wordt veroorzaakt door een minder sterke drainerende werking. In AMIGO v2.1 worden lagere waterpeilen opgelegd. Deze waterpeilen zijn bepaald met behulp van een maaiveldhoogte kaart. In

een bebost gebied als de Bekendelle is het heel goed mogelijk dat hierdoor onjuiste waarden zijn opgelegd.

De GLG in de en Bekendelle is juist fors lager geworden, tot lokaal meer dan 50 centimeter. Dit lijkt enerzijds het gevolg van lagere waterpeilen. Het berekende waterpeil in het zomerkwartaal ligt lager dan het zomerpeil in AMIGO v2.1. Daarnaast is mogelijk de infiltratie in het originele model overschat. Als gevolg van de gewijzigde uitgangspunten zakken de grondwaterstanden dieper uit.

De verschillen zijn verklaarbaar en volgens verwachting. Omdat de aangepaste wijze om het watersysteem te schematiseren beter aan sluit bij de werkelijkheid, heeft het de voorkeur om hiermee de effectenstudie uit te voeren.



Figuur 12 Verschil in GHG en GLG van de theoretische situatie ten opzichte van de grondwaterstanden uit het originele AMIGO v2.1 model

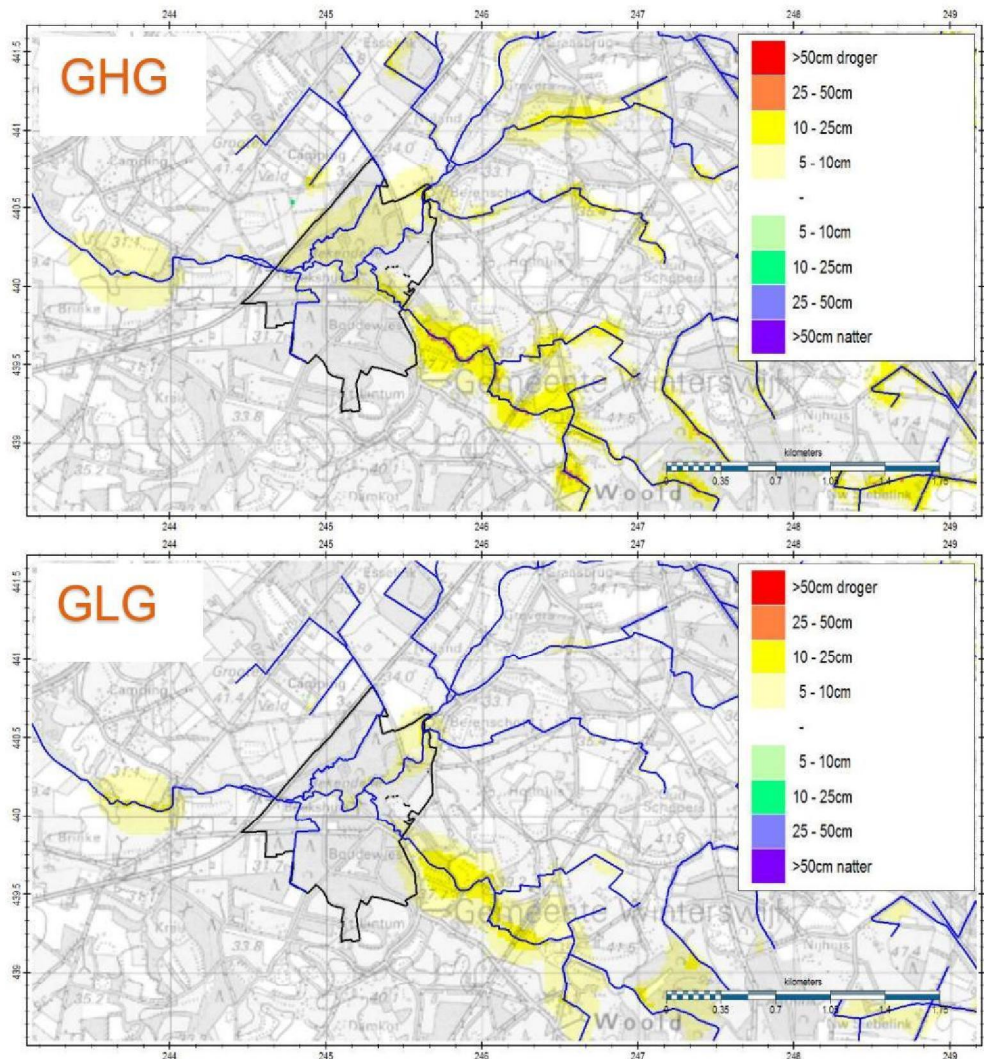
3.2.2 Gevoeligheidsanalyse drainageweerstand

De drainageweerstand is van grote invloed op de interactie tussen het grond- en oppervlaktewater. Op basis van de zandiger samenstelling van de beekbodem wordt de drainageweerstand geschat op 1 dag. Doordat de drainageweerstand niet in het veld is gemeten, zit er een bepaalde onzekerheid aan deze weerstandswaarde. Om de invloed van deze onzekerheid te bepalen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Voor deze gevoeligheidsanalyse is de theoretische situatie (Th_10) doorgerekend met aangepaste drainagewestanden. Het betreft een halvering van de drainageweerstand (0,5 dagen) en een verviervoudiging van de drainageweerstand (5 dagen). Zie voor het overzicht Tabel 2 (paragraaf 2.3.1)

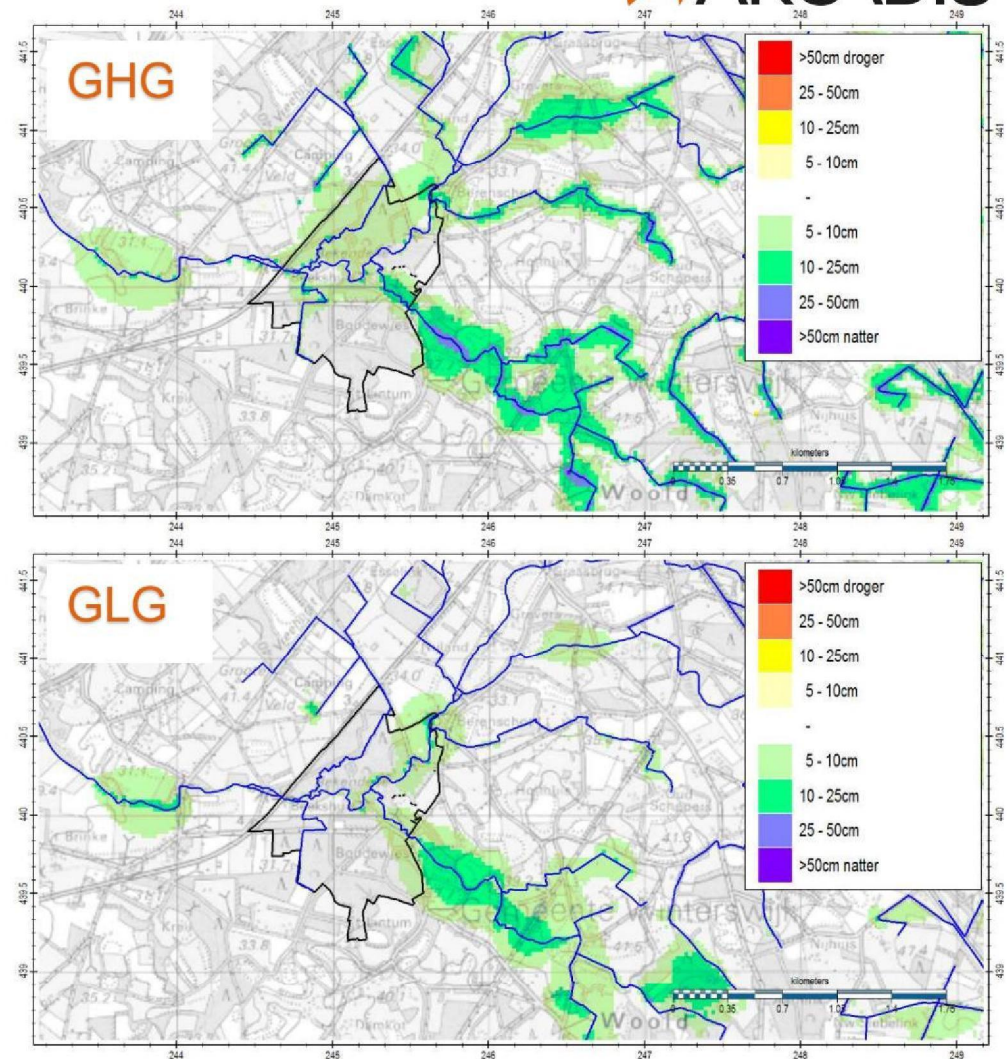
Figuur 13 laat het verschil in GHG en GLG zien bij een halvering van de drainageweerstand (0,5 dagen). Een halvering van de drainageweerstand zorgt ervoor dat er meer grondwater wordt gedraineerd door de beek, wat leidt tot een verlaging van de grondwaterstand in de beekdalen. In de GHG is er een verlaging van 5 tot 10 centimeter voor het gebied tussen de Klandersmans Waterleiding en de Boven Slinge berekend. Voor de GLG is alleen bovenstrooms van de Stenenbrug een verlaging berekend van ongeveer 5 tot 10 centimeter.

Figuur 14 laat het verschil in GHG en GLG zien bij een verviervoudiging van de drainageweerstand (5 dagen). Een verviervoudiging van de drainageweerstand zorgt ervoor dat er minder grondwater wordt gedraineerd door de beek, wat leidt tot een verhoging van de grondwaterstand in de beekdalen. De GHG is in een groot gedeelte ten noorden van de Boven Slinge ongeveer 5 tot 10 cm hoger. Lokaal is er een verhoging van meer dan 10 centimeter. Voor de GLG is het invloedgebied kleiner, maar dichtbij de beek zijn de grondwaterstanden 5 tot 10 centimeter hoger.

Op basis van de zandigere samenstelling van de rivierbodem in combinatie met het ontbreken van slib wordt de drainageweerstand geschat op 1 dag. Dit is een plausibele waarde, en veel waarschijnlijker dan een weerstand van 5 dagen. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt wel dat vooral een lagere weerstand van grote invloed is op de interactie tussen grond- en oppervlaktewater. De onzekerheid met betrekking tot de drainageweerstand is daarmee van grote invloed op de berekende effecten. Met deze onzekerheid moet rekening worden gehouden bij het interpreteren van de berekende effecten.



Figuur 13 Verschil in GHG en GLG voor scenario's Th_05 ten opzichte van Th_10



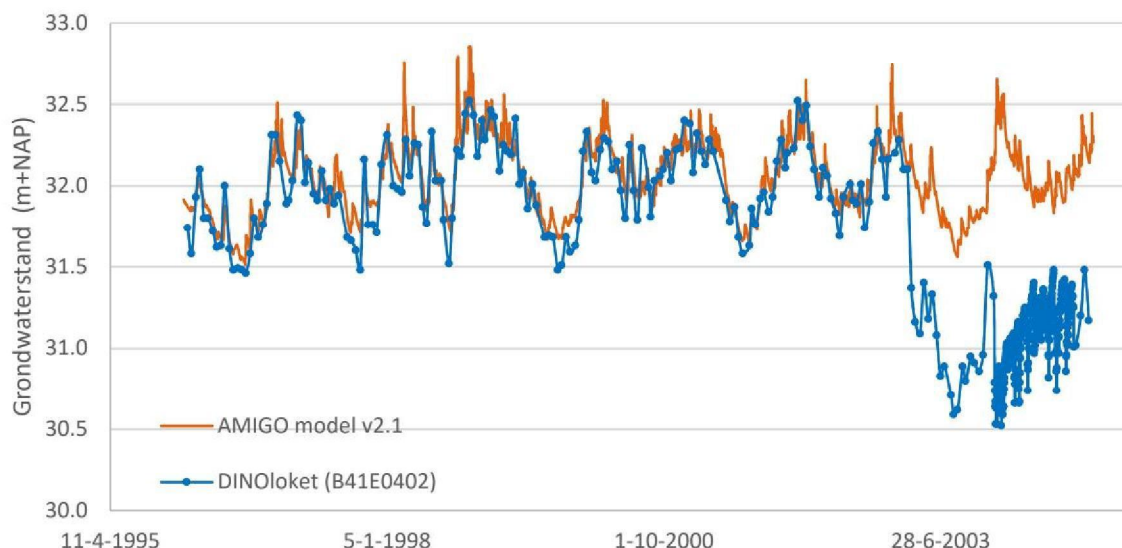
Figuur 14 Verschil in GHG en GLG voor scenario's Th_50 ten opzichte van Th_10

3.2.3 Beoordeling AMIGO-grondwatermodel

In Figuur 15 zijn de gemeten en gemodelleerde grondwaterstanden gegeven op de locatie van peilbuis B41E0402 (zie Figuur 6 voor de locatie van het meetpunt). De meetreeks komt uitstekend overeen met de gemodelleerde grondwaterreeks, zowel de absolute waarde als ook de berekende dynamiek komt uitstekend overeen.

Echter, in het laatste jaar zijn de gemeten grondwaterstanden ruim een meter lager dan de berekende grondwaterstanden. Het is waarschijnlijk dat in deze periode verkeerd is gemeten, gezien de significante verandering in gemiddeld waterniveau en sterke fluctuaties aan het einde van de meetreeks. Het zou echter ook kunnen dat er een ingreep heeft plaatsgevonden, die niet in het grondwatermodel is verwerkt. Van nabijgelegen meetpunten zijn geen meetgegevens beschikbaar, waardoor de verschillen niet kunnen worden geduid.

Voor de vraag die hier beantwoord moet worden, geeft onderstaande vergelijking aan dat de grondwaterstanden in de periode 1994 t/m 2002 zeer nauwkeurig worden berekend. Het meetpunt ligt wel op enige afstand van het Beekdal, waardoor géén uitsluitsel kan worden gegeven over de juiste interactie tussen grond- en oppervlaktewater. Echter, zoals eerder toegelicht sluit de aangepaste wijze om het watersysteem te schematiseren goed aan bij de werkelijkheid. Rekening houdend met de onzekerheid van de draingeweerstand, wordt het model geschikt geacht om de vragen met behulp van een onderling vergelijk van de scenario's te beantwoorden.



Figuur 15 Vergelijking grondwatermetingen van peilbuislocatie B41E0402 en modelresultaten uit AMIGO v2.1

3.2.4 Scenarioberekeningen

Om de effecten van de maatregelen in de Boven Slinge te bepalen worden verschillende scenario's doorgerekend in AMIGO. Deze effecten worden in verschillende varianten van opschonen en eventuele aanpassing aan de vispassage berekend. Zie voor het volledige overzicht Tabel 1 (paragraaf 2.1.3)

Scenario 0

In scenario 0 wordt de actuele situatie berekend. De gemodelleerde grondwaterstanden van de actuele situatie zijn vergeleken met grondwaterstanden uit het model met de theoretische situatie.

In Figuur 16 staan de GHG en GLG voor het theoretisch profiel. Ten noorden van de Boven Slinge ligt de GHG tussen de 0,8 en 2,5 meter beneden maaiveld. Ten zuiden van de Boven Slinge is dit tussen de 0 en 0,8 meter beneden maaiveld. Voor de GLG zijn er in het zuiden ook hogere grondwaterstanden, tussen de 0,5 en 1,8 meter onder maaiveld. Ten noorden van de Boven Slinge ligt de GLG tussen de 1,2 tot meer dan 2,5 meter onder maaiveld.

Figuur 17 laat het verschil in GHG en GLG zien. Hierbij valt één groot verschil op, namelijk een verhoging van de grondwaterstanden bovenstrooms van de Houtenbrug. Dit verschil is te relateren aan het verschil in berekende waterstanden (zie ook Figuur 8 in paragraaf 3.1).

De verhoging ten noorden van de Houtenbrug komt doordat de bodemhoogte bij de inmeting hoger ligt dan in de theoretische situatie. De hogere bodemhoogte resulteert in een hoger waterpeil met een lager drainerend vermogen als gevolg. Rond Stenenbrug is de GHG ca. 45 centimeter hoger dan in de theoretische situatie conform de legger.

De verschillen die in Figuur 16 inzichtelijk zijn gemaakt, zijn het effect van jarenlange erosie- en sedimentatieprocessen. De aanzanding en het uitslijten van de waterbodem heeft een directe invloed op de berekende waterpeilen. Omdat de Boven Slinge op dit traject nagenoeg het gehele jaar draineert, is er een invloed op zowel de GHG als de GLG. Het effect reikt zelfs tot ver buiten de begrenzing van het N2000 gebied. Het effect beperkt zich tot het noordelijke deel van het beekdal. Ten zuiden van de Boven Slinge is nagenoeg géén invloed op de grondwaterstanden. Het maaiveld loopt aan de zuidkant sterk op en ook het historische beekdal verdwijnt uit de ondergrond, met fors lagere kD-waarden als gevolg. De Boven Slinge is hier minder bepalend voor de ontwatering. De ontwatering vindt hier vooral plaats door de detailontwatering.

Scenario 1A

In scenario 1A wordt de Boven Slinge tussen de Watermolen en Stenenberg opgeschoond. Figuur 19 laat de verschilkaarten voor de GHG en GLG van ten opzichte van actuele situatie (inmeting 2016) zien. Doordat het waterpeil nauwelijks veranderd, is er ook geen verschil gemodelleerd in de grondwaterstanden. Dit komt omdat de Boven Slinge slechts wordt opgeschoond tot Stenenbrug, waardoor de aanzanding tussen Houtenbrug en Stenenbrug blijft liggen, is er nauwelijks een effect op de oppervlaktewaterstanden (zie ook figuur 9 in paragraaf 3.1).

