



Berekeningen grond- en oppervlaktewater bij projectplan herinrichting Buulder Aa

Traject Kleine Bruggen - Renheide

Waterschap De Dommel

25 september 2014

Definitief rapport

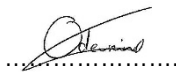
BC6185

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.
RIVERS, DELTAS & COASTS

Entrada 301
Postbus 94241
1090 GE Amsterdam
+31 20 569 77 00 Telefoon
Fax
info@amsterdam.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoningdhv.com Internet
Amersfoort 56515154 KvK

Documenttitel	Berekeningen grond- en oppervlaktewater bij projectplan herinrichting Bulder Aa Traject Kleine Bruggen - Renheide
Verkorte documenttitel	Herinrichting Bulder Aa 2014
Status	Definitief rapport
Datum	25 september 2014
Projectnaam	Herinrichting Bulder Aa 2014
Projectnummer	BC6185
Opdrachtgever	Waterschap De Dommel
Referentie	BC6185/R00002/902829/Amst

Auteur(s)	Jasper Jansen en Paul Aalders
Collegiale toets	Onno de Vrind
Datum/paraaf	25-09-2014
Vrijgegeven door	Onno de Vrind
Datum/paraaf	25-09-2014



INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Leeswijzer	2
2 OPPERVLAKTEWATERMODEL	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Opzet oppervlaktewatermodel en modeldoel	3
2.3 Model- en interessegebied	3
2.4 Modelschematisatie	5
2.4.1 Boven- en benedenstroomse randvoorwaarden	5
2.4.2 Dwarsprofielen en ruwheidcoëfficiënten	7
2.4.3 Kunstwerken	7
2.5 Afvoer	11
2.5.1 Landelijke afvoer	11
2.5.2 Strijper Aa	13
2.5.3 RWZI Soerendonk	14
2.6 2D-overstromingsgrid	15
2.6.1 Opbouw 2D-overstromingsgrid	15
2.6.2 Ruwheid 2D-overstromingsgrid	18
2.7 Actualisatie oppervlaktewatermodel 2014	19
3 GRONDWATERMODEL	21
3.1 Opzet grondwatermodel en modeldoel	21
3.1.1 Modeldoel	21
3.1.2 Opzet van het grondwatermodel in 2011	21
3.1.3 Actualisatie van het grondwatermodel in 2014	22
3.2 Modelgebied en begrenzing	22
3.3 Modelschematisatie	23
3.3.1 Modelgrid	23
3.3.2 Randvoorwaarden	24
3.3.3 Temporele schematisatie	24
3.4 Topsysteem	25
3.4.1 Oppervlaktewaterpeilen	25
3.4.2 Drainage	26
3.4.3 Grondwateraanvulling	27
3.4.4 Bodemparameters van de deklaag	28
3.5 Diepere ondergrond	29
3.5.1 Geohydrologische opbouw en bodemparameters van de diepere ondergrond	29
3.5.2 Grondwateronttrekkingen	30
3.6 Actualisatie grondwatermodel 2014	31
3.6.1 Toevoegen nieuwe informatie	31
3.6.2 Aanpassingen watersysteem 2011-2014	32

3.7	IJking en validatie van het grondwatermodel	32
3.7.1	IJking van het grondwatermodel (2011)	33
3.7.2	Validatie grondwatermodel 2014	34
4	HUIDIGE SITUATIE 2014	38
4.1	Resultaat oppervlaktewatermodel	38
4.1.1	Stationaire berekeningen	38
4.1.2	Tijdsafhankelijke berekeningen	40
4.2	Grondwaterregime huidige situatie 2014	41
5	SCENARIO BEEKHERSTEL	46
5.1	Inleiding	46
5.2	Ontwerpproces oppervlaktewater	46
5.2.1	Maximale variant GEP verweven	46
5.2.2	Optimale variant GEP verweven	46
5.2.3	Eindontwerp 2011	46
5.3	Beschrijving definitief scenario beekherstel	47
5.3.1	Verwerking maatregelen in het oppervlaktewatermodel	48
5.3.2	Verwerking maatregelen in het grondwatermodel	49
5.4	Berekende effecten beekherstel op oppervlaktewater	51
5.4.1	Effecten bij gemiddelde afvoersituaties	51
5.4.2	Effecten bij hoogwatersituaties	56
5.5	Berekende effecten beekherstel op grondwater	61
6	CONCLUSIES	64
6.1	Belangrijkste conclusies oppervlaktewater	64
6.2	Belangrijkste conclusies grondwater	64
7	LITERATUUR	65

BIJLAGEN

- I Profielen
- II Lengteprofielen berekende maximale waterstanden T1, T25 en T50
- III Berekende maximale inundatie T1 T25 en T50
- IV Berekende GVG, GHG en GLG huidige situatie
- V Berekende verandering GVG, GHG en GLG (scenario)

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Voor de projecten Renheide op peil, beekherstel Renheide en beekherstel Kleine Bruggen - Raadbroek zijn in de periode 2009 - 2011 gecombineerde oppervlakte- en grondwaterberekeningen uitgevoerd door Royal Haskoning. De resultaten hiervan zijn opgenomen in rapport 9V3452/R00002/501329/BW/DenB d.d. 25 mei 2011.

Hierbij zijn onder andere diverse beekherstelvarianten met behulp van hydrologische modellen doorgerekend. Het eindontwerp betreft een variant waarbij de omstandigheden in de beek en natte natuurschap Ulkedonken verbeteren door versmalling, verondieping en verlenging van de beek en het verwijderen van stuwen. Hierbij is zoveel mogelijk rekening gehouden met de belangen van bijvoorbeeld agrariërs gelegen langs de beek.

Splitsing van projecten

In 2011 hebben in het kader van het project Herinrichting Bulder Aa traject Kleine Bruggen – Renheide diverse workshops plaatsgevonden. Hier waren tevens belanghebbenden bij aanwezig. In diverse sessies is het ontwerp nader verfijnd. In de periode 2012 – 2013 heeft binnen het waterschap een heroverweging plaatsgevonden ten aanzien van het onderdeel waterberging. Hierbij is besloten de waterberging bij de Bulder Aa niet te realiseren.

Parallel aan dit proces zijn in 2012 voor het project Renheide op peil aanvullende grondwaterberekeningen uitgevoerd (zie rapport 9W5482/R00004/900420/DenB d.d. 23-01-2012), is dit project in procedure gebracht en zijn de maatregelen conform het projectplan Renheide op peil uitgevoerd.

Herinrichting Bulder Aa traject Kleine Bruggen – Renheide

Na de keuze om de opgave waterberging bij de Bulder Aa te laten vervallen is het project medio zomer 2013 weer opgepakt.

Met de uitvoering van Renheide op peil zijn de berekeningen, zoals opgenomen in het rapport van 25 mei 2011, voor het project Herinrichting Bulder Aa traject Kleine Bruggen – Renheide niet meer actueel; de bestaande situatie is gewijzigd. Voor een juiste weergave van de effecten van het beekherstel en de effecten van de vernattingsmaatregelen van de natte natuurschap Ulkedonken zijn daarom in 2014 aanvullende grond- en oppervlaktewaterberekeningen uitgevoerd.

Om deze berekeningen uit te voeren zijn het grondwatermodel en het oppervlaktewatermodel geactualiseerd aan de feitelijke huidige situatie anno voorjaar 2014. De reeds uitgevoerde maatregelen van het project Renheide op peil zijn daarbij in de huidige situatie van de modellen opgenomen.

Vervolgens is met behulp van deze modellen bepaald wat de effecten zijn van de beoogde maatregelen van het project Herinrichting Bulder Aa, traject Kleine Bruggen – Renheide.

Deze rapportage beschrijft de actualisatie van de grond- en oppervlaktewatermodellen en de uitgevoerde effectberekening. Het rapport vormt hiermee wat betreft hydrologie de technische onderbouwing voor het projectplan Herinrichting Bulder Aa, traject Kleine Bruggen – Renheide.

1.2 Leeswijzer

De opzet van de gebruikte modellen wordt beschreven in hoofdstuk 2 (oppervlaktewatermodel) en hoofdstuk 3 (grondwatermodel). In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de huidige situatie berekeningen (situatie 2014) beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 kort het tot stand komen van het scenario beekherstel beschreven. De berekende effecten op het grond- en oppervlaktewaterregime van het scenario beekherstel zijn ook in dit hoofdstuk opgenomen. De conclusies van deze studie zijn opgenomen in hoofdstuk 6.

2 OPPERVLAKTEWATERMODEL

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste componenten van het oppervlaktewatermodel benoemd. Achtereenvolgens worden besproken de opzet en het modeldoel, het model en interessegebied, de modelschematisatie inclusief kunstwerken, de afvoer en het 2D-overstromingsgrid. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met de aanpassingen van het project “Renheide op peil”.

2.2 Opzet oppervlaktewatermodel en modeldoel

In 2011 is op basis van de hydrologische databank voor Waterschap De Dommel (export juli 2009) een gedetailleerd SOBEK-model opgezet voor het stroomgebied van de Bulder Aa en omgeving. Een belangrijk doel van deze modellering was het onderbouwen van maatregelen in het project “Renheide op peil”. Met dit SOBEK-model zijn zowel stationaire als tijdsafhankelijke berekeningen uitgevoerd en vastgelegd in het rapport “Grond- en oppervlaktewatermodellering Bulder Aa” (*Royal Haskoning, 2011*).

In 2014 heeft Royal HaskoningDHV het oppervlaktewatermodel geactualiseerd en verbeterd om hiermee de definitieve modelberekeningen voor het projectplan van het beekherstel traject Kleine Bruggen – Renheide uit te voeren. Een deel van de maatregelen van het project Renheide op peil” zijn in werkelijkheid reeds uitgevoerd zodat de huidige situatie uit 2011 is achterhaald (paragraaf 2.6).

Het doel van het oppervlaktewatermodel is het inzichtelijk maken van de effecten op waterstanden, stroomsnelheden en inundaties van de nieuwe inrichting ten opzichte van de huidige situatie. Naast het berekenen van effecten van het geplande beekherstel traject Kleine Bruggen – Renheide is met het model getoetst of wordt voldaan aan de eisen vanuit de KRW (Kaderrichtlijn water).

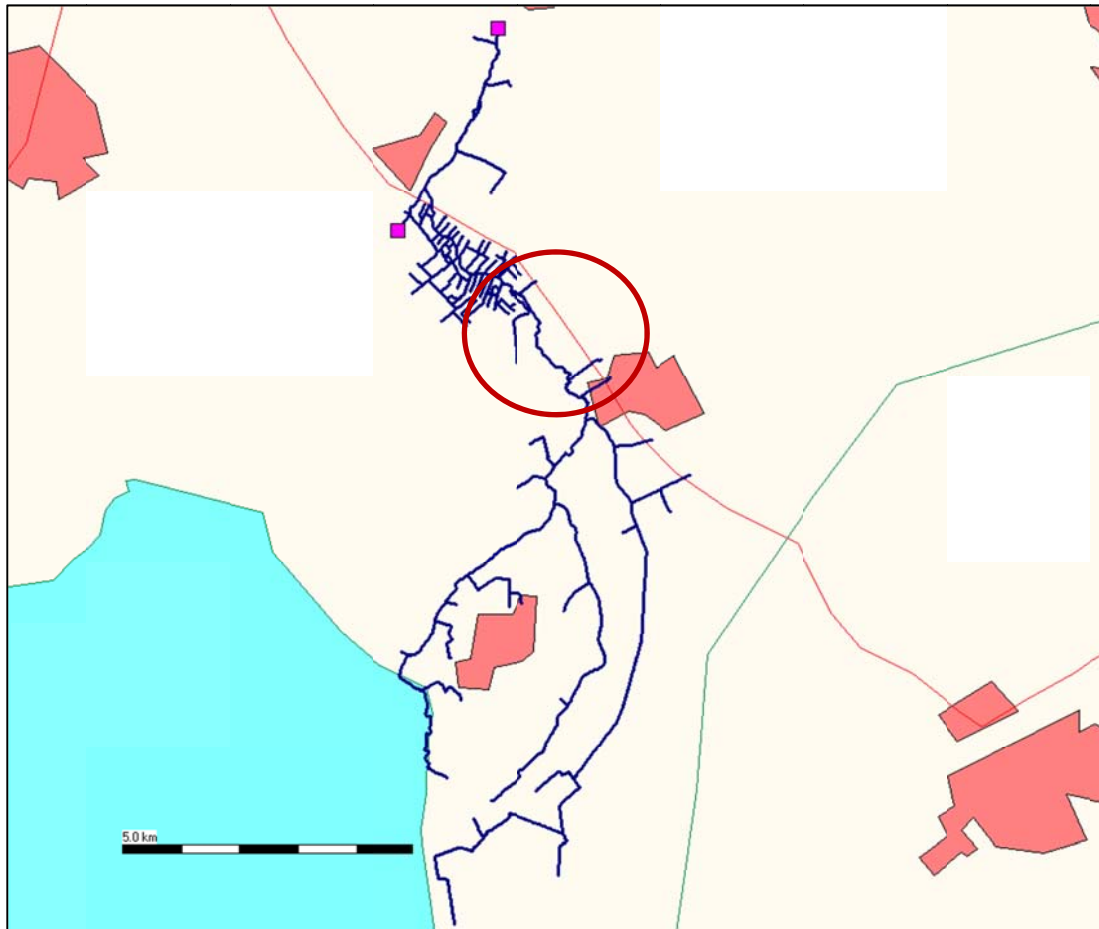
Het systeem is stationair doorgerekend om het ontwerp te toetsen op veranderingen in waterpeilen en de stroomsnelheden tijdens de zomer- en de wintersituatie. Deze berekeningen dienen ook als input voor het grondwatermodel. De berekende waterstanden zijn op de rekenpunten geëxporteerd uit het oppervlaktemodel en vervolgens geïmporteerd in het grondwatermodel. Op deze manier zijn de modellen “op afstand” gekoppeld.

Ook zijn er tijdsafhankelijke hoogwater berekeningen gedaan voor T1, T10, T25, T50 en T100 afvoergolven tijdens de wintersituatie. Hierbij is gekeken naar het verschil in maximale waterstanden en inundatieoppervlak ten opzichte van de huidige situatie.

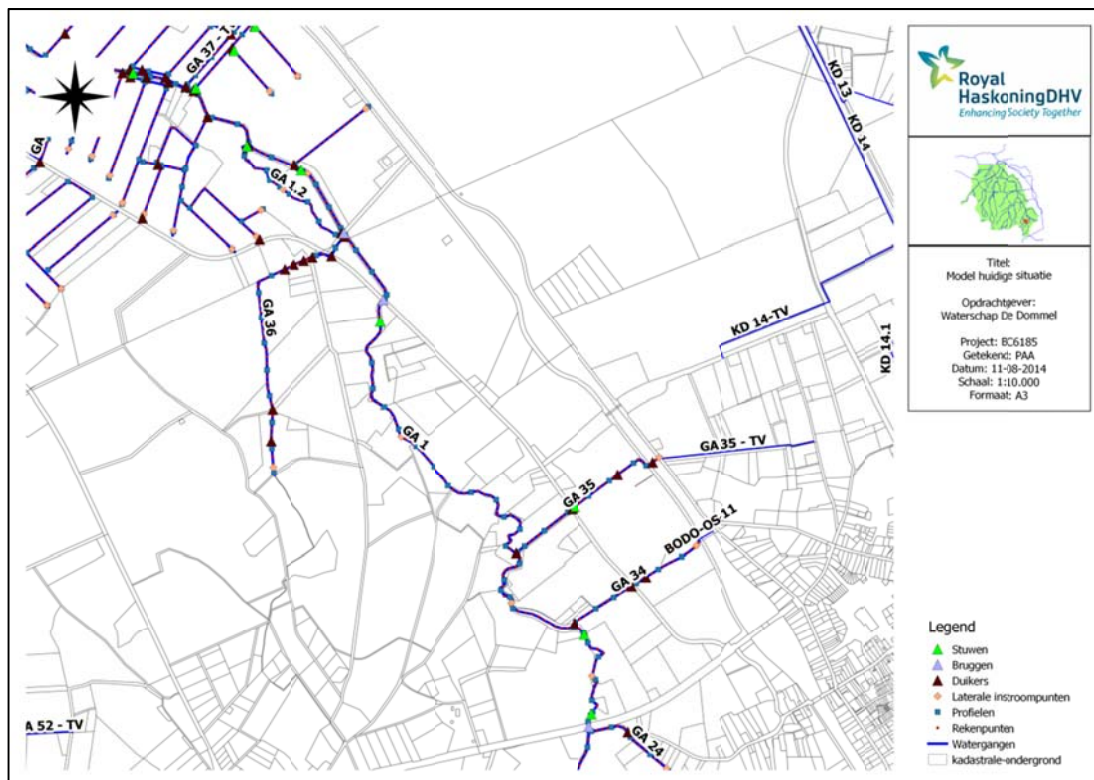
2.3 Model- en interessegebied

Het SOBEK-model bestaat uit de Bulder Aa, Weergraaf, Boschloop en de belangrijkste zijtakken. Het SOBEK-model is door Royal HaskoningDHV aangevuld met informatie van tertiaire watergangen in het pilotgebied “Renheide op peil” aangezien hier voor de studie in 2011 een hoog detailniveau noodzakelijk was. Het interessegebied voor deze studie omvat het beekhersteltraject Kleine Bruggen – Renheide.

In figuur 2.1 is het modelnetwerk opgenomen waarbij met de rode cirkel het interessegebied is weergegeven. Bovenstrooms is de modelgrens de landsgrens, benedenstrooms ligt de modelgrens ongeveer 3 km benedenstrooms van de samenkomen met de Strijper Aa. De Strijper Aa zelf zit niet in het model, maar is als bovenstroomse afvoerrandvoorwaarde opgenomen. In figuur 2.2 is de modelschematisatie van de huidige situatie van het interessegebied uitvergroot weergegeven.



Figuur 2.1: modelgebied, randvoorwaarden (roze vierkanten) en interessegebied beekherstel



Figuur 2.2: uitvergroting model huidige situatie

2.4 Modelschematisatie

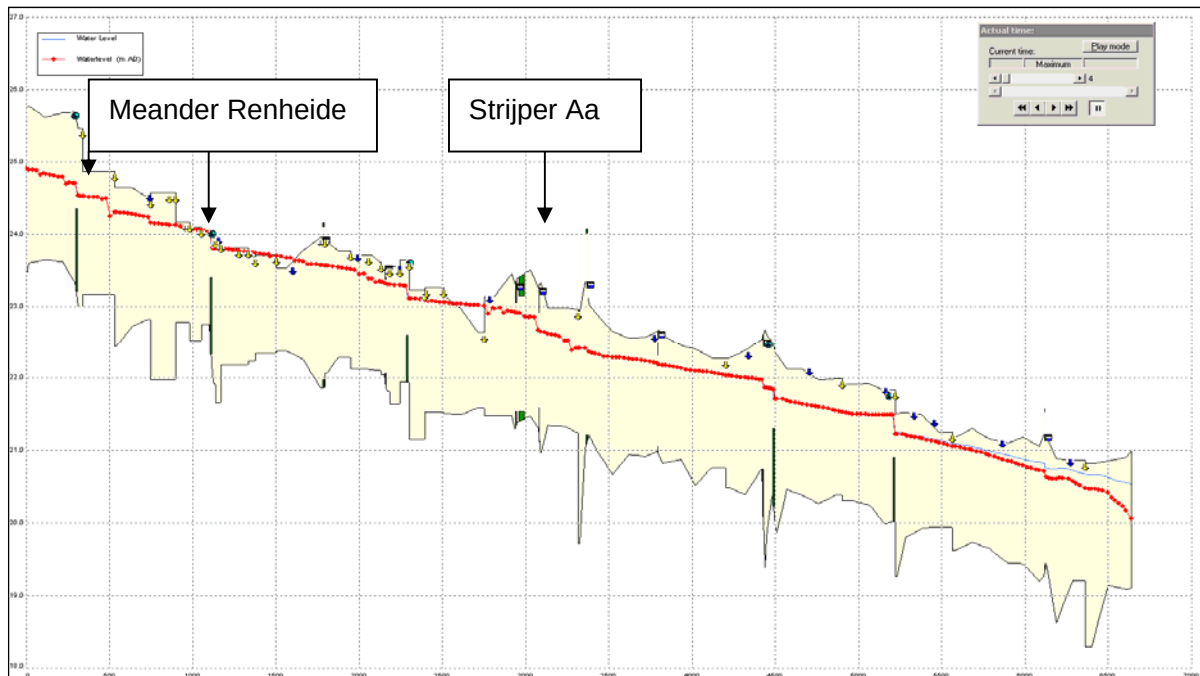
2.4.1 Boven- en benedenstroomse randvoorwaarden

De afvoer is met laterale instroompunten op het model gezet, zodat geen gebruik is gemaakt van knooppunten voor bovenstroomse randvoorwaarden. Meer informatie over de afvoeren staan in paragraaf 2.5.

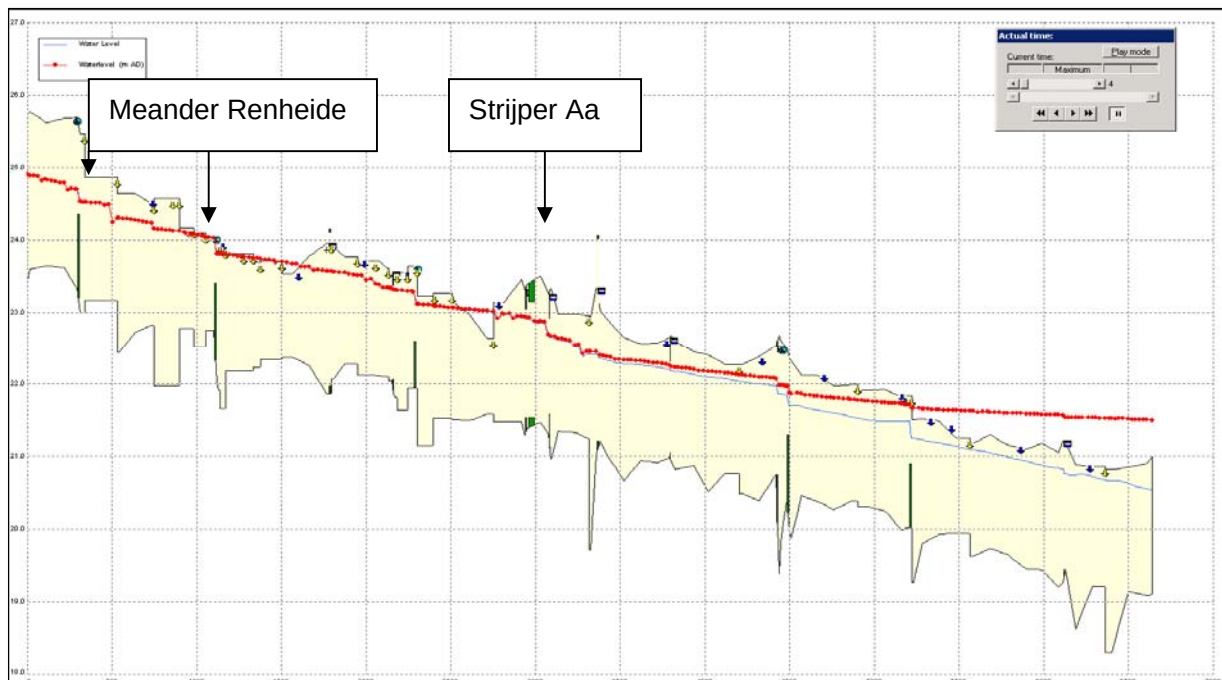
De benedenstroomse randvoorwaarde (meest noordelijk gelegen randvoorwaarden in figuur 2.1) is zodanig gekozen dat deze geen invloed heeft op de waterstanden in het interessegebied. Daarom kan gebruik worden gemaakt van een vaste waterstand van 20,5 m +NAP als benedenstroomse randvoorwaarde. Met een gevoeligheidsanalyse is getoetst of de benedenstroomse vaste waterstand invloed heeft op het geplande waterbergingsgebied bovenstrooms. De gevoeligheid van de vaste waterstand randvoorwaarde is geanalyseerd door een lage en een hoge vaste waterstand te gebruiken (19,5 m +NAP en 21,5 m +NAP) en dit door te rekenen met het model (versie 2010) met de T100 afvoersituatie. Bij een T100 situatie is namelijk de meeste doorwerking in bovenstroomse richting te verwachten.

In de figuren 2.3 en 2.4 zijn lengteprofielen weergegeven van de berekende waterstanden van het model van de huidige situatie (blauw) en de extreem lage (figuur 2.3) en hoge randvoorwaarde (figuur 2.4). Het lengteprofiel begint bovenstrooms bij de uitmonding van de GA36 in de Buulder Aa (zie figuur 2.2), maar de berekende effecten komen niet verder dan de samenkomst van Buulder Aa en Strijper Aa.

Op basis van deze gevoeligheidsanalyse wordt daarom geconcludeerd dat de randvoorwaarde geen significant effect op de berekende overstroming heeft.



Figuur 2.3: lengteprofiel met berekende waterstanden met randvoorwaarde 20,5 m +NAP (blauw, model huidige situatie) en 19,5 m +NAP (rood)

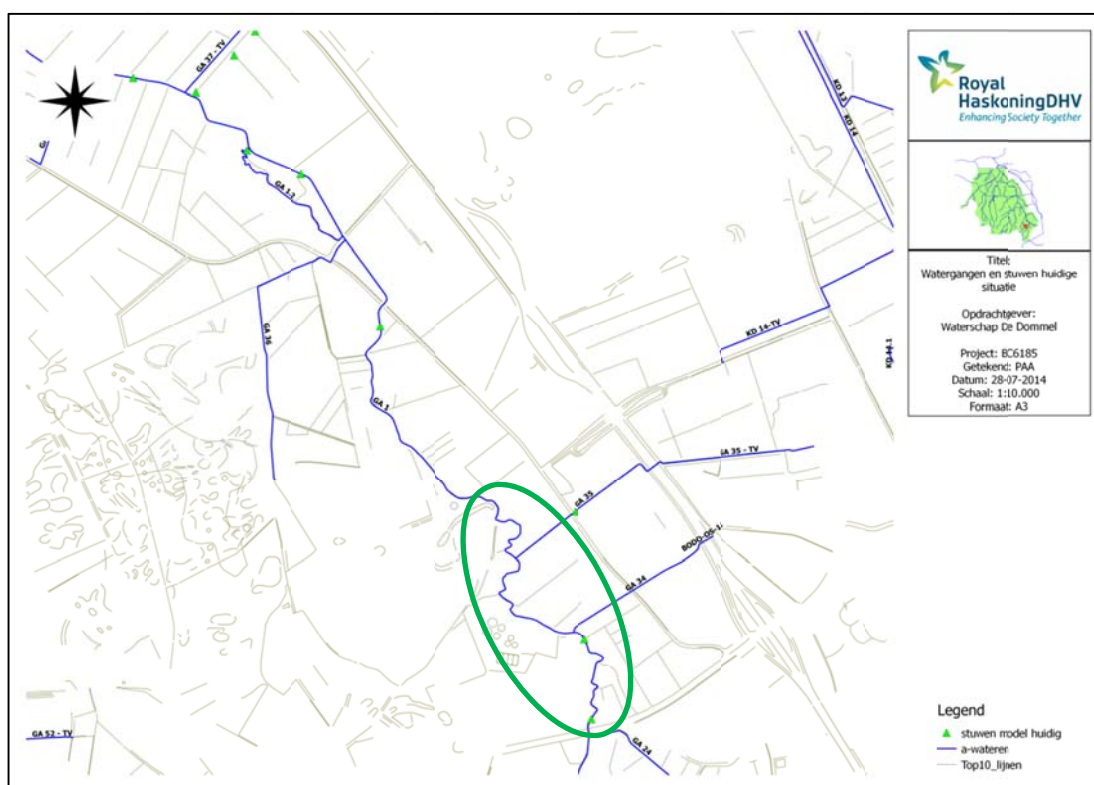


Figuur 2.4: lengteprofiel met berekende waterstanden met randvoorwaarde 20,5 m +NAP (blauw, model huidige situatie) en 21,5 m +NAP (rood)

2.4.2 Dwarsprofielen en ruwheidcoëfficiënten

De dwarsprofielen zijn gebaseerd op de hydrologische databank van het Waterschap en leggen de dimensies van de waterloop vast in het model. De profielen zijn afgeknipt op de linker- en rechterinsteek, zodat de watergangen goed geschematiseerd worden en overflow naar het 2D-grid (ten behoeve van tijdsafhankelijke berekeningen) buiten de watergang plaatsvindt.

Voor de ruwheidcoëfficiënt is een Bos & Bijkerk waarde van 34 s^{-1} in de winter en hoogwatersituaties gebruikt, waarbij wordt uitgegaan van een goed onderhouden beek. Voor het traject aangegeven in figuur 2.5 is een hogere weerstand (30 s^{-1}) aangehouden omdat dit traject in de huidige situatie al meandert. In de gemiddelde zomersituatie is in het model een Bos & Bijkerk waarde van 20 s^{-1} gebruikt aangezien dan meer begroeiing in de beek aanwezig is. Het traject uit figuur 2.5 heeft in de zomersituatie een waarde van 15 s^{-1} gekregen vanwege de grotere weerstand door de aanwezigheid van bestaande meanders.

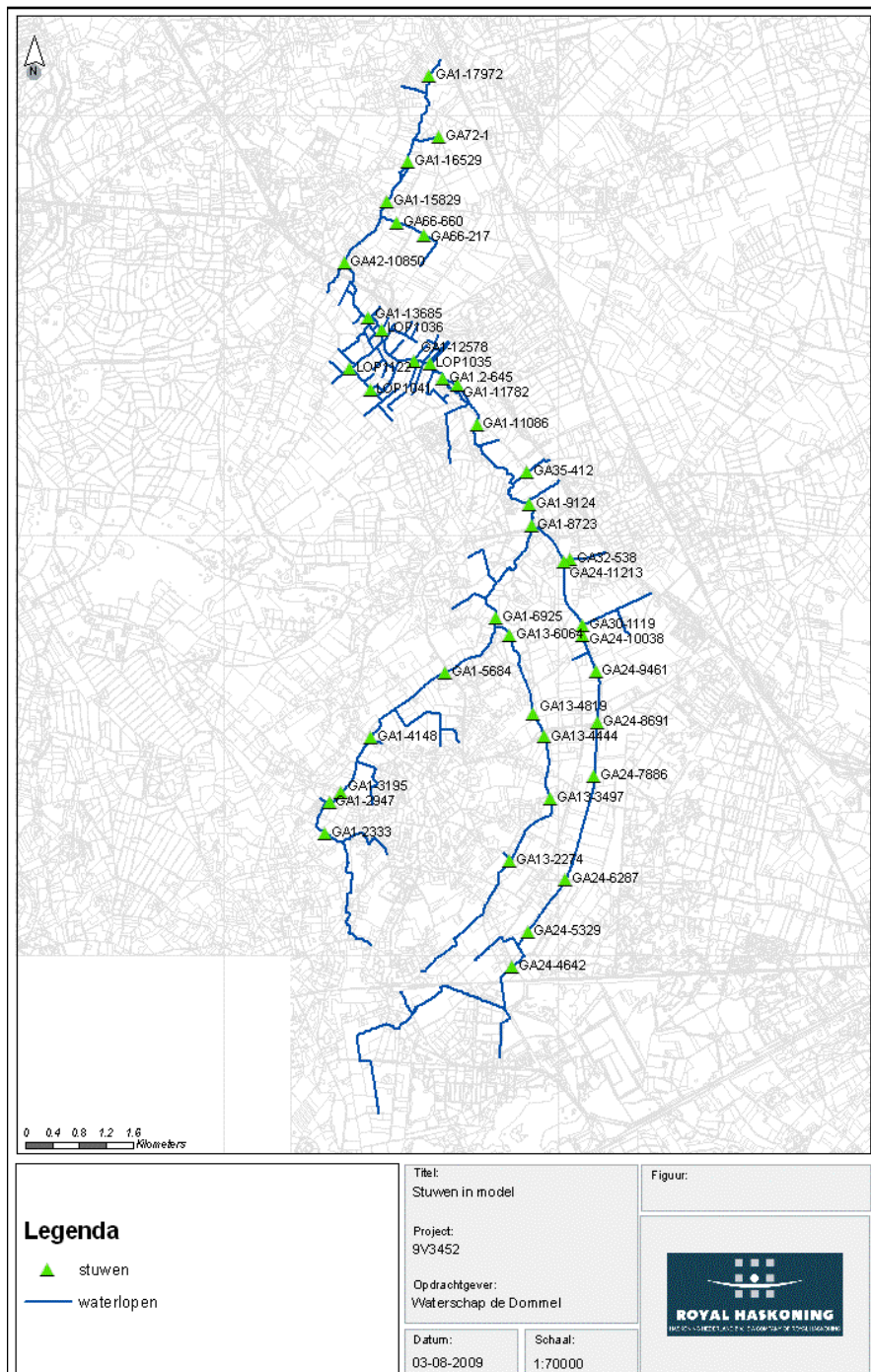


Figuur 2.5: hogere weerstand op traject in groene cirkel door aanwezige meandering

2.4.3 Kunstwerken

Stuwen & bodemvallen

De stuwen zijn in figuur 2.6 weergegeven als groene driehoeken. De eigenschappen van de stuwen zijn overgenomen uit de hydrologische databank. Deze zijn als vaste stuw opgenomen in het model.



Figuur 2.6: stuwen

Bij de stationaire gemiddelde zomer afvoersituatie is gebruikt gemaakt van de zomerstanden (hoge standen) van de stuw zoals aanwezig in de hydrologische databank. Bij alle andere afvoersituaties wordt gebruikt gemaakt van de winterstand (lage stand). Automatische en half automatische stuwen zijn opgenomen met een PID controller op streefpeil.

In tabel 2.1 zijn stuwen in primaire en secundaire watergangen opgenomen. De belangrijkste instellingen voor de hoogwaterberekening (zoals de minimale klepstand) zijn per stuw weergegeven. Deze instellingen gelden alleen voor de berekeningen voor de huidige situatie.