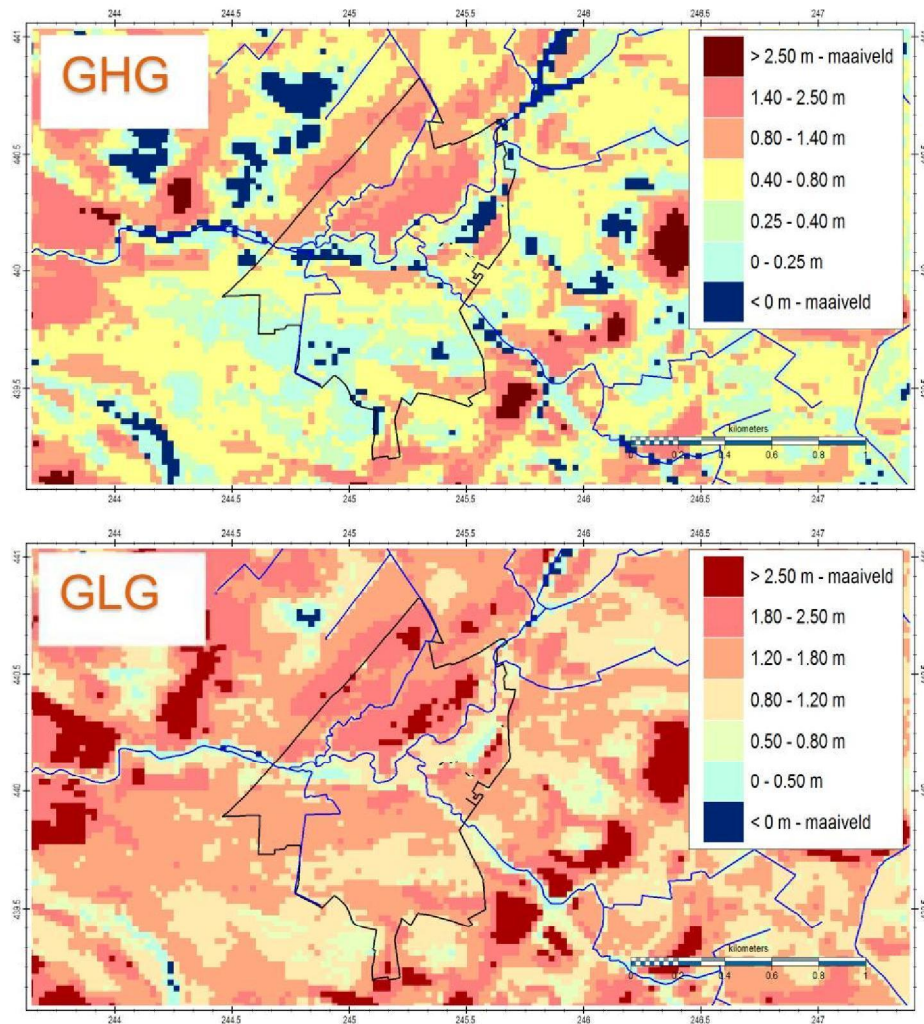
Opschonen tot aan de Stenenbrug heeft nagenoeg geen effect op de oppervlaktewaterstanden en dien ten gevolge ook geen invloed op de berekende grondwaterstanden. Het (minimale) effect op de drainageweerstand resulteert slechts zeer beperkt significant andere grondwaterstanden nabij de Berenschot Watermolen.

Scenario 1B

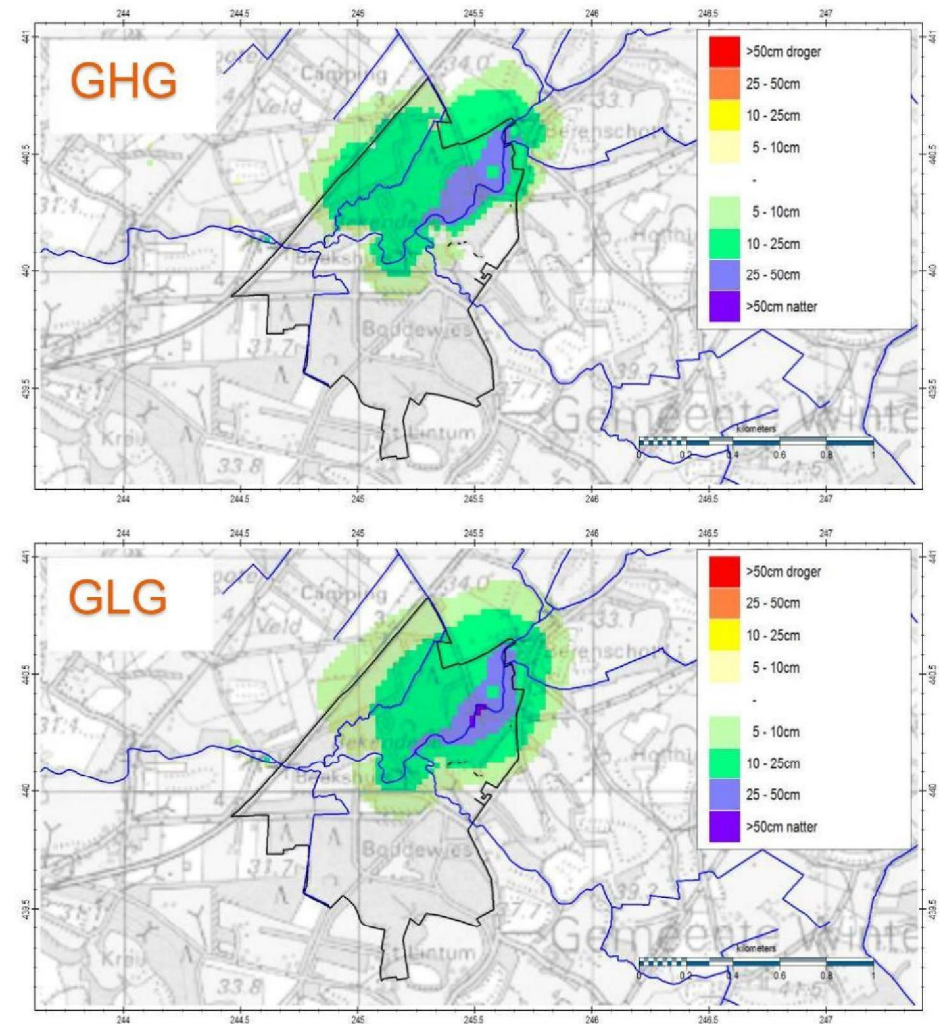
In scenario 1B wordt naast het opschonen van de Boven Slinge tot aan Stenenbrug ook de vispassage aangepast. Door deze aanpassing verdwijnt de opstuwende werking van de vispassage. In figuur 18 zijn de verschilkaarten van de GHG en GLG van scenario 1B ten opzichte van de actuele situatie gegeven.

Het aanpassen van de vispassage resulteert in een verlaging van de grondwaterstanden (zie ook figuur 10 in paragraaf 3.1). De oppervlaktewaterstanden zakken met maximaal 25 cm. Dit resulteert in een verlaging van de grondwaterstanden met maximaal 15 cm over een afstand van circa 150 m aan beide zijden van de Boven Slinge.

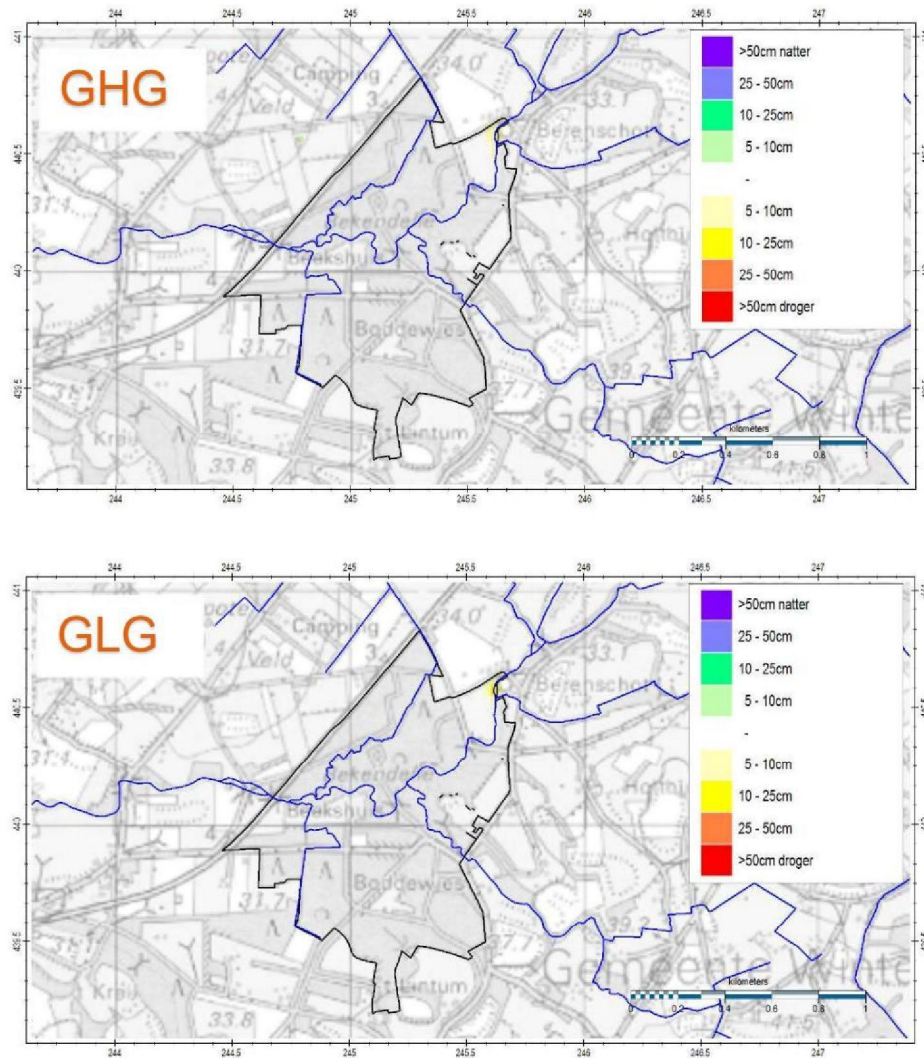
Het aanpassen van de vispassage heeft een significant effect op de grondwaterstanden. Zowel de GHG als de GLG worden verlaagd met maximaal 15 cm. De invloed reikt tot een afstand van circa 150m.



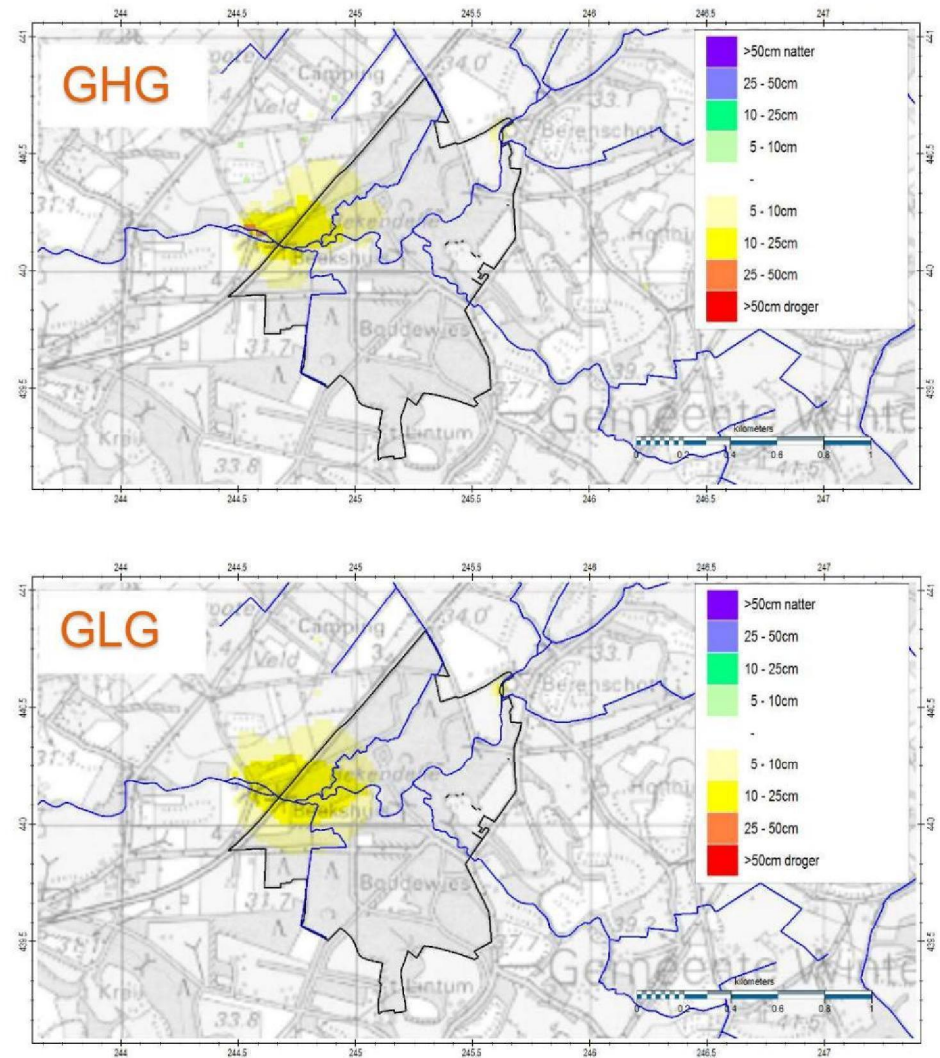
Figuur 16 GxG voor de theoretische legger situatie



Figuur 17 Verschil in GHG en GLG van scenario 0 ten opzichte van de theoretische situatie



Figuur 19 Verschil in GHG en GLG van Scenario 1A ten opzichte van Scenario 0



Figuur 18 Verschil in GHG en GLG van Scenario 1B ten opzichte van Scenario 0

Scenario 2A

In scenario 2A wordt de Boven Slinge opgeschoond tussen de Watermolen en Houtenbrug. Deze maatregel zorgt ervoor dat het opstuwend effect van de aanzanding weggenomen wordt. De verlaging van het waterpeil is bijna 40 centimeter (zie ook figuur 9 in paragraaf 3.1). In Figuur 20 zijn de verschilkaarten van de GHG en GLG van scenario 2A ten opzichte van de actuele situatie gegeven (inmeting 2016).

Het ontzanden tot aan Houtenbrug zorgt voor een verlaging in GHG van 10 tot 25 centimeter tussen Klandersmans Waterleiding en de Boven Slinge. In de GLG is er ter hoogte van Stenenbrug een verlaging van 25 tot 50 centimeter tot een afstand van 75 meter vanaf de Boven Slinge

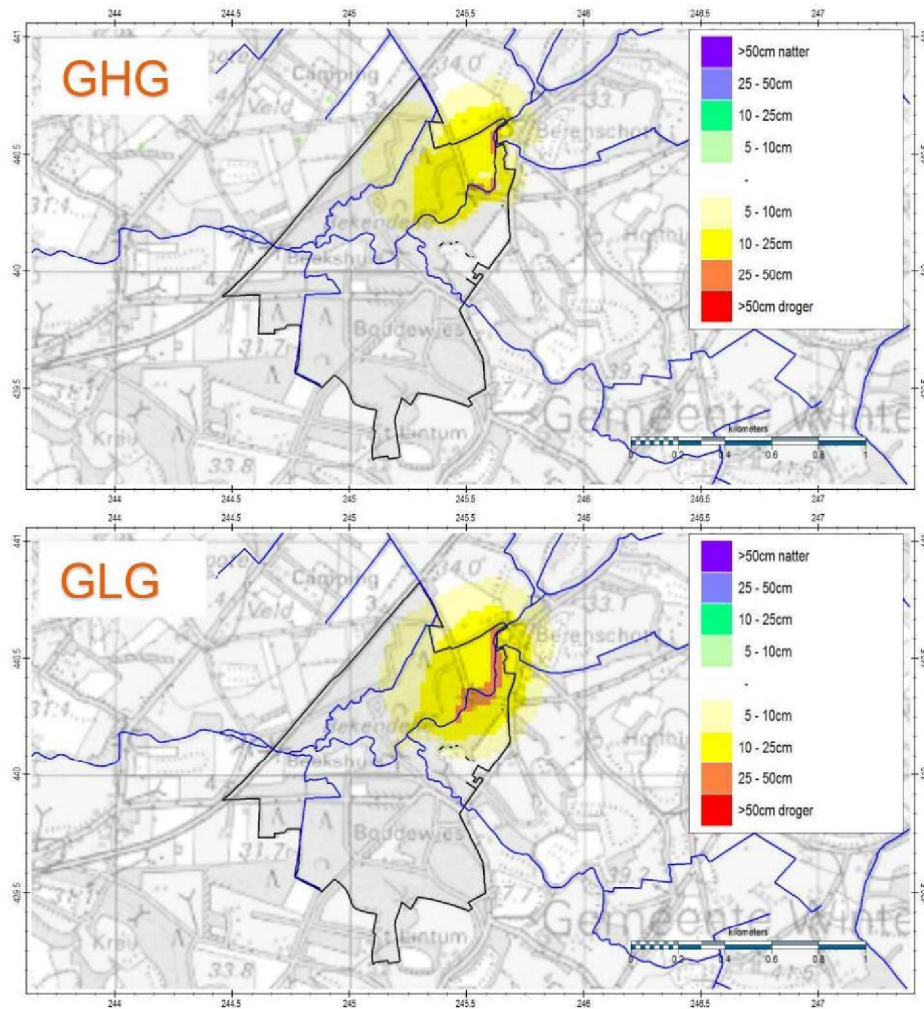
Opschonen tot aan de Houtenbrug heeft een significant effect op de berekende grondwaterstanden. De invloed is kleiner dan terugkeren naar de theoretische situatie. Het maximale effect buiten de grenzen van het N2000 gebied is <25 cm, waarvan het grootste deel <10cm.

Scenario 2B

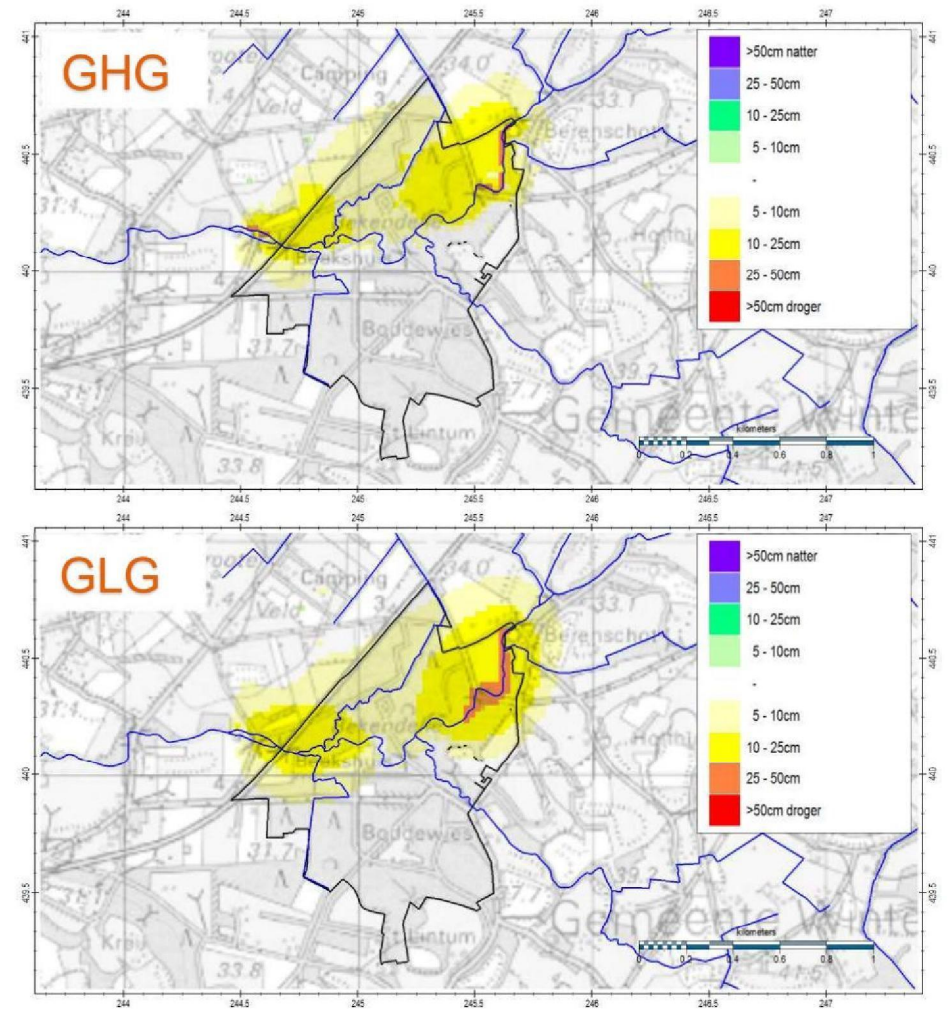
In scenario 2B wordt naast het opschonen van de Boven Slinge ook de vispassage aangepast. Door deze aanpassing verdwijnt de opstuwende werking van de vispassage. In Figuur 21 zijn de verschilkaarten van de GHG en GLG van scenario 2B ten opzichte van de actuele situatie gegeven.

Het aanpassen van de vispassage resulteert in een verlaging van de grondwaterstanden (zie ook figuur 10 in paragraaf 3.1). De oppervlaktewaterstanden zakken met maximaal 25 cm. Dit resulteert in een verlaging van de grondwaterstanden met maximaal 15 cm over een afstand van circa 150 m aan beide zijden van de Boven Slinge.

Opschonen tot aan de Houtenbrug heeft een significant effect op de berekende grondwaterstanden. Ook het aanpassen van de vispassage heeft een significant effect op de grondwaterstanden. Het effect van de vispassage en de ontzanding zijn met elkaar verweven, waardoor insignificante effecten 'stapelen' tot significante effecten. De verlaging van de GHG is maximaal 26 cm. Het gebied dat wordt beïnvloed is circa 60 ha. Voor de GLG hebben de maatregelen ongeveer hetzelfde invloedgebied, echter is de maximale verlaging dan bijna 50 cm direct naast de Boven Slinge.



Figuur 20 Verschil in GHG en GLG van Scenario 2A ten opzichte van Scenario 0



Figuur 21 Verschil in GHG en GLG van Scenario 2B ten opzichte van Scenario 0

3.3 Toetsing Vegetatietypen Bekendelle

De (sub-)optimale condities voor de natuurdoelen worden vergeleken met de berekende grondwaterstanden. Doordat de vegetatietypen 39RG04, 39AA02 en 05CA01 dezelfde optimale condities hebben, worden deze als één geheel getoetst. Deze vegetatietypen zijn in dit hoofdstuk samengevoegd onder de vncode 39AA02.

Scenario 0

In scenario 0 wordt de actuele situatie berekend. De gemodelleerde grondwaterstanden van de actuele situatie zijn vervolgens getoetst aan de hand van de (sub-)optimale condities zoals weergegeven in Tabel 4 en Tabel 5. In Tabel 6 zijn het aantal hectare per vegetatietype per toetsingsklasse weergegeven. Hieruit blijkt dat slechts 25% van de huidige GVG-condities optimaal is voor de vegetatietypen. Voor de GLG voldoet 45% aan de optimale condities.

In Figuur 22 is een overzicht weergegeven van de gecombineerde condities van GVG en GLG. Het slechtst beoordeelde criterium is leidend. Als de condities voor de GLG optimaal zijn, maar voor de GVG niet optimaal, zijn de gecombineerde condities voor dit vegetatietype dus niet optimaal.

Het grootste deel van het gebied is momenteel te droog voor de nagestreefde vegetatietypen. Uit hoofdstuk 3.2 is duidelijk geworden dat alle scenario's leiden tot een verdere verlaging van de grondwaterstanden. Daardoor zullen de scenario's leiden tot een verslechtering ten opzichte van de huidige situatie.

Scenario 1A

In scenario 1A wordt de Boven Slinge tussen de Watermolen en Stenenbrug opgeschoond. Uit de verschillakarten van hoofdstuk 3.2 blijkt dat slechts een klein gedeelte in de buurt van de Watermolen droger wordt. Het effect op de condities voor de vegetatietypen is ook klein. Voor de GVG neemt het percentage van de optimale GVG condities met één procent af tot 24%, zoals zichtbaar in tabel 7. Voor de GLG zijn de condities vergelijkbaar.

Scenario 1B

In scenario 1B wordt naast het opschonen van de Boven Slinge tot aan Stenenbrug ook de vispassage aangepast. Hierdoor wordt het gebied rondom de vispassage tot 15 cm droger. Voor de vegetatietypen leidt dit niet tot een vermindering in optimale condities, zoals zichtbaar in tabel 8. Voornamelijk omdat de gebied rondom de vispassage in de huidige situatie al te droog is.

Scenario 2A

In scenario 2A wordt de Boven Slinge opgeschoond tussen de Watermolen en Houtenbrug. Dit leidt tot een verlaging van zowel de GLG als GVG voor het noordoosten van Bekendelle. In tabel 9 staan de verdeling van condities voor de GLG en GVG weergegeven. Vergeleken met de huidige situatie neemt het gebied met optimale condities af tot 21% voor de GLG. Bij de GVG is het gebied met optimale condities afgenomen tot 38%. Dit is respectievelijk 4% en 7% lager dan de huidige situatie.

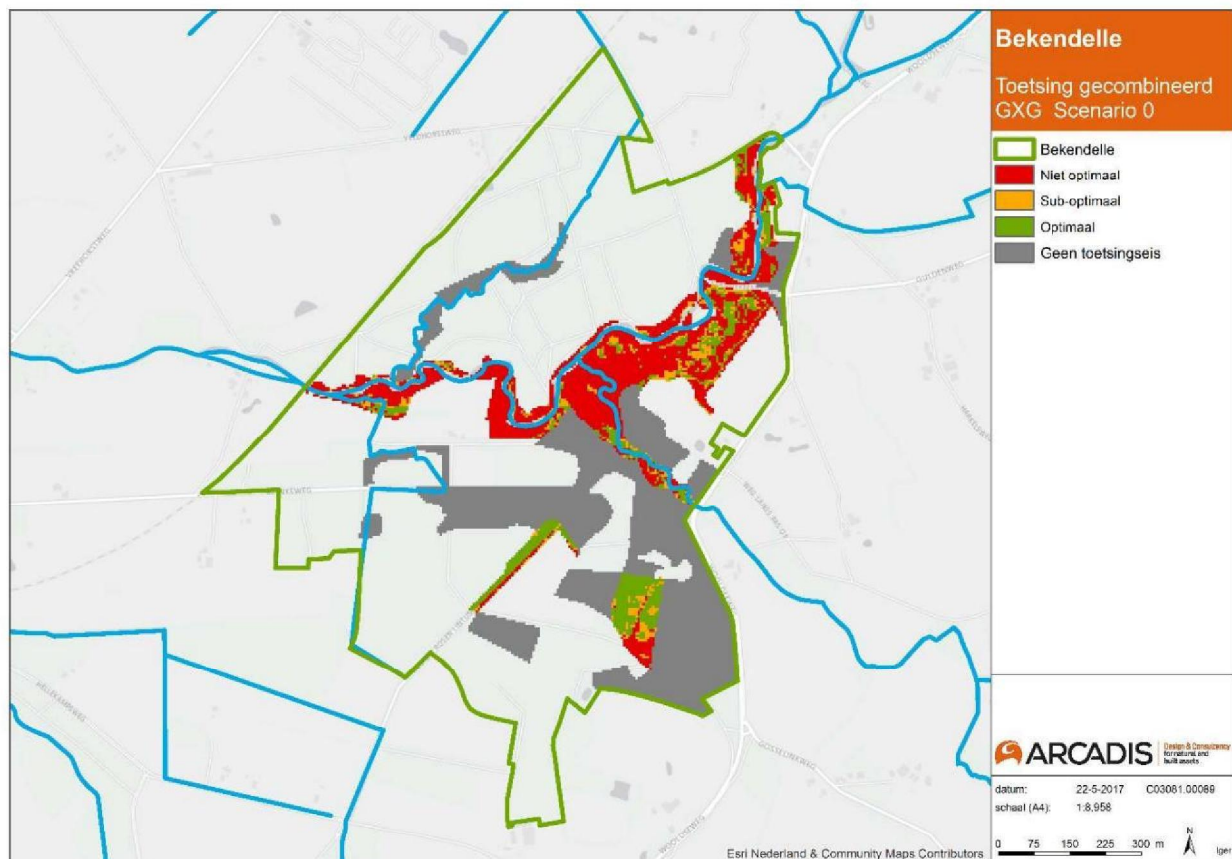
Scenario 2B

In scenario 2B wordt naast het opschonen van de Boven Slinge ook de vispassage aangepast. Het gevolg hiervan is een verlaging van zowel de GLG als GVG in het noordelijke gedeelte van Bekendelle. De toetsing voor de vegetatietypen voor dit scenario is zichtbaar in tabel 10. Vergeleken met de huidige situatie neemt het gebied met optimale condities af tot 20% voor de GLG. Bij de GVG is het gebied met optimale condities afgenomen tot 38%. Dit is respectievelijk 5% en 7% lager dan de huidige situatie. Uit de vergelijking tussen scenario 2A en 2B blijkt eveneens dat het effect van de vispassage vrij klein is.

Tabel 6 Overzicht van het aantal hectare per vegetatietype per toetsingsklasse voor scenario 0

GVG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	0,11	0,03	0,31	0,45	3
Sub-optimaal	-	0,20	-	0,26	0,46	3
Optimaal	-	1,55	0,68	1,29	3,53	25
Sub-optimaal	-	0,33	0,75	0,98	2,06	15
Niet optimaal (te droog)	-	1,02	3,77	2,88	7,67	54

GLG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	-	0,10	0,96	1,05	10
Optimaal	-	-	1,04	3,92	4,96	45
Niet optimaal (te droog)	-	-	4,10	0,85	4,95	45

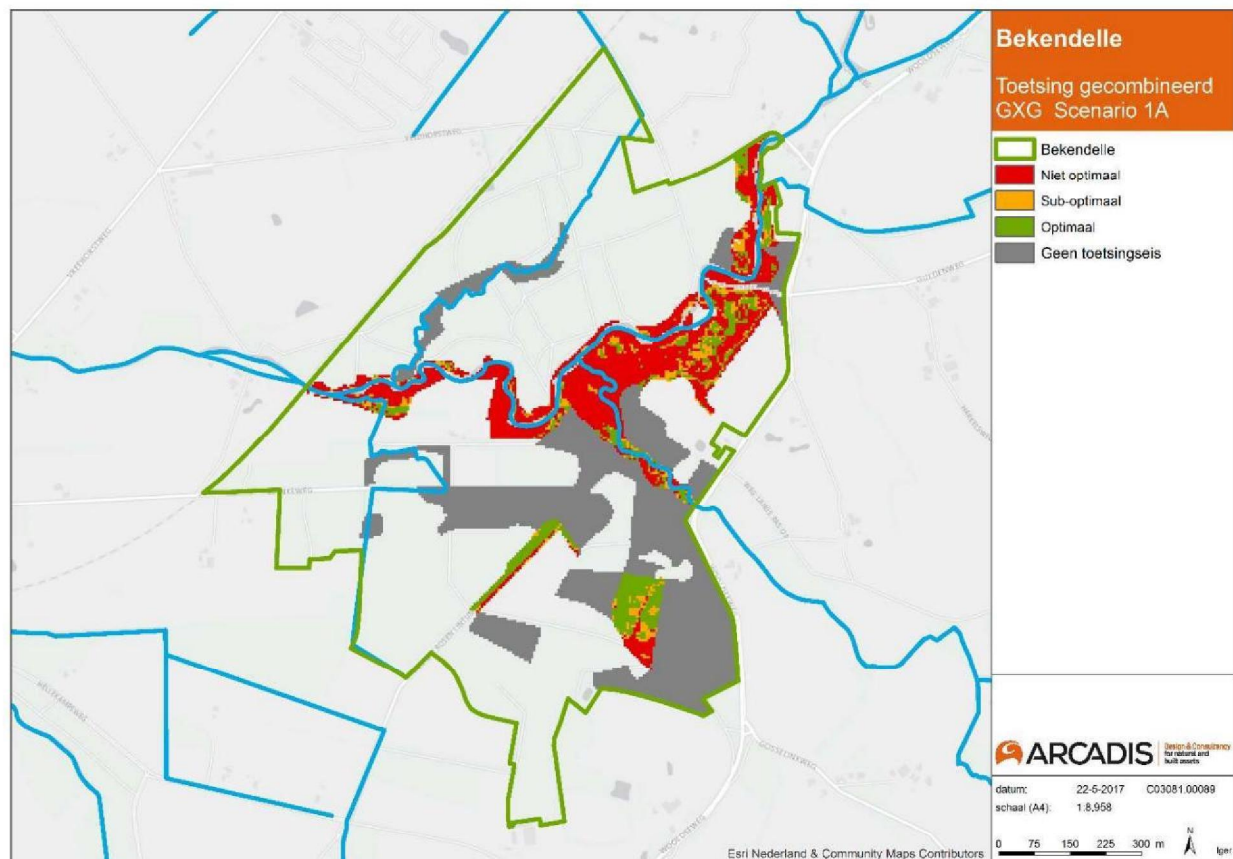


Figuur 22 Gecombineerd overzicht voor de condities voor de GVG en GLG voor scenario 0

Tabel 7 Overzicht van het aantal hectare per vegetatietype per toetsingsklasse voor scenario 1A

GVG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	0,11	0,02	0,31	0,44	3
Sub-optimaal	-	0,20	-	0,24	0,44	3
Optimaal	-	1,55	0,67	1,25	3,47	24
Sub-optimaal	-	0,34	0,47	0,97	2,04	14
Niet optimaal (te droog)	-	1,02	3,81	2,96	7,78	55

GLG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	-	0,09	0,89	0,98	9
Optimaal	-	-	1,02	3,95	4,88	45
Niet optimaal (te droog)	-	-	4,12	0,88	5,00	46

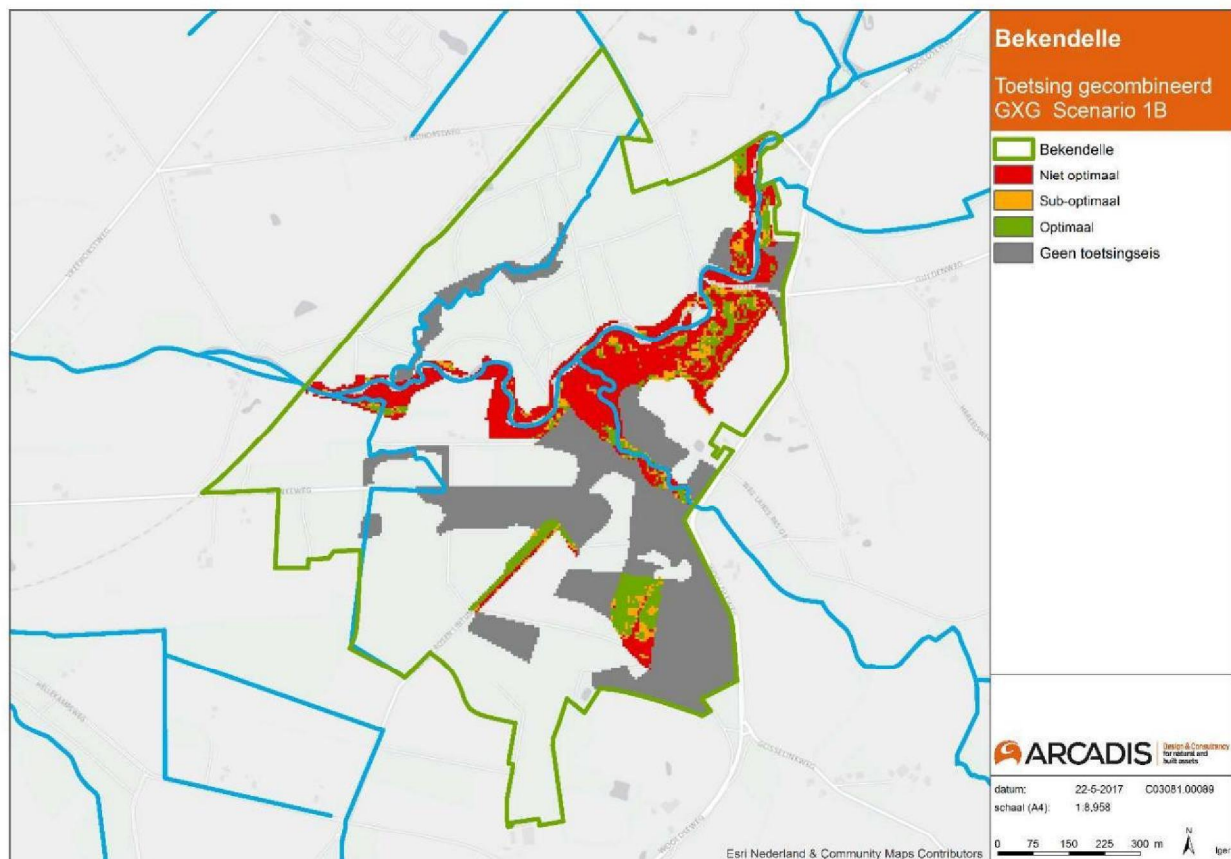


Figuur 23 Gecombineerd overzicht voor de condities voor de GVG en GLG voor scenario 1A

Tabel 8 Overzicht van het aantal hectare per vegetatietype per toetsingsklasse voor scenario 1B

GVG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	0,11	0,02	0,31	0,44	3
Sub-optimaal	-	0,20	-	0,24	0,43	3
Optimaal	-	1,55	0,62	1,19	3,36	24
Sub-optimaal	-	0,34	0,66	0,93	1,92	14
Niet optimaal (te droog)	-	1,03	3,93	3,07	8,03	57