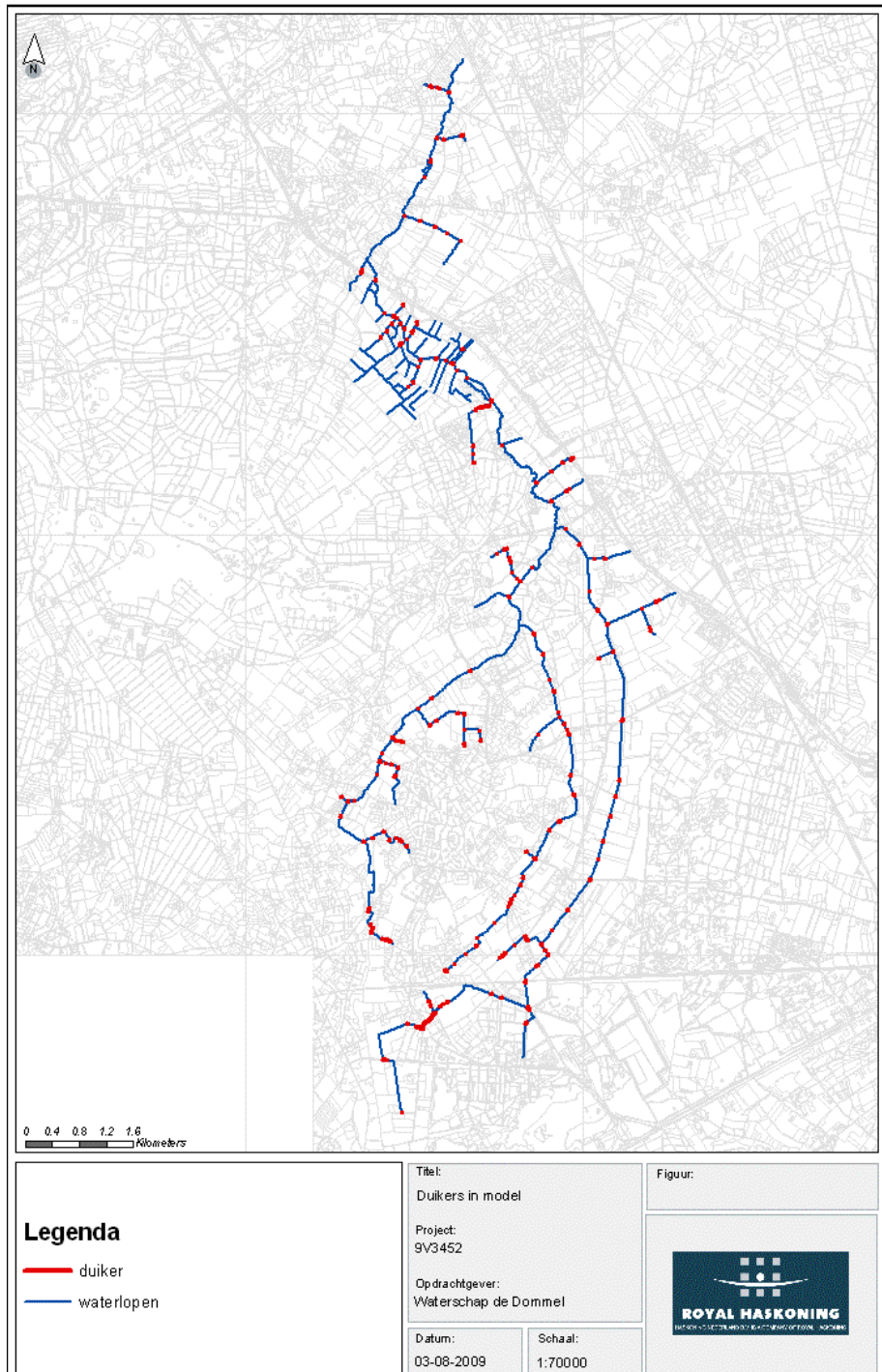
Tabel 2.1: stuwen en instellingen in primaire en secundaire watergangen huidige situatie

Stuw ID	Kruinbreedte [m]	Streefpeil [m +NAP]	Min.klepstand [m +NAP]	Kruin [m +NAP]	Type
GA1-6925	3	26,6	26,2	-	PID
GA1-8723	3	25,8	25,3	-	PID
GA1-9124	4	-	-	25,058	Vast
GA1-11086	3	24,4	23,98	-	PID
GA1-11782	3	24,45	23,47	-	PID
GA1-12578	3	23,5	22,84	-	PID
GA1-13685	3	22,7	21,72	-	PID
GA1-15829	5	21,6	20,8	-	PID
GA1-16529	5	21,4	20,2	-	PID
GA1.2-645	1	-	-	23,576	Vast
GA24-11213	2	-	-	25,86	Vast
GA42-10850	2	22,35	21,5	-	PID

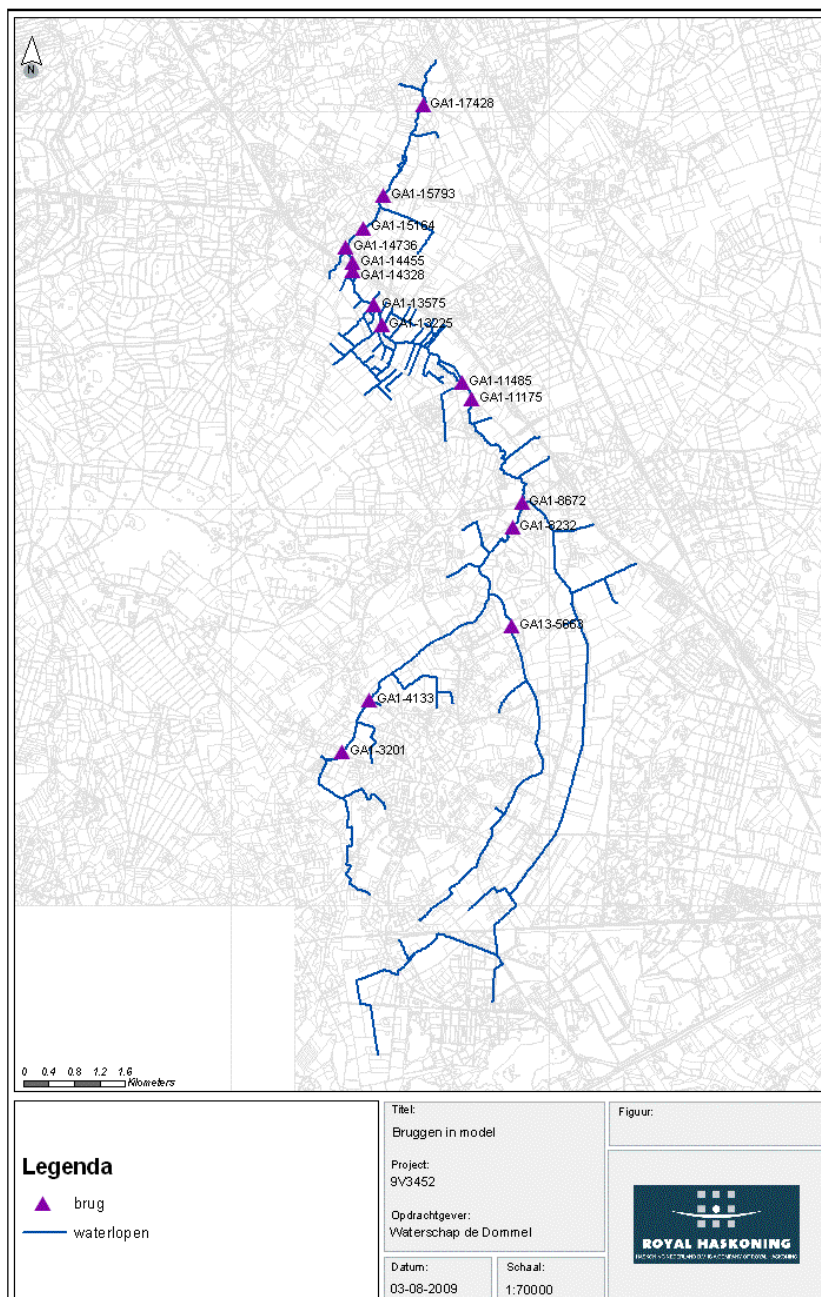
Duikers & bruggen

De duikers zijn in figuur 2.7 weergegeven als rode lijnstukken. De eigenschappen van deze duikers zijn overgenomen uit de hydrologische databank. In de hydrologische databank zijn ook bruggen opgenomen, deze zijn weergegeven als paarse driehoeken in figuur 2.8. Voor zowel duikers als bruggen is een weerstand aangenomen van $75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (Strickler K_s) waarbij wordt aangenomen dat ze van beton zijn en binnen het doorstroomprofiel geen obstakels bevatten.

Uit de eerste modelresultaten is gebleken dat er veel duikers diep onder de bodem liggen. Deze diepe ligging komt niet overeen met de bevindingen uit het veld. De duikers zijn niet allemaal verhoogd tot bodemniveau aangezien SOBEK de te lage ligging negeert en duikers als aparte objecten beschouwd. Dit is echter wel aangepast voor duikers culv_GA1-14369 (onder de A2), culv_GA24-11816, culv_GA24-11493, culv_GA36-260 en culv_GA42-10700 omdat dit in een fout in de berekening resulteerde die afhankelijk is van de hoogte van de betreffende gridcel in het 2D-overstromingsgrid.



Figuur 2.7: duikers



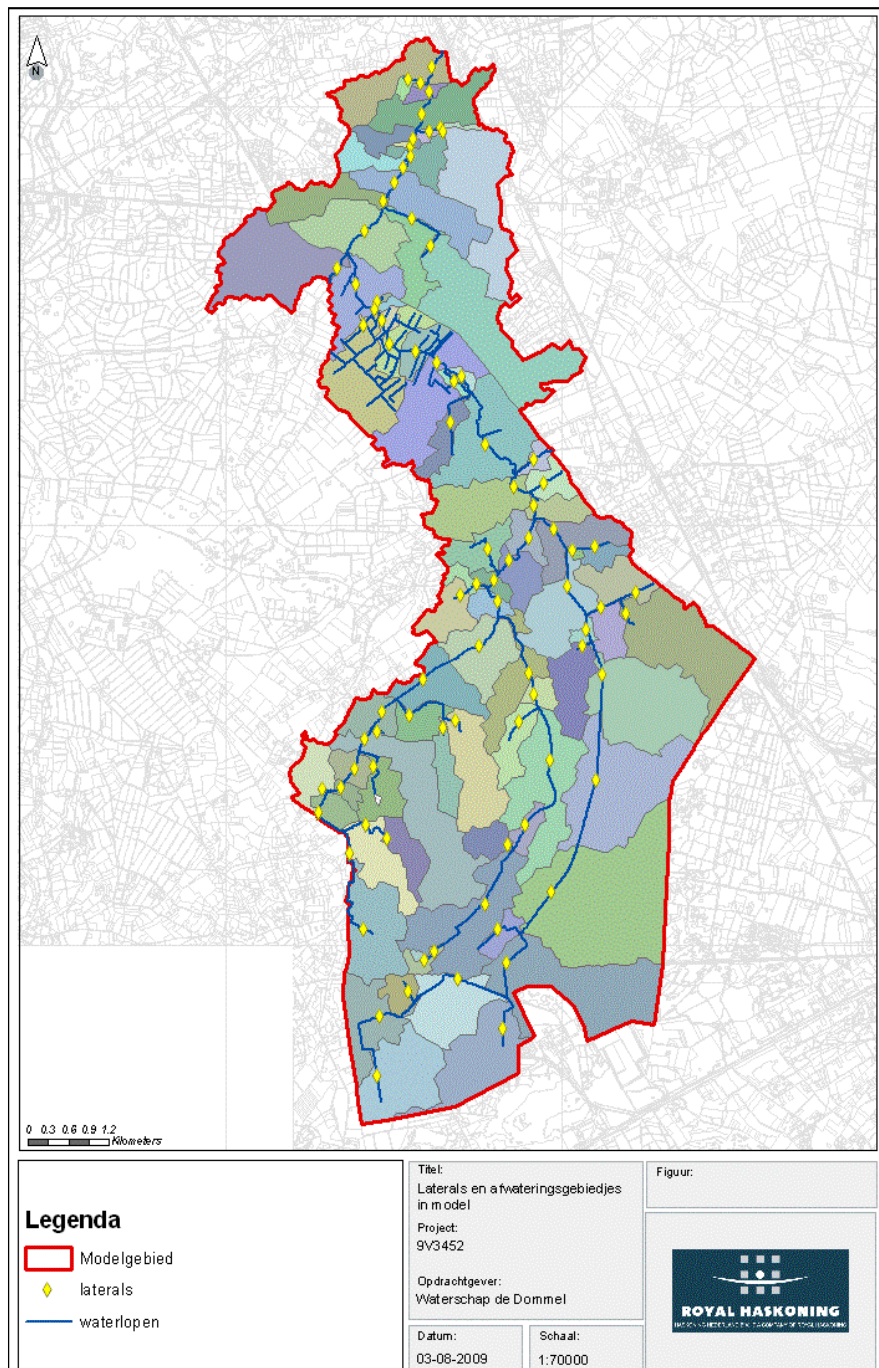
Figuur 2.8: bruggen

2.5 Afvoer

2.5.1 Landelijke afvoer

In figuur 2.9 zijn de afwateringseenheden weergegeven die zijn overgenomen uit het waterbergingsmodel (MRW) en de bijbehorende hydrologische databank. Op deze locaties wordt een afvoer per afwateringsgebied op het SOBEK-CF gedeelte van het model gezet. Met de "Rational Method" wordt de afvoer binnen SOBEK van mm met behulp van afwaterende oppervlakten vertaald naar m³. De tertiaire watergangen in het pilotgebied zijn in het hydraulische model opgenomen.

Hiervoor waren voor het waterbergingsmodel nog geen laterale instroompunten gedefinieerd. De afwateringsgebieden met de bijbehorende laterale instroompunten die binnen het pilotgebied vallen, zijn op basis van expert-judgement herverdeeld over de toegevoegde tertiaire watergangen zodat deze ook watervoerend worden.



Figuur 2.9: afwateringsgebieden en laterale instroompunten

Het stationaire model rekent met een gemiddelde zomer- en winterafvoer die bepaald zijn op basis van meetgegevens van meetpunt S02 gelegen tussen Heeze en Geldrop.

De gemiddelde winterafvoer is bepaald met het rekenkundig gemiddelde van gemeten afvoeren van de maanden oktober t/m maart (beschikbaar op meetpunt S02). De gemiddelde zomerafvoer is berekend uit gemeten afvoeren tijdens de maanden april t/m september. In verhouding tot de Q100% afvoer is dit 20% voor de gemiddelde wintersituatie en 9% voor de gemiddelde zomersituatie.

Het tijdsafhankelijke model rekent met afvoergolven en is uitgebreid met een 2D-overstromingsgrid, omdat hiermee effecten bij hoogwatersituaties inzichtelijk worden gemaakt. De benodigde afvoergolven zijn bij de modelstudie van 2011 gemaakt door Wageningenmodellen te herkalibreren (van regionaal naar lokaal) en in te zetten om een T100 afvoersituatie te simuleren. De resultaten van dit oorspronkelijke tijdsafhankelijke model zijn beschreven in “Grond- en oppervlaktewatermodellering Bulder Aa” (Royal Haskoning, 2011).

Waterschap De Dommel heeft voor deze nieuwe studie van het beekherstel Kleine Bruggen – Renheide het SOBEK-1D2D gedeelte gekoppeld aan een nieuwe neerslag-afvoergenerator opgezet door Royal HaskoningDHV (Royal Haskoning, 2010) die lokaal is gekalibreerd en gevalideerd door HKV (HKV, 2011 [2]). Deze neerslag-afvoergenerator bevat naast landelijke afvoer ook stedelijke overstorten. Daarnaast zijn met behulp van statistische analyse afvoergolven afgeleid met herhalingstijden T1, T10, T25, T50 en T100 (HKV, 2011 [4]). Deze verbeterde afvoergolven zijn in het Bulder Aa model geïmplementeerd door de nieuwe bui-files aan het Bulder Aa model te koppelen en het RWZI-effluent aan te passen.

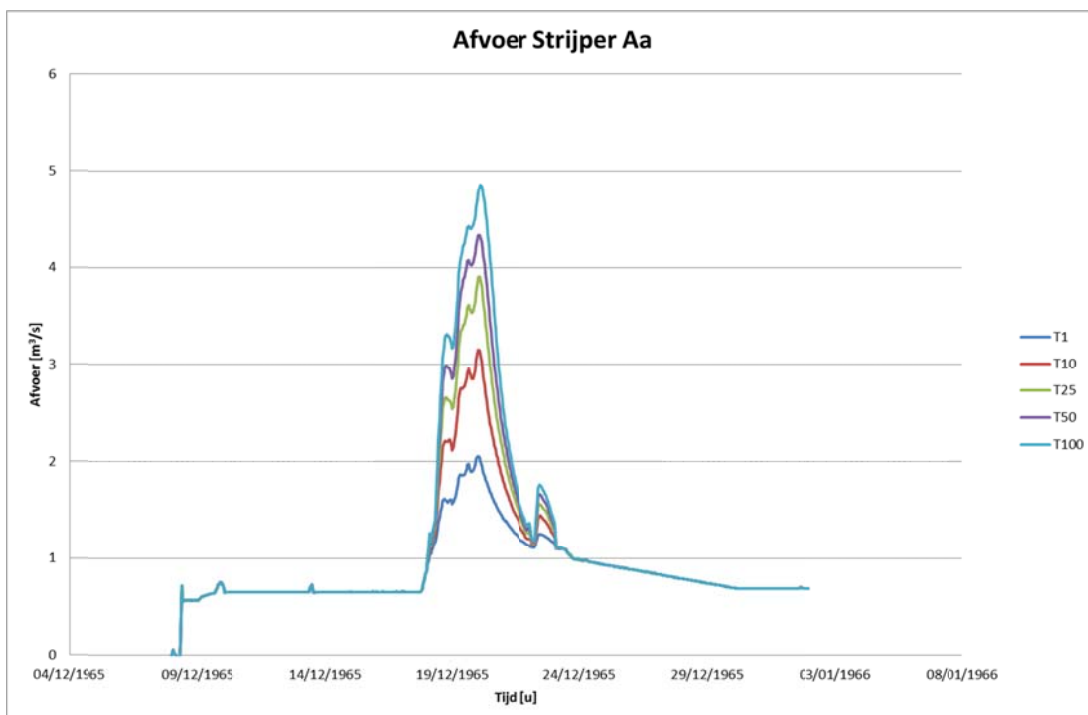
2.5.2 Strijper Aa

De Strijper Aa is niet in het hydraulische model opgenomen maar is alleen als afvoerpunt geschematiseerd. Op deze manier wordt wel de juiste benedenstroomse waterstand bij de samenkomst met de Bulder Aa berekend. In het stationaire model is de Strijper Aa als laterale knoop opgenomen waarvan in tabel 3.2 de berekende afvoeren zijn opgenomen.

Tabel 2.2: stationaire afvoeren Strijper Aa

Afvoersituatie	Berekende afvoer Strijper Aa [m ³ /s]
Gemiddelde zomer	0,18
Gemiddelde winter	0,38

In het tijdsafhankelijke model is de afvoer van de Strijper Aa in een randvoorwaarde knoop opgenomen. De afvoergolven zijn weergegeven in figuur 2.10 en zijn afkomstig van het M2-model (HKV, 2011 [2]).

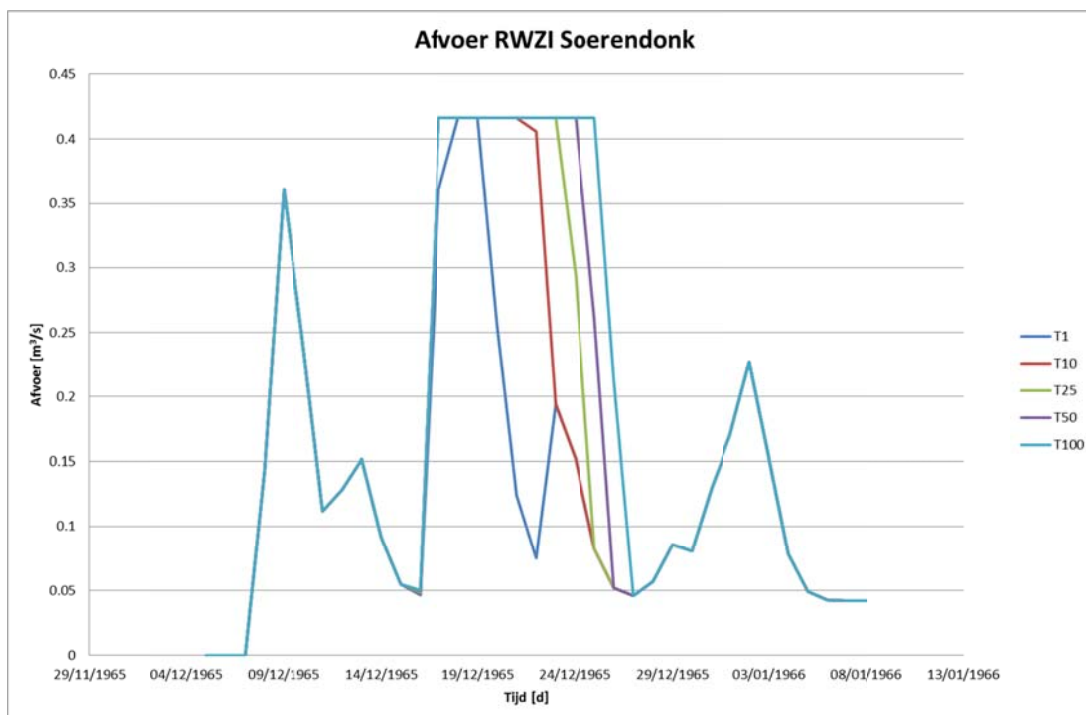


Figuur 2.10: afvoer Strijper Aa voor T1, T10, T25, T50 en T100 uit M2-model

2.5.3 RWZI Soerendonk

De stationaire afvoersituaties van de gemiddelde zomer- en wintersituatie zijn gebaseerd op de gemeten afvoer van meetpunt S02. In deze meetreeks is de afvoer van de RWZI Soerendonk impliciet aanwezig. Bij het herverdelen van de afvoer over de lateralen wordt de RWZI afvoer ook uitgesmeerd over de verschillende lateralen. In de gemiddelde afvoersituaties levert deze aanname voldoende betrouwbaarheid voor het doel van het model.

In het MRW-model (Modelontwikkeling Regionale Waterberging) zijn alle RWZI's in het beheergebied van de Dommel gemodelleerd met het RWZI-effluentmodel. Het RWZI-model is een eenvoudige beschrijving tussen input (neerslag, verdamping) en output (effluent) op basis van een aantal parameters. Voor meer informatie over het RWZI-model wordt verwezen naar de MRW-rapportage (*Royal Haskoning, 2010*). Het waterschap heeft het RWZI-effluentmodel van Soerendonk gebruikt om de afvoer van de RWZI te modelleren. De berekende afvoeren zijn weergegeven in figuur 2.11.



Figuur 2.11: berekende effluent afvoer RWZI-model Soerendonk voor T1, T10, T25, T50 en T100

2.6 2D-overstromingsgrid

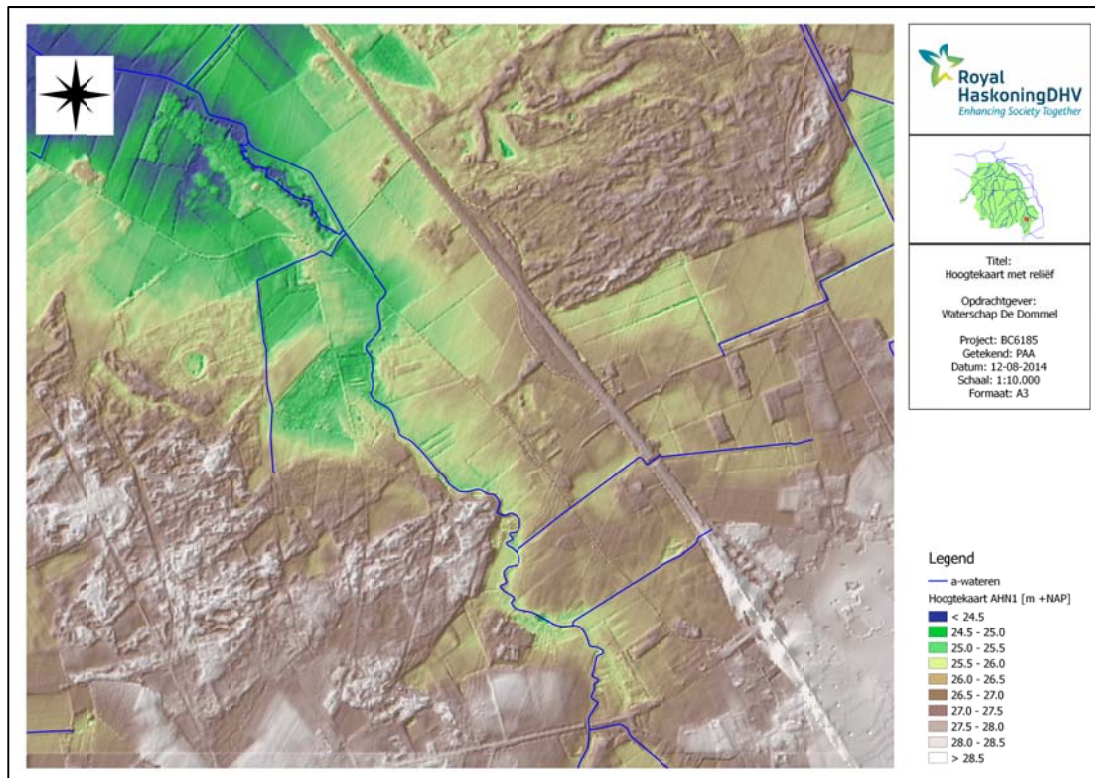
2.6.1 Opbouw 2D-overstromingsgrid

Het SOBEK-CF model is voor het uitvoeren van tijdsafhankelijke berekeningen uitgebreid met een 2D-rekengrid om overstromingen te modelleren. Dit overstromingsgrid is gebaseerd op het Algemeen Hoogtebestand Nederland (figuur 2.12), heeft een resolutie van 25x25 m en is tevens verbeterd met hoogtemetingen van onderstaande punten:

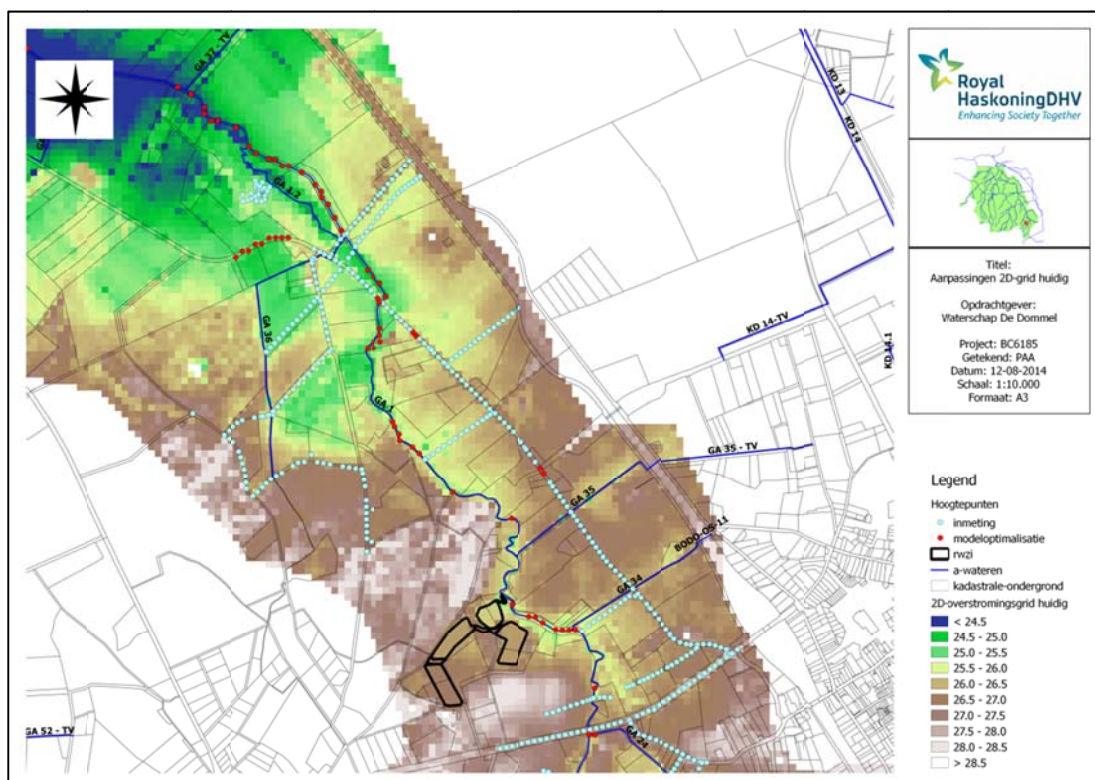
- Ingemeten raaien;
- Ingemeten lijn-elementen (bijvoorbeeld wegen);
- Ontwerphoogten waterharmonica RWZI.

Het resulterende 2D-overstromingsgrid en de ingemeten raaien en lijn-elementen zijn opgenomen in figuur 2.13. Alle weergegeven punten zijn in het grid verwerkt waarbij de lijnvormige elementen (zoals de weg D'Aasdonken) zijn nagelopen of deze volledig waterdicht zijn opgenomen.

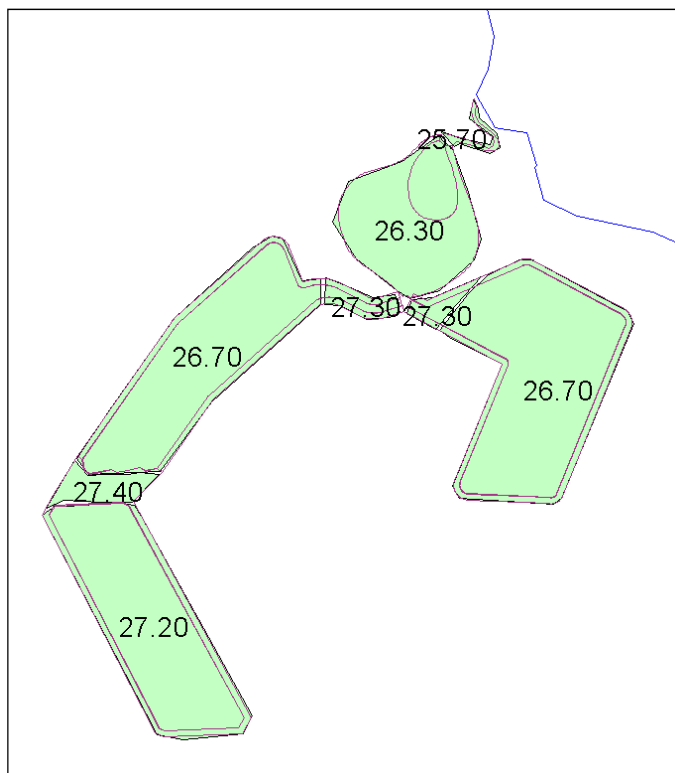
In figuur 2.14 is de ontwerptekening van de waterharmonica van de RWZI Soerendonk opgenomen. De waterharmonica bestaat uit een aantal bekkens die afhankelijk van drempelhoogtes vullen en overstorten. De hoogtes van de bekkens en overstort drempels zijn in het 2D-overstromingsgrid verwerkt.



Figuur 2.12: bronbestand AHN1 (5x5) voor 2D-overstromingsgrid



Figuur 2.13: overstromingsgrid van huidige situatie inclusief verbeteringen (rode stippen)



Figuur 2.14: hoogteligging verschillende onderdelen waterharmonica RWZI Soerendonk en schematisatie overstromingsmodel

Naast bovenstaande verbeteringen met nieuwe hoogten, is op een aantal locaties het overstromingsgrid verbeterd uit model technisch oogpunt. Deze locaties hadden een foutieve en zodanig lage maaiveldwaarde waardoor SOBEK verkeerde waterstanden uitrekende. Op deze locaties is het maaiveld op basis van het omliggende maaiveld aangepast.

De hoogteligging van gebouwen is wel besproken, maar zijn niet in het veld ingemeten. Als gevolg hiervan is het 2D-overstromingsgrid niet verbeterd met de hoogteligging van gebouwen maar wordt uitgegaan van het AHN1.

2.6.2 Ruwheid 2D-overstromingsgrid

Het model is voorzien van een landgebruiksafhankelijke ruwheid (zie tabel 2.3).

Tabel 2.3: Nikuradse ruwheid voor verschillende landgebruikstypen

Code LGN	Beschrijving LGN	Nikuradse ruwheid [m]
0	no data	-
1	gras	0,5
2	maïs	0,2
3	aardappelen	0,2
4	bieten	0,2
5	granen	0,2
6	overige landbouwgewassen	0,2
8	glastuinbouw	1
9	boomgaard	0,5
10	bollen	0,2
11	loofbos	0,5
12	naaldbos	0,5
16	zoetwater	0,15
18	stedelijk bebouwd gebied	1,6
19	bebouwing buitengebied	1,6
20	loofbos in bebouwd gebied	0,5
21	naaldbos in bebouwd gebied	0,5
22	bos met dichte bebouwing	1,6
23	gras in bebouwd gebied	0,5
24	kale grond in bebouwd buitengebied	0,1
25	hoofdwegen en spoorwegen	1
26	bebouwing in agrarisch gebied	1,6
35	open stuifzand	0,1
36	heide	0,5
37	matig vergraste heide	0,4
38	sterk vergraste heide	0,4
39	hoogveen	0,5
40	bos in hoogveengebied	0,5
41	overige moerasvegetatie	0,5
42	rietvegetatie	0,5

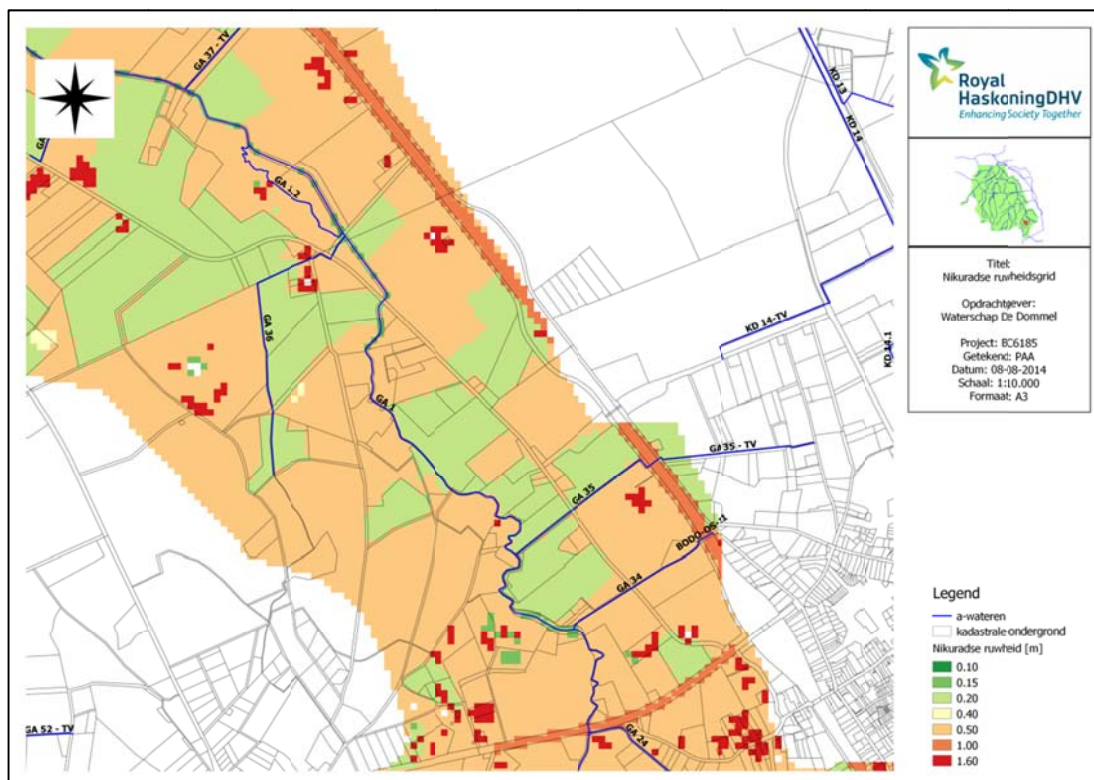
Deze weerstand is gebaseerd op het LGN6 waarbij elk landgebruikstype een Nikuradse weerstandswaarde krijgt. In het 2D-overstromingsmodel wordt op basis van de Nikuradse weerstandswaarde de Chézy ruwheid berekend volgens de formule van White-Colebrook:

$$C_{2D} = 18 \cdot \log\left(12 \cdot \frac{d}{k_n}\right)$$

Waarin:

C_{2D} : Chézy2D coëfficiënt [$m^{1/2}s^{-1}$]
 d : Diepte [m]
 K_n : Nikuradse weerstand [m]

In figuur 2.15 is het resulterende ruwheidsgrid van het Bulder Aa model weergegeven.