GLG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	-	0,07	0,85	0,92	8
Optimaal	-	-	0,91	3,97	4,88	45
Niet optimaal (te droog)	-	-	4,25	0,91	5,16	47

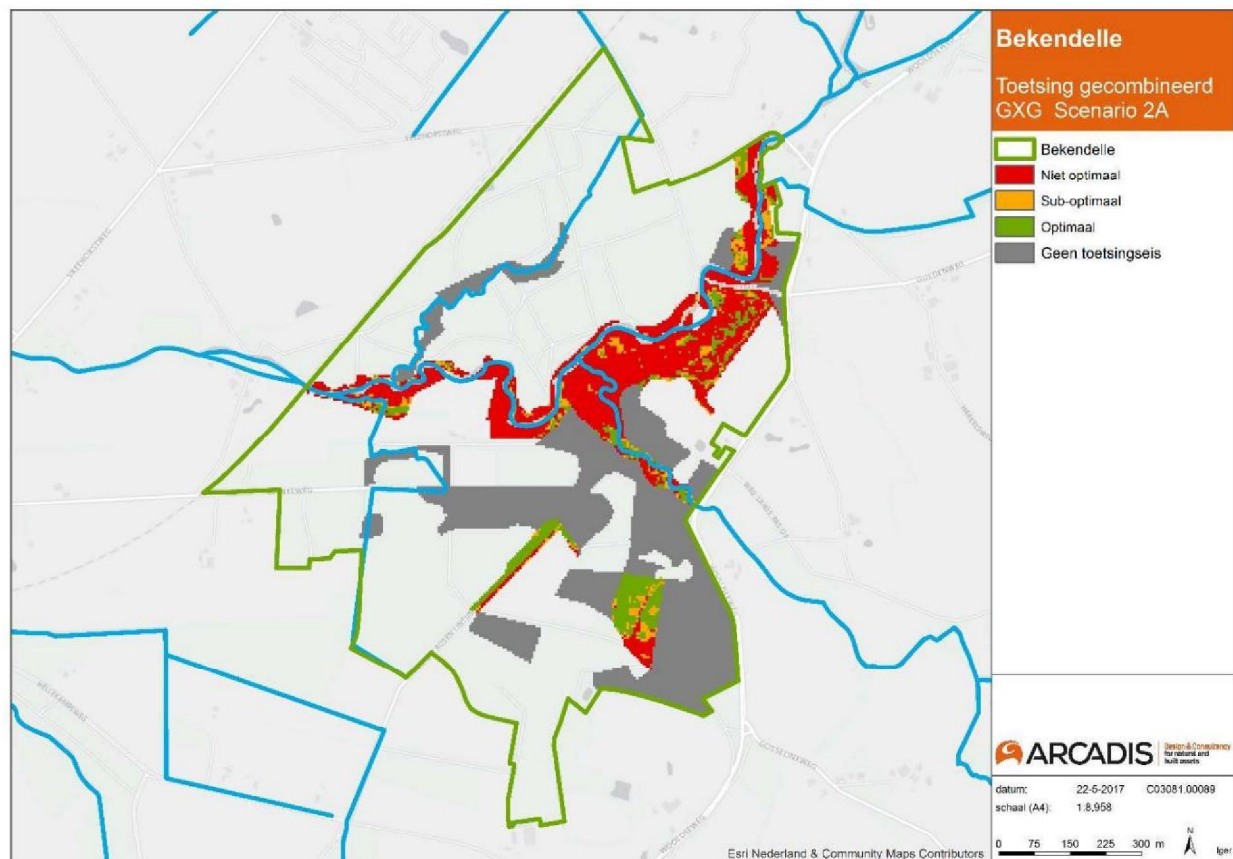


Figuur 24 Gecombineerd overzicht voor de condities voor de GVG en GLG voor scenario 1B

Tabel 9 Overzicht van het aantal hectare per vegetatietype per toetsingsklasse voor scenario 2A

GVG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	0,09	0,02	0,25	0,36	3
Sub-optimaal	-	0,20	-	0,20	0,39	3
Optimaal	-	1,54	0,46	0,94	2,94	21
Sub-optimaal	-	0,32	0,70	0,97	1,99	14
Niet optimaal (te droog)	-	1,06	4,06	3,37	8,48	60

GLG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	-	0,03	0,60	0,63	6
Optimaal	-	-	0,61	3,61	4,22	38
Niet optimaal (te droog)	-	-	4,60	1,52	6,11	56

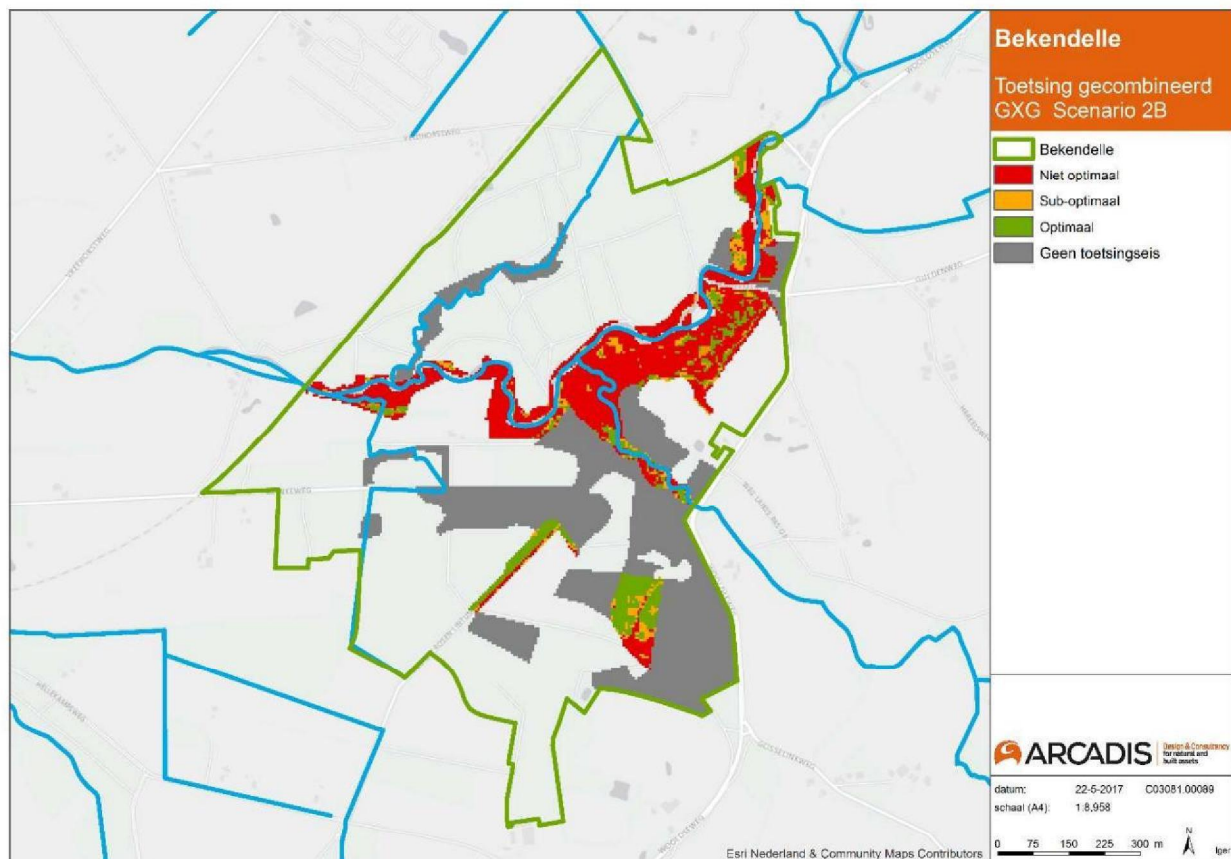


Figuur 25 Gecombineerd overzicht voor de condities voor de GVG en GLG voor scenario 2A

Tabel 10 Overzicht van het aantal hectare per vegetatietype per toetsingsklasse voor scenario 2B

GVG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	0,09	0,01	0,25	0,36	3
Sub-optimaal	-	0,18	-	0,20	0,38	3
Optimaal	-	1,55	0,41	0,88	2,84	20
Sub-optimaal	-	0,32	0,65	0,91	1,88	13
Niet optimaal (te droog)	-	1,07	4,17	3,49	8,72	62

GLG	42AA02	43AB01F	39AA02	43AA05	Totaal	Totaal (%)
Niet optimaal (te nat)	-	-	0,01	0,56	0,57	5
Optimaal	-	-	0,49	3,62	4,12	38
Niet optimaal (te droog)	-	-	4,73	1,55	6,28	57



Figuur 26 Gecombineerd overzicht voor de condities voor de GVG en GLG voor scenario 2B

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De Boven Slinge zand sterk aan op het traject 'Berenschot Watermolen' en de vispassage 'Broekmolen'. Met name vanaf de molenkolk tot iets voorbij de Stenenbrug (Klandermansweg) is de bodem fors omhooggekomen als gevolg van aanzanding. Dit leidt tot hogere waterstanden bij piekafvoeren, maar ook bij lage afvoeren staat het waterpeil hoger dan het streefpeil. Dit heeft nadelige gevolgen voor diverse gebruiksfuncties. Om de peilstijging tegen te gaan, dient (een deel) van de Boven Slinge opgeschoond.

Het doel van dit onderzoek (spoor II) is het inzicht krijgen in de verandering van de grondwaterstanden als gevolg van opschonen en het beoordelen van de grondwaterafhankelijke functies bij deze veranderingen.

Om de hoofdvraag te beantwoorden, zijn een aantal deelaspecten benoemd. Deze worden hieronder individueel behandeld. Samenvattend zijn de conclusies:

Beoordeling van de bruikbaarheid van AMIGO v2.10

AMIGO v2.1 is een upgrade van v2.0 op basis van nieuwe inzichten in het geohydrologisch systeem van de Achterhoek. Dit model is gekalibreerd en gevalideerd op regionale schaal. Door de AMIGO-gebruikersgroep (Provincie Gelderland, Waterschap Rijn en IJssel en Vitens N.V. is deze modelversie als nauwkeurig en betrouwbaar beoordeeld).

De aanpassing die sinds de modellering in het kader van GGOR (2011) is uitgevoerd, leidt tot lagere gemodelleerde grondwaterstanden in Bekendelle. De vergelijking tussen het model en gemeten waarde bij een peilbuis toont aan dat AMIGO v2.1 zowel de absolute grondwaterstand als de dynamiek goed berekend. Omdat de meest recente inzichten in het model zijn verwerkt, is geconcludeerd dat het model bruikbaar is voor dit onderzoek. Dit is ook gezamenlijk met het Waterschap en de Provincie vastgesteld tijdens de projectgroep bijeenkomst op 7 april 2017.

Beoordeling van de interactie tussen het oppervlaktewatersysteem en het grondwatersysteem

De interactie tussen het oppervlaktewatersysteem en grondwatersysteem speelt een essentiële rol in de te nemen maatregelen. Uit bestudering van het oppervlaktewaterregime is dan ook gebleken dat een gemiddeld zomer- en winter-streefpeil géén recht doet aan de hoge dynamiek van de Boven Slinge. De grondwatermodellering is daarom ook uitgevoerd met representatieve waterpeilen voor ieder kwartaal.

Ook is geconstateerd dat infiltratie hooguit optreedt tijdens (kortstondig) verhoogde waterpeilen. De Boven Slinge is nagenoeg het gehele jaar drainerend. Om eventuele infiltratie niet te overschatten met het model, is de mogelijkheid om te infiltreren uit gezet.

De interactie tussen grond- en oppervlaktewater is verder gekwantificeerd aan de hand van een gevoeligheidsanalyse. Hieruit kan worden opgemaakt dat de onzekerheid omtrent de drainageweerstand zorgt voor een onzekerheid van ± 10 centimeter in de berekende grondwaterstanden. Het is van belang om deze onzekerheid mee te nemen bij de beoordeling van de resultaten.

Het uitvoeren van scenarioberekeningen

Het verlagen van de bodem tot Stenenbrug (Klandermansweg) leidt niet tot grote veranderingen in de berekende waterstanden. Daarmee is ook nagenoeg géén effect op de berekende grondwaterstanden berekend.

Het verlagen van de bodem tot Houtenbrug zorgt voor een verlaging van maximaal 40 centimeter in het oppervlaktewater en tot maximaal 25 centimeter in het grondwater.

Het aanpassen van de vispassage zorgt voor een verlaging van maximaal 25 centimeter van het grondwater.

Een beoordeling van de scenario's voor de verschillende grondwaterafhankelijke vegetatietypen

De huidige situatie, waarbij de drainerende werking van de Boven Slinge is verminderd als gevolg van de sterke aanzanding, wordt over het algemeen als 'te droog' beoordeeld. Op basis van de berekening voldoet 25% van het areaal voor de toegekende vegetatietypen.

De verschillende scenario's leiden tot een verdere verlaging van de grondwaterstanden. Daardoor is sprake van een verslechtering ten opzichte van de huidige situatie. Procentueel gezien is slechts sprake van een beperkte afname van het areaal dat als optimaal beoordeeld wordt.

4.1 Aanbevelingen

Beperken van opstuwing

Eén van de primaire doelstellingen is het verlagen van het oppervlaktewaterpeil bij (hoge) afvoeren op het traject 'Berenschot – Houtenbrug'. Het gaat daarbij niet alleen om extremen, maar ook over de hogere afvoeren die meerdere malen per jaar voorkomen. Alléén het verlagen van de bodemhoogte tot aan de Houtenbrug heeft hierop het gewenste effect. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het ondiepe stuk tussen de Stenenbrug en de Houtenbrug doordat de aanzanding vanaf de molen tot voorbij de Stenenbrug heeft plaatsgevonden. Verlagen heeft alleen zin als het totale aangezande deel wordt ontzand.

Eén van de conclusies uit het Morfologische onderzoek (spoor I) is dat het risico op aanzanding van de Bekendelle blijft bestaan. Hoewel het een langdurig proces is, is het wenselijk om maatregelen te nemen die aanzanding van de Boven Slinge binnen de Bekendelle tegen gaan. Het concrete maatregelen pakket dat hiervoor moet zorgen is nader uitgewerkt in spoor I. Deze maatregelen richten zich enerzijds op het verwijderen van het sediment bovenstrooms van de Bekendelle. Het regelmatig opschonen van de molenkolk, maar ook het verwijderen van sediment dat zich voor de aangepaste stuw bij Berenschot Watermolen verzameld. Anderzijds moeten de maatregelen zich richten op het tegen gaan van sedimentatie van materiaal in de Bekendelle. Het bodemtransport én het gesuspendeerde sediment moet ongehinderd de Bekendelle kunnen passeren. De maatregelen moeten 'sprongen' (zgn. discontinuïteiten) tegen gaan. De stroomsnelheid speelt daarin een cruciale rol. Veranderingen in nat profiel (aanzanding, hout in de beek, constructies) zijn dan belangrijke elementen die daarop van invloed zijn. Maar ook het moment waarop de beek uit zijn oevers treedt en er inundatie optreedt, zorgt voor een discontinuïteit waarbij veel sediment in de hoofdloop terecht komt. Maatregelen die gericht zijn op het beperken van erosie zullen met name buiten het onderzoeksgebied gezocht moeten worden. Dit ligt niet binnen de scope van de opdracht en de mogelijkheden zijn niet nader onderzocht.

Naast het opstuwende effect van de aanzanding en vispassage is er nog een derde oorzaak van opstuwing, namelijk hout in de beek. In de modellering is ervan uit gegaan dat er geen hout in de beek ligt. Als dit hout niet wordt opgeruimd, zal er een opstuwend effect aanwezig blijven. Uit diverse onderzoeken is bekend dat dit effect niet verwaarloosbaar mag worden verondersteld. Ook in het kader van aanzanding verdient het de aanbeveling dat zo min mogelijk obstakels zich binnen het natte profiel van de Boven Slinge bevinden.

Nastreven van natuurwaarden

Opgemerkt moet worden dat het beperken van de opstuwing niet alléén wenselijk is voor Berenschot Watermolen. De huidige afvoercapaciteit van de Boven Slinge is door de aanzanding sterk beperkt, waardoor inundatie van de Bekendelle meerdere malen per jaar optreedt. De Beekbegeleidende Bossen zijn bestand tegen periodieke inundatie, maar een dermate hoge inundatiefrequentie is niet noodzakelijk of zelfs onwenselijk. Dit criterium is nu niet gekwantificeerd.

Uit de beoordeling van de grondwaterafhankelijke vegetatietypen blijkt dat slechts een beperkt deel (ca. 25%) zich binnen de optimale bandbreedte van de hydrologische randvoorwaarden bevindt (zie Tabel 6 en Figuur 22). Het verlagen van de drainagebasis als gevolg van ontzanden, zal resulteren in nog lagere grondwaterstanden. Daarnaast bestaat het N2000-gebied voor grote delen ook uit niet-grondwaterafhankelijke vegetatietypen. Plaatselijk is ook sprake van te natte omstandigheden.

Bovengenoemde vraagt om een aanvullende beoordeling van de natuurwaarden in het gehele N2000-gebied en een (her)overweging van de te beoordelen vegetatietypen.

Beheer en onderhoud conform de legger en PAS-maatregelen.

Op grond van de Keur is het Waterschap gehouden aan het onderhouden van de legger-watergangen. Binnen de grenzen van het N2000 is een lange tijd niet actief beheerd op het legger profiel. Alléén de gemakkelijk bereikbare plaatsen zijn enkele keren ontzand. Over grote delen heeft de Boven Slinge nu een te hoge bodemhoogte, welke vraagt om uitgebreid onderhoud, waarbij de hele watergang weer terug wordt gebracht naar de legger.

Binnen de maatregelen die zijn bepaald in het GGOR, en later zijn overgenomen in de PAS, wordt de bodem op het traject Berenschot Watermolen en de Stenenbrug teruggebracht tot 10cm boven de legger. Bij deze maatregel om de bodem te verhogen wordt dan minder diep ontzand.

Op basis van dit onderzoek reist de vraag of de voorgestelde maatregel de meest wenselijke is. Ook het traject tussen de Stenenbrug en de Houtenbrug zal moeten worden onderhouden om de gewenste waterstandsdeling te bewerkstelligen. Maar of opschonen tot op de legger-hoogte de meest wenselijke ingreep is, valt nog te bezien.

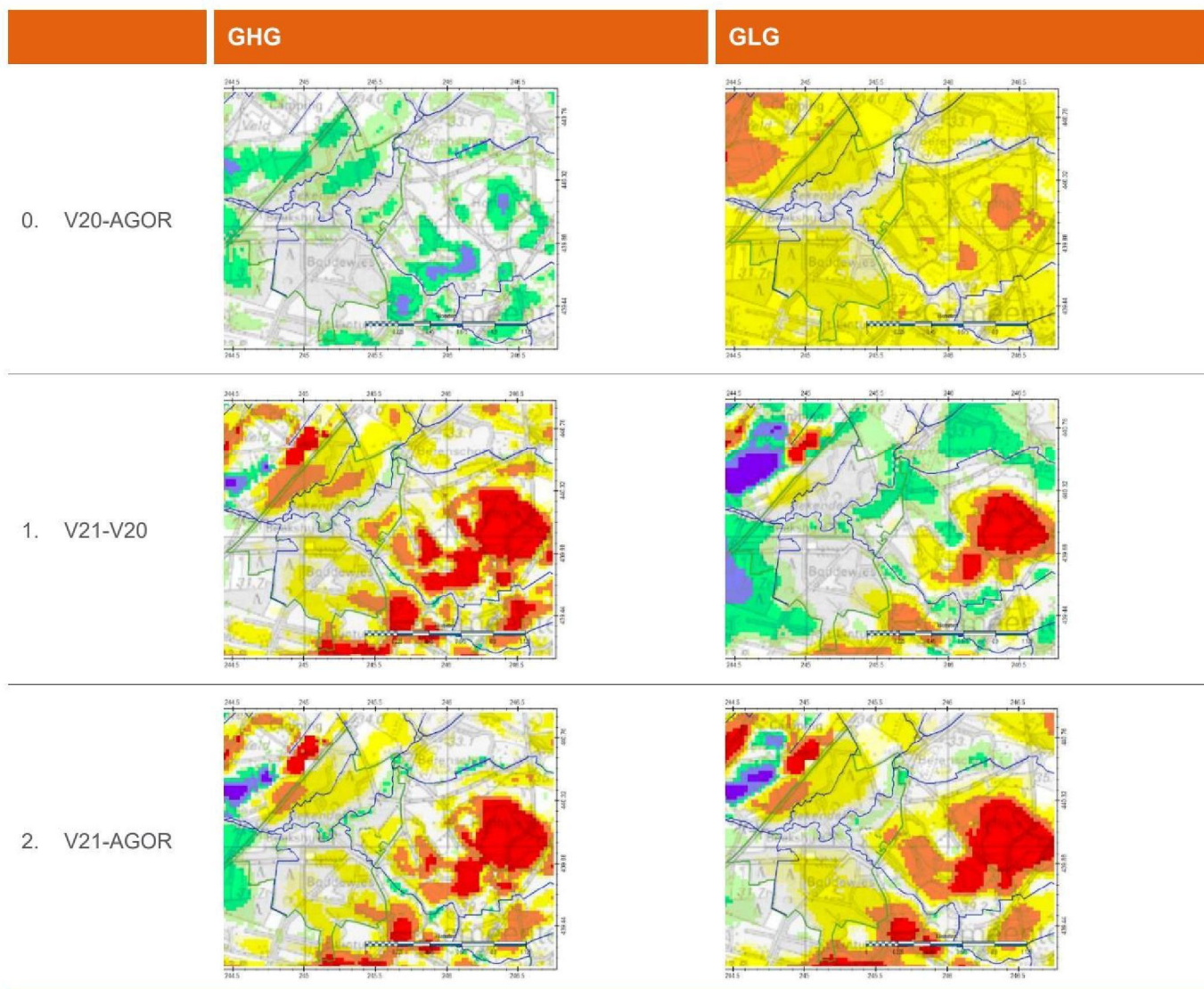
Het verdient de aanbeveling om het Beheer en Onderhoud conform de legger en de na te streven natuurwaarden opnieuw af te wegen om tot beter aansluitende PAS-maatregelen te komen. In dit onderzoek is de bodemverhoging van 10 cm over het gehele traject Berenschot Watermolen en Houtenbrug al onderzocht. Het is niet ondenkbaar de bodem nog verder te verhogen of het traject te vergroten zodat ook de hoogte net benedenstrooms van de Houtenbrug wordt opgeschoond.

BIJLAGE A GXG KAARTEN BEOORDELING AMIGO V2.1

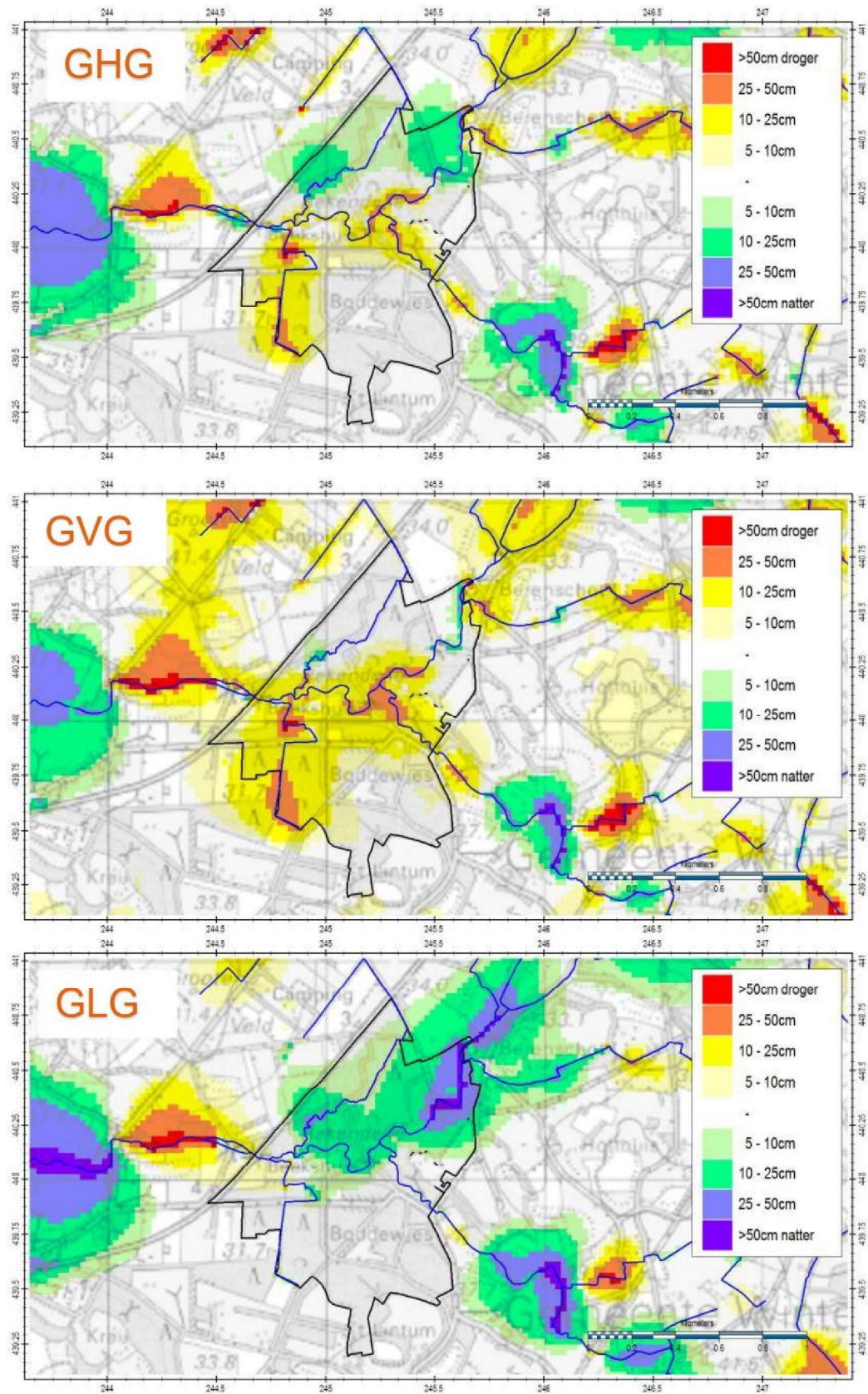
Sinds de GGOR-studie van 2011 is AMIGO veranderd van versie 1.1 via versie 2.0 naar versie 2.1. In de database van AMIGO v2.0 zijn enkele kleine veranderingen toegepast vergeleken met de database van de GGOR-studie. Voorbeelden hiervan zijn het baseren van de GHG en GLG op andere periodes (hydrologisch jaar ten opzichte van kalenderjaar), inzichten in het geohydrologisch systeem en de bergingsfactoren. De verschillen in GHG en GLG zijn hieronder weergegeven. De veranderingen leiden tot een hogere grondwaterstanden voor de GHG en lagere grondwaterstanden voor de GLG.

In de overgang van AMIGO v2.0 naar v2.1 zijn de eigenschappen voor de keileemlagen aangepast. Daarnaast is de bergingsfactor weer hersteld naar de originele waarde. Hierdoor zijn de hoger gelegen gebieden lagere grondwaterstanden vergeleken met het oude model. In de lagergelegen gebieden is zijn de grondwaterstanden hoger. Uiteindelijk geeft het AMIGO v2.1 model gemiddeld lagere grondwaterstanden ten opzichte van de GGOR-studie.

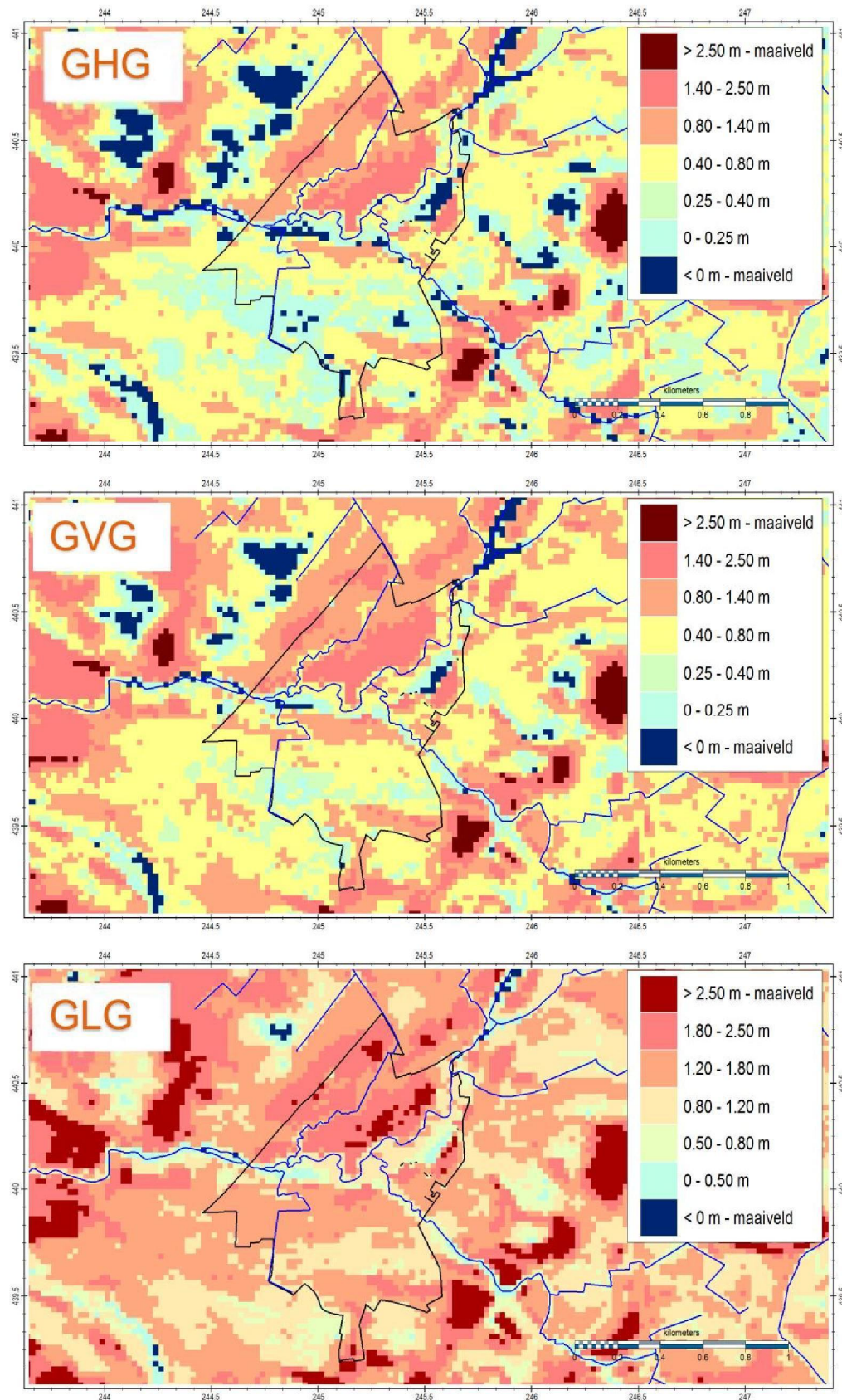
De grootste veranderingen in de nieuwe versie zijn aanpassingen in de kD en c. Deze parameters zijn aangepast omdat de keileemlagen in het gebied beter in beeld zijn gebracht. De aanpassingen van de kD en c hebben ook invloed op het gebied rondom Bekendelle. In Bijlage A worden de effecten van de aanpassingen in AMIGO stapsgewijs besproken. Om de totale invloed van de aanpassingen te visualiseren zijn er verschilkaarten gemaakt van de nieuwe modelversie (AMIGO v2.1) ten opzichte van het actuele grondwater- en oppervlaktewater regiem uit de GGOR-studie. Hierin is te zien dat in de hoger gelegen gebieden lagere grondwaterstanden voorkomen. In het oosten zijn de GHG en GLG hoger in het nieuwe AMIGO-model. In Bekendelle zijn de GHG en GLG ongeveer 10 tot 25 centimeter lager, behalve binnen 100 meter van de waterlopen zijn de GHG en GLG gelijk gebleven of tot 25 centimeter gestegen.



BIJLAGE B VERSCHIL THEORETISCH PROFIEL MET AMIGO

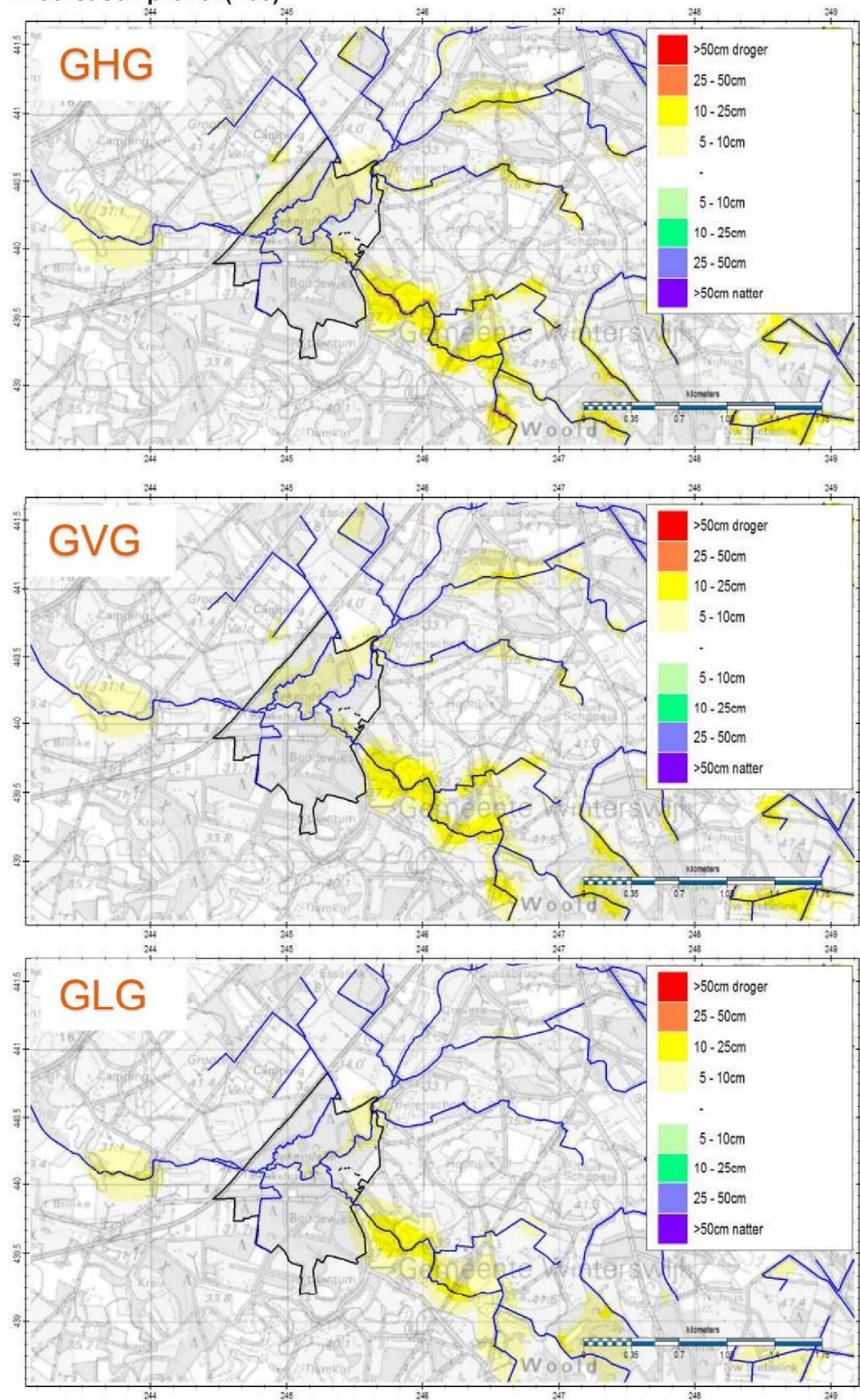


BIJLAGE C GXG - THEORETISCH PROFIEL (T10)