Figuur 2.15: Nikuradse ruwheid voor de Bulder Aa

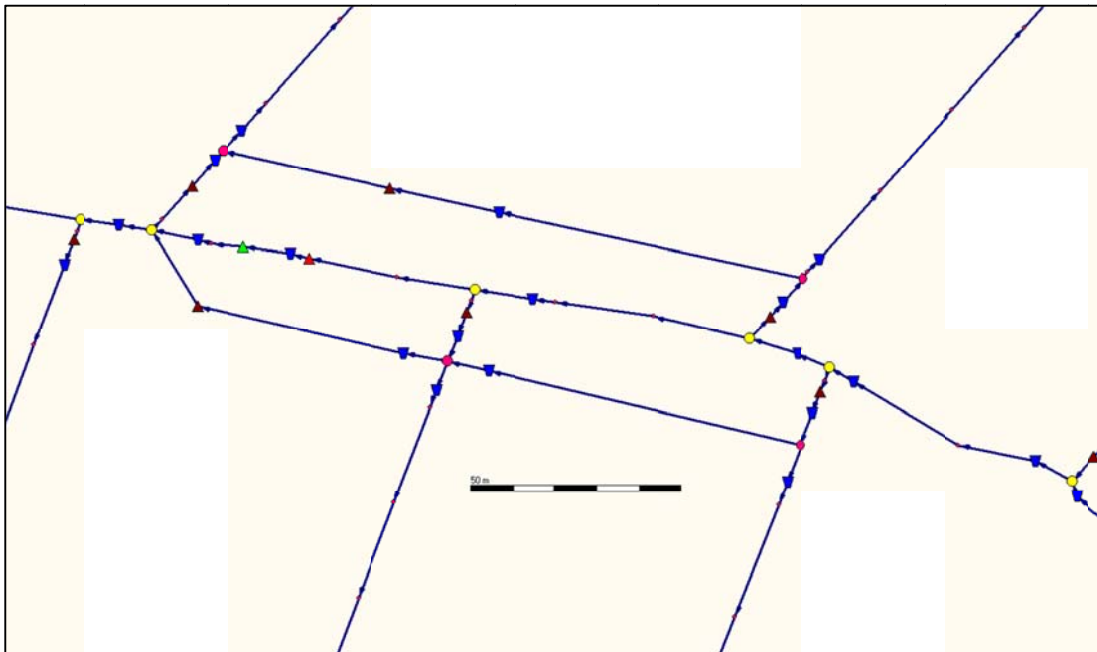
2.7 Actualisatie oppervlaktewatermodel 2014

Sinds de oplevering van het rapport “Grond- en oppervlaktewatermodellering Bulder Aa” in 2011, zijn een aantal maatregelen voor het project “Renheide op peil” uitgevoerd in het veld. Deze maatregelen zijn beschreven in het projectplan “Renheide op peil”. Voor het oppervlaktewatermodel dat wordt gebruikt voor de berekeningen aan het beekherstel traject Kleine Bruggen – Renheide geldt dat er twee relevante aanpassingen zijn:

- Stuwinstelling stuw weir_GA1-12578 (stuw Bierings)
- Aanleg parallelsysteem voor afwatering

Het oorspronkelijke peilregime van stuw GA1-12578 was 23,5 m +NAP in de winter en 23,7 m +NAP in de zomer. Aangezien een hogere waterstand in de zomer vanuit ecologisch oogpunt onnatuurlijk is, is het stuwregime aangepast. Op dit moment is het winterpeil 23,8 m +NAP en het zomerpeil 23,5 m +NAP.

Het parallelsysteem van “Renheide op peil” nabij de stuw GA1-12578 is in het model opgenomen en weergegeven in figuur 2.16. In de zomer wateren de slootjes af op het bovenstroomse peil van de Bulder Aa zodat het peil hier langer hoog blijft. In de winter wateren de slootjes benedenstrooms van de stuw op de Bulder Aa af zodat de aangrenzende percelen geen wateroverlast ondervinden. Bovenstaande is een aanneme en gebaseerd op een voor de betreffende agrariër meest gunstige situatie.



Figuur 2.16: parallelsysteem maatregel Renheide op peil

3 GRONDWATERMODEL

3.1 Opzet grondwatermodel en modeldoel

3.1.1 Modeldoel

Het grondwatermodel voor de Buulder Aa is in 2011 opgezet om inzicht te verkrijgen in de werking van het grondwatersysteem rond de Buulder Aa. Daarnaast is met het grondwatermodel het effect van diverse maatregelen op het grondwatersysteem berekend.

In 2014 is het grondwatermodel geactualiseerd aan de huidige situatie in 2014 (sinds 2011 is het watersysteem op enkele punten gewijzigd als gevolg van het uitvoeren van maatregelen uit het project Renheide op peil). Daarnaast is het nieuw beschikbare hoogtebestand (AHN2) aan het model toegevoegd. Met het geactualiseerde grondwatermodel is het grondwatereffect van het beoogde beekherstel Buulder Aa en de maatregelen in het kader van natte natuurparel Ulkedonken berekend.

Het grondwatermodel is tijdsafhankelijk zodat een aantal jaar doorgerekend kan worden. Op die manier is het mogelijk om de variatie in de grondwaterstand goed te kunnen berekenen en uitspraken te doen over de (verandering van de) GHG, GVG en GLG¹.

3.1.2 Opzet van het grondwatermodel in 2011

In 2011 is een gedetailleerd grondwatermodel opgezet voor het stroomgebied van de Buulder Aa en omgeving. Dit gedetailleerde grondwatermodel is een detailmodel dat is gebaseerd op het geijkte regionale grondwatermodel van het beheersgebied van Waterschap De Dommel (Royal Haskoning, 2008). Dit regionale grondwatermodel is opgezet aan de hand van de hydrologische databank van Waterschap de Dommel en de aanvullende informatie voor het deelmodel is ook aan deze databank toegevoegd.

Ten opzichte van het regionale model is de volgende detailinformatie aan het model toegevoegd:

- Verfijning van het rekengrid tot een maximale knooppuntsafstand van 10 à 20 meter in het interessegebied;
- De ligging van TOP10 sloten/greppels;
- Oppervlaktewaterpeilen zoals berekend met het oppervlaktewatermodel;
- De deklaagweerstand op basis van beschikbare boringen en de bodemkaart;
- Veldinformatie over drainage-intensiteit, stuwpeilen en waterpeilen; dit is tevens samen met het waterschap gecontroleerd;
- Maaiveldhoogte uit AHN2.

Met het grondwatermodel van de Buulder Aa en omgeving zijn zowel stationaire als tijdsafhankelijke berekeningen uitgevoerd. De resultaten van deze berekeningen zijn vastgelegd in het rapport "Grond- en oppervlaktewatermodellering Buulder Aa" (Royal Haskoning, 2011).

¹ GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, GVG: Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand, GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand.

3.1.3 Actualisatie van het grondwatermodel in 2014

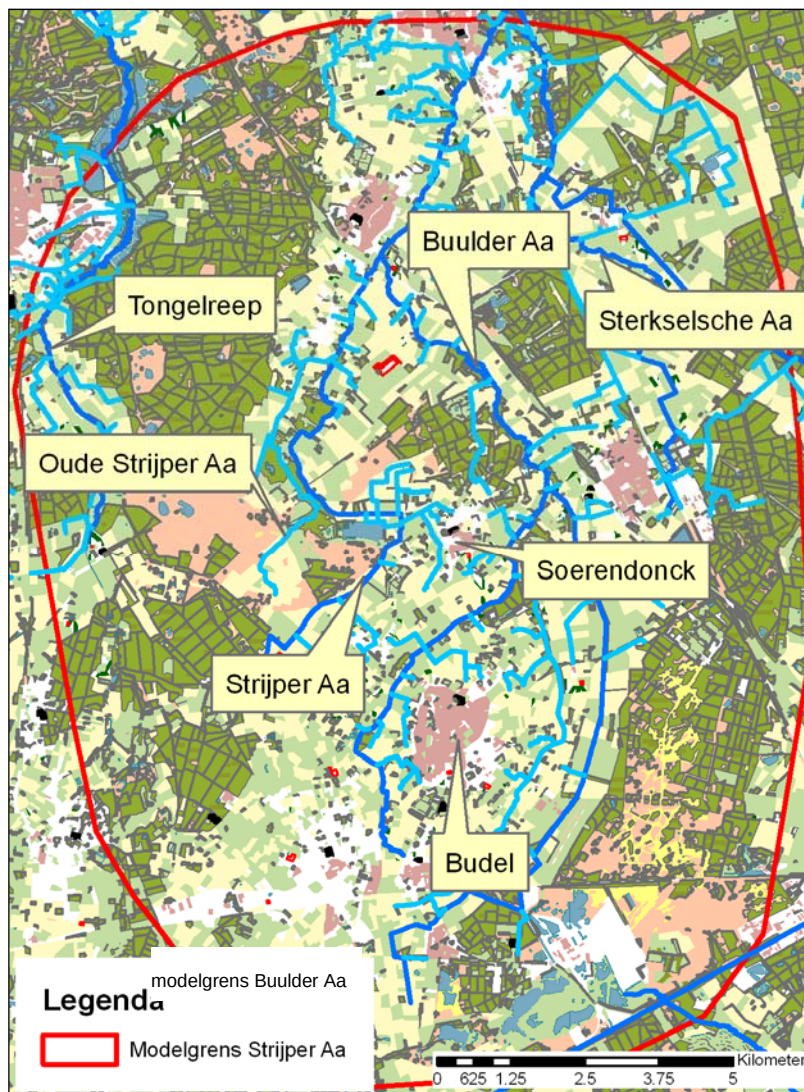
In 2014 heeft Royal HaskoningDHV het grondwatermodel geactualiseerd. Daarbij is het model aangepast aan de huidige situatie in 2014. Deze actualisatie betreft maatregelen die in het kader van het project Renheide op peil zijn uitgevoerd. De voor het grondwatermodel relevante maatregelen zijn de aanpassing van het stuwregime van stuw Bierings (stuw GA1-12578) en de aanleg van een parallel afwateringssysteem (zie ook paragraaf 2.6). Deze maatregelen zorgen voor (lokaal) andere oppervlaktewaterpeilen. De nieuwe oppervlaktewaterpeilen (situatie 2014) zijn met het oppervlaktewatermodel berekend en vervolgens in het grondwatermodel opgenomen. Daarnaast is het nieuwe maaiveldhoogtebestand (AHN2) in het model opgenomen (paragraaf 3.6). Dit maaiveldhoogtebestand geeft een gedetailleerdere hoogteligging dan het AHN1 bestand.

Met het grondwatermodel zijn tijdsafhankelijk grondwatereffecten berekend van het geplande beekherstel traject Kleine Bruggen – Renheide. De berekende grondwatereffecten (verandering GHG en GLG) zijn als invoer gebruikt voor schadeberekeningen uitgevoerd met de landbouwschadetool. De resultaten hiervan zijn met de betreffende grondeigenaren afgestemd.

De resultaten uit het oppervlaktewatermodel zijn gebruikt als invoer voor het grondwatermodel. De berekende waterstanden zijn op de rekenpunten geëxporteerd uit het oppervlaktemodel en vervolgens geïmporteerd in het grondwatermodel. Op deze manier zijn de modellen “op afstand” gekoppeld.

3.2 Modelgebied en begrenzing

Het modelgebied omvat behalve het stroomgebied van de Buulder Aa ook het stroomgebied van de Strijper Aa, zie figuur 3.1. Aan de westzijde valt de grens net voorbij de Tongelreep en aan de oostzijde net voorbij de Sterkselsche Aa. De begrenzing van het deelmodel is zodanig gekozen dat de maatregelen in en om het interessegebied geen invloed meer hebben op de randen en rekening wordt gehouden met regionale invloeden.



Figuur 3.1: Modelgebied detailmodel Buulder Aa

3.3 Modelschematisatie

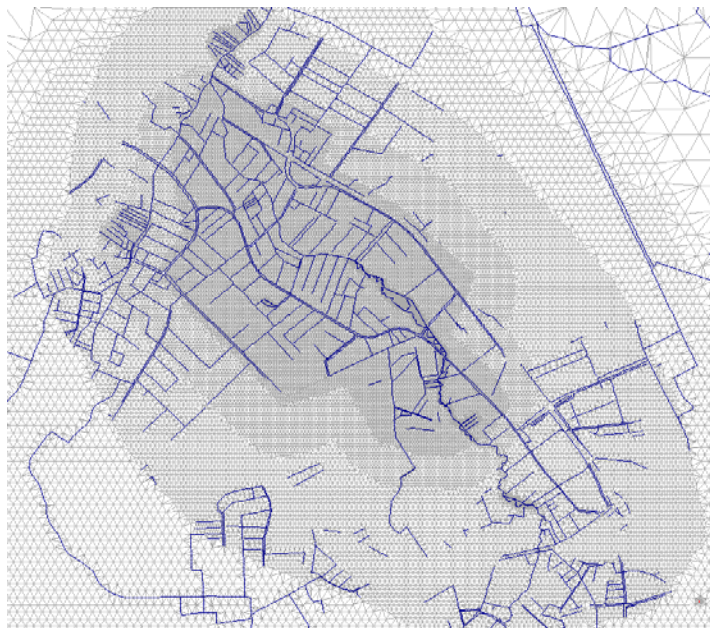
3.3.1 Modelgrid

Het modelgrid is verfijnd ten opzichte van het regionale grondwatermodel. Verfijning van het modelgrid is nodig om de grondwaterstand gedetailleerd te kunnen berekenen. Door de verfijning van het modelgrid wordt ook de (opbolling) van de grondwaterstand tussen de kleinere sloten en greppels goed berekend.

Langs de randen van het detailmodel is de knooppuntsafstand 150 meter. De knooppuntsafstand neemt stapsgewijs af tot 10 a 20 meter direct rondom de Buulder Aa (daar waar op het traject Kleine Bruggen – Renheide aanpassingen aan de Buulder Aa zijn voorgesteld). In een zone van 1 km rondom deze gebieden bedraagt de knooppuntsafstand 30 m. Vervolgens gaat het in drie stappen (40, 60 en 100 m) naar 150 m langs de buitengrens van het model.

In de randgebieden van het model is een knoopsafstand gehanteerd van 150 m zodat aan zowel de oost- als westkant van het modelgebied, voldoende knopen tussen de primaire en secundaire watergangen liggen.

De gebieden pilotgebied Renheide op peil en Natte NatuurParel (NNP) Ulkedonken waren al opgenomen met een knooppuntsafstand van maximaal 20 meter, zie figuur 3.2.



Figuur 3.2: Modelgrid detailmodel Bulder Aa (ingezoomed op het aandachtsgebied)

3.3.2 Randvoorwaarden

De modelranden zijn zodanig ver van het aandachtsgebied gekozen dat er geen effect is op de berekende grondwaterstand in het aandachtsgebied. Op de modelranden is een vaste stijghoogte als randvoorwaarde opgelegd voor het stationaire model (gemiddeld over de stationaire ijkingsperiode). Voor de tijdsafhankelijke berekeningen zijn de randvoorwaarden tijdsafhankelijk uit het regionale model afgeleid. Dit houdt in dat voor elke tijdstap de randvoorwaarde overgenomen is uit de tijdsafhankelijke berekening van het regionale model.

3.3.3 Temporele schematisatie

Het grondwatermodel rekent tijdsafhankelijk met een tijdstap van één decade². De grondwateraanvulling en de peilen in de Bulder Aa en de overige grotere watergangen (geschematiseerd in SOBEK) worden tijdsafhankelijk per decade gevarieerd. De grondwateronttrekkingen zijn in het model ingevoerd als langjarig gemiddelde³.

² Bij benadering 10 dagen; een maand is opgedeeld in drie decaden, waarvan de eerste twee gelijk aan 10 dagen en de derde gelijk aan het resterende aantal dagen in de betreffende maand (8, 9, 10 of 11).

³ Uit een eerdere studie van DHV (rapport van de inpassing drinkwaterwinning Budel (DHV, 2006)) is gebleken dat de grondwateronttrekkingen een heel kleine invloed hebben op de grondwaterstand in het aandachtsgebied. Het heeft dus geen meerwaarde voor het grondwatermodel om de winningen heel gedetailleerd op te nemen.

Met het grondwatermodel is de periode 1995-2009 doorgerekend. Deze periode omvat de periode waarover de GXG wordt bepaald (1997-2005)⁴, voorafgegaan door twee inloopjaren. Door een reeks van jaren door te rekenen is het mogelijk om de grondwaterstand en de verandering daarvan als gevolg van de maatregelen voor verschillende perioden in het jaar te berekenen. De berekening loopt door tot 2009 zodat ook recentere metingen vergeleken kunnen worden met de modelresultaten. Bij de actualisatie in 2014 is de doorgerekende periode niet verder uitgebreid.

3.4 Topsyteem

3.4.1 Oppervlaktewaterpeilen

Binnen het stroomgebied van de Buulder Aa zijn alle watergangen (inclusief de greppels uit de Top10-kaarten) opgenomen in het model, zie figuur 3.3. Buiten het aandachtsgebied zijn alleen de hoofdwatgangen en secundaire watergangen opgenomen in het model.

Deze waterlopen zijn in het model opgenomen als lijnelementen.

Peilen van de Buulder Aa en de hoofdwatgangen

Oppervlaktewaterpeilen van de hoofdwatlopen zijn overgenomen uit resultaten van de SOBEK-modellering (zie hoofdstuk 2). Dit zijn berekende waterstanden (uitgerekend in SOBEK op de "Sobek calculation nodes") die in het grondwatermodel geïnterpoleerd worden langs de waterloop naar de rivierknooppunten van het grondwatermodel. In het grondwatermodel wordt tijdsafhankelijk gerekend met een peil behorend bij een gemiddelde zomerafvoer in de periode april t/m september en een peil behorend bij een gemiddelde winterafvoer in de periode oktober t/m maart.

Voor de Buulder Aa is na kalibratie uitgegaan van een drainageweerstand van 3,6 dag en een infiltratieweerstand van 7,2 dag. De drainageweerstand in het regionale model was wat lager (3 dagen) en infiltratie was niet mogelijk.

Peilen van de secundaire waterlopen en greppels

De secundaire watergangen en greppels vallen in droge perioden droog en hebben in principe alleen een drainerende werking op het grondwater. Voor deze watergangen is in het model uitgegaan van een drainageweerstand van 2 dagen en een infiltratieweerstand die oneindig groot is ingesteld (er is dus geen infiltratie mogelijk). De vergelijking van gemeten en berekende grondwaterstanden geeft geen aanleiding om deze weerstand anders te kiezen (zie ook paragraaf 3.7). In het pilotgebied Renheide op Peil is het SOBEK-model uitgebreid met alle secundaire watergangen. De peilen van deze secundaire watergangen in het grondwatermodel worden overgenomen uit het SOBEK-model. Evenals voor de Buulder Aa is in het grondwatermodel tijdsafhankelijk gerekend met stuwstanden en peilen behorend bij een gemiddelde zomerafvoer in de periode april t/m september en stuwstanden en peilen behorend bij een gemiddelde winterafvoer in de periode oktober t/m maart.

⁴ Voor het beheergebied van Waterschap De Dommel is bepaald dat de neerslag en verdamping over de periode 1997-2005 het best past bij het langjarig gemiddelde. De GXG kan dus het best over deze periode bepaald worden omdat dit het beste bij de gemiddelde situatie past.

Buiten het pilotgebied is voor alle secundaire watergangen en greppels standaard uitgegaan van een bodemniveau van 1 meter beneden maaiveld. Het drainageniveau is bepaald als het maximum van het bodemniveau van de waterloop/greppel en het peil van de hoofdwaterloop waarop de waterloop/greppel aantakt. De secundaire waterlopen en greppels draineren dus nooit op een lager niveau dan het peil van de hoofdwaterloop waarop deze uiteindelijk afwatert.



Figuur 3.3: Opgenomen watergangen in het modelgebied (blauwe lijnen) en punten waarvoor het peil is berekend met het oppervlaktewatermodel (rode kruisjes).

3.4.2 Drainage

Voor een aantal percelen binnen het pilotgebied Peilbeheer Renheide is buisdrainage opgenomen in het grondwatermodel. Informatie over de aanwezigheid van buisdrainage is aangeleverd door de participerende agrariërs binnen het pilotgebied Renheide op peil. In figuur 3.4 zijn de vlakken weergegeven waar in het detailmodel voor de Buulder Aa is uitgegaan van de aanwezigheid van buisdrainage.

Voor deze vlakken is in het model uitgegaan van een drainagediepte van 80 cm beneden maaiveld en een drainageweerstand van 75 dagen. Dit op basis van door de participerende agrariërs aangeleverde informatie.



Figuur 3.4: Percelen met buisdrainage binnen het detailmodel Buulder Aa (rode vlakken)

3.4.3 Grondwateraanvulling

Voor het bepalen van de grondwateraanvulling is gebruik gemaakt van neerslaggegevens van de KNMI-stations Leende, Maarheeze en Someren. Voor de neerslagverdeling wordt gebruik gemaakt van Thiessen polygonen. Verdampingsgegevens zijn afkomstig van het meteostation Eindhoven. Alle neerslag en verdampingsgegevens zijn voor het detailmodel opgenomen in een databank voor de periode 1988-2009. De grondwateraanvulling wordt berekend met behulp van het onverzadigde zone programma Fluzo. Dit programma houdt hierbij rekening met het bodemtype, de dikte van de onverzadigde zone en het landgebruik. De stationaire grondwateraanvulling is bepaald door eerst de periode 1997-2005 (dit is de periode waarover de GXG bepaald wordt) tijdsafhankelijk door te rekenen en vervolgens de berekende grondwateraanvulling over deze periode te middelen. Een beschrijving van Fluzo is opgenomen in de handleiding van TRIWACO (zie www.triwaco.nl).

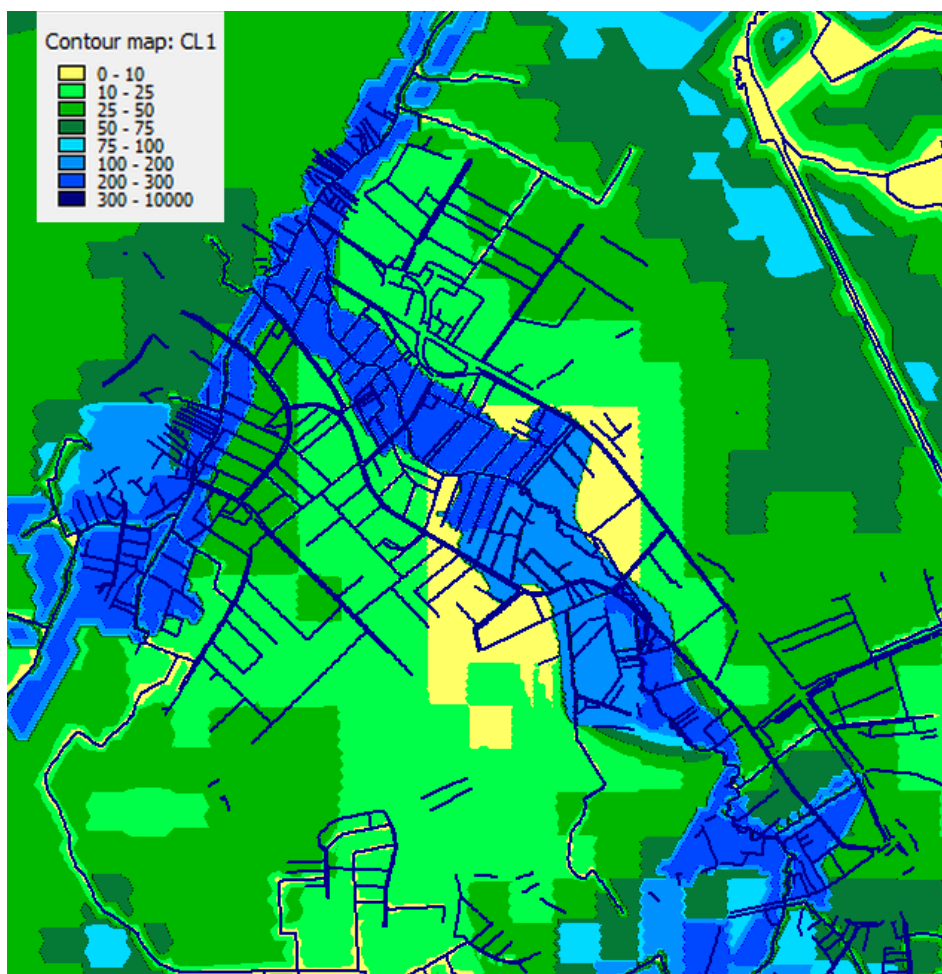
3.4.4 Bodemparameters van de deklaag

De deklaag van het grondwatermodel wordt gevormd door de Nuenen groep. Dit is een pakket met een dikte van circa 15 meter, opgebouwd uit een afwisseling van fijne zanden en leemlagen. In het detailmodel voor de Buulder Aa is extra aandacht besteed aan de bodemparameters van de deklaag: verticale weerstand en doorlaatvermogen. De weerstand van de deklaag zoals die in het regionaal model is verwerkt, is gebaseerd op de LKT-kartering van TNO (TNO, 2002). De dikte van de deklaag is gebaseerd op REGIS I⁵ (www.dinoloket.nl).

In het detailmodel voor de Buulder Aa is een verdere detaillering van de verticale weerstand en de horizontale doorlatendheid uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van alle beschikbare boringen uit Dinoloket (www.dinoloket.nl).

De deklaag is in deze modelstudie opgedeeld in 2 modellagen. De eerste modellaag stelt de weerstand en doorlatendheid van de deklaag in de eerste 5 meter voor en doorlatendheden en weerstanden zijn bepaald op basis van de beschikbare boringen uit Dinoloket, bodemkarteringen en het LKT. De tweede modellaag stelt de diepere deklaag (5 tot 15 meter) voor. Doorlatendheden en weerstanden voor deze laag zijn bepaald aan de hand van alle beschikbare boringen uit het Dinoloket. De verticale weerstanden van de bovenste 5 meter van de deklaag (modellaag 1) zijn weergegeven in figuur 3.5.

⁵ Inmiddels is ook Regis 2.1 beschikbaar. In Regis 2.1 is de deklaag in meer lagen verdeeld dan in Regis1. In het grondwatermodel wordt de Regis 1 deklaag echter al verdeeld in meerdere lagen en worden de weerstand en doorlatendheid per laag bepaald aan de hand van de beschikbare boringen in Dinoloket en de bodemkaart. Het aanpassen van het model aan Regis 2.1 is dus niet nodig voor het verbeteren van de deklaagweerstand.



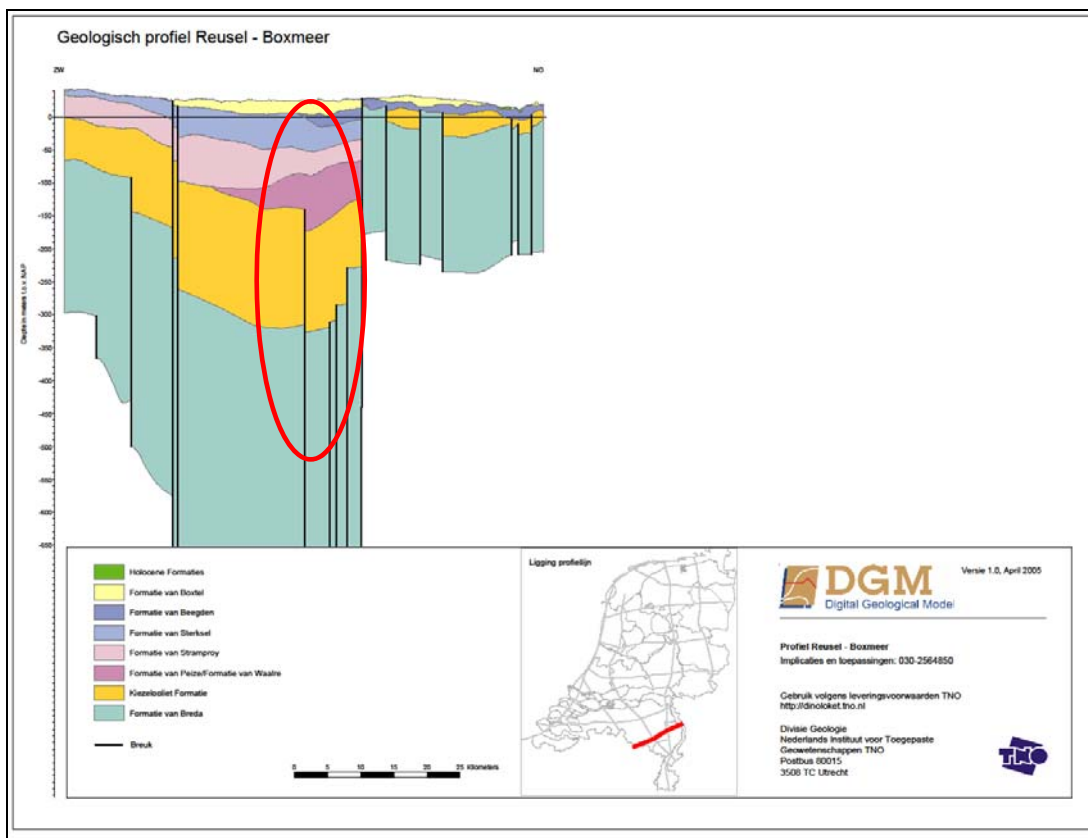
Figuur 3.5: Verticale weerstand (d) van de bovenste 5 meter van de deklaag (modellalaag 1) samengesteld uit boringen, bodemkaart en LKT kartering.

3.5 Diepere ondergrond

3.5.1 Geohydrologische opbouw en bodemparameters van de diepere ondergrond

De diepe ondergrond is rechtstreeks overgenomen uit het regionale model waarvan de laagopbouw afkomstig is van REGIS I. De laagopbouw is weergegeven in figuur 3.6. Voor de kD- en C-waarden van de diepere ondergrond is een gevoeligheidsanalyse en ijking uitgevoerd binnen de regionale studie (Royal Haskoning, 2008). De kD- en C-waarden uit het regionale model zijn overgenomen in het detailmodel.

Ook de geologische breuken zijn overgenomen uit het regionale model. Alleen in het meest zuidwestelijke deel van het modelgebied ligt een breuk, te weten de Feldbiss. Het stroomgebied van de Bulder Aa ligt in zijn volledigheid binnen de Centrale Slenk.



Figuur 3.6: Geologische doorsnede van oost naar west ter hoogte van Leenderstrijp (Regis I)

3.5.2 Grondwateronttrekkingen

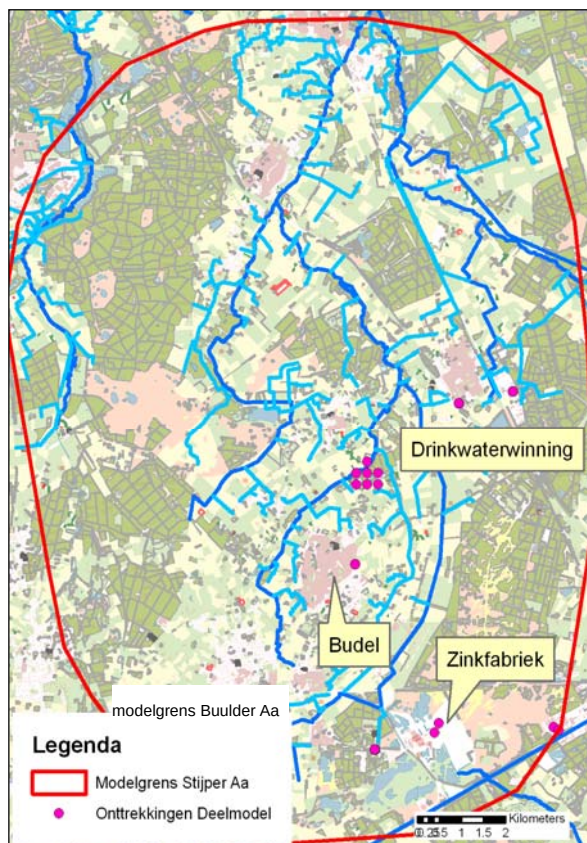
Voor de grondwateronttrekkingen is gebruik gemaakt van de gegevens uit de hydrologische databank van De Dommel. Binnen het modelgebied bevindt zich één grondwaterwinning ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening (pompstation Budel van Brabant Water). Daarnaast bevindt zich binnen het modelgebied enkele industriële grondwaterwinningen. Eén daarvan heeft een grote omvang van groter dan 2 Mm³/jaar. Dit is een zinkfabriek ten zuidoosten van Budel. Alle bekende grondwateronttrekkingen zijn opgenomen in het model.

Tabel 3.1: De grootste onttrekkingshoeveelheden binnen het deelmodel

Locatie	Winning 2011	Winning 2014
Drinkwaterwinning bij Budel	2 Mm ³ /j	0,0 Mm ³ /j
Zinkfabriek	2,1 Mm ³ /j	2,1 Mm ³ /j

Bij het opstellen van het grondwatermodel in 2011 was de freatische drinkwaterwinning (uit het eerste watervoerende pakket) bij Budel verminderd naar 2 Mm³/j. In 2014 is de freatische winning stopgezet en is de diepe winning gestart. Deze winning en de verplaatsing van freatische naar diepe winning hebben geen effect op de grondwaterstand in het aandachtsgebied (rapport van de inpassing drinkwaterwinning Budel (DHV, 2006).

De tijdsafhankelijke ijking van het grondwatermodel gaf ook geen aanleiding om deze winhoeveelheid met meer detail in de tijd in het grondwatermodel op te nemen. De locaties van de onttrekkingen (individuele putten van het pompstation) zijn weergegeven in figuur 3.7. De onttrekkingshoeveelheden zijn opgenomen in tabel 3.1.