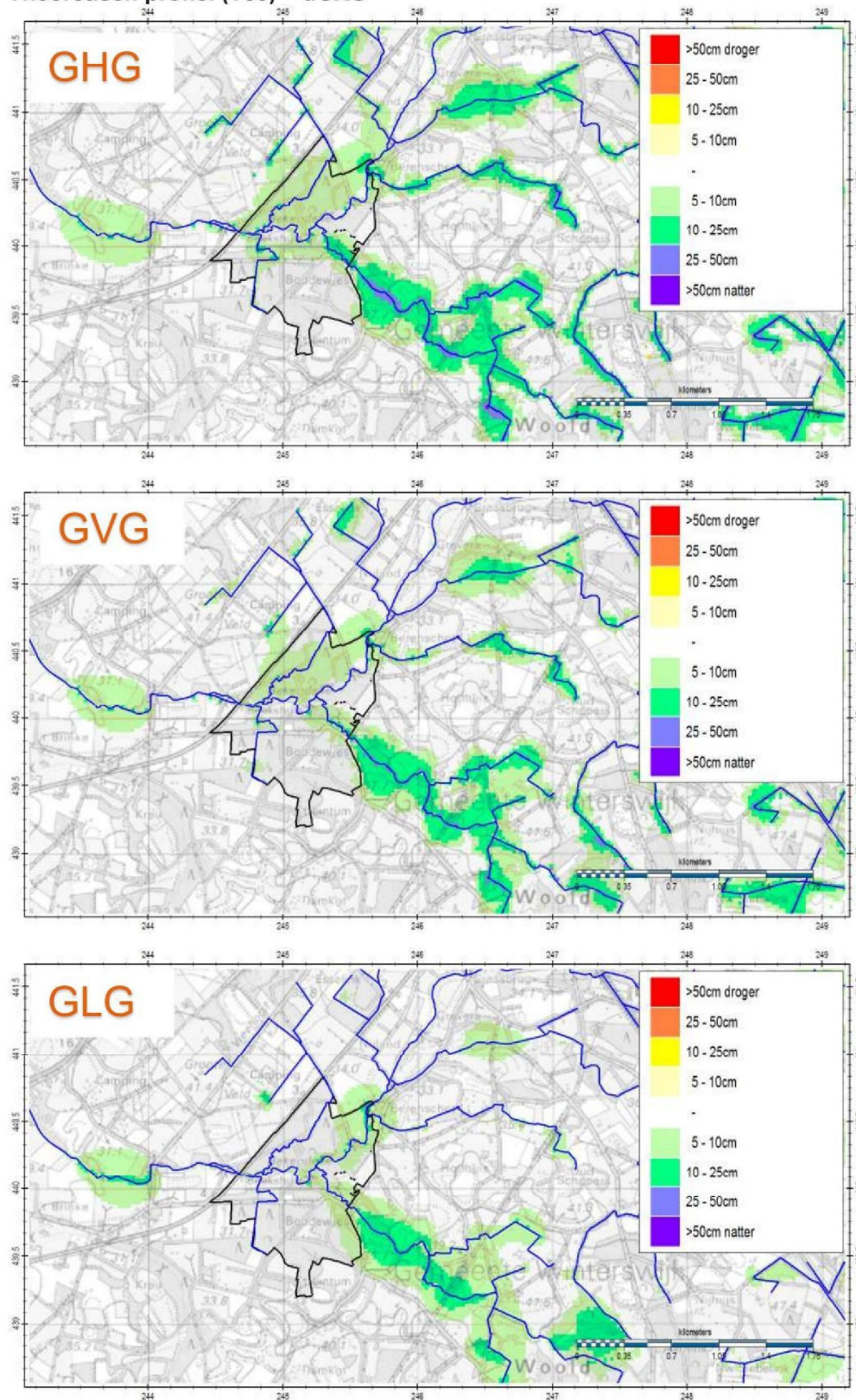


BIJLAGE D DGXG – GEVOELIGHEIDSANALYSE

Theoretisch profiel (T05)