Figuur 3.7: Belangrijkste winningen binnen het detailmodel Buulder Aa

3.6 Actualisatie grondwatermodel 2014

3.6.1 Toevoegen nieuwe informatie

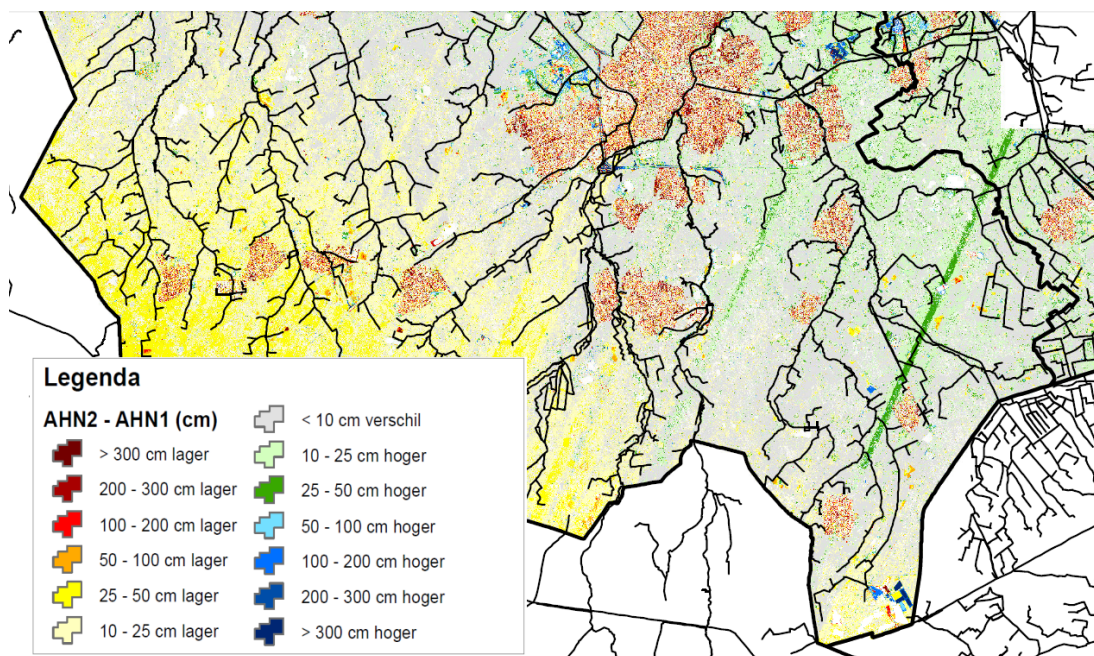
Het grondwatermodel is in 2014 geactualiseerd. Daarbij zijn de volgende wijzigingen in het model doorgevoerd:

1. AHN2 als basis voor de maaiveldhoogte
2. Sobek peilen uit oppervlaktewatermodel 2014 (oppervlaktewaterpeilen huidige situatie 2014)

Ad 1

Het AHN2 is gedetailleerder dan het AHN1 dat voor het 2011 model is gebruikt. Door het AHN2 te gebruiken als basis voor de maaiveldhoogte in het grondwatermodel wordt ook de ligging van de daaraan gekoppelde ontwateringsmiddelen beter gemodelleerd. Daarnaast zorgt dit ervoor dat afvoer via maaiveld op de juiste hoogte kan gebeuren. In onderstaande figuur wordt het verschil tussen AHN2 en AHN1 weergegeven.

Door het aandachtsgebied is duidelijk een streep te zien met een relatief groot verschil tussen AHN1 en AHN2. Verder zijn er kleinere lokale verschillen (Figuur 3.8).



Figuur 3.8: Verschil tussen AHN1 en AHN2.

Ad 2

De nieuw berekende peilen voor het oppervlaktewater (Sobek) zijn opgenomen in het grondwatermodel. Deze peilen passen bij de huidige situatie van 2014. De oppervlaktewaterpeilen voor het maatregelscenario zijn ook overgenomen uit het oppervlaktewatermodel.

3.6.2 Aanpassingen watersysteem 2011-2014

In de periode 2011-2014 zijn in het kader van pilotproject Renheide op peil aanpassingen gedaan aan het watersysteem. De relevante aanpassingen zijn de aanpassing van het peilregime van stuw Bierings (stuw GA1-12578) en de aanleg van een parallel afwateringssysteem ter hoogte van deze stuw. Deze aanpassingen hebben (lokaal) effect op de oppervlaktewaterpeilen in het gebied. Deze aanpassingen aan het watersysteem zijn ook verwerkt in het oppervlaktewatermodel en hiermee zijn de oppervlaktewaterpeilen voor de huidige situatie in 2014 berekend (zie ook paragraaf 2.6). Deze berekende oppervlaktewaterpeilen zijn overgenomen in het grondwatermodel.

3.7 IJking en validatie van het grondwatermodel

Bij de opzet van het detailmodel in 2011 is het model ook geijkt (stationair en tijdsafhankelijk). De resultaten van deze ijking zijn vastgelegd in het rapport "Grond- en oppervlaktewatermodellering Buulder Aa" (Royal Haskoning, 2011). In onderstaande paragraaf 3.7.1 worden de resultaten van deze ijking kort samengevat. Vervolgens wordt paragraaf 3.7.2 ingegaan op de uitgevoerde validatie van het huidige, actuele, grondwatermodel.

3.7.1 IJking van het grondwatermodel (2011)

Het detailmodel voor de Buulder Aa is stationair geijkt aan alle in DINOLOKET opgenomen peilbuizen binnen het modelgebied met metingen in de periode 1997-2005. Daarnaast is voor de tijdsafhankelijke ijking ook gebruik gemaakt van vier peilbuizen in NNP Ulkedonken waarvan de metingen in 2011 nog niet waren opgenomen in Dinoloket. De stationaire ijking had betrekking op de periode van 1997 tot en met 2005. Met het model is de stationaire grondwatersituatie berekend op basis van de langjarig gemiddelde grondwateraanvulling over de periode 1997 tot en met 2005. Vervolgens zijn de stationair berekende grondwaterstanden en stijghoogten getoetst aan het langjarig gemiddelde (1997 – 2005) van de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten.



Figuur 3.9: Overzicht beschikbare peilbuizen in het stroomgebied van de Buulder Aa ten tijde van de opzet en ijking van het detailmodel (2011).

In figuur 3.9 zijn alle beschikbare peilbuizen binnen het stroomgebied van de Buulder Aa weergegeven (in 2011). Binnen het aandachtsgebied waren in 2011 weinig metingen in peilbuizen beschikbaar. Binnen NNP Ulkedonken staat een cluster van 5 peilbuizen waarvan er vier sinds 2007 worden bemeten. Rondom het aandachtsgebied is een redelijke spreiding van peilbuizen met beschikbare metingen.

Tabel 3.2 geeft voor de modellagen in de deklaag (modellagen 1 en 2) en de diepere modellagen (eerste, tweede en derde watervoerende pakket, modellagen 3 tot en met 10) de gemiddelde afwijking en de gemiddeld absolute afwijking weer tussen de berekende en gemeten grondwaterstand / stijghoogte. De gemiddelde afwijking bedraagt -16 cm voor de deklaag en -13 cm voor de diepere lagen. De gemiddeld absolute afwijking bedraagt zowel voor de deklaag als de diepere watervoerende pakketten circa 25 cm.

Tabel 3.2: Resultaat stationaire ijking detailmodel Bulder Aa

	Aantal filters	Gemiddelde afwijking (cm)	Gemiddeld absolute afwijking (cm)
Deklaag (modellagen 1 en 2)	182	-16	25
Diepere watervoerende pakketten (modellagen 3 t/m 10)	59	-13	25

Afwijkingen tussen de berekende en gemeten grondwaterstanden in de deklaag.

In en om de aandachtsgebieden liggen de afwijkingen in het algemeen tussen de 0 en 20 cm. Verder van de aandachtsgebieden af, in het stroomgebied van de Strijper Aa en de bovenloop van de Bulder Aa en de Weergraaf komen plaatselijk grotere afwijkingen voor, in een enkel geval tot maximaal één meter. Deze liggen zo ver van het aandachtsgebied af dat deze geen invloed hebben op de berekende grondwaterstand binnen het aandachtsgebied.

Afwijkingen diepere pakketten.

De resultaten voor de diepere pakketten wijken niet wezenlijk af van die in de deklaag. Zowel in de aandachtsgebieden als het resterende deel van het stroomgebied van de Bulder Aa bedragen de afwijkingen in het algemeen minder dan 20 cm. In de randgebieden van het model komen plaatselijk grotere afwijkingen voor. Deze liggen zo ver van het aandachtsgebied af dat deze geen invloed hebben op de berekende grondwaterstand binnen het aandachtsgebied.

3.7.2 Validatie grondwatermodel 2014

Door de aanpassingen aan het grondwatermodel worden lokaal iets andere grondwaterstanden berekend. Daarnaast zijn er sinds de studie in 2011 enkele peilbuizen in en rond het aandachtsgebied geplaatst waarvan inmiddels ook metingen beschikbaar zijn (peilbuizen die zijn geplaatst in het kader van het project Renheide op peil).

De metingen zijn beschikbaar vanaf 2010 (en voor één peilbuis vanaf 2013) en de metingen lopen door tot eind 2013. De tijdsafhankelijke berekening met het grondwatermodel loopt t/m 2009. Een directe vergelijking van het gemeten en berekende verloop van de grondwaterstand is dus niet mogelijk. Op basis van de metingen en berekeningen is wel een vergelijking gemaakt van het gemiddelde over de doorgerekende periode en het gemiddelde uit de bemeeten periode. Dat is gedaan voor de gemiddelde grondwaterstand en voor een indicatie van de GHG en GLG (12.5 en 87.5% overschrijdingswaardes). De periode waarover het gemiddelde en de GHG en GLG is bepaald is bij deze vergelijking dus niet gelijk voor de metingen en de berekeningsresultaten.

Dat is gedaan voor de peilbuizen zoals weergegeven in tabel 3.3 en figuur 3.10 en 3.11 voor zover hier tijdreeksen van beschikbaar waren (alleen voor peilbuizen Renheide 1 t/m Renheide 10 waren reeksen beschikbaar met standen tov NAP).

Tabel 3.3: Overzicht peilbuizen

Naam1	Naam2	Xcoord	Ycoord	Modellaag
BURB1	B57E0540	168470	370120	1
BURB2	B57E0541	168621	370220	1
BURB3	B57E0542	168780	370220	1
BURB4	B57E0543	168798	370118	1
	B57E0066	168635	370747	1
	B57E0288	168530	370190	1
Renheide1	B57E0621	167149	371855	1
Renheide2	B57E0622	167030	371742	1
Renheide3	B57E0623	166939	371189	1
Renheide4	B57E0624	166870	370751	1
Renheide5	B57E0625	167315	372168	1
Renheide6	B57E0626	168385	371273	1
Renheide7	B57E0627	168050	370663	1
Renheide8	B57E0668	167698	371519	1
Renheide9	B57E0667	167898	371638	1
Renheide10	RenHei10	167505	371418	1



Figuur 3.10: Overzicht beschikbare peilbuizen (naamgeving waterschap)



Figuur 3.11: Overzicht beschikbare peilbuizen (naamgeving Dinoloket)

Tabel 3.4: Overzicht berekende en gemeten gemiddelde grondwaterstand en GHG en GLG.

Naam1	Naam2	Gemiddeld			Indicatie GHG			Indicatie GLG		
		Meting	Berek	Verschil	Meting	Berek	Verschil	Meting	Berek	Verschil
Renheide1	B57E0621	23.24	23.34	0.10	23.37	23.52	0.15	23.10	23.16	0.07
Renheide2	B57E0622	23.49	23.48	-0.01	23.65	23.67	0.02	23.30	23.29	-0.01
Renheide3	B57E0623	24.28	24.16	-0.12	24.53	24.43	-0.09	23.98	23.88	-0.10
Renheide4	B57E0624	24.74	24.64	-0.10	24.99	24.99	-0.01	24.42	24.31	-0.11
Renheide5	B57E0625	23.25	23.22	-0.03	23.48	23.39	-0.09	22.95	23.05	0.10
Renheide6	B57E0626	24.50	24.32	-0.18	24.83	24.60	-0.22	24.20	24.06	-0.13
Renheide7	B57E0627	24.74	24.72	-0.02	25.01	24.96	-0.06	24.44	24.47	0.04
Renheide8	B57E0668	23.80	23.93	0.13	24.07	24.32	0.25	23.47	23.54	0.06
Renheide9	B57E0667	24.57	23.90	-0.67	24.92	24.19	-0.74	24.15	23.63	-0.52
Renheide10	RenHei10	23.28	23.55	0.27	23.37	23.67	0.30	23.19	23.43	0.25

Over het algemeen wordt de grondwaterstand (gemiddelde) en de dynamiek (GHG en GLG) goed berekend door het grondwatermodel (tabel 3.4). De afwijkingen zijn overal minder dan 25 cm en over het algemeen rond de 10 cm te hoog of te laag. Uitzondering hierop is meetpunt Renheide 9 waar de gemiddelde grondwaterstand 67 cm te laag wordt berekend. De GHG en GLG worden hier ook te laag berekend. Het is onduidelijk waardoor deze afwijking wordt veroorzaakt. Deze peilbuis ligt ten noordoosten van het gebied waar beekherstel Bulder Aa effect heeft op de grondwaterstand.

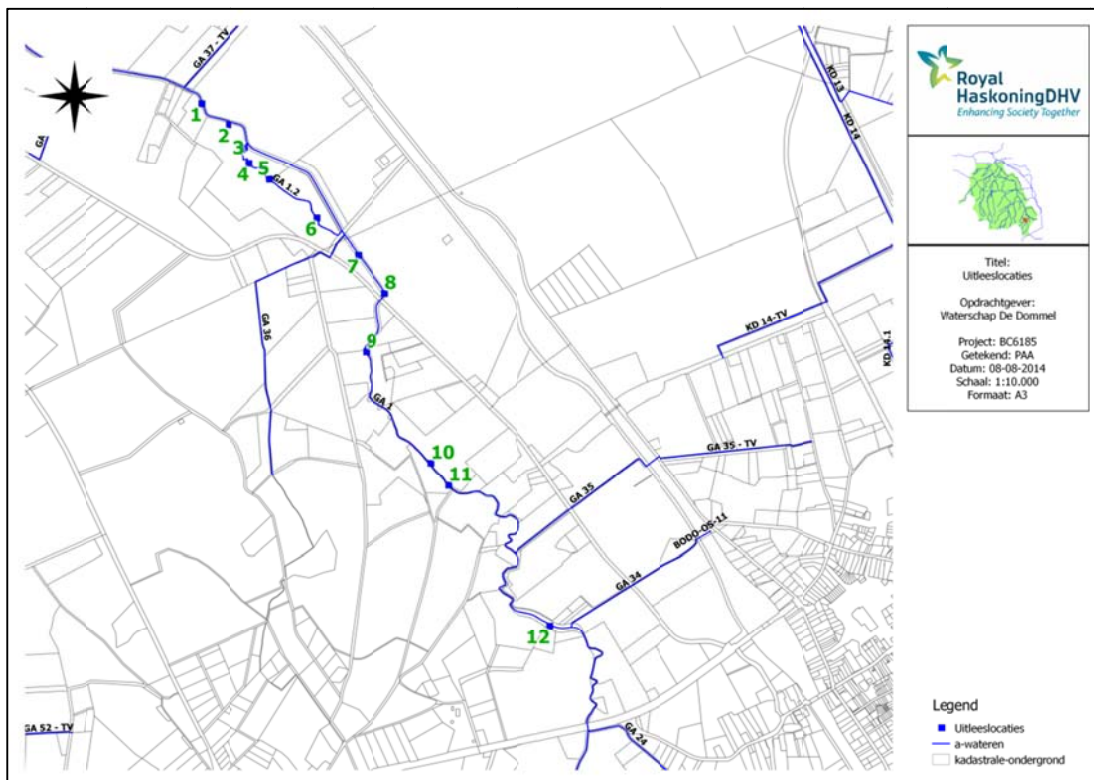
Ter plaatse van de peilbuizen Renheide 8 (B57E0668) en Renheide 6 (B57E0626) die beide dicht bij de Bulder Aa liggen wordt de grondwaterstand wel berekend binnen 20 cm van de gemeten waarde. Bij peilbuis Renheide 10 is de afwijking ook iets groter dan 25 cm (27 cm te hoog). Een goede vergelijking voor deze meetreeks is echter lastig doordat de meetreeks zeer kort is (alleen beschikbaar voor 2013).

4 HUIDIGE SITUATIE 2014

4.1 Resultaat oppervlaktewatermodel

4.1.1 Stationaire berekeningen

Voor de huidige situatie is het hydraulische model doorgerekend met 2 stationaire afvoersituaties, namelijk gemiddelde zomer- en wintersituatie. In figuur 4.1 zijn een aantal locaties weergegeven waar berekende waterstanden zijn uitgelezen. De resultaten zijn voor alle afvoersituaties samengevat in tabel 4.1. In figuur 4.2 is een lengteprofiel weergegeven met berekende waterstanden van de Buulder Aa in de gemiddelde zomer- en wintersituatie.

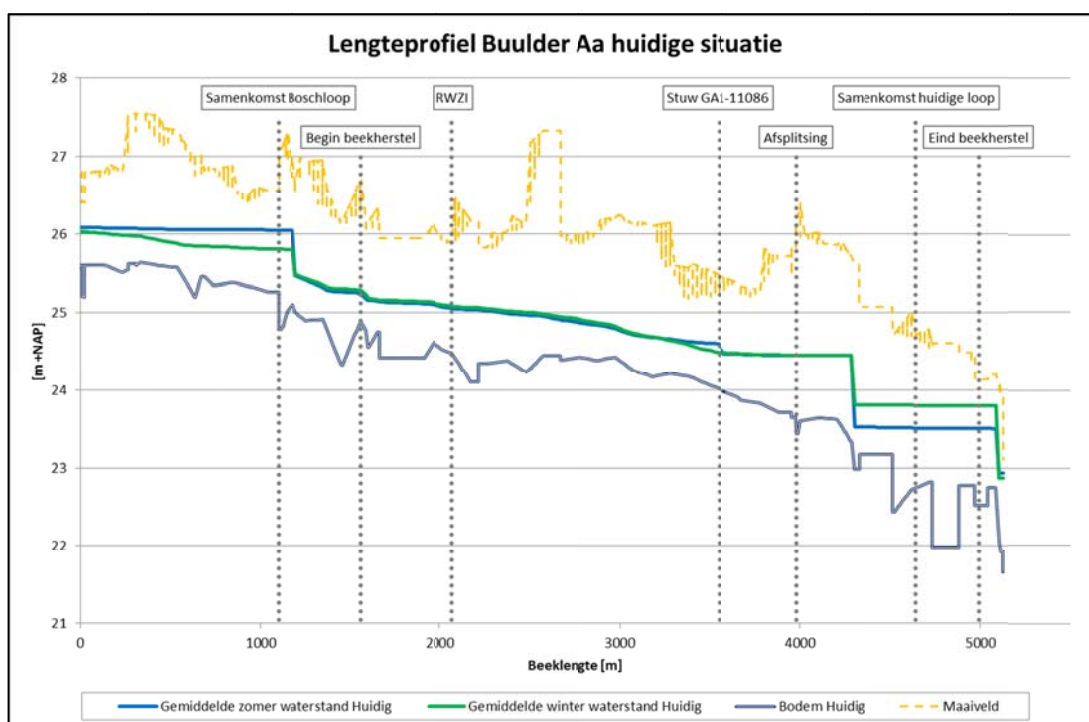


Figuur 4.1: overzicht van profiellocaties en tevens uitleeslocaties waterstanden

In de gemiddelde afvoersituaties wordt de beek boven- en benedenstrooms van het traject sterk beïnvloed door de aanwezige stuwen zoals uit figuur 4.2 blijkt. Het traject tussen de natte natuurparel Ulkedonken en de RWZI staat minder onder invloed van een stuwregime. In de wintersituatie is de berekende waterstand op dit traject iets hoger, zoals zichtbaar is bij locatie 10 (tabel 4.1).

Tabel 4.1: berekende waterstanden gemiddelde zomer- en wintersituatie van boven- naar benedenstrooms

	Berekende waterstand zomer [m +NAP]	Berekende waterstand winter [m +NAP]
Locatie 1	23,50	23,80
Locatie 2	23,51	23,80
Locatie 3	24,11	24,11
Locatie 4	24,27	24,25
Locatie 5	24,36	24,34
Locatie 6	24,39	24,36
Locatie 7	24,46	24,46
Locatie 8	24,46	24,46
Locatie 9	24,61	24,52
Locatie 10	24,81	24,84
Locatie 11	24,88	24,88
Locatie 12	25,12	25,15

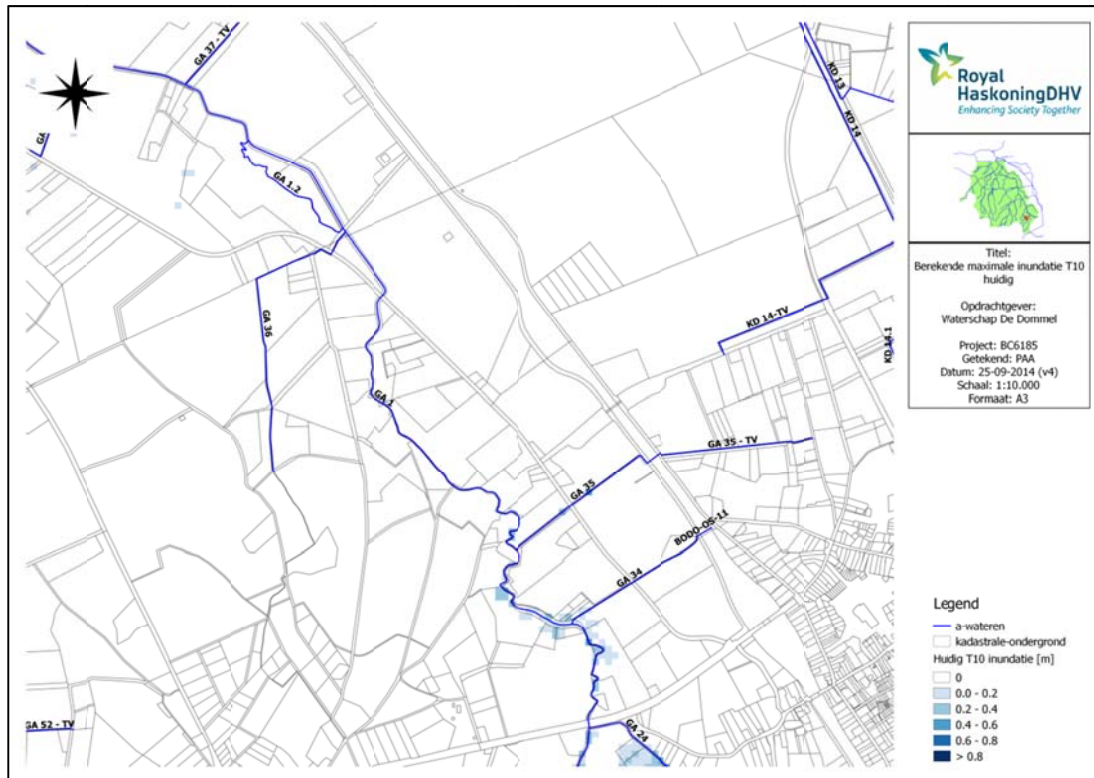


Figuur 4.2: lengteprofiel Bulder Aa met berekende waterstanden gemiddelde zomer- en wintersituatie

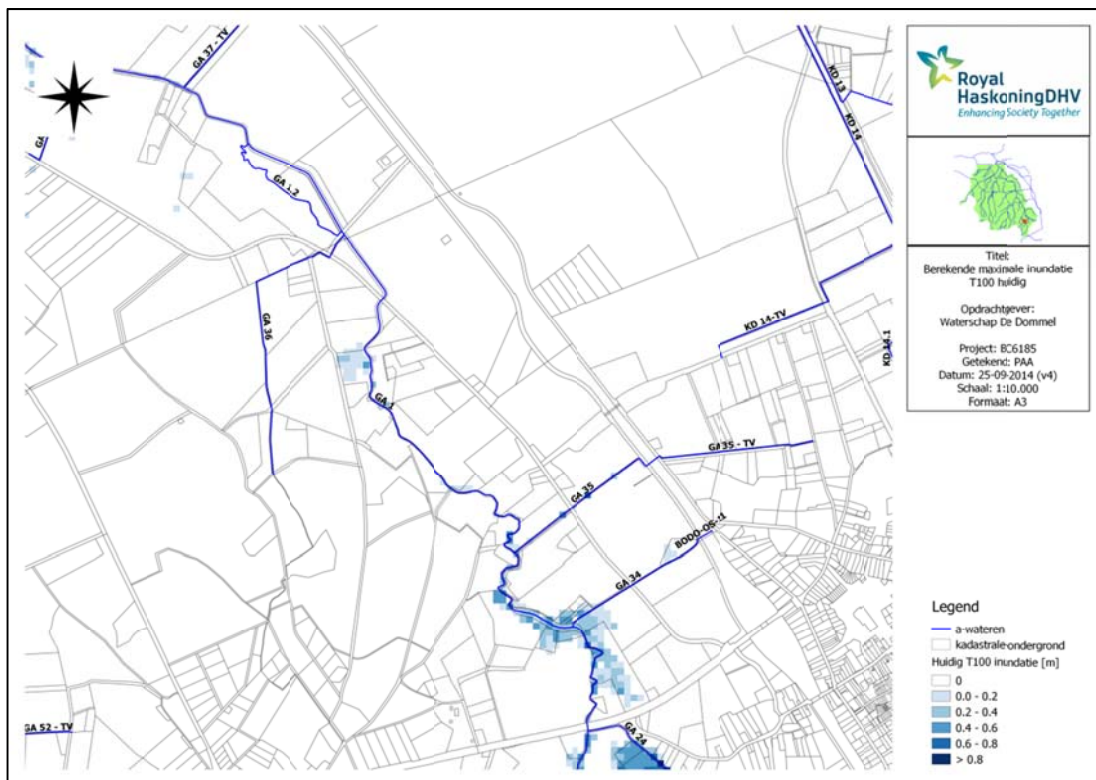
De gemiddelde stroomsnelheid in de zomersituatie is berekend tussen de 0,05 en 0,15 m/s. In de winter is dit tussen de 0,05 en 0,3 m/s. Vooral in de zomer is er weinig stroming in de beek.

4.1.2 Tijdsafhankelijke berekeningen

Met het tijdsafhankelijke SOBEK-1D2D is het optreden van inundaties in de huidige situatie berekend. In figuur 4.3 is het berekende inundatiepatroon weergegeven zoals het bij T10 is berekend en figuur 4.4 geeft de inundatie figuur bij een T100 afvoersituatie.

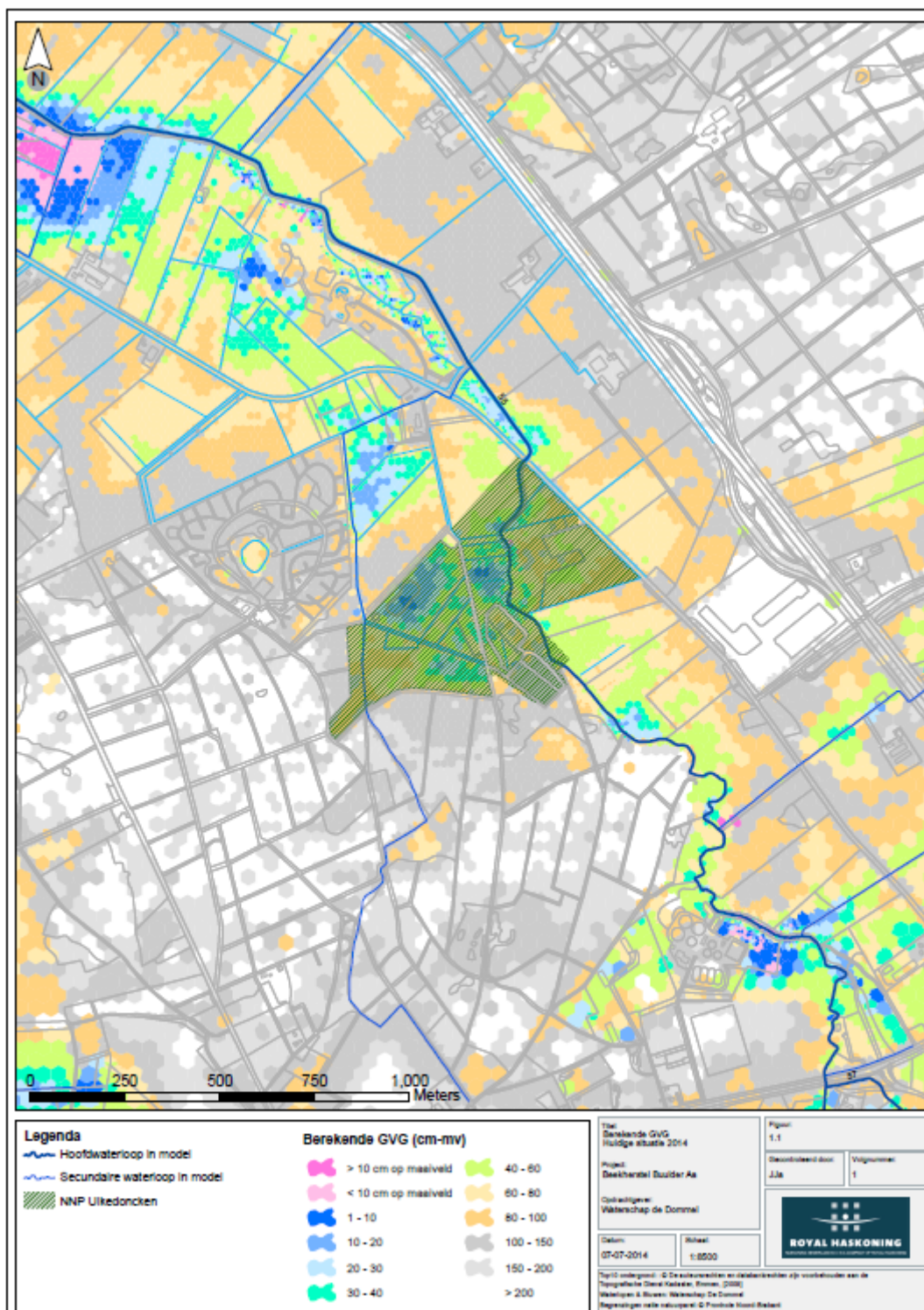


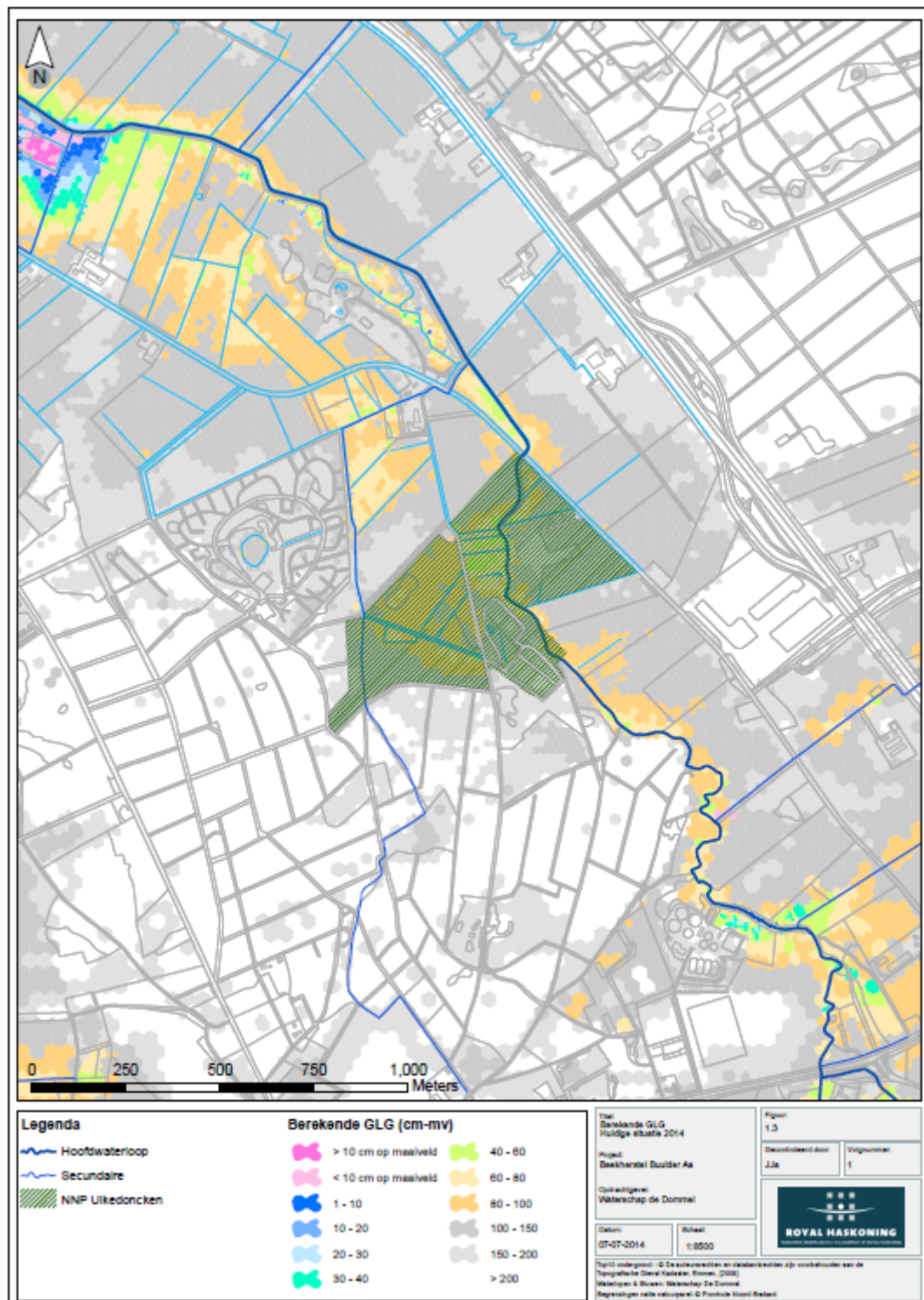
Figuur 4.3: berekende inundatie huidige situatie T10



Richting de flanken van het beekdal liggen de GHG en GVG steeds dieper onder maaiveld. Aan de randen van het pilotgebied peilbeheer Renheide liggen de GHG en GVG 1,0 – 2,5 m beneden maaiveld.

De GLG laat een vergelijkbare ruimtelijke verdeling zien. In een brede strook langs de Buulder Aa en het westelijke deel van de natte natuurparel Ulkedonken ligt de GLG in het algemeen tussen de 40 en 125 cm beneden maaiveld. Opvallend is een zeer natte plek in het centrale deel van het pilotgebied Renheide, waar ook de GLG aan maaiveld ligt. Naar de flanken van het beekdal toe en in het oostelijk deel van de natte natuurparel Ulkedonken ligt de GLG in het algemeen meer dan 125 cm beneden maaiveld. Op de droogste plekken ligt de GLG meer dan 2,5 meter beneden maaiveld.





Figuur 4.7: Berekende GLG in de huidige situatie

5 SCENARIO BEEKHERSTEL

5.1 Inleiding

In het ontwerptraject tot het eindontwerp voor de Bulder Aa zijn er diverse tussenvarianten doorgerekend met het oppervlaktewater- en het grondwatermodel. Onderstaand worden de belangrijkste doorgerekende varianten beschreven, namelijk de maximale variant GEP verweven en optimale variant GEP verweven. Bij beekherstel GEP verweven worden zowel natuur als landbouwbelangen meegenomen in het ontwerp. Dit heeft geleid tot een eindontwerp in 2011 dat hieronder ook kort wordt besproken. Voor meer informatie over deze scenario's wordt verwezen naar het rapport van 2011 (*Royal Haskoning, 2011*). In de periode 2012 - 2014 is na gesprekken met belanghebbenden en een actualisatie van het oppervlaktewatermodel en het grondwatermodel (zie hoofdstuk 3 en 4) een verfijning van het eindontwerp uit 2011 gemaakt. Dit verbeterde eindontwerp staat centraal in dit hoofdstuk.

5.2 Ontwerpproces oppervlaktewater

5.2.1 Maximale variant GEP verweven

Beschrijving: Voor de maximale variant GEP verweven is aangenomen dat het hele traject van de Bulder Aa (van samenkost bovenstrooms tot samenkost met Strijper Aa benedenstrooms) hersteld wordt met een sinuositeit van 1,25 en een profiel van 0,75 m diep.

Conclusie: De stroomsnelheden zijn conform de ecologische wensen, maar door de verondieping van de Bulder Aa (vaak bijna 1 m) stijgen de waterstanden in alle afvoersituaties aanzienlijk. Bij de maatgevende afvoer inundeert de Bulder Aa over bijna het volledige traject (veel meer dan 1x per jaar inundatie).

5.2.2 Optimale variant GEP verweven

Beschrijving: In de optimale variant GEP verweven is ervoor gekozen om niet over het volledige traject van de Bulder Aa een ander profiel te ontwerpen. Zo is bovenstrooms een 2-fase profiel gemodelleerd om zo het teveel aan inundatie te mitigeren.

Conclusie: De stroomsnelheden zijn conform de ecologische wensen. Er is sprake op veel locaties sprake van een aanzienlijke vernatting in zowel gemiddelde zomer als winter situatie. Op de meer verdrogingsgevoelige locaties zijn de stuwen nodig om in zomer geen sterk verdrogend effect te hebben. Het handhaven van alle stuwen en de daarbij horende stuurbaarheid is vanuit ecologisch oogpunt onwenselijk.

5.2.3 Eindontwerp 2011

Beschrijving: Het scenario van het eindontwerp bestaat uit een gecombineerde inrichting met boven- en benedenstroomse maatregelen (projecten Bulder Aa pilot peilbeheer en herinrichting Kleine Bruggen - Renheide samen). Voor dit scenario is per (deel)traject bekeken wat de meest optimale inrichting is rekening houdend met de onderlinge samenhang tussen de verschillende trajecten.

Conclusie: Het scenario geeft een optimale invulling om te voldoen aan de gewenste stroomsnelheid, zorgt voor de gewenste vernatting binnen Natte Natuurparel Ulkedonken, maar houdt daarnaast de toename van inundatie en grondwaterstandsstijgingen richting agrarische gronden zo beperkt mogelijk. Dit scenario is in de periode 2012 – 2014 in een aantal stappen verrijkt tot het definitieve ontwerp dat wordt besproken in paragraaf 5.3 en 5.4.

5.3 Beschrijving definitief scenario beekherstel

Het definitieve scenario bestaat uit een aantal maatregelen die tot doel hebben beekherstel voor de Buulder Aa en herstel van het hydrologische systeem van NNP Ulkedonken te realiseren. Een volledig overzicht van de maatregelen is opgenomen in het projectplan. De volgende maatregelen zijn van belang voor het oppervlaktewatermodel en het grondwatermodel:

- Een nieuwe meanderende beekloop (zie figuur 5.1);
- Profielaanpassingen en verhangoptimalisatie. Voor 11 locaties verspreid over het beekherstel-traject zijn nieuwe dwarsprofielen ontworpen (locaties 1 t/m 11). De profielen en profiellocaties zijn terug te vinden in bijlage I. Van uitleeslocatie 12 (zie figuur 4.1) geldt dat het nieuwe profiel nagenoeg gelijk is aan de huidige situatie, dus hiervoor zijn in het model geen profielaanpassingen gedaan. Daarnaast is bovenstrooms locatie 11 een soepele overgang naar het huidige profiel in het model opgenomen. Bij twee bruggen (brid_GA1-11175 en brid_GA1-11485) is het doorstroomprofiel verkleind omdat de beekbodem wordt opgehoogd, maar de hoogte van het brugdek niet wordt aangepast. Met de bovengenoemde profielaanpassingen wordt beoogd het waterpeil in de Buulder Aa bij Ulkedonken te verhogen. Het winterpeil wordt ter hoogte van Ulkedonken 24,75m tot 24,80m + NAP (35-40 cm hoger dan het huidige laag peil). In de zomer zakt zomer is de waterstand 24,65m tot 24,75m + NAP. Door verhoging van het waterpeil in de beek treedt een verhoging van de grondwaterstanden op. Dit heeft een positief effect op de grondwaterafhankelijke natuur in Ulkedonken;
- Aantakken meander Renheide en dempen huidige loop Buulder Aa. De laterale instroompunten van de te dempen watergang zijn op de nieuwe loop van de Buulder Aa geplaatst. De in- en uitstroom duikers van de GA1.2 zijn uit het model verwijderd aangezien deze in de huidige afmetingen opstuwend werken. Ook de stuw aan het eind van de meander (weir_GA1.2-645) is verwijderd;
- Verwijderen stuw weir_GA1-11086;
- Verwijderen stuw weir_GA1-9124;
- Aanleggen voorde bij RWZI;
- Verwerken faunapassage bij brug D'Aasdonken (brid_GA1-11175) door doorstroombreedte met 60 cm te verkleinen;
- Ophogen zandpad (Raadbroekweg) met 10 cm;
- Afgraving voedselrijke bodem op 3 locaties (zie figuur 5.3);
- Verondiepen sloten in NNP Ulkedonken (zie figuur 5.4);
- Dempen sloot (zie figuur 5.4);
- Nieuwe ondiepe sloot ten westen van NNP Ulkedonken (zie figuur 5.4).

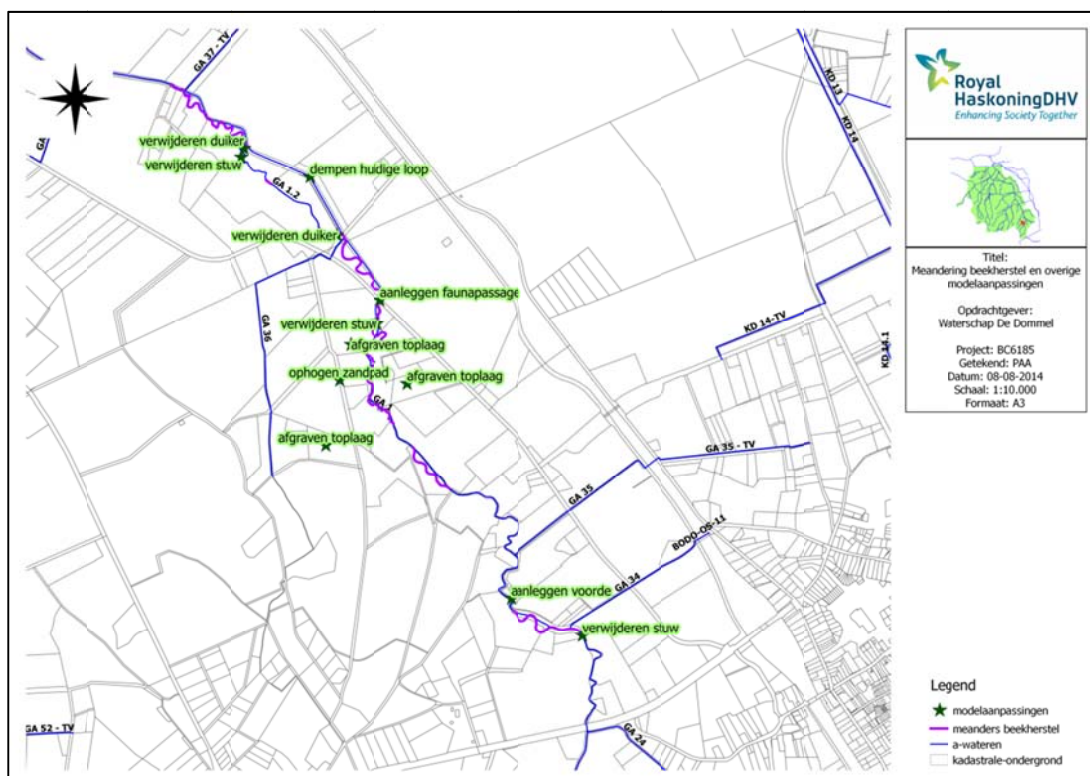
5.3.1 Verwerking maatregelen in het oppervlaktewatermodel

Het ontwerpen van de profielen is een iteratief proces geweest waarbij verschillende stappen zijn doorlopen. Dit is vanuit het doel en ecologisch oogpunt (op basis van de eisen van de KRW) aangevlogen waarbij rekening is gehouden met ongewenste uitstraling of inundatie overlast van landbouwpercelen. Ook de weerstand van de beek is aangepast behorend bij een meanderende beek. Om het effect van hermeandering zo goed mogelijk te modelleren zijn Bos & Bijkerk weerstandsfactoren berekend aan de hand van de gemiddelde waterstanden van vorige berekeningen. De formule van Bos & Bijkerk:

$$K_M = \gamma h^{1/3}$$

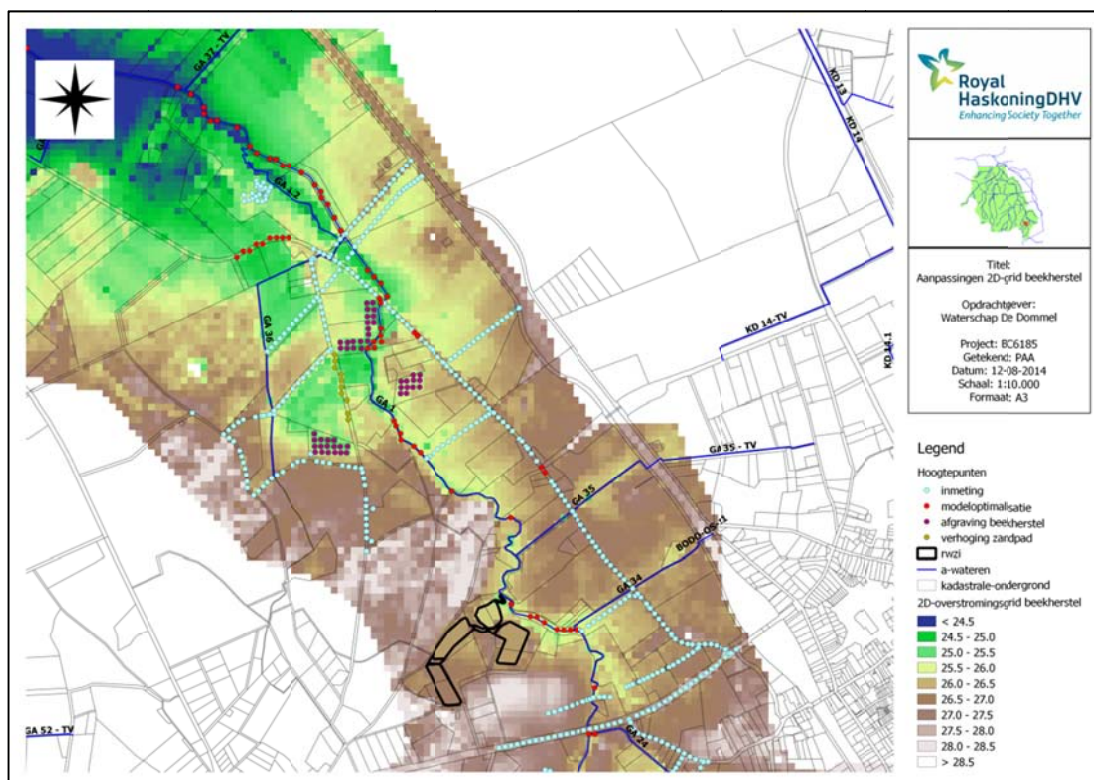
De Manning K weerstandsfactor in m/s wordt berekend als de derdemachtswortel van de waterdiepte maal een factor gamma, afhankelijk van de ruwheid van de waterloop. Door deze formule om te keren zijn nieuwe waarden voor gamma berekend voor de trajecten waarvoor hermeandering is gepland: 15 s⁻¹ in de zomer (ipv 20 s⁻¹) en 30 s⁻¹ in de winter (ipv 34 s⁻¹).

De verhoging van de Raadbroekweg en het verwerken van de afgravingen zijn in het model aangepast in het 2D-overstromingsgrid. De aanpassingen zijn opgenomen in figuur 5.2.



Figuur 5.1: meandering en maatregelen oppervlaktewatermodel definitief ontwerp Bulder Aa

De laatste meander nabij de samenkomst met de GA37-TV is niet conform het definitieve ontwerp meegenomen in de modelberekeningen. Dit komt doordat de gesprekken hebben plaatsgevonden nadat de definitieve berekeningen zijn uitgevoerd. Het effect van het verleggen van de meander zal verwaarloosbaar zijn.



Figuur 5.2: aanpassingen 2D-overstromingsgrid definitief ontwerp Bulder Aa

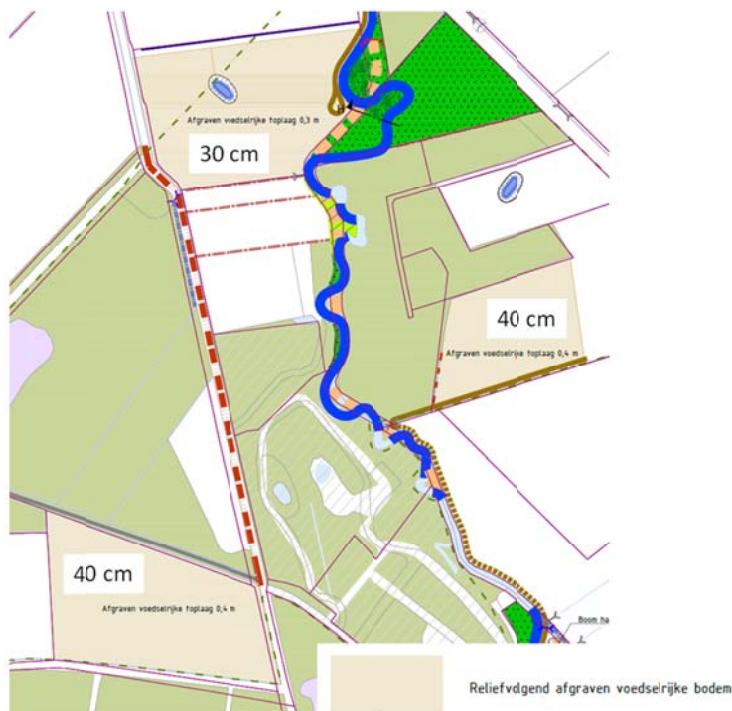
5.3.2 Verwerking maatregelen in het grondwatermodel

Meanders

De ligging van de nieuwe en aangetakte meanders van de Bulder Aa is opgenomen in het grondwatermodel (zie figuur 5.1 voor de ligging). De breedte van de Bulder Aa is ook aangepast op basis van de nieuwe profielen. De peilen voor de Bulder Aa en de aantakkende sloten zijn overgenomen uit het oppervlaktewatermodel.

Afgraven voedselrijke toplaag

Op drie locaties wordt de voedselrijke bodem afgegraven (figuur 5.3). Op deze locaties is de maaiveldhoogte in het grondwatermodel aangepast.

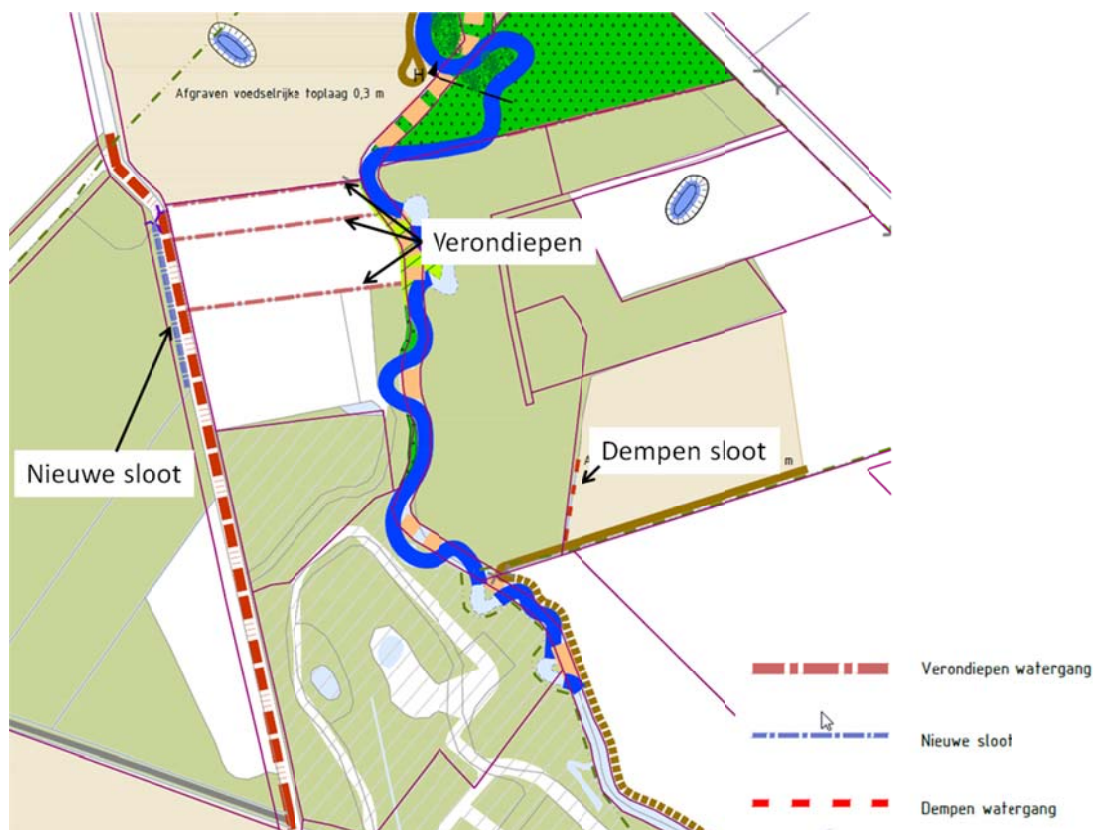


Figuur 5.3: Locaties waar de voedsterrijke top laag van de bodem wordt afgegraven.

Dempen / verondiepen sloten en aanleg nieuwe sloot

De te dempen sloot is in het grondwatermodel inactief zodat deze geen effect meer heeft op het grondwatersysteem. De te verondiepen sloten zijn in het model opgenomen met een bodemhoogte van 30 cm-mv. De nieuwe (ondiepe) waterloop ten westen van NNP Ulkedonken is in het model opgenomen met een bodemhoogte van 50 cm-mv.

De ligging van deze sloten is weergegeven in figuur 5.4



Figuur 5.4: Locaties dempen/verondiepen sloten en ligging nieuwe sloot.

5.4 Berekende effecten beekherstel op oppervlaktewater

5.4.1 Effecten bij gemiddelde afvoersituaties

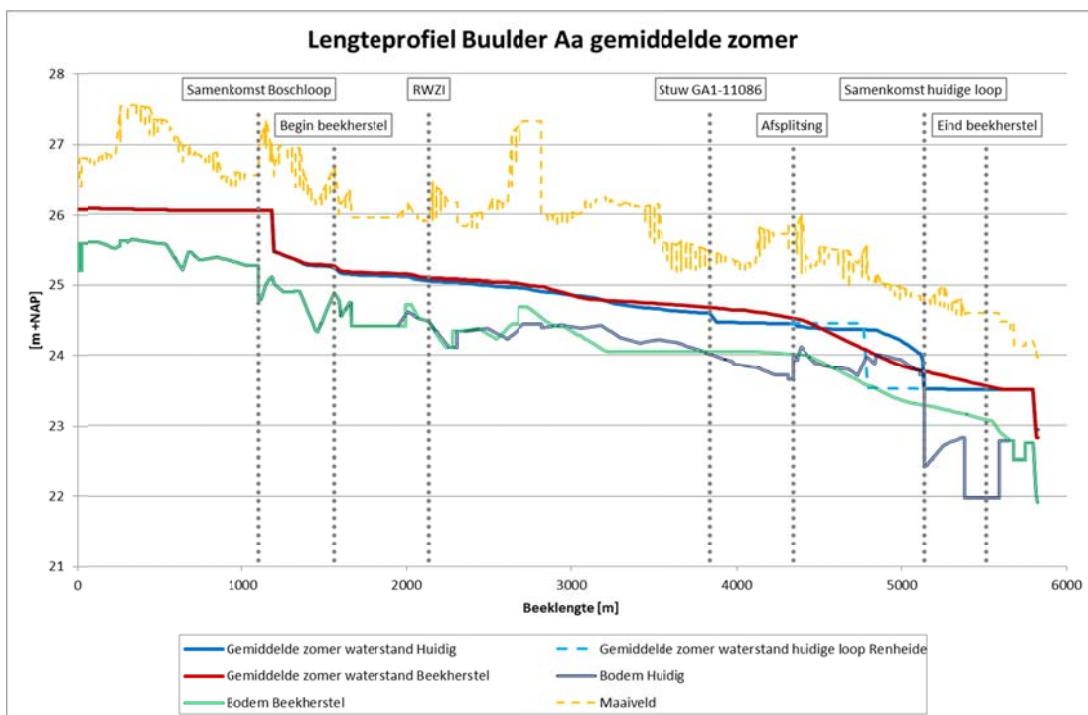
In tabel 5.1 zijn op de profiellocaties van figuur 4.1 de berekende waterstanden per afvoersituatie samengevat. Van elke berekende waterstand is aangegeven of dit een stijging (blauw) of een daling (rood) ten opzichte van de huidige situatie is.

Op de meeste locaties stijgt de waterstand in vergelijking tot de huidige situatie. De berekende daling van de waterstand bij locaties 3, 4, 5 en 6 (alleen zomer) komt omdat deze profielen op de aan te takken meander liggen. In de huidige situatie ligt hier een kleine watergang die in het scenario groter is gemaakt om als primaire afvoerrote te kunnen fungeren. De huidige ligging van de Bulder Aa wordt hier namelijk gedempt.

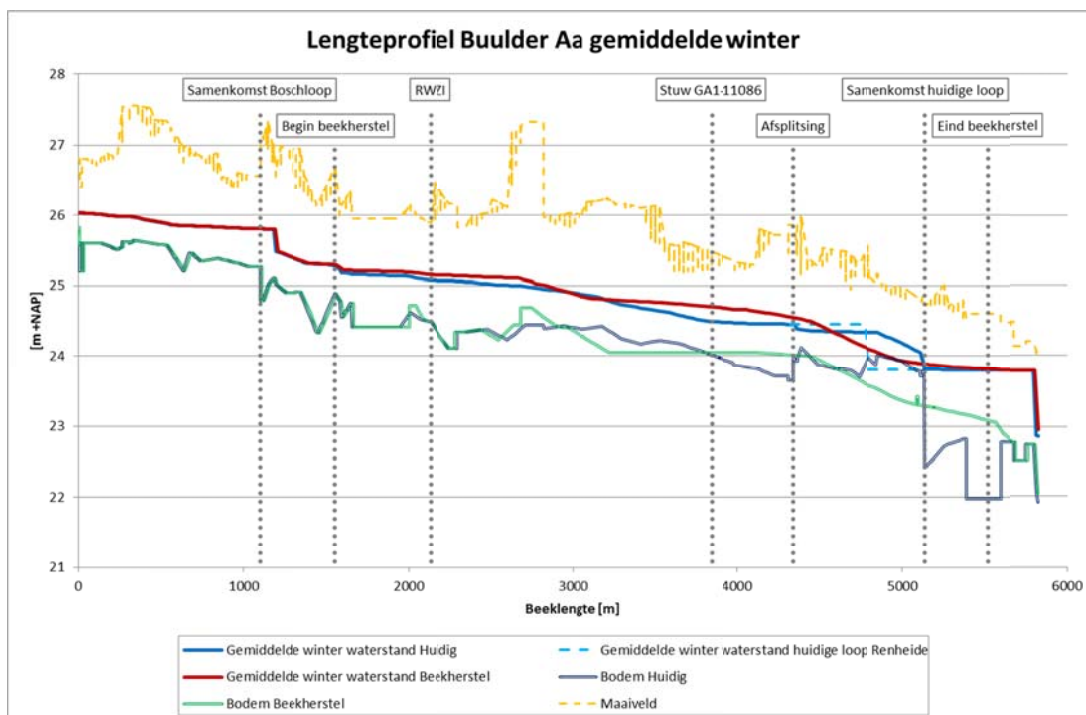
In figuren 5.5 en 5.6 zijn lengteprofielen weergegeven van de berekende waterstanden bij een gemiddelde zomer- en wintersituatie. Vanuit ecologisch oogpunt is het gewenst dat de gemiddelde waterdiepte tussen de 0,2 en 0,7 m ligt. Uit de lengteprofielen blijkt dat in de zomer een gemiddelde waterdiepte van 0,5 m wordt berekend. In de winter is dat 0,6 m. Hieruit wordt geconcludeerd dat de gemiddelde waterdiepte voldoet aan de toetscriteria. In NNP Ulkedonken wordt ook voldaan aan de gewenste waterstand van minimaal 24,6 m +NAP in de zomer zoals blijkt uit profiel G (tabel 5.1).

Tabel 5.1: Berekende waterstanden (in m +NAP) definitief ontwerp bij gemiddelde zomer- en winterafvoer op de profiellocaties van figuur 4.1

	Zomer (gem.) [m +NAP]	Winter (gem.) [m +NAP]	Effect zomer [m]	Effect winter [m]
Locatie 1	23,58	23,82	0,08	0,02
Locatie 2	23,68	23,84	0,17	0,04
Locatie 3	23,82	23,91	-0,29	-0,20
Locatie 4	23,91	23,96	-0,36	-0,29
Locatie 5	24,04	24,07	-0,32	-0,27
Locatie 6	24,38	24,40	-0,01	0,04
Locatie 7	24,56	24,57	0,10	0,11
Locatie 8	24,62	24,64	0,16	0,18
Locatie 9	24,70	24,72	0,09	0,20
Locatie 10	24,82	24,84	0,01	0,00
Locatie 11	24,98	25,00	0,10	0,12
Locatie 12	25,16	25,20	0,04	0,05

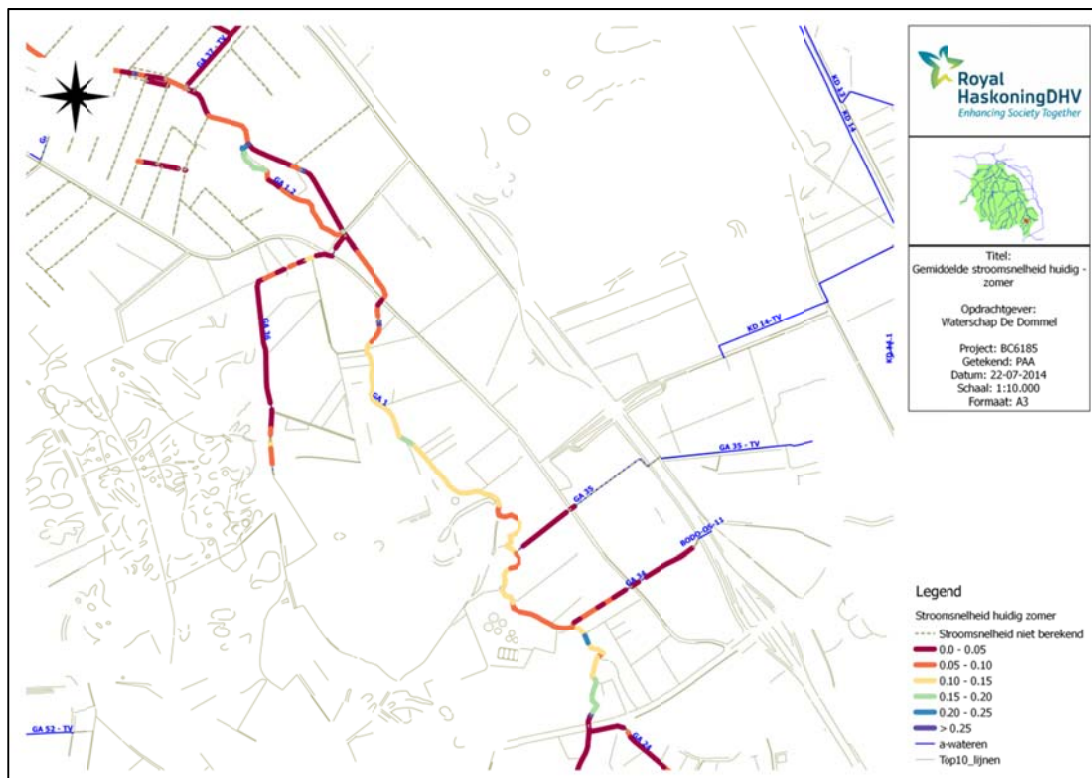


Figuur 5.5: lengteprofiel met berekende waterstanden Bulder Aa gemiddelde zomersituatie voor huidig en toekomstige situatie



Figuur 5.6: lengteprofiel met berekende waterstanden Buulder Aa gemiddelde wintersituatie voor huidig en toekomstige situatie

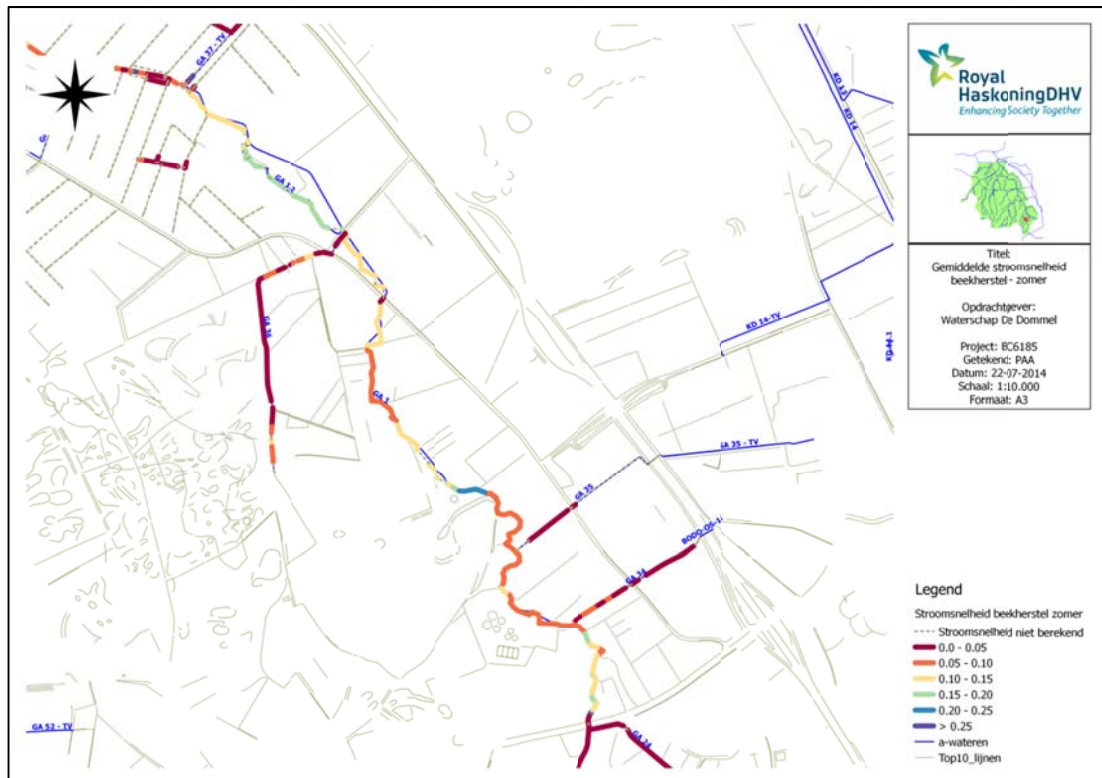
Naast waterpeilen is ook gekeken naar de verdeling van de stroomsnelheid in het aangepaste ontwerp. In figuur 5.7 is de berekende stroomsnelheid bij de gemiddelde zomerafvoer van de huidige situatie weergegeven op kaart. Figuur 5.8 geeft de berekende stroomsnelheid bij zomerafvoer van de toekomstige situatie. De stroomsnelheden zijn ook uitgezet in een lengteprofiel van de Buulder Aa zoals is te zien in figuur 5.9.



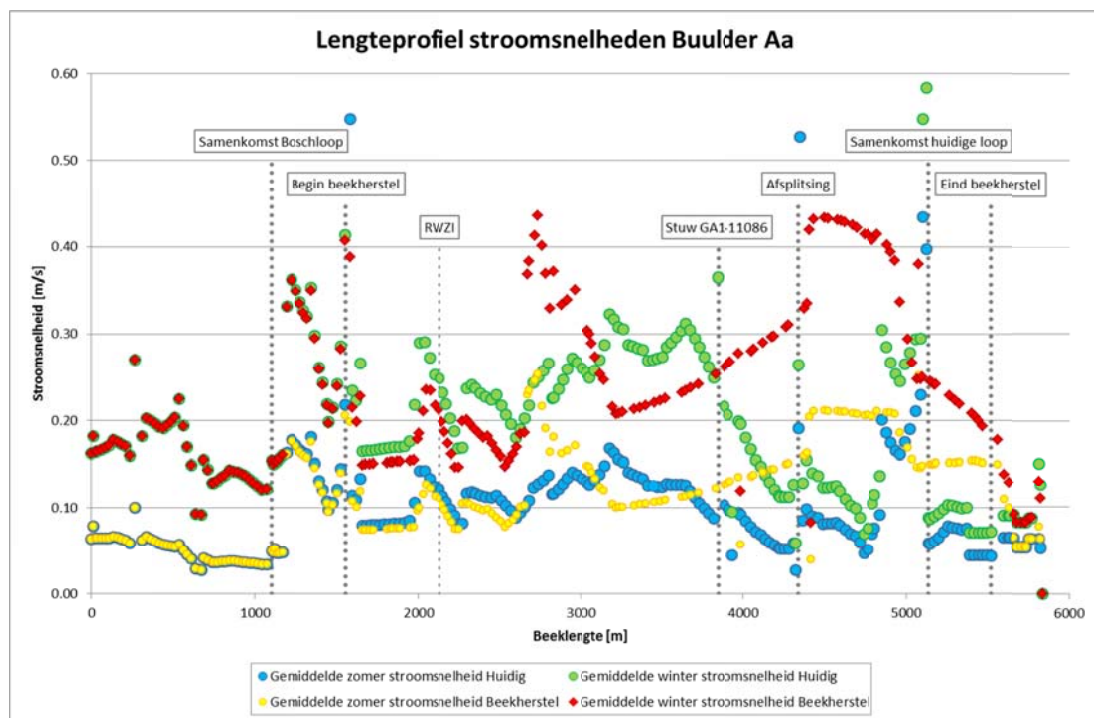
Figuur 5.7: berekende stroomsnelheid huidige situatie bij gemiddelde zomerafvoer

Naast waterpeilen is ook gekeken naar de verdeling van de stroomsnelheid in het aangepaste ontwerp. In figuur 5.7 is de berekende stroomsnelheid bij de gemiddelde zomerafvoer van de huidige situatie weergegeven op kaart. Figuur 5.8 geeft de berekende stroomsnelheid bij zomerafvoer van de toekomstige situatie.