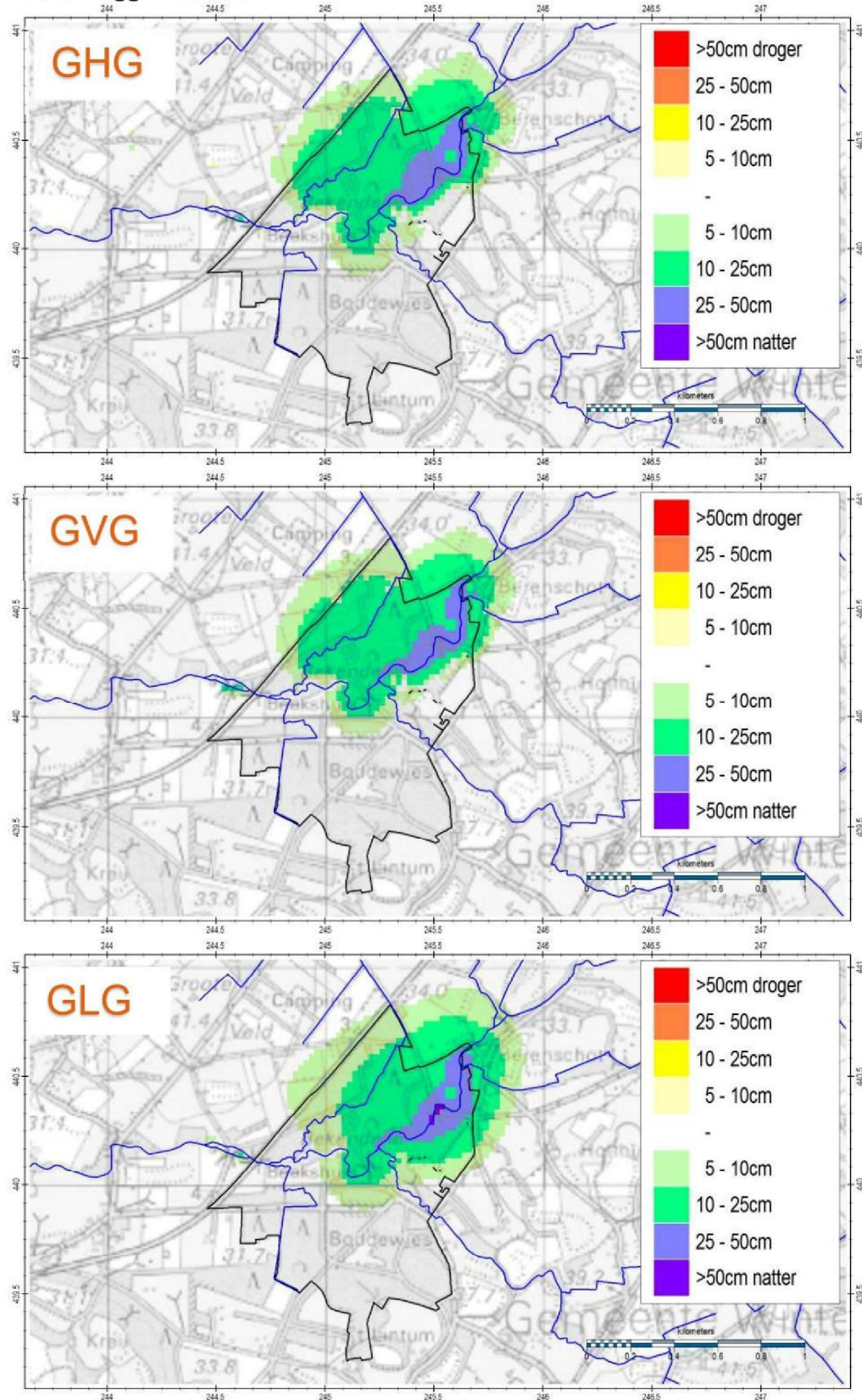


Theoretisch profiel (T50) – dGXG

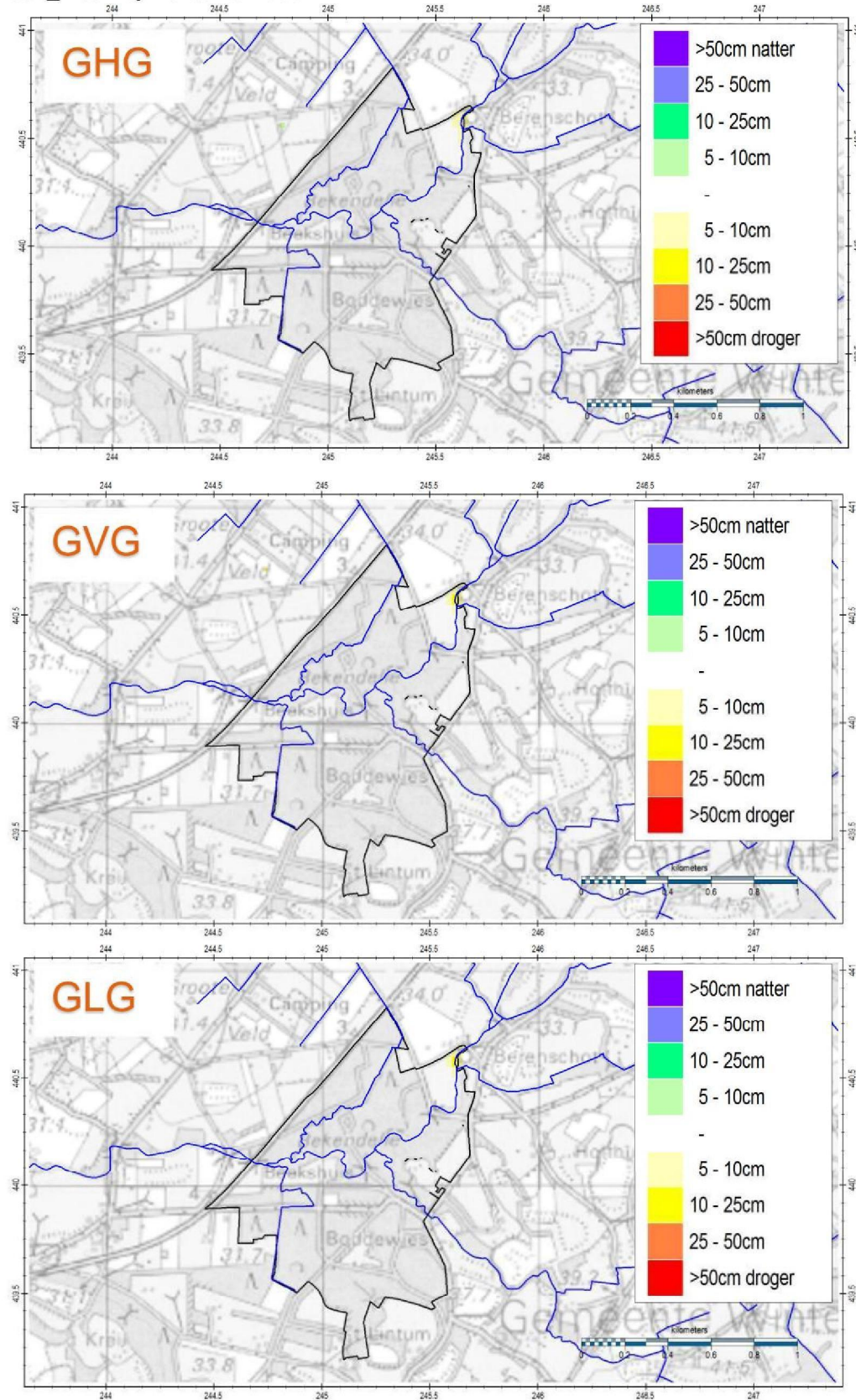


BIJLAGE E ACTUELE SITUATIE EN SCENARIO'S

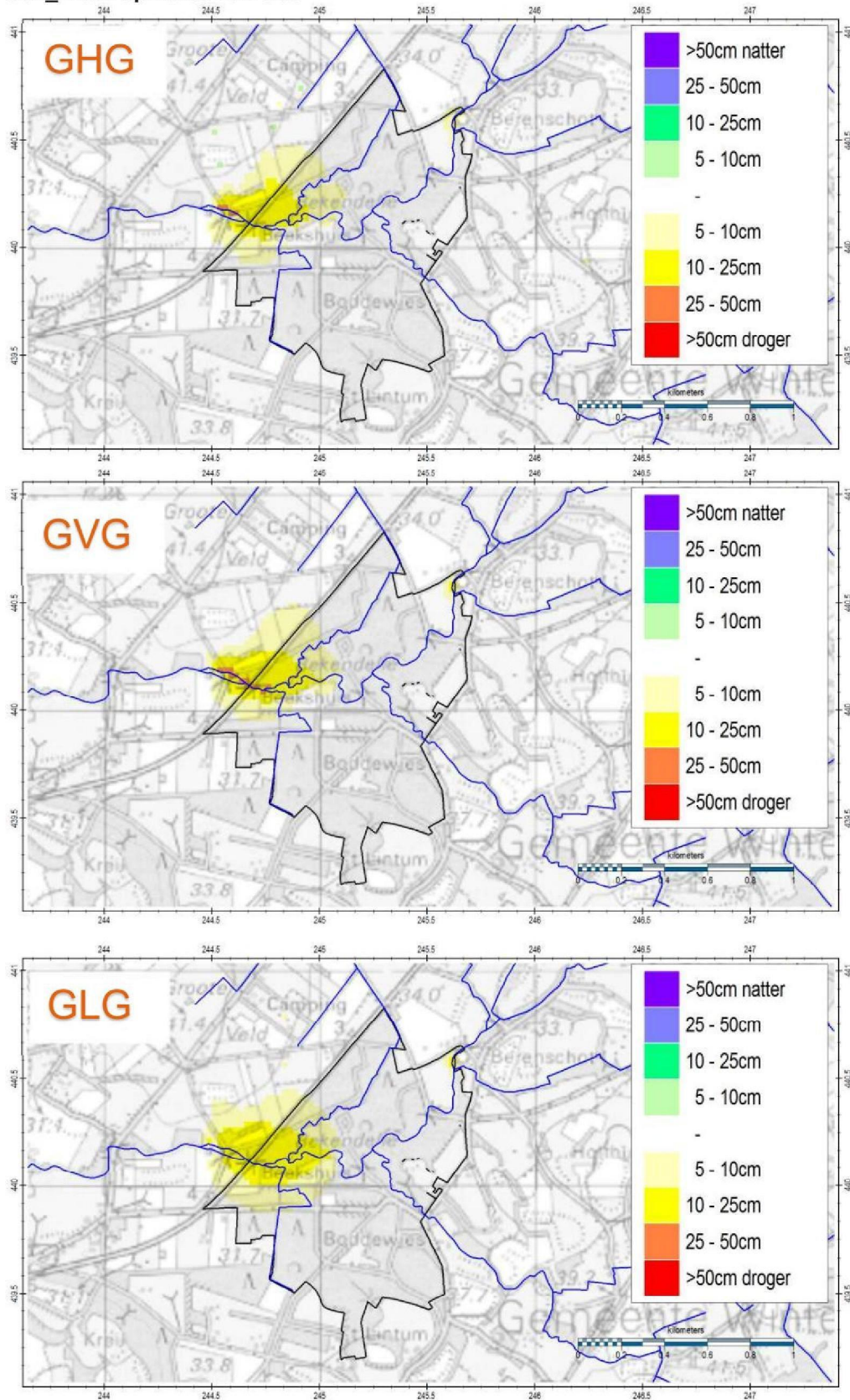
Sc0 tov legger situatie



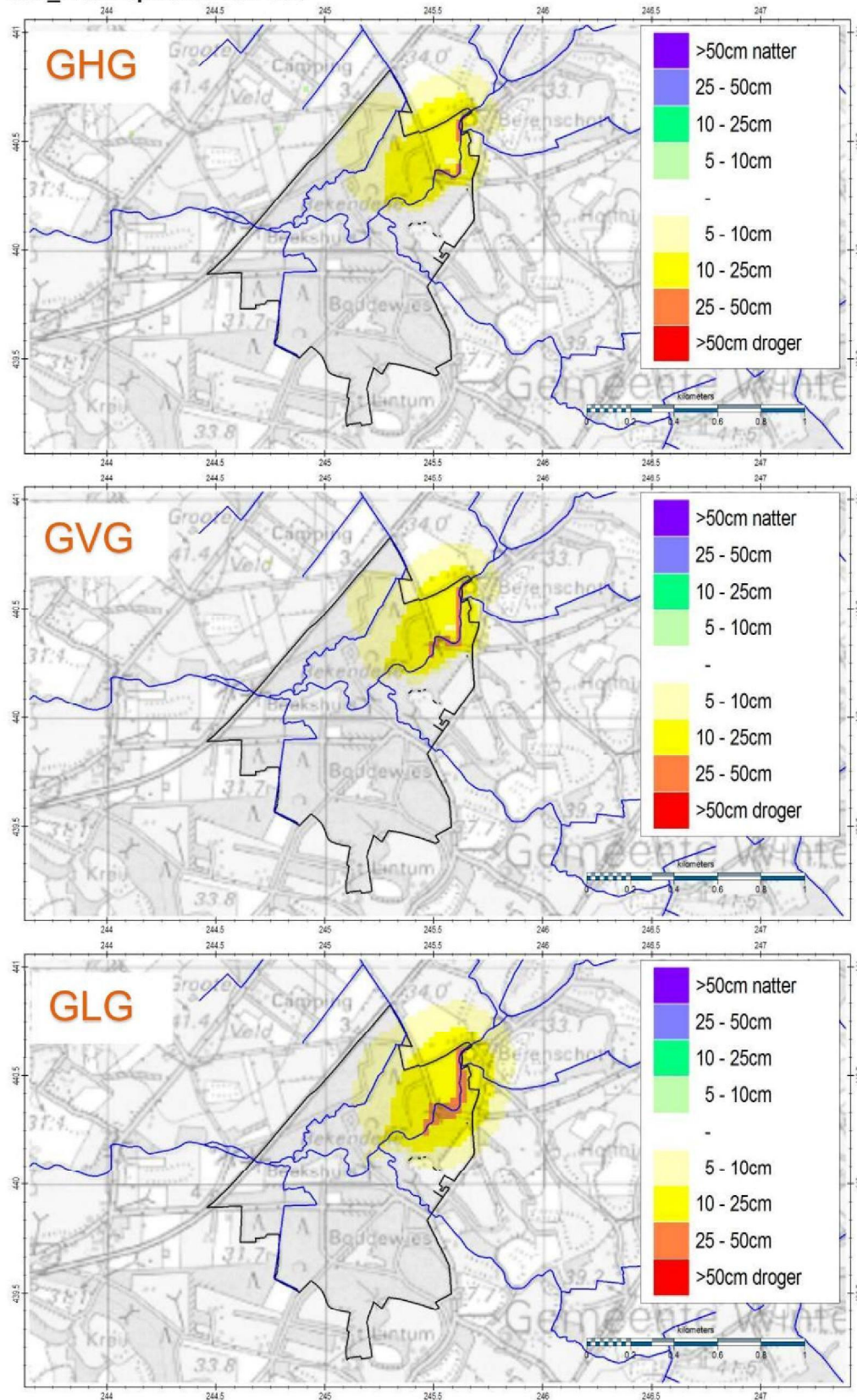
Sc1_A ten opzichte van Sc0



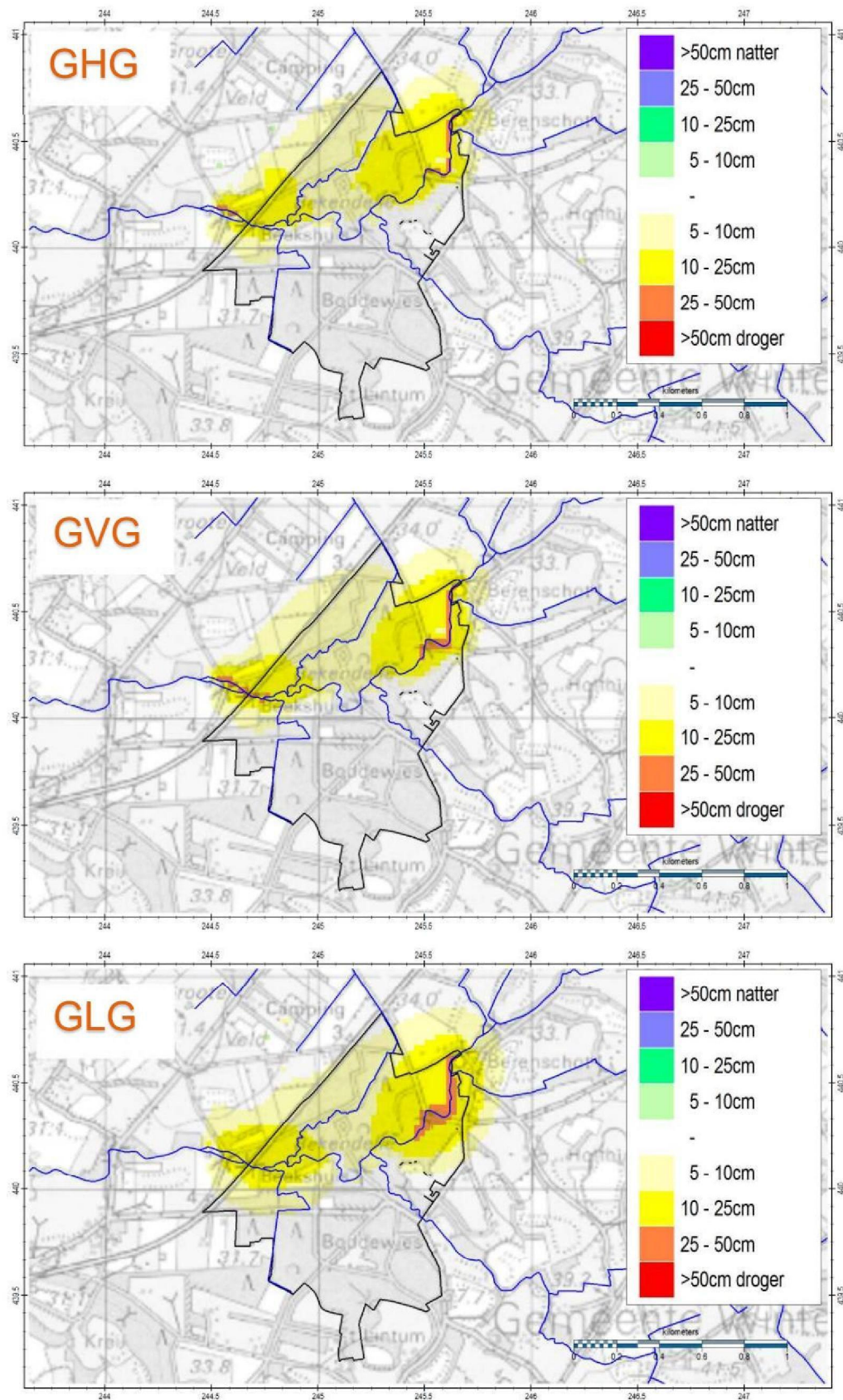
Sc1_B ten opzichte van Sc0



Sc2_A ten opzichte van Sc0

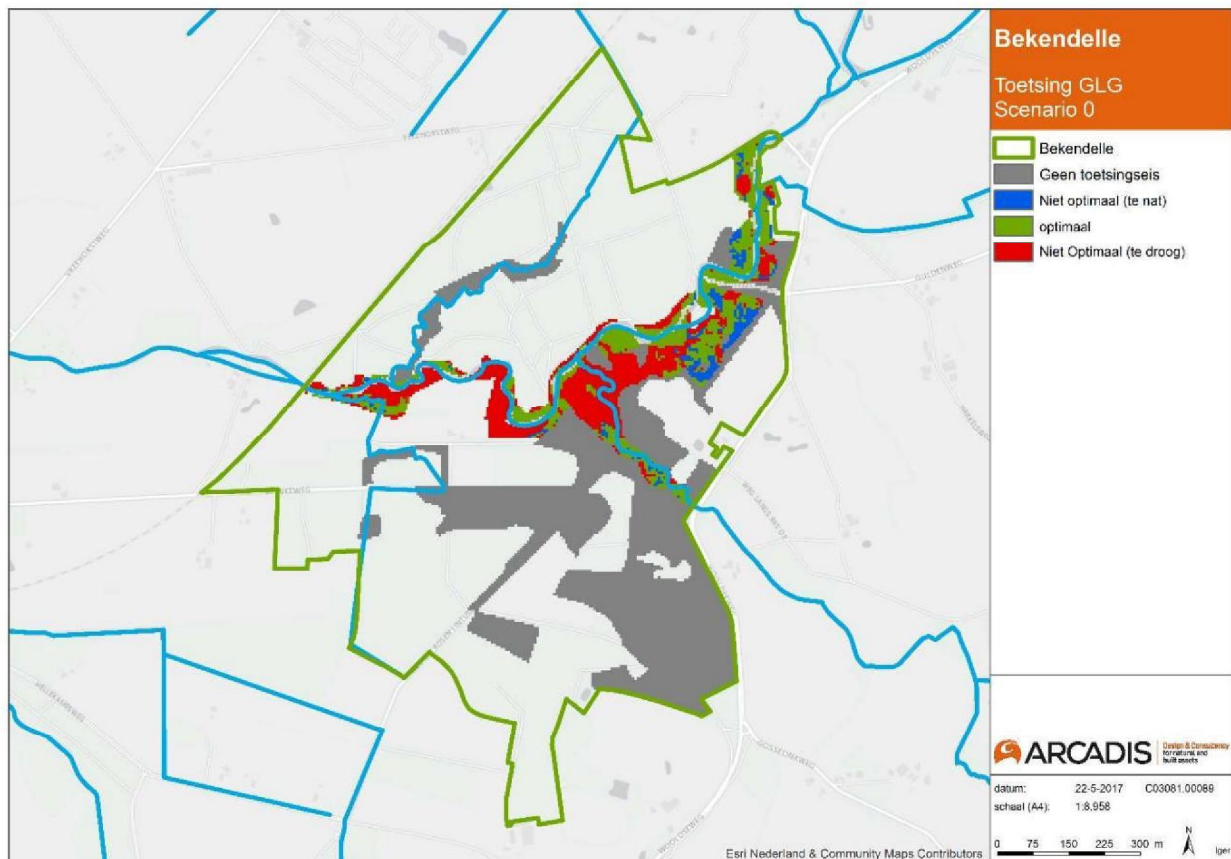
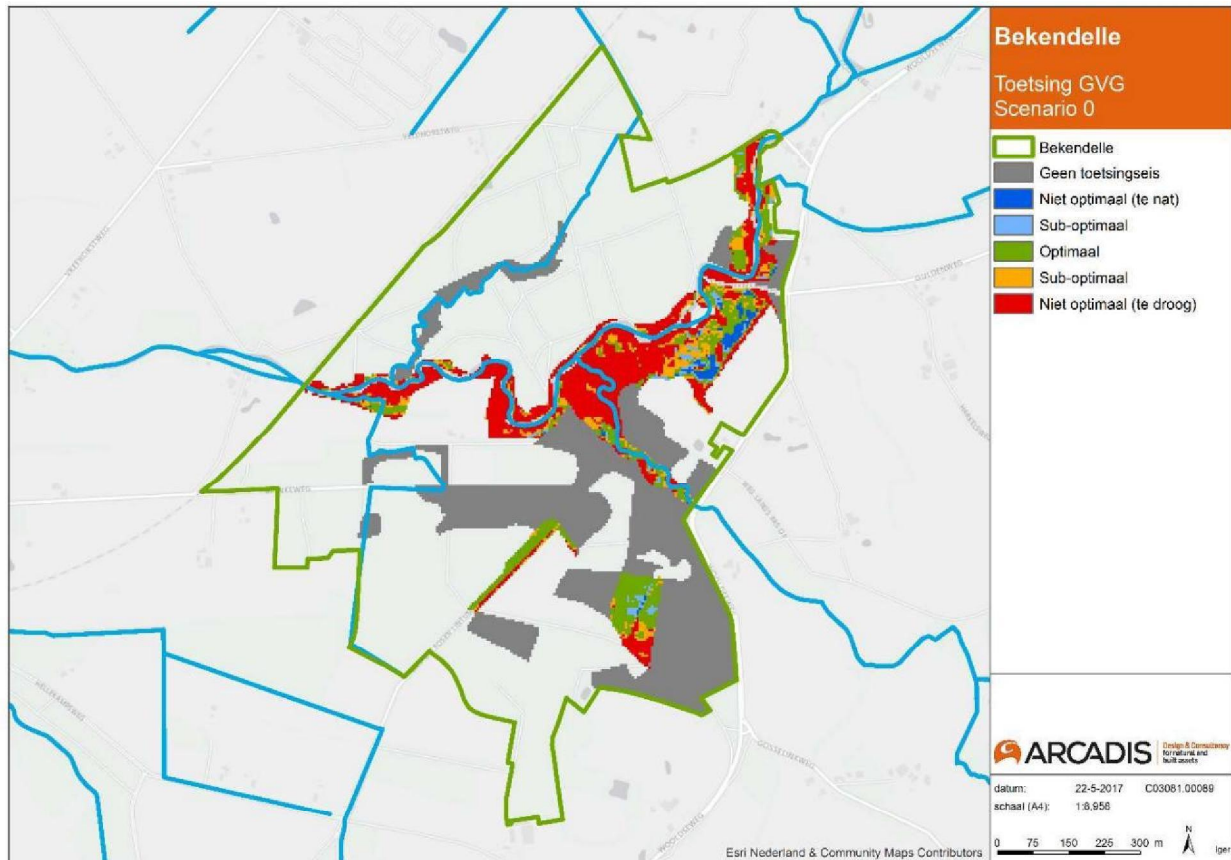


Sc2_B ten opzichte van Sc0

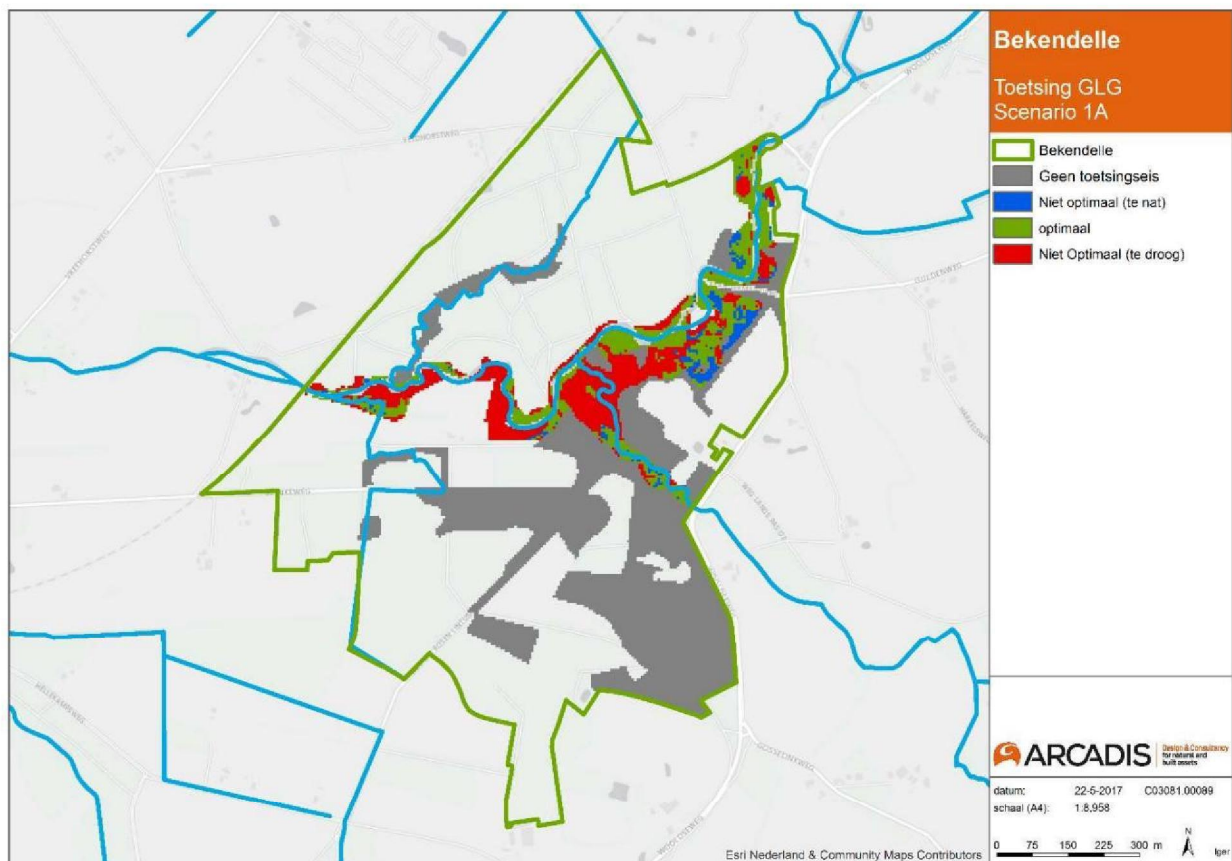
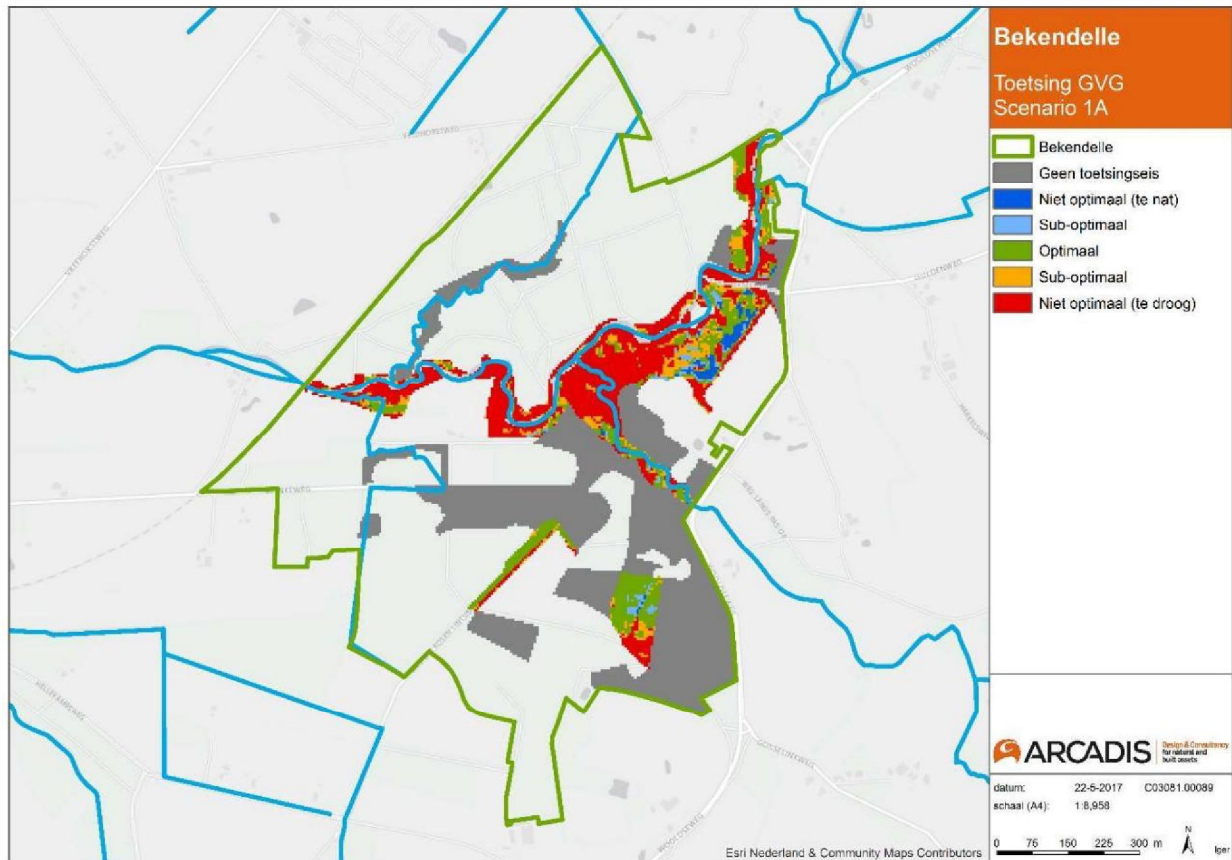