De gemiddelde stroomsnelheid in de zomersituatie ligt tussen de 0,05 en 0,25 m/s. Op de meeste trajecten is een toename van de stroomsnelheid in de zomer te zien in vergelijking met de huidige situatie. Vooral in de aan te takken meander Renheide is de stroomsnelheid hoger, namelijk gemiddeld 0,20 m/s. In de wintersituatie worden stroomsnelheden tussen de 0,10 en 0,45 m/s berekend. Ook in de winter stijgt de stroomsnelheid van de Bulder Aa ten opzichte van de huidige situatie (figuur 5.9).



Figuur 5.8: berekende stroomsnelheid toekomstige situatie bij gemiddelde zomerafvoer



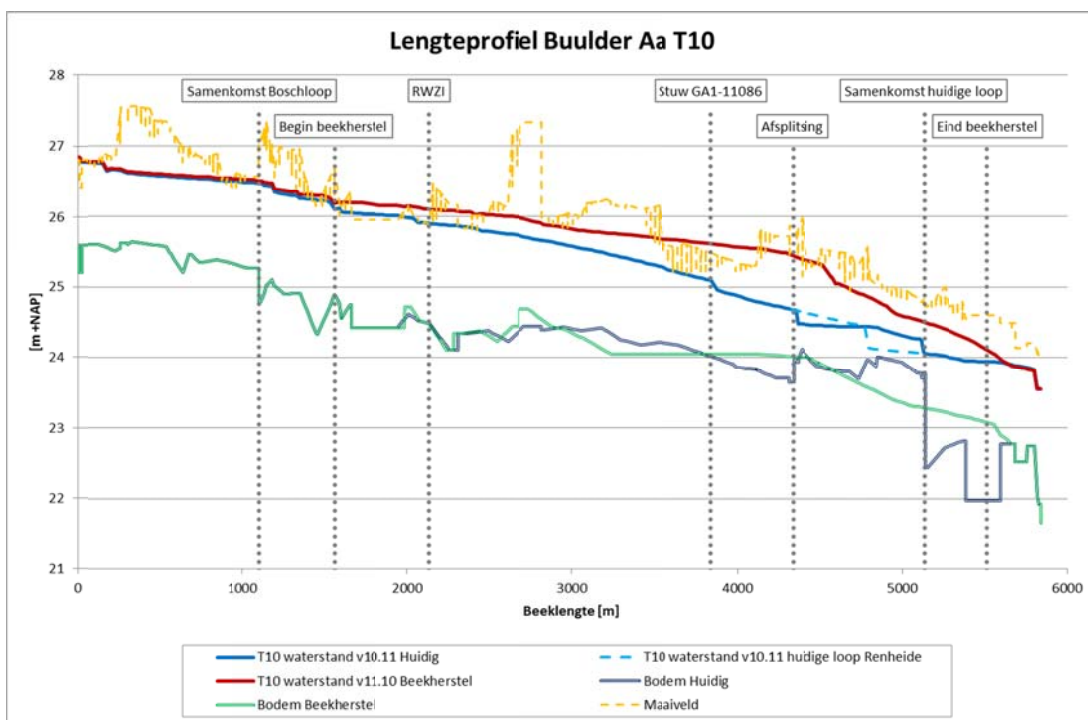
Figuur 5.9: lengteprofiel berekende stroomsnelheid gemiddelde afvoersituaties

De stroomsnelheid varieert behoorlijk langs de beekloop. Dit hangt samen met het bodemverhang. Uit de figuur is op te maken dat de hoge stroomsnelheden in het aangepaste ontwerp lager zijn geworden (ten opzichte van het oude scenario) en de lage stroomsnelheden hoger. De streefwaarde voor de Bulder Aa is ongeveer 0,10-0,15 m/s en die wordt vrijwel overal gehaald. Alleen zeer lokaal zijn dipjes in stroomsnelheid te zien die worden veroorzaakt door het relatief bredere profiel bij bruggen. Het lokaal terugzakken van de stroomsnelheid zijn vanuit ecologisch oogpunt geen probleem en stimuleren juist de variatie in de beek.

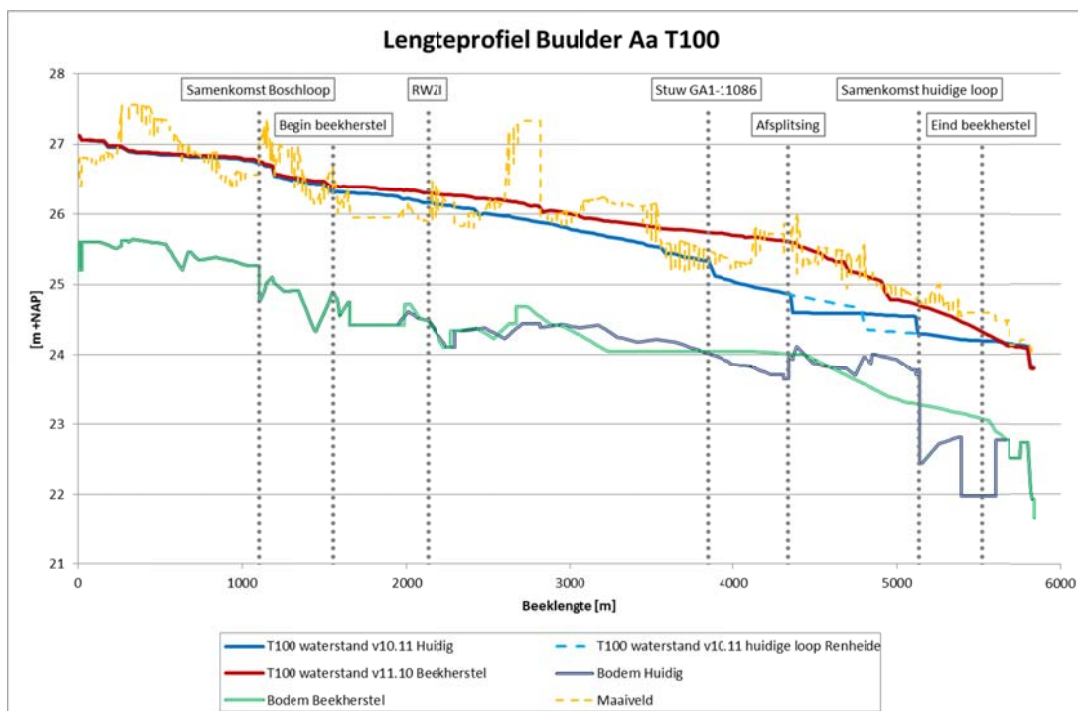
5.4.2 Effecten bij hoogwatersituaties

Het verloop van het berekende peil over het beekhersteltraject is te zien in figuren 5.10 en 5.11 voor de respectievelijk T10 en T100 afvoersituatie. Op het traject wordt over de gehele lengte een peil berekend dat hoger is dan de huidige situatie. Nabij de RWZI en bij stuw GA1-11086 komt de berekende waterstand ook boven de insteek uit. Inundaties met het beekherstelontwerp zullen dus vooral op deze locaties berekend worden.

Voor de volledigheid zijn de lengteprofielen van de T1, T25 en T50 situatie opgenomen in bijlage II.



Figuur 5.10: lengteprofiel met berekende maximale waterstanden Bulder Aa voor huidige en toekomstige situatie bij T10 afvoer

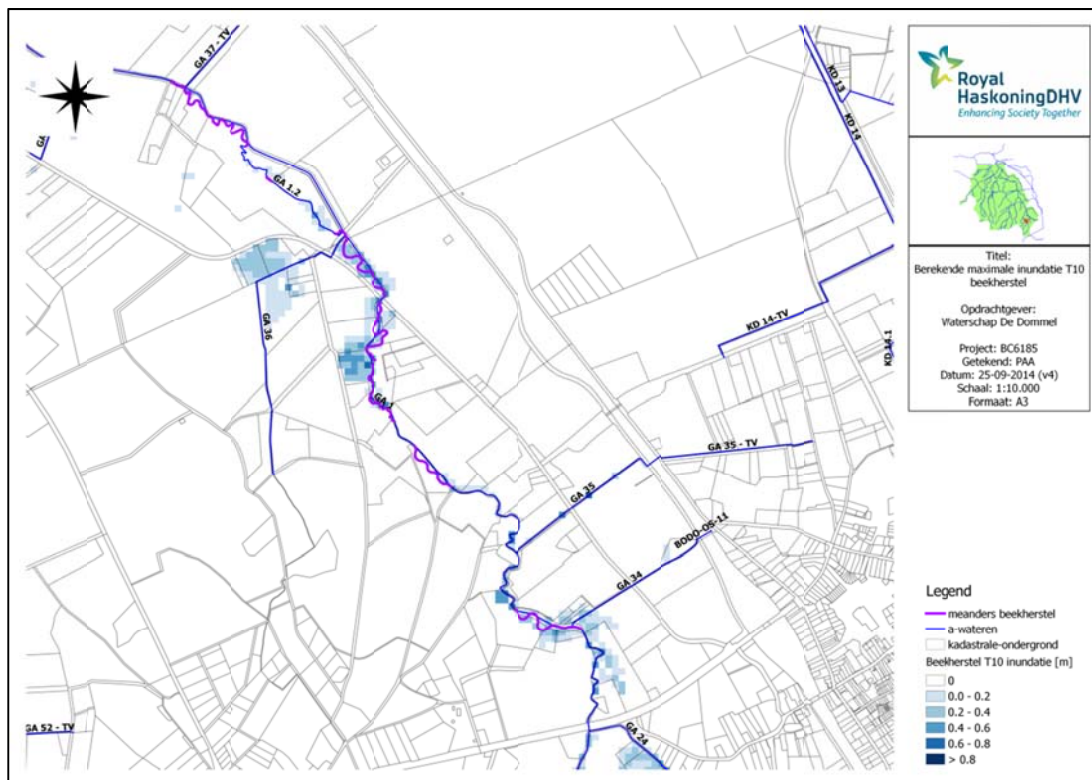


Figuur 5.11: lengteprofiel met berekende maximale waterstanden Buulder Aa voor huidig en toekomstige situatie bij T100 afvoer

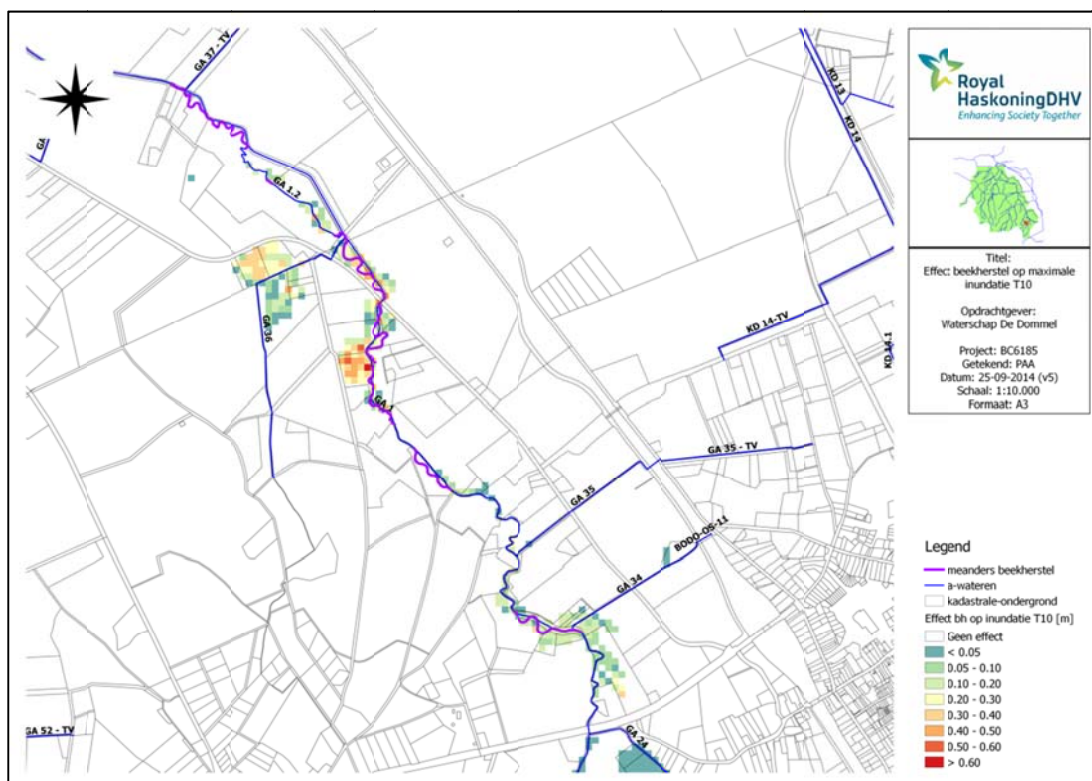
In figuur 5.12 is de berekende maximale inundatie weergegeven in het beekherstel scenario bij een T10 afvoergolf. Figuur 5.13 geeft het verschil in berekende maximale inundatie tussen de huidige en beekherstel situatie. De T10 afvoergolf zorgt in de berekening van de huidige situatie nauwelijks voor inundatie langs het beekhersteltraject zoals duidelijk werd in hoofdstuk 4. Het beekherstelontwerp zorgt wel voor inundatie langs delen van het beekhersteltraject. Plaatselijk is dit grofweg 100 meter aan beide oevers. Daarnaast is langs de GA36 een aanzienlijke inundatie zichtbaar die het gevolg is van opstuwning vanuit de Buulder Aa in de GA36. Verder valt op dat een gering effect (< 5 cm) zichtbaar is bovenstrooms van het plangebied. Ook uit het lengteprofiel (figuur 5.10) blijkt een geringe toename van de maximale waterstand. Dit betreft echter alleen een toename in inundatiediepte en niet in inundatieoppervlakte. De geplande afgravingen van de toplaag zorgen hier voor een beperkte toename van de inundatie.

Figuren 5.14 en 5.15 geven de berekende maximale inundatie beekherstel en het effect ten opzichte van de huidige situatie voor de T100 afvoergolf. Ook bij een T100 afvoersituatie neemt de inundatie als gevolg van het beekherstel toe. De toename van inundatie blijft echter grotendeels binnen de grenzen van het beekdal met uitzondering van de inundatie rondom de GA36.

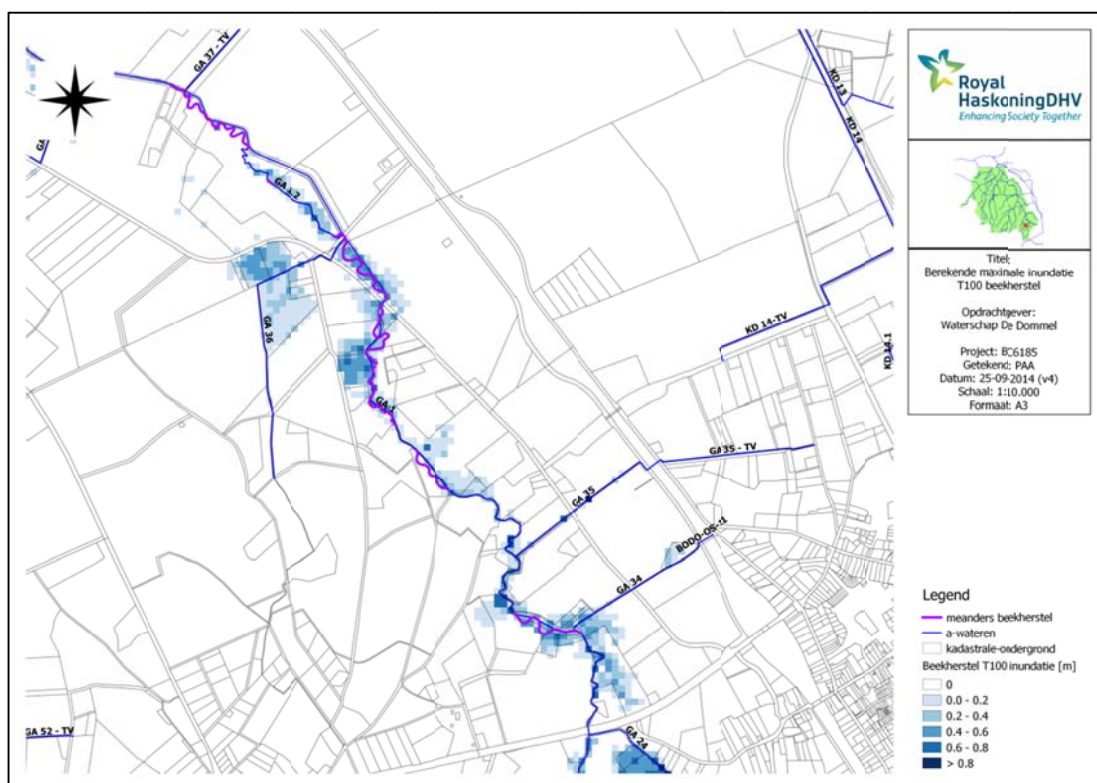
Voor de volledigheid zijn de berekende maximale inundaties van zowel de huidige als de beekherstel situatie bij T1, T25 en T50 afvoer opgenomen in bijlage III.



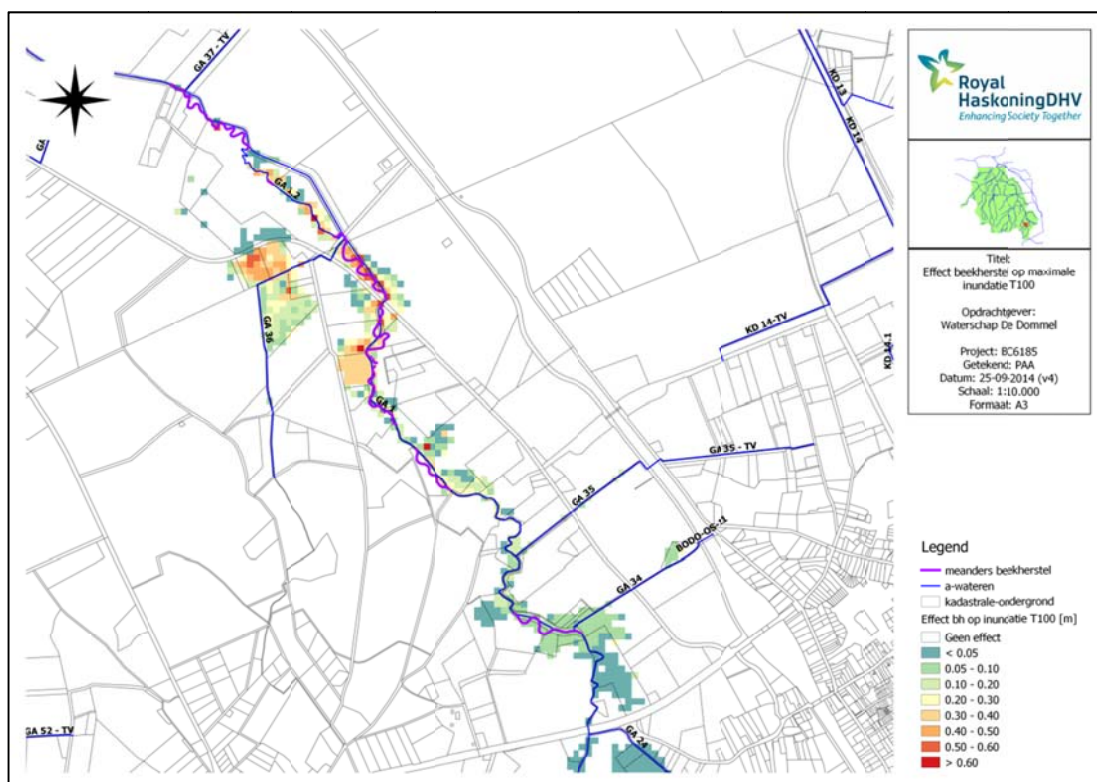
Figuur 5.12: berekende inundatie beekherstel T10



Figuur 5.13: effect berekende inundatie beekherstel ten opzichte van huidige T10

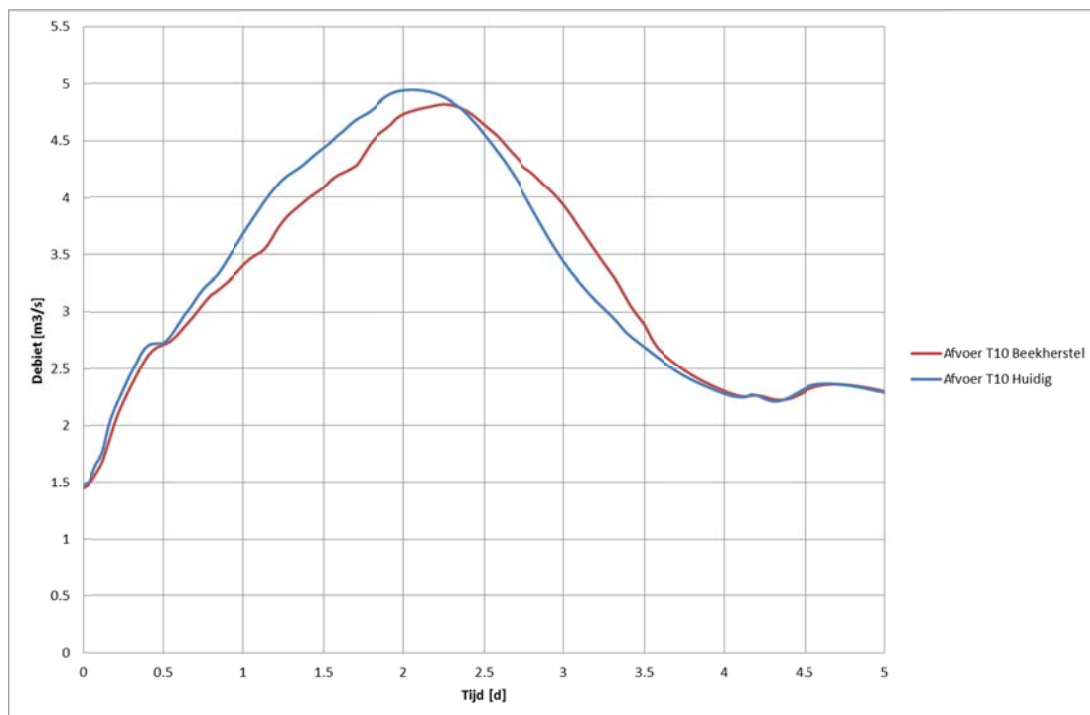


Figuur 5.14: berekende inundatie beekherstel T100

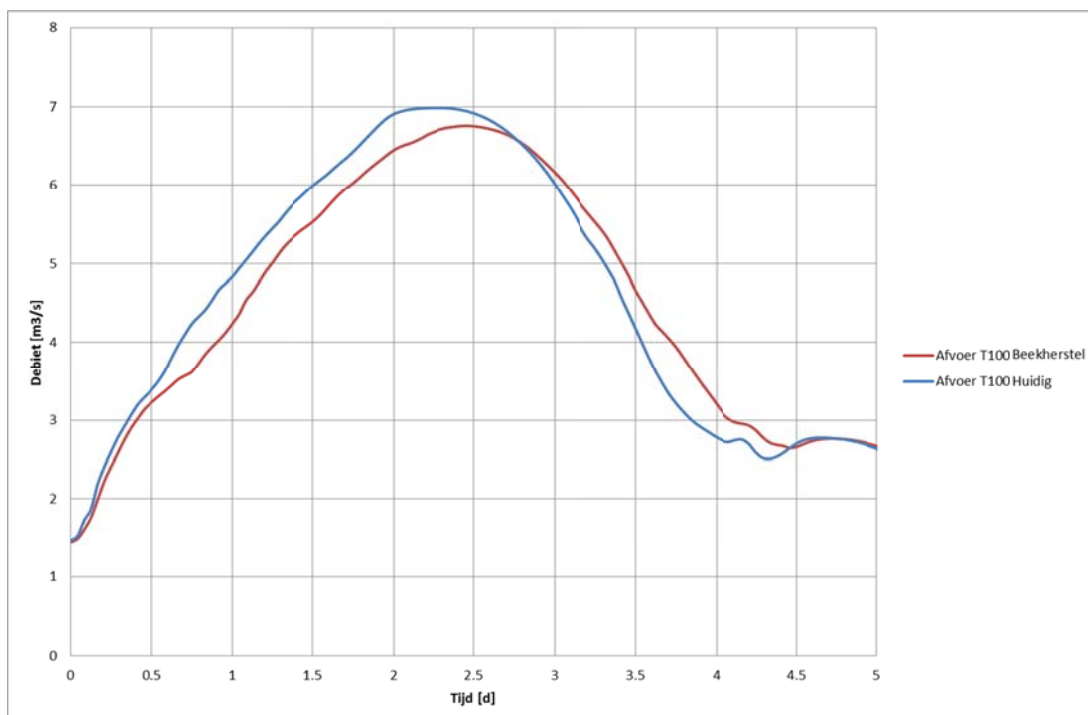


Figuur 5.15: effect berekende inundatie beekherstel ten opzichte van huidige T100

Het beekherstel ontwerp heeft ook invloed op het afvoerverloop. Figuur 5.16 laat de berekende afvoer benedenstrooms nabij stuw weir_GA1-12578 zien voor de T10 situatie. Als gevolg van het beekherstel treedt meer inundatie op waardoor er sprake is van een waterbergend effect op de afvoerpiek. De piekafvoer neemt met 0,1 m³/s af en de piek wordt een aantal uur vertraagd. Bij een T100 situatie (figuur 5.17) is hetzelfde effect zichtbaar. Het water wordt geborgen en komt enkele uren later tot afvoer.



Figuur 5.16: berekende afvoer T10 huidig en beekherstel situatie



Figuur 5.17: berekende afvoer T100 huidig en beekherstel situatie

5.5 Berekende effecten beekherstel op grondwater

Bij het scenario beekherstel worden vooral aanpassingen gedaan aan het oppervlaktewatersysteem. Daarnaast worden enkele percelen afgegraven.

De aanpassingen aan het oppervlaktewatersysteem zorgt voor (lokale) veranderingen van het oppervlaktewaterpeil. Deze veranderingen zijn doorgerekend met het oppervlaktewatermodel en de berekende peilen zijn opgenomen in het grondwatermodel.

Daarnaast wordt de ligging van enkele (delen van) waterlopen aangepast (o.a. hermeandering van de Buulder Aa) en/of wordt het profiel aangepast. De nieuwe ligging van de waterlopen en de aanpassing van de profielen is opgenomen in het grondwatermodel.

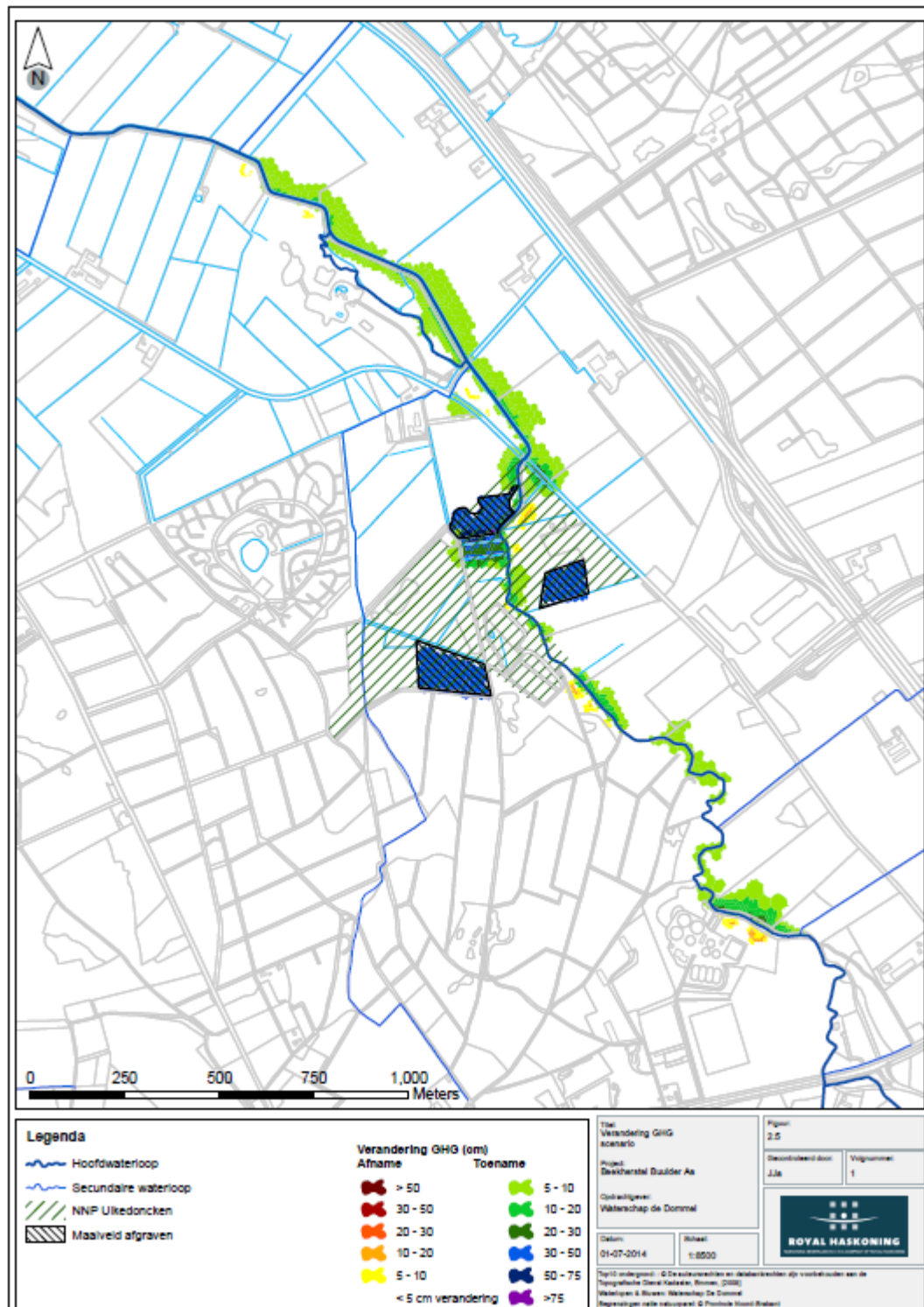
In figuur 5.18 en 5.19 wordt voor het scenario beekherstel de berekende verandering van de GHG en GLG ten opzichte van maaiveld weergegeven. Deze kaarten zijn in groter formaat opgenomen in bijlage V.

De grootste verandering wordt veroorzaakt door het lokaal afgraven van het maaiveld. De verandering van de GVG ten opzichte van maaiveld is hier meer dan 50 cm.

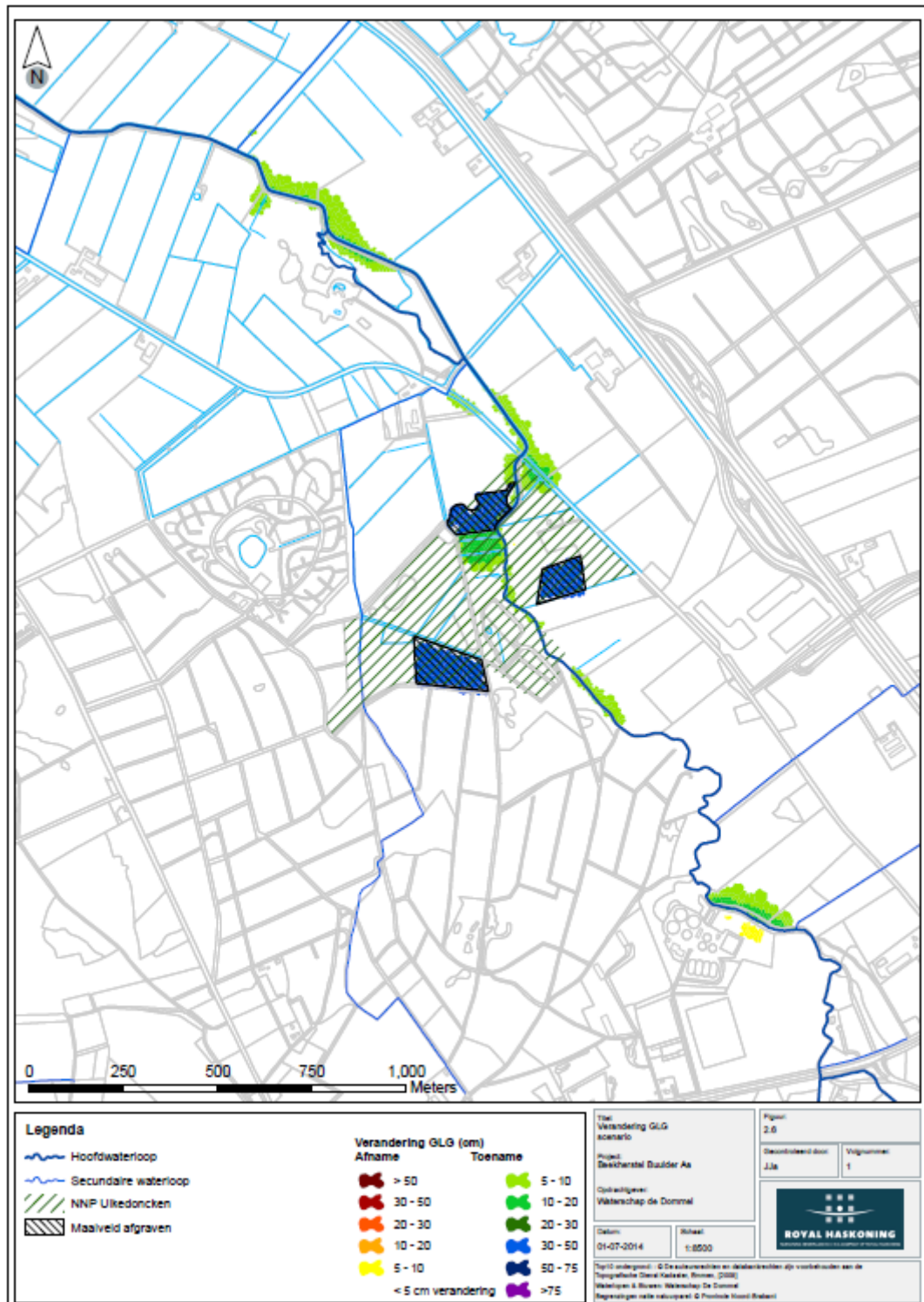
Ter plaatse van de hermeandering is een wisselend effect te zien. Over het algemeen wordt de GVG direct langs de beek wat hoger (5 tot 20 cm). Bij enkele nieuwe meanders die relatief ver van de huidige loop van de beek liggen wordt juist een kleine

verlaging van de GVG berekend (5 tot 20 cm). De verandering van de GVG langs het beekherstel traject reikt tot ongeveer 50 a 90 meter van de beek.