BIJLAGE F TOETSING NATUURDOELEN

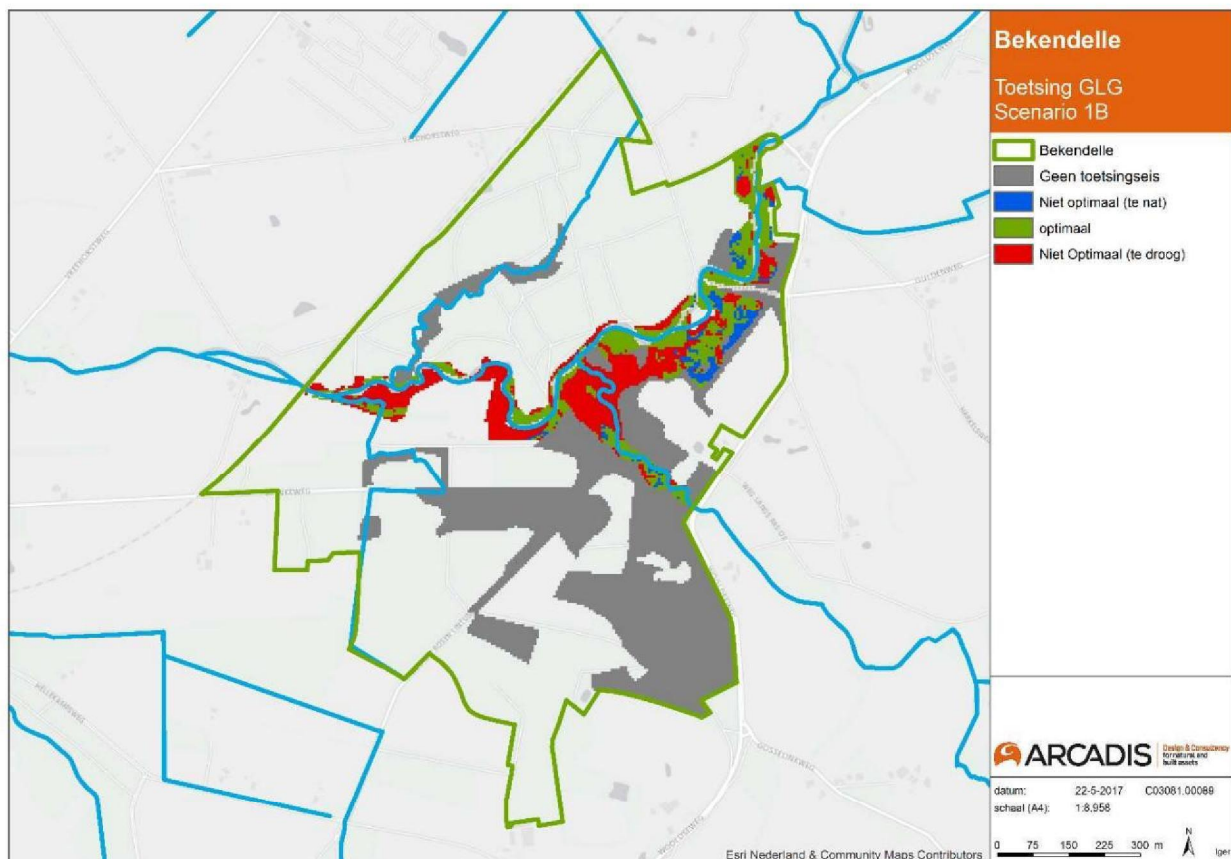
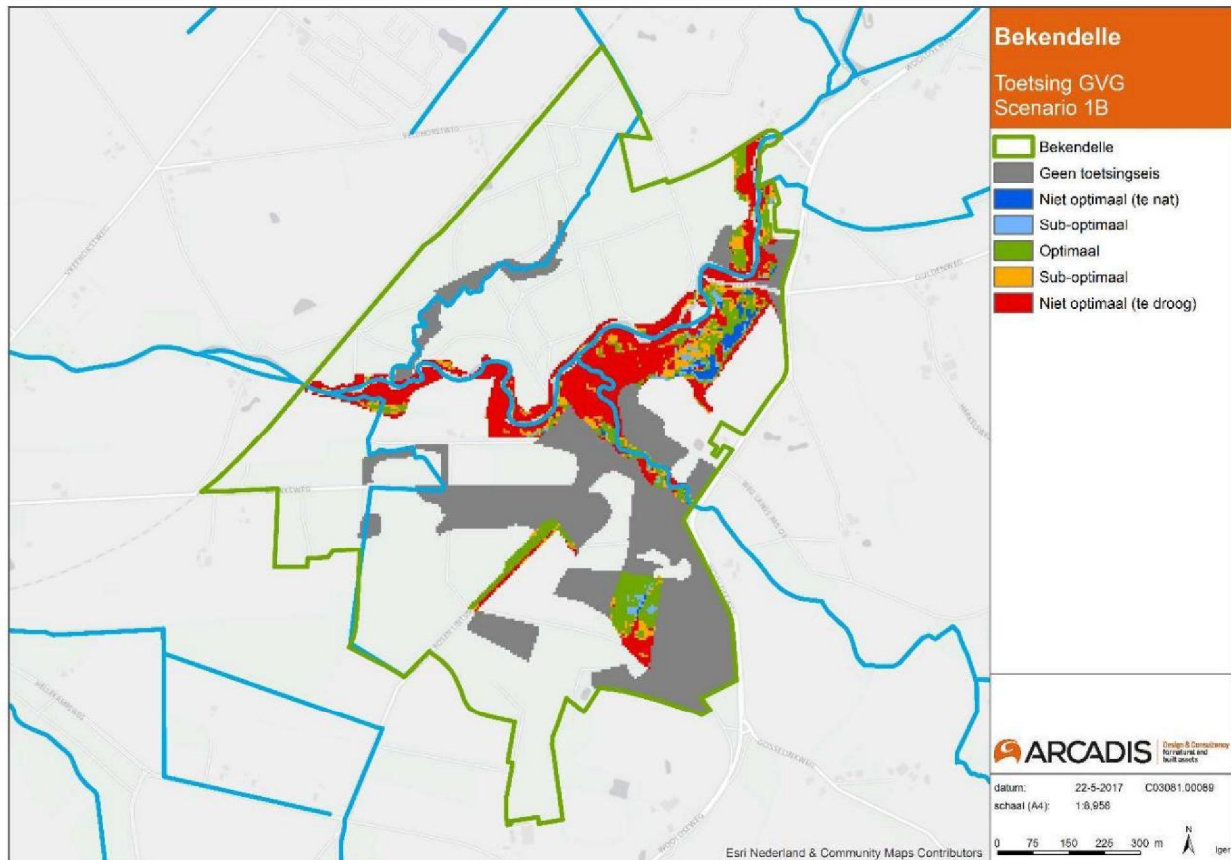
Scenario 0



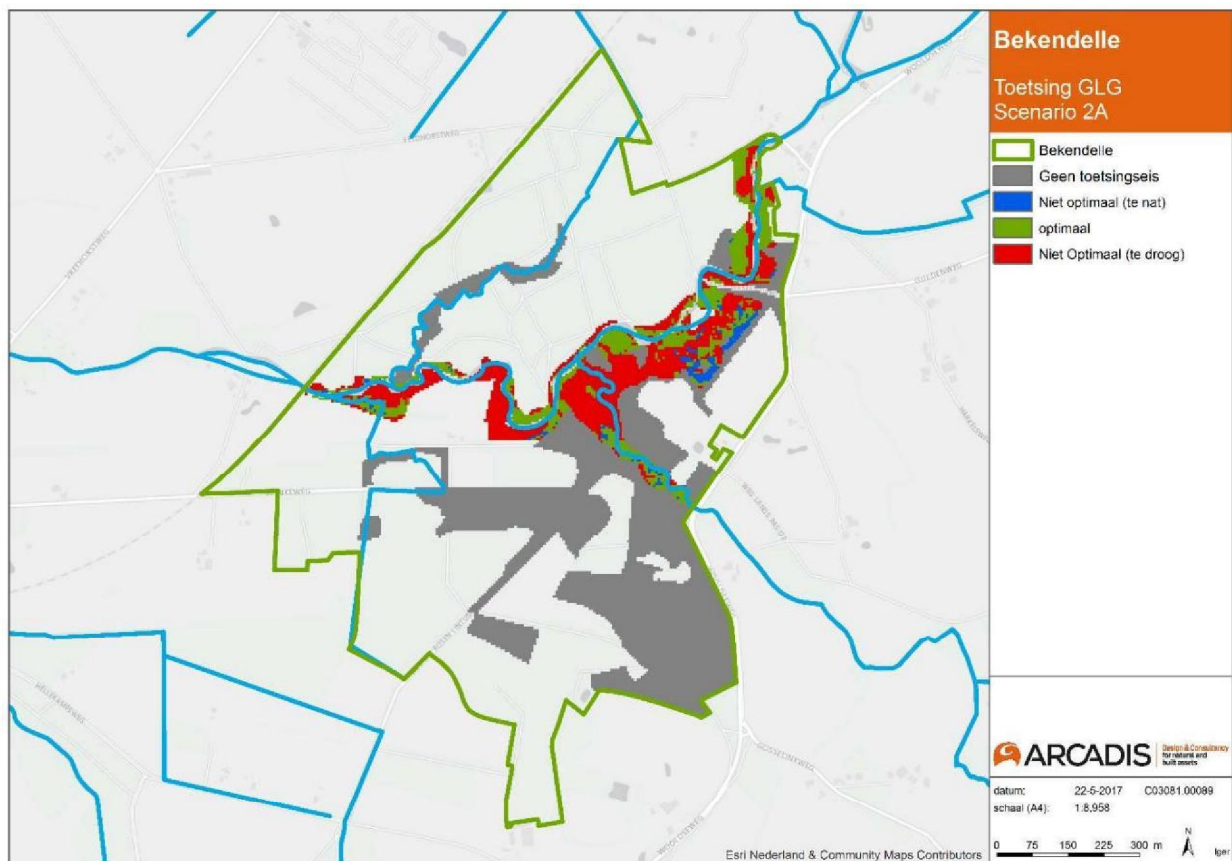
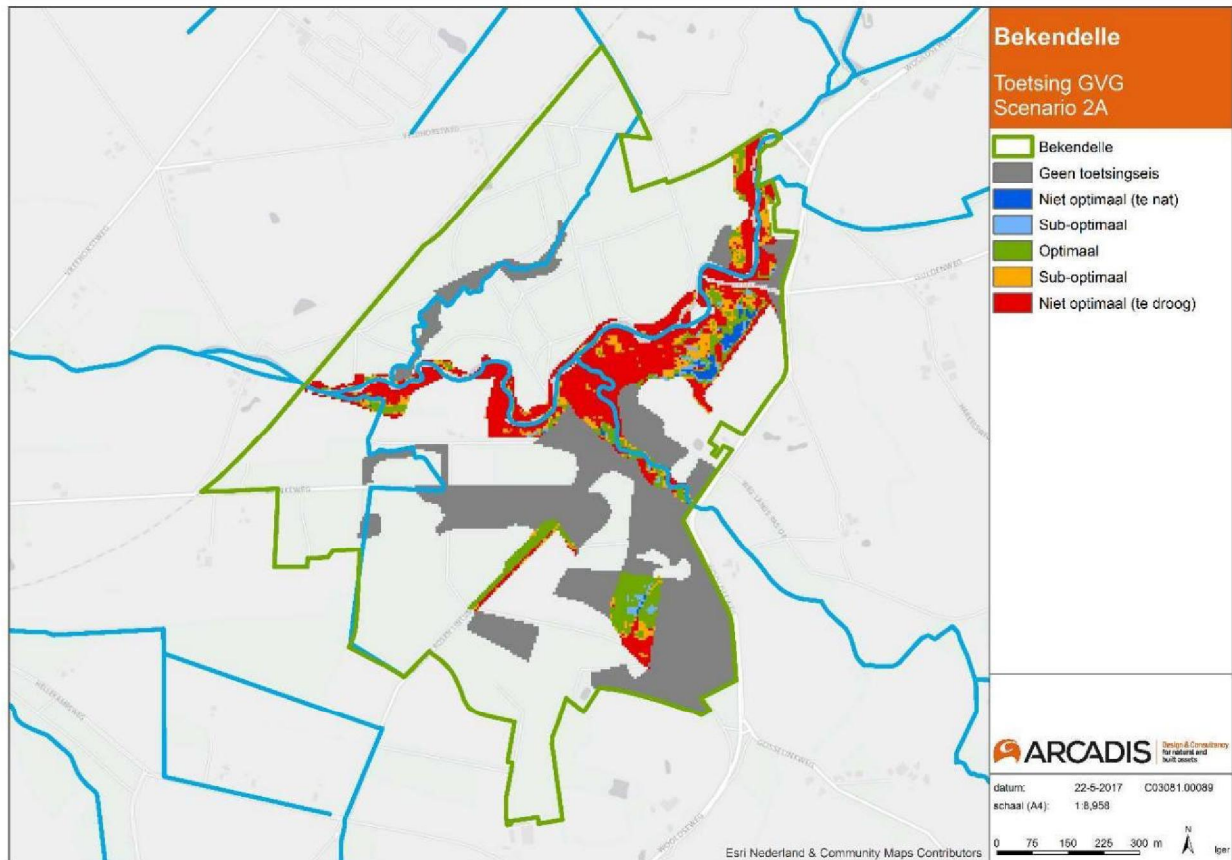
Scenario 1A



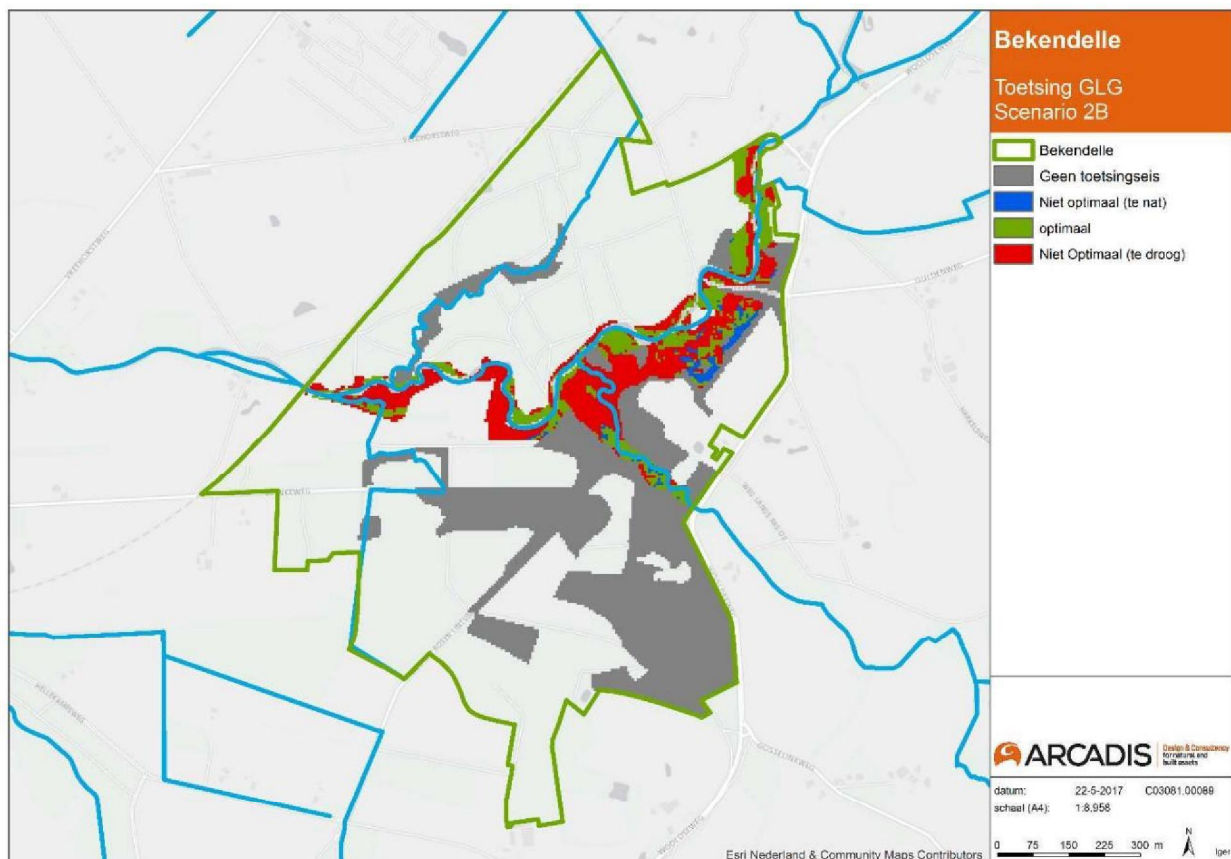
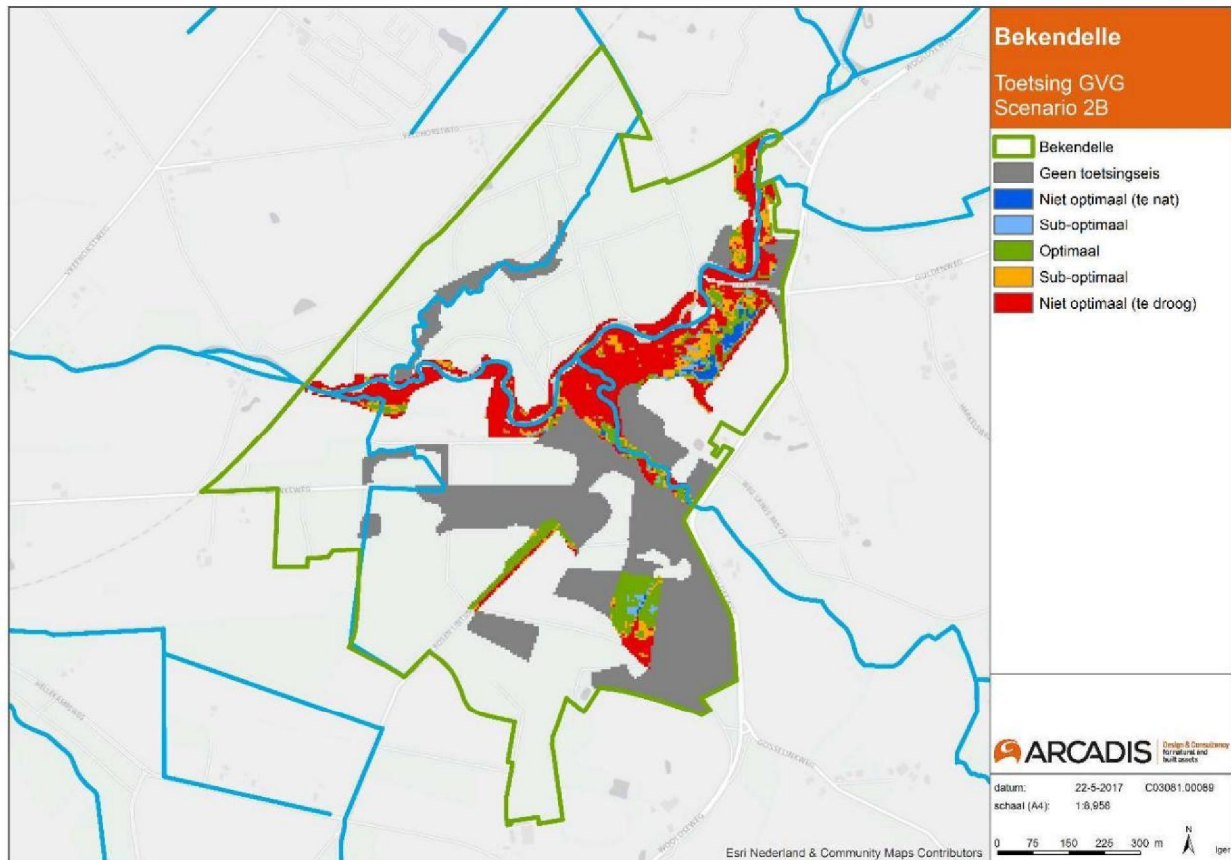
Scenario 1B



Scenario 2A



Scenario 2B



Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Onze referentie: 079418054 0.5