Het dempen van enkele slootjes/greppels in NNP Uikendonken zorgt voor een lokale verhoging van de GVG van ongeveer 30 tot 50 cm.



Figuur 5.18: Berekende verandering van de GHG ten opzichte van maaiveld



Figuur 5.19: Berekende verandering van de GLG ten opzichte van maaiveld

6 CONCLUSIES

6.1 Belangrijkste conclusies oppervlaktewater

- Het definitieve beekherstelontwerp voor de Buulder Aa is tot stand gekomen door een proces van scenarioberekeningen en gesprekken met belanghebbenden.
- Het nieuwe ontwerp van de Buulder Aa voldoet aan de belangrijkste ecologische toetscriteria. De berekende stroomsnelheid in de zomer is vrijwel overal meer dan 0,1-0,15 m/s, de waterdiepte is gemiddeld 0,5 m in de zomer en 0,6 m in de winter en in Ulkedonken wordt ook voldaan aan de gewenste waterstand van minimaal 24,6 m +NAP in de zomer;
- Bij hoogwatersituatie treedt als gevolg van het beekherstel meer inundatie op in elke afvoersituatie. De toename van inundatie vindt echter plaats in het beekdal van de Buulder Aa zodat hier weinig problemen zijn te verwachten.

6.2 Belangrijkste conclusies grondwater

- Actualisatie grondwatermodel:
 - o Het grondwatermodel is geactualiseerd met nieuwe gegevens;
 - o Dit zorgt lokaal voor kleine verschillen in berekende GXG;
 - o Er is een validatie uitgevoerd met nieuwe metingen en het geactualiseerde grondwatermodel voldoet goed (afwijkingen minder dan 25 cm, meestal circa 10 cm).
- Scenario beekherstel:
 - o De maatregelen zorgen voor lokale effecten op de grondwaterstand;
 - o Over het algemeen is er een beperkte verhoging van de GXG langs de beek;
 - o De 5cm contour van grondwaterstandstijging ligt op 50 a 90 m van de beek;
 - o Met het afgraven van de percelen binnen de Natte Natuurparel wordt de gewenste grondwaterstand van circa 30 cm – mv (GVG) gerealiseerd;
 - o Verondiepen van greppels zorgt voor lokaal effect van 30 tot 50 cm.

Er is een monitoringsplan opgesteld voor het objectief monitoren van de voorspelde (uitstralings)effecten op het grond- en oppervlaktewaterregime. Dit monitoringsplan is als bijlage opgenomen bij het projectplan.

7 LITERATUUR

Foto kapt: Joep de Groot fotografie.

HKV (2011 [1]). Overstromingsberekeningen Beheergebied Waterschap De Dommel, oktober 2011.

HKV (2011 [2]). Modelrapport, M2 Rietbeemden en kasteel Heeze, maart 2011.

HKV (2011 [3]). Vergelijken keuze afvoergolven regionale en lokale modellen, april 2011.

HKV (2011 [4]). Wijze van bepalen afvoerstatistiek van aanvoergolven in regionale en lokale modellen, mei 2011.

HKV (2011 [5]). Verwerken klimaateffect in aanvoergolven in regionale en lokale modellen, mei 2011.

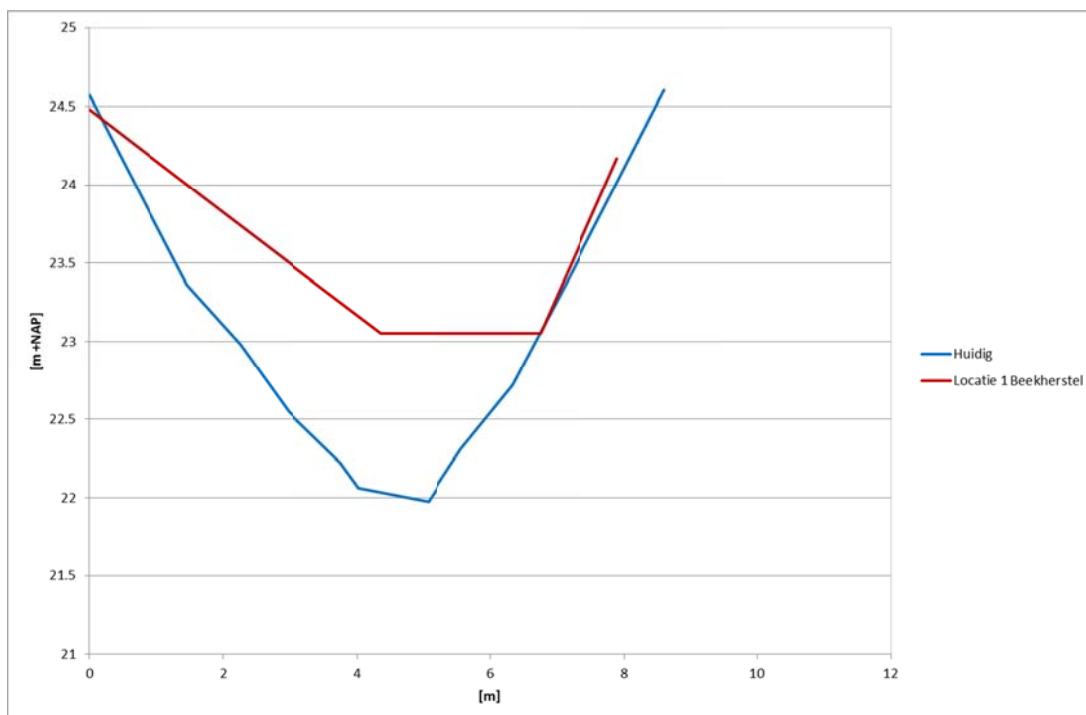
HKV (2011 [6]). Schalen uurgolven regionale en lokale modellen, mei 2011.

HKV (2011 [7]). Verificatie kalibratieresultaten na aanpassing Wageningenmodellen, oktober 2011.

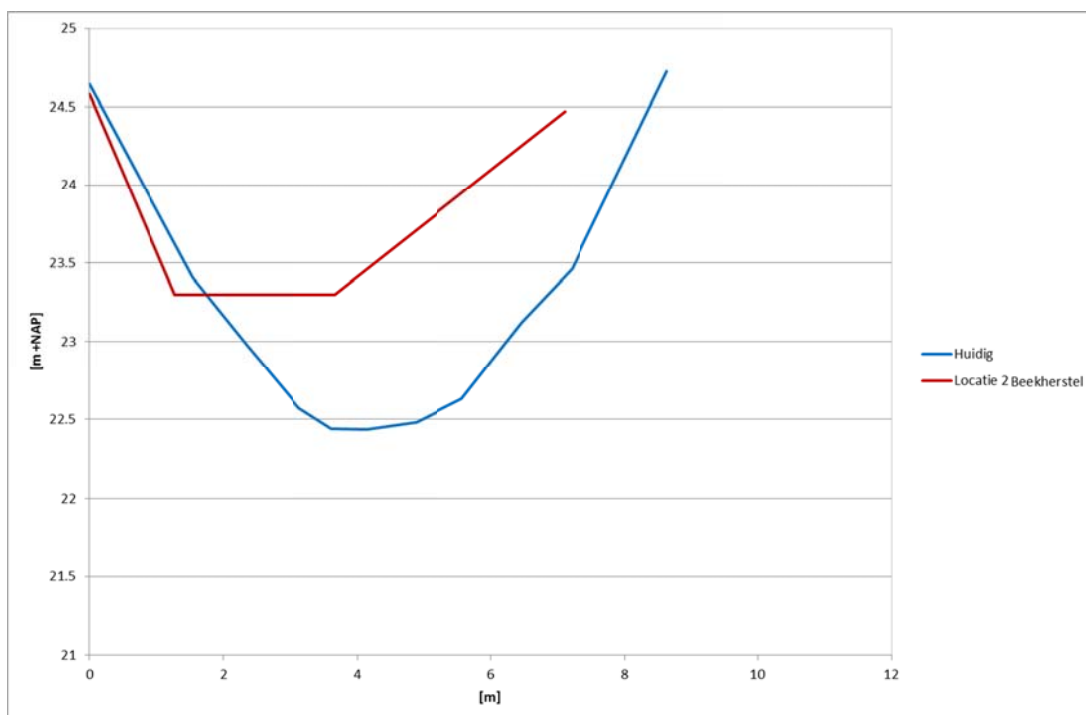
Royal Haskoning (2010). Modelontwikkeling Regionale Waterberging, Definitief rapport, Projectnummer 9T8922, Royal Haskoning, 25 juni 2010.

Royal Haskoning (2011). Grond- en oppervlaktewatermodellering Bulder Aa. Kenmerk: 9V3452/R00002/501329/BW/DenB, mei 2011.

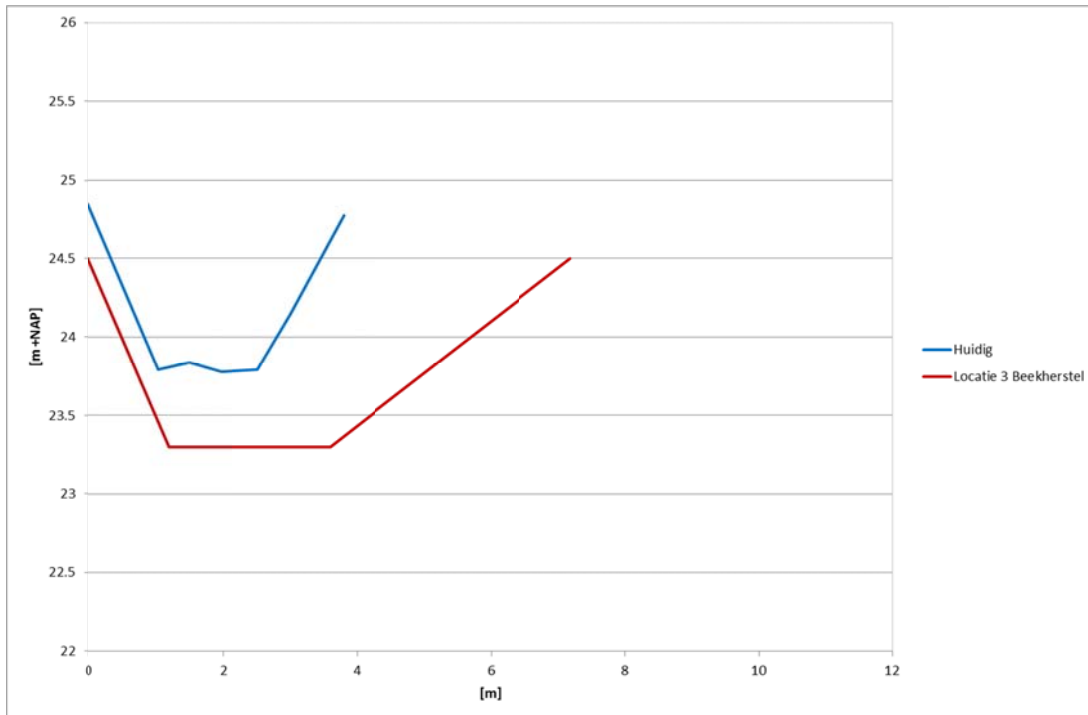
Bijlage I Profielen



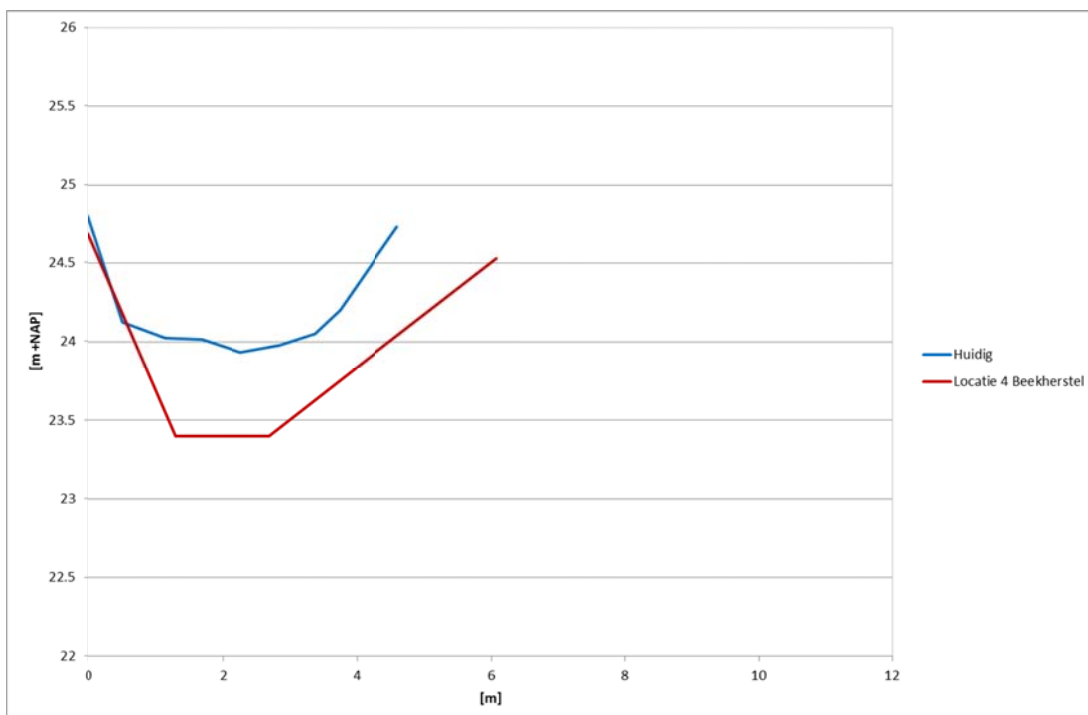
Figuur I-1: profielen locatie 1



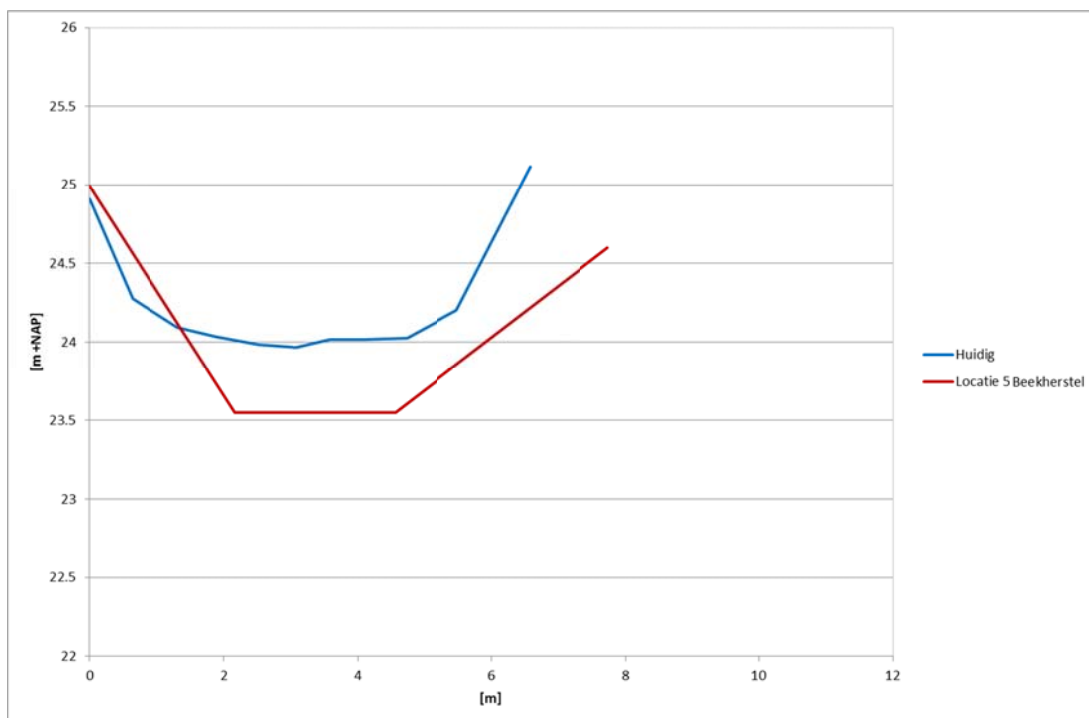
Figuur I-2: profielen locatie 2



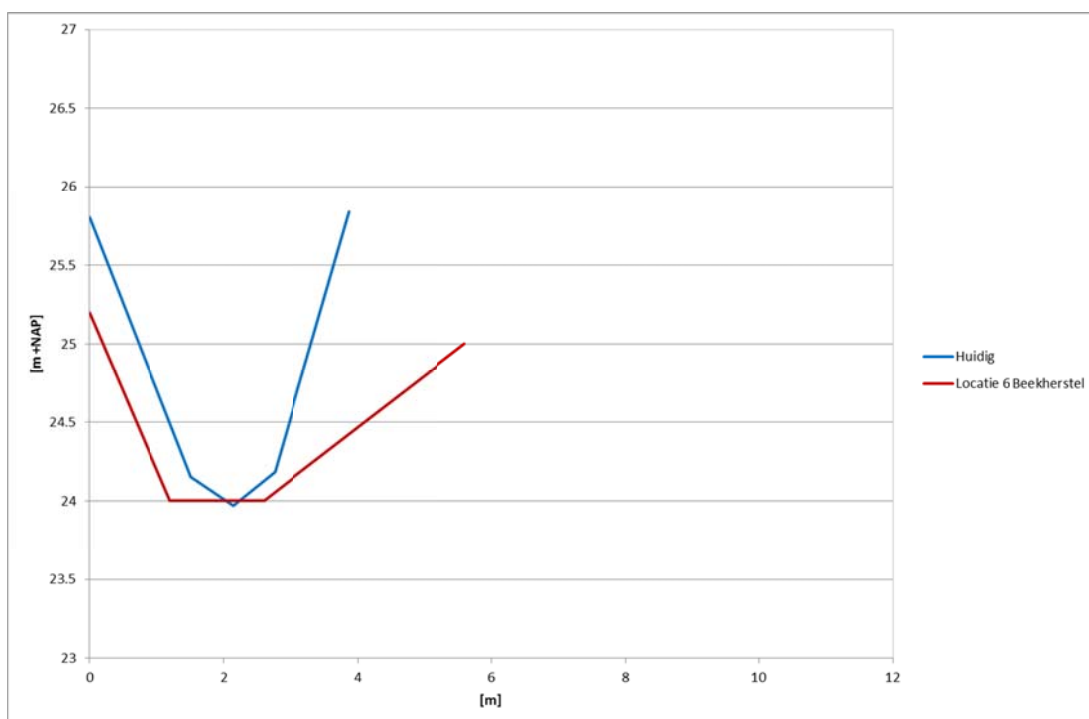
Figuur I-3: profielen locatie 3



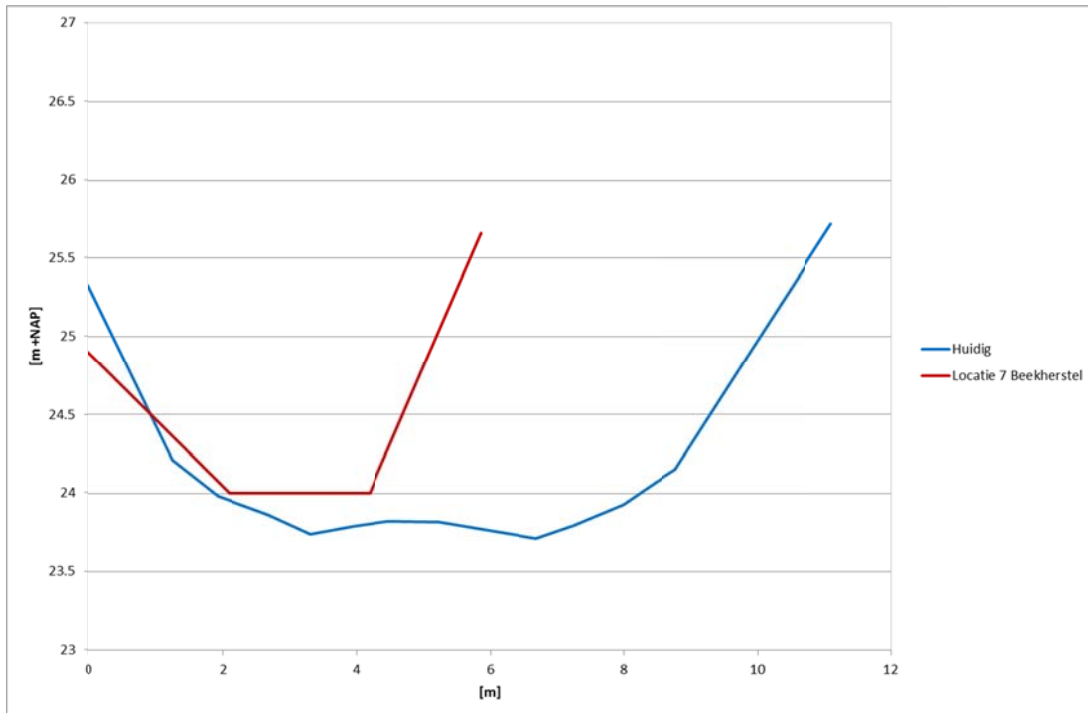
Figuur I-4: profielen locatie 4



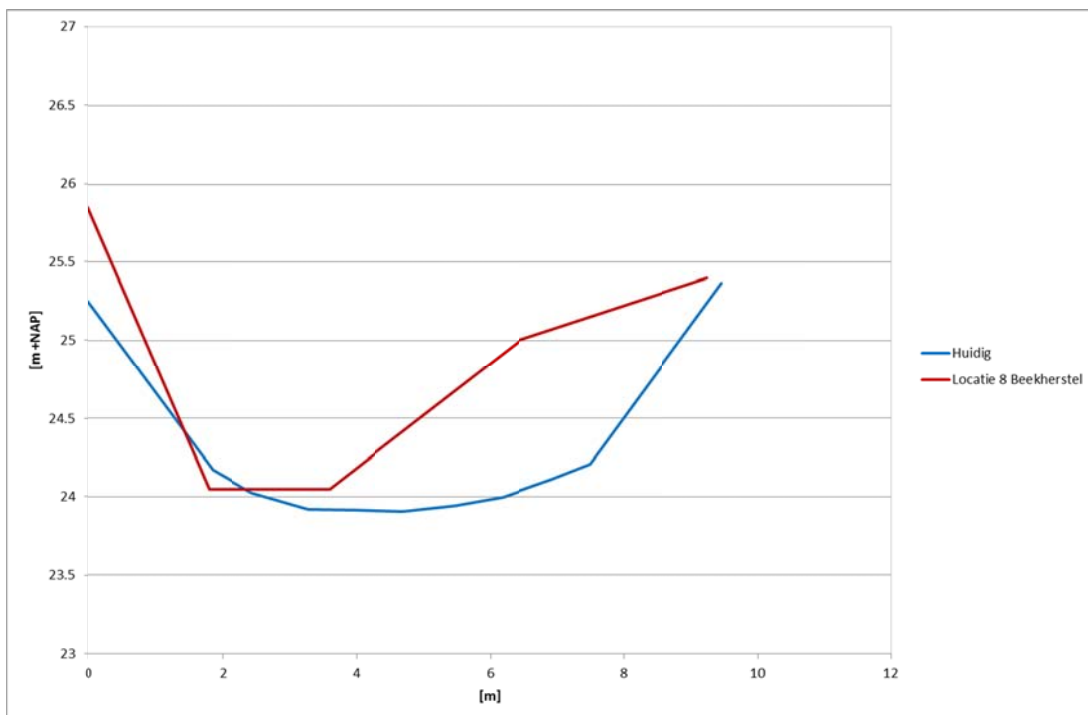
Figuur I-5: profielen locatie 5



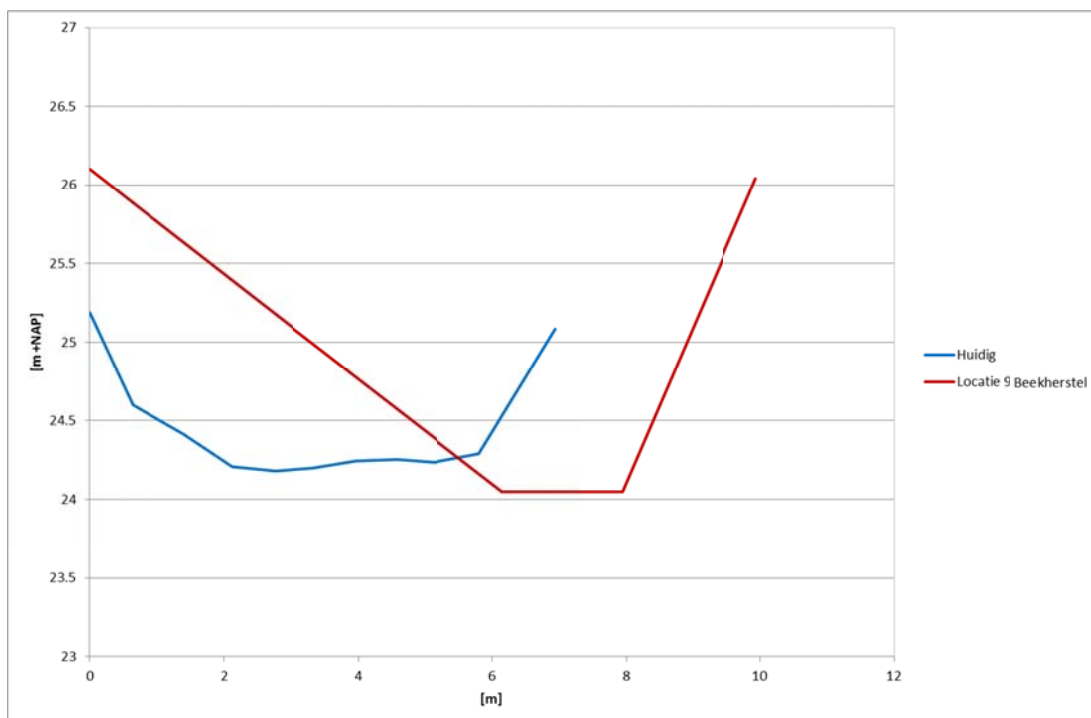
Figuur I-6: profielen locatie 6



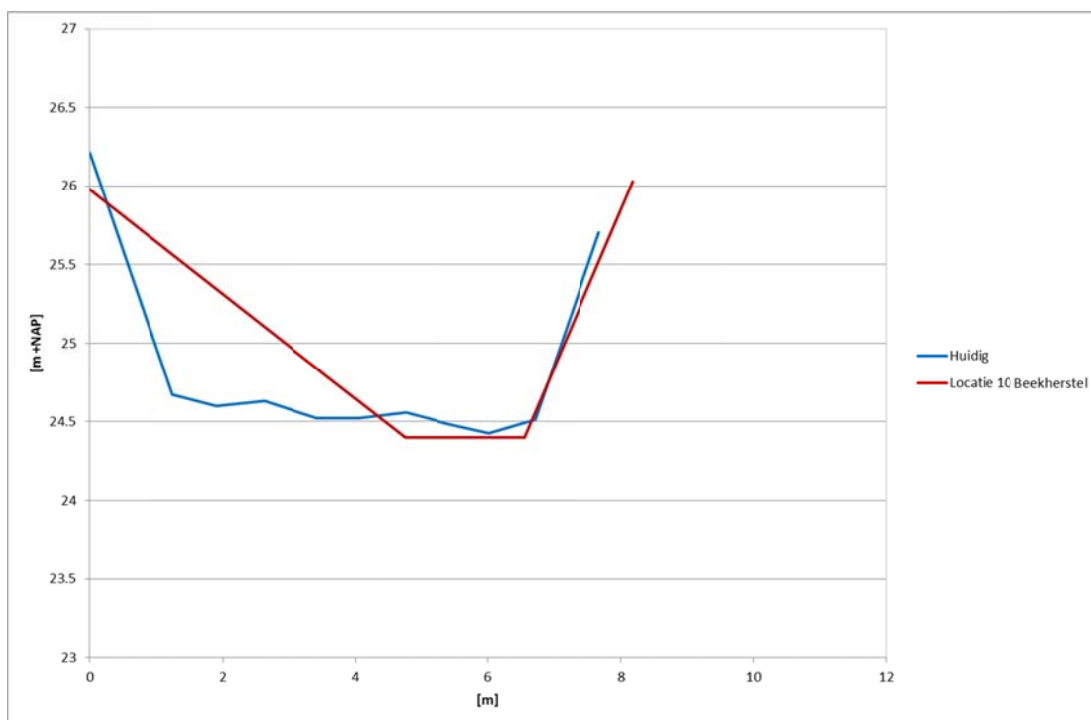
Figuur I-7: profielen locatie 7



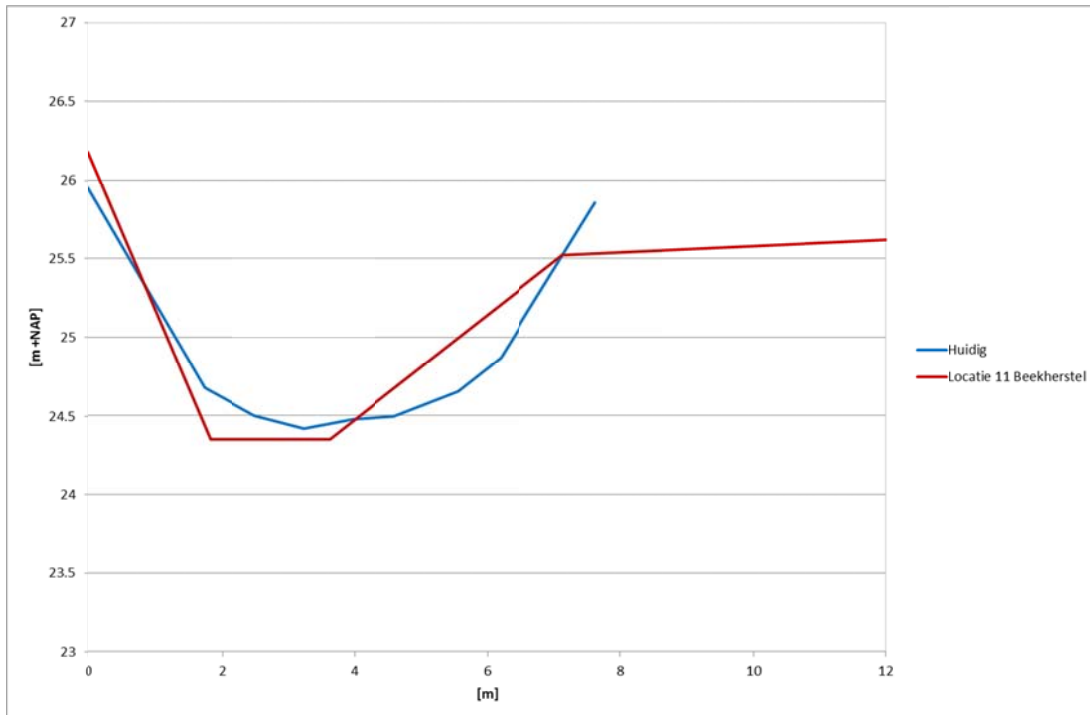
Figuur I-8: profielen locatie 8



Figuur I-9: profielen locatie 9

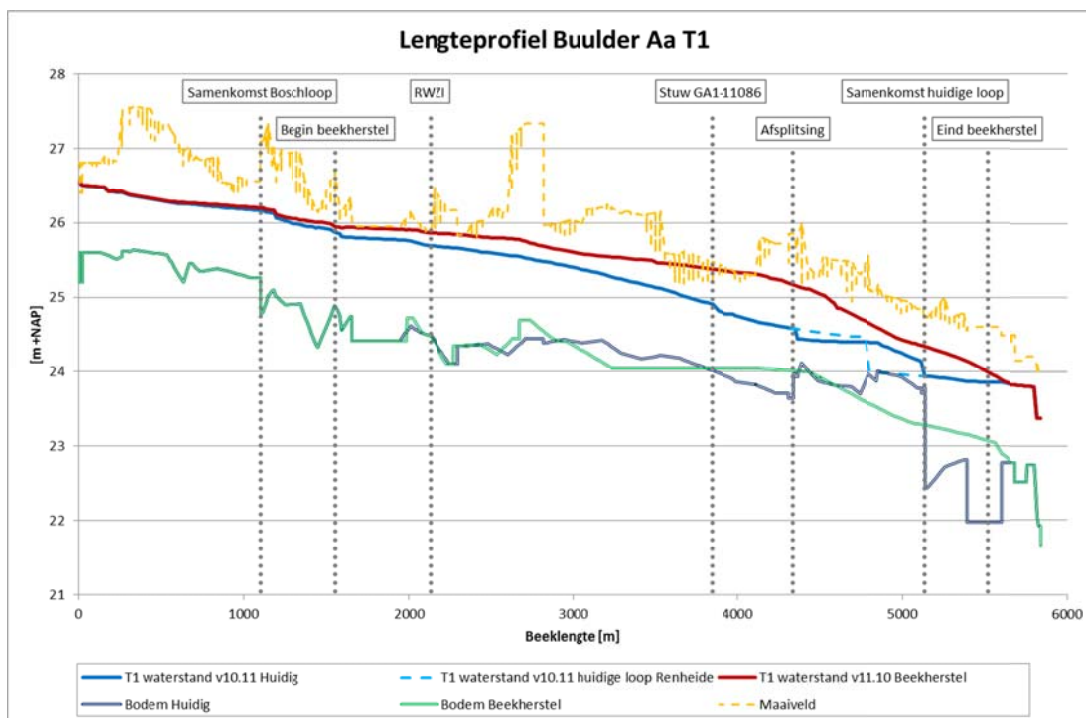


Figuur I-10: profielen locatie 10

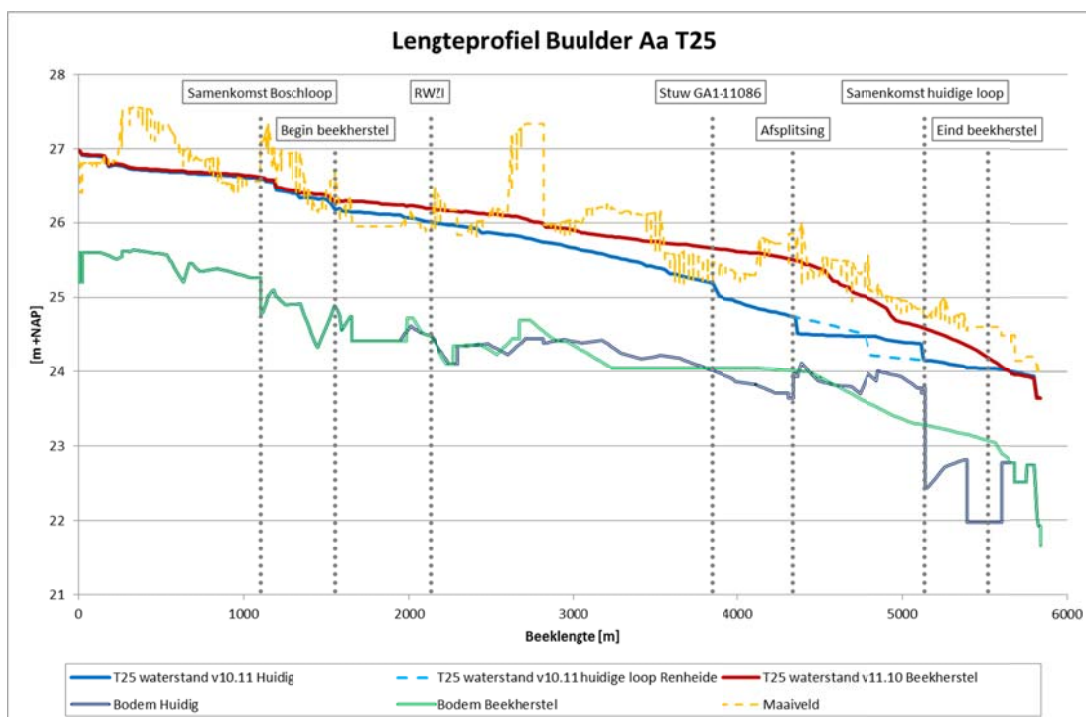


Figuur I-11: profielen locatie11

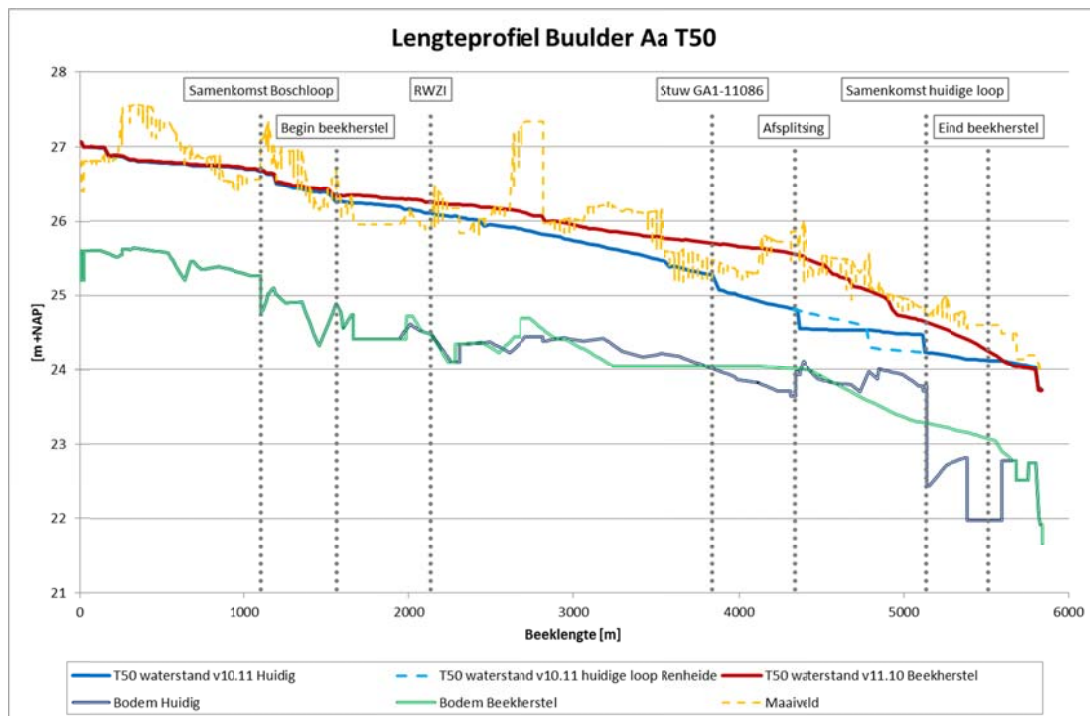
Bijlage II
Lengteprofielen berekende maximale waterstanden T1,
T25 en T50



Figuur II-1: lengteprofiel met berekende maximale waterstanden Bulder Aa voor huidige en toekomstige situatie bij T1 afvoer



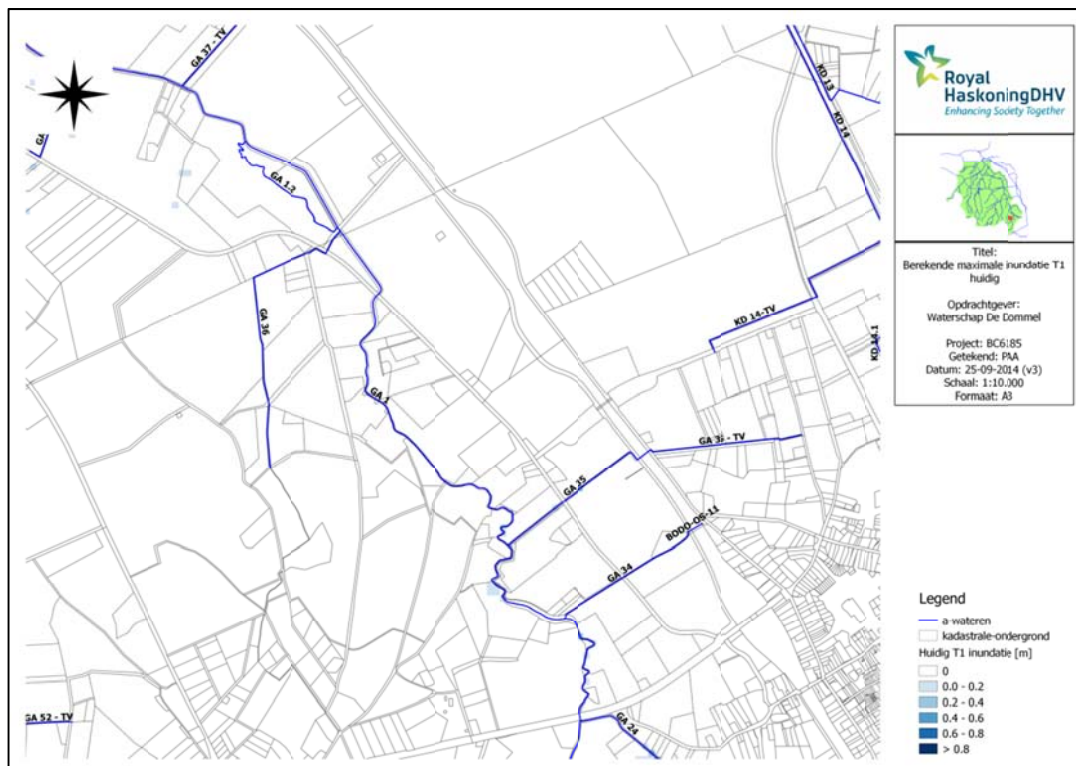
Figuur II-2: lengteprofiel met berekende maximale waterstanden Bulder Aa voor huidige en toekomstige situatie bij T25 afvoer



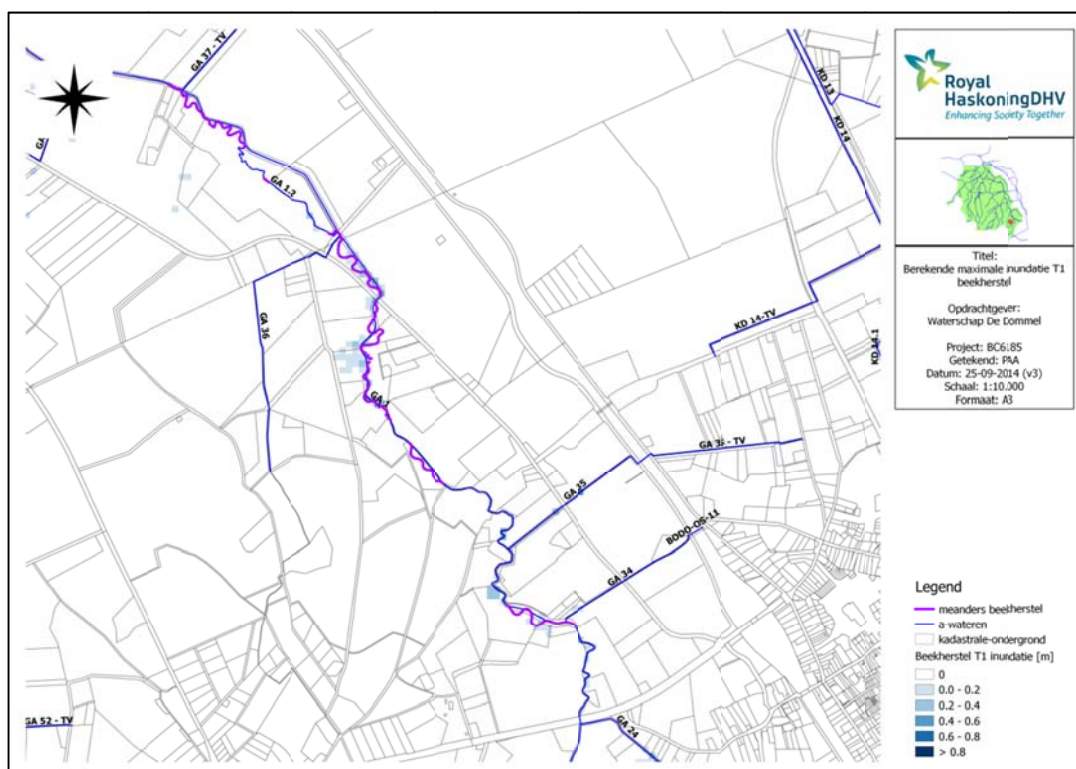
Figuur II-3: lengteprofiel met berekende maximale waterstanden Buulder Aa voor huidige en toekomstige situatie bij T50 afvoer

Bijlage III

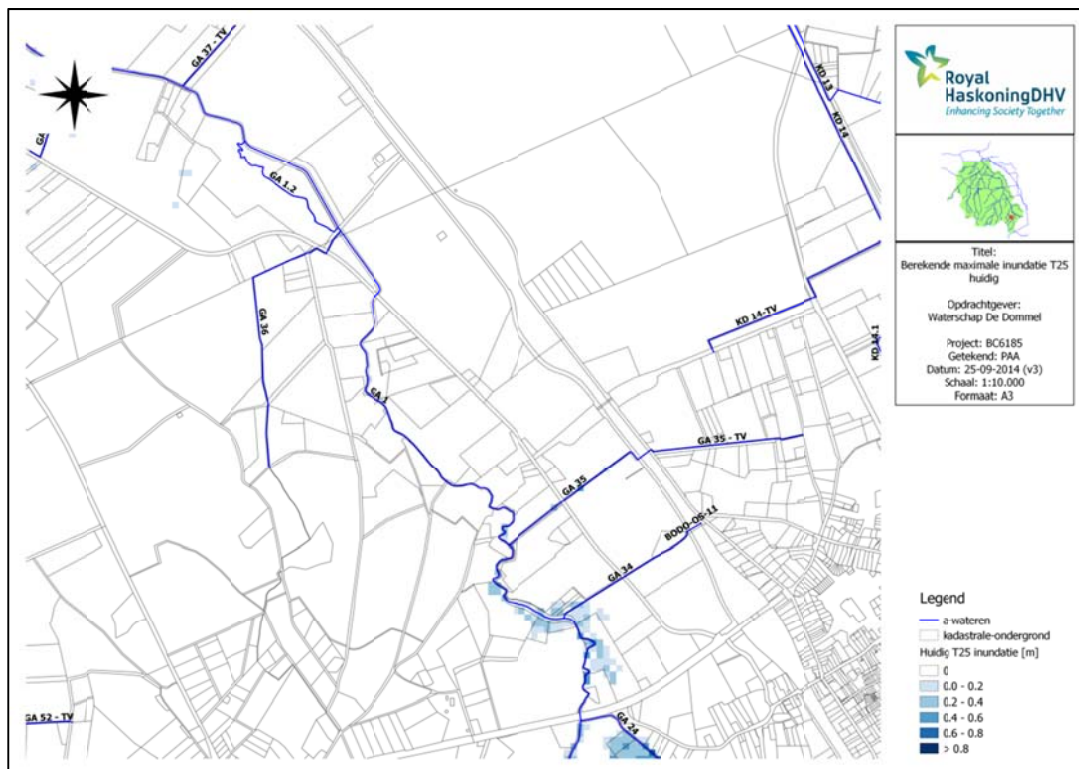
Berekende maximale inundatie T1, T25 en T50



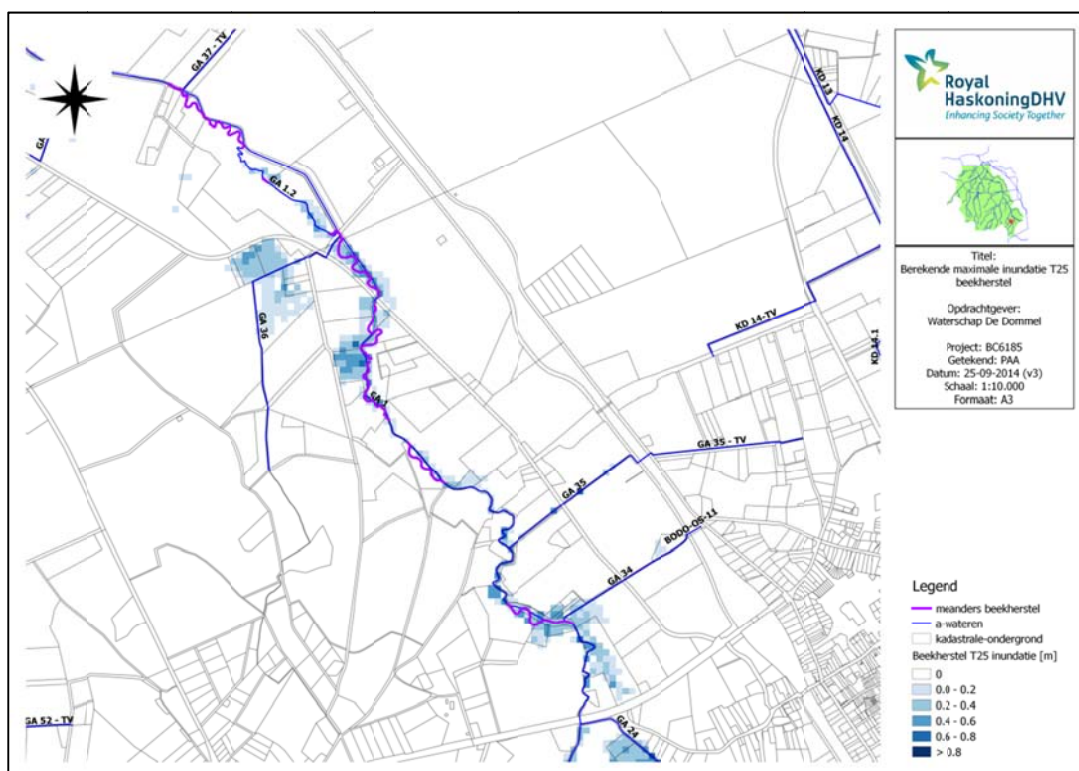
Figuur III-1: berekende inundatie huidig T1



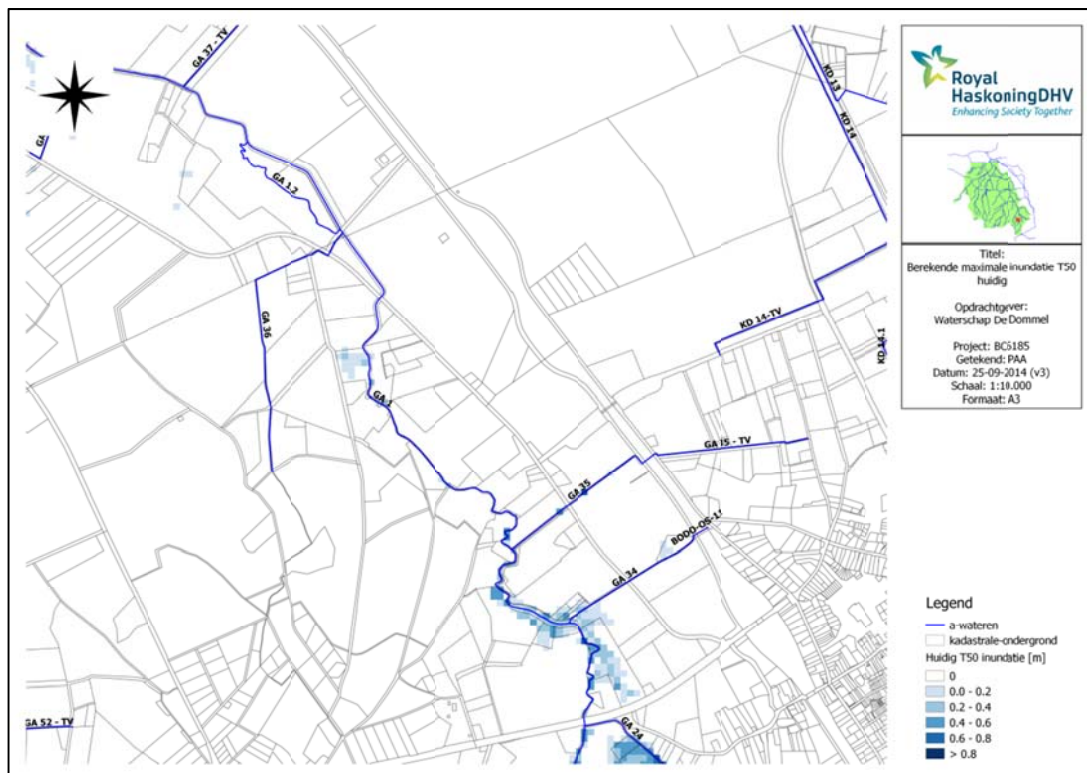
Figuur III-2: berekende inundatie beekherstel T1



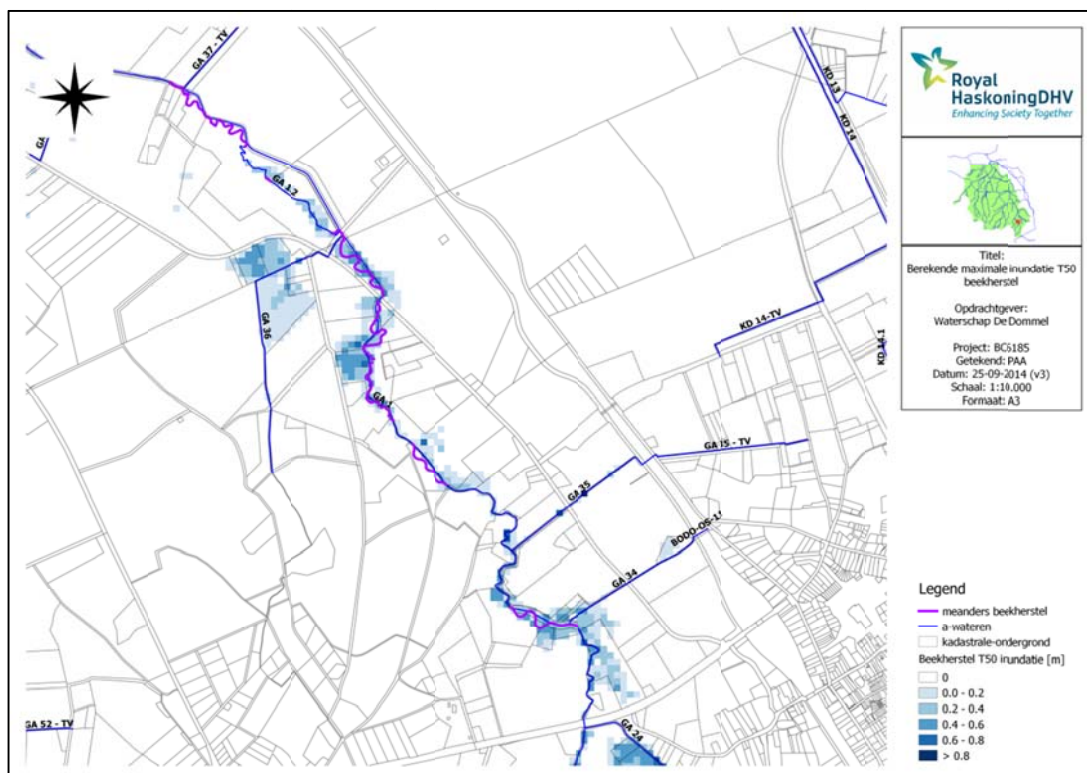
Figuur III-3: berekende inundatie huidig T25



Figuur III-4: berekende inundatie beekherstel T25



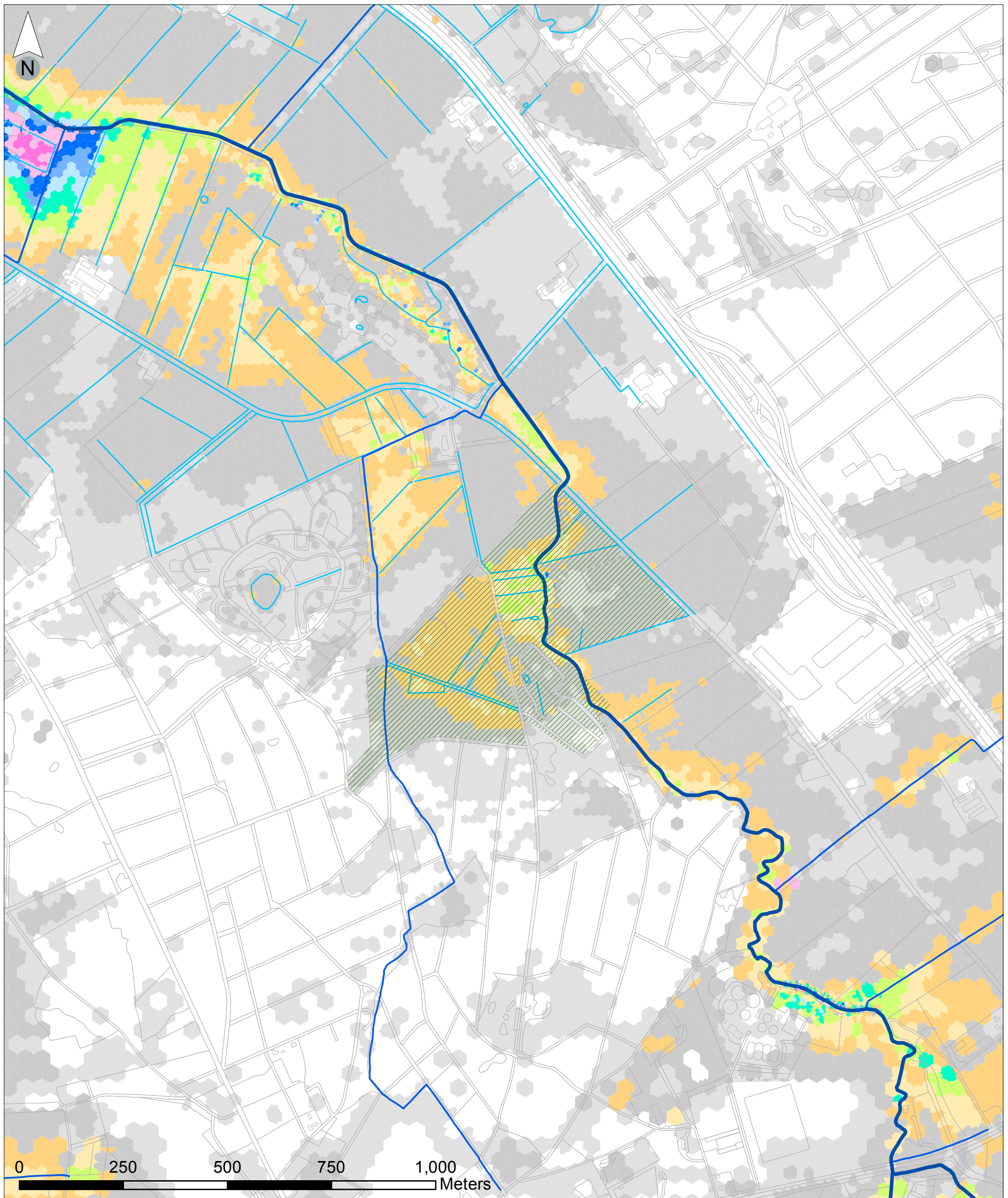
Figuur III-5: berekende inundatie huidig T50



Figuur III-6: berekende inundatie beekherstel T50

Bijlage IV

Berekende GVG, GHG en GLG huidige situatie



Legenda

-  Hoofdwaterloop
 Secundaire
 NNP Ulkedoncken

Berekende GLG (cm-mv)

- | | | | |
|---|---------------------|---|-----------|
|  | > 10 cm op maaiveld |  | 40 - 60 |
|  | < 10 cm op maaiveld |  | 60 - 80 |
|  | 1 - 10 |  | 80 - 100 |
|  | 10 - 20 |  | 100 - 150 |
|  | 20 - 30 |  | 150 - 200 |
|  | 30 - 40 | | > 200 |

Titel:
Berekende GLG
Huidige situatie 2014

Project:
Beekherstel Buulder Aa

Opdrachtgever:
Waterschap de Dommel

Datum:
07-07-2014

Schaal:
1:8500

Figuur:
1.3

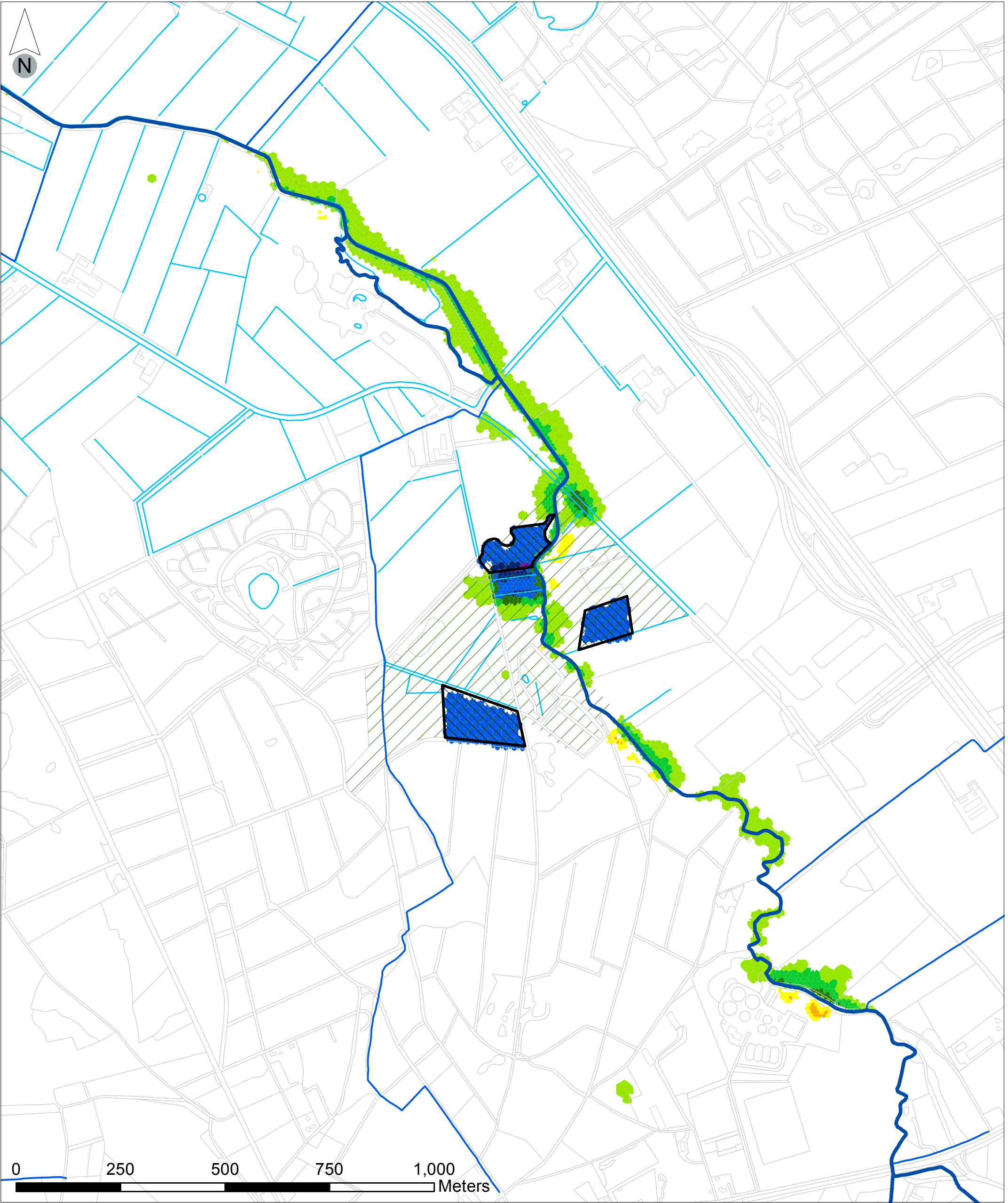
Gecontroleerd door:
JJa

Volgnummer:
1



Top10 ondergrond : © De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de
Topografische Dienst Kadaster, Emmen, [2009]
Waterlopen & Stuwen: Waterschap De Dommel
Begrenzinger natte natuurple: © Provincie Noord-Brabant

Bijlage V
Berekende verandering GVG, GHG en GLG (scenario)



Legenda

- Hoofdwaterloop
- Secundaire waterloop
- NNP Ulkedoncken
- Maaiveld afgraven

Verandering GVG (cm)

Afname	Toename
> 50	5 - 10
30 - 50	10 - 20
20 - 30	20 - 30
10 - 20	30 - 50
5 - 10	50 - 75
< 5 cm verandering	>75

Titel:
Verandering GVG
scenario

Project:
Beekherstel Bulder Aa

Opdrachtgever:
Waterschap de Dommel

Datum:
01-07-2014

Schaal:
1:8500

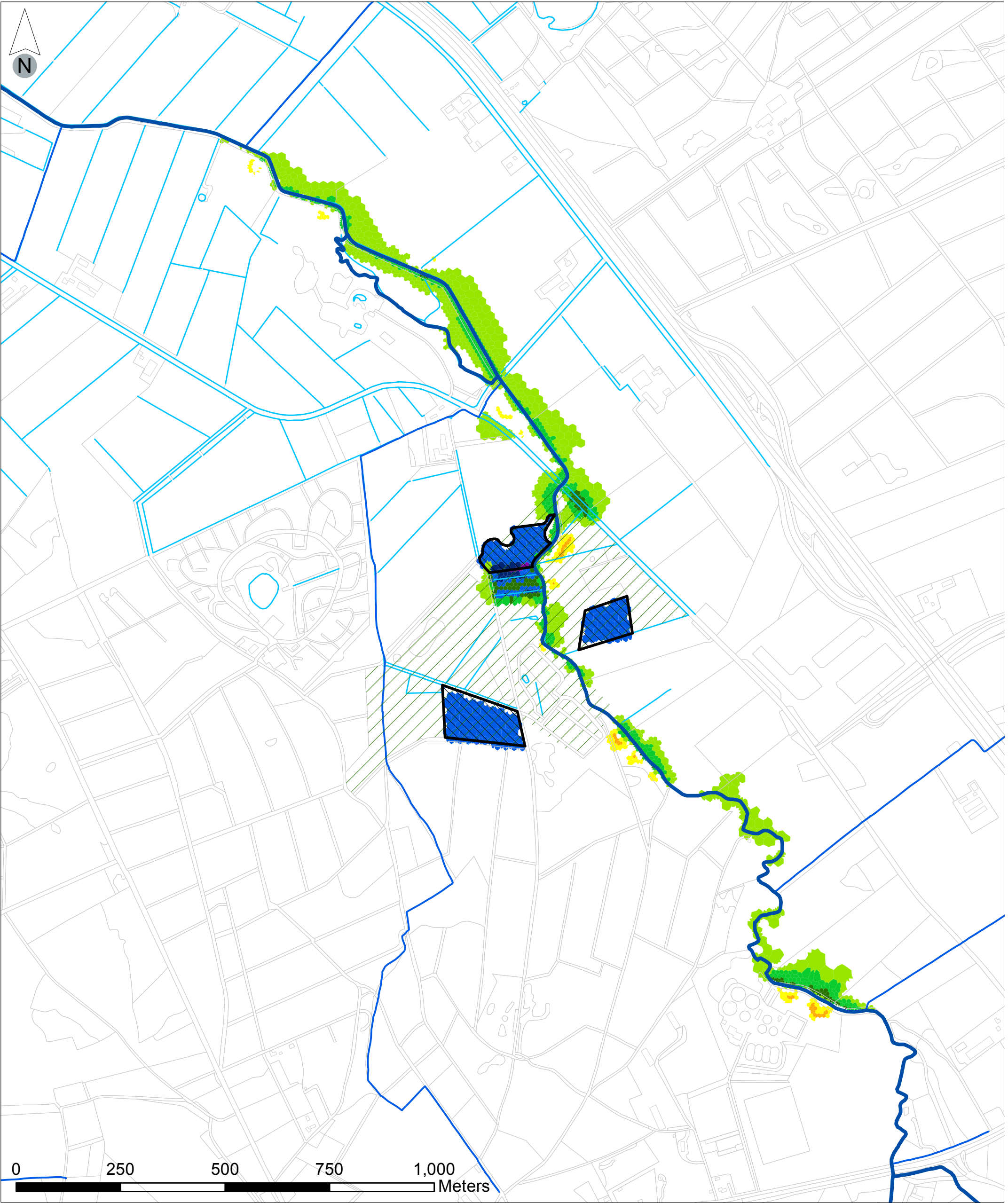
Top10 ondergrond: : © De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de
Topografische Dienst Kadaster, Emmen, [2009]
Waterlopen & Stuwten: Waterschap De Dommel
Begrenzungen natte natuurple: © Provincie Noord-Brabant

Figuur:
2.4

Gecontroleerd door:
JJJa

Volgnummer:
1





Legenda

- Hoofdwaterloop
- Secundaire waterloop
- NNP Ulkedoncken
- Maaiveld afgraven

Verandering GHG (cm)

Afname	Toename
> 50	5 - 10
30 - 50	10 - 20
20 - 30	20 - 30
10 - 20	30 - 50
5 - 10	50 - 75
< 5 cm verandering	>75

Titel:
Verandering GHG
scenario

Project:
Beekherstel Bulder Aa

Opdrachtgever:
Waterschap de Dommel

Datum:
01-07-2014

Schaal:
1:8500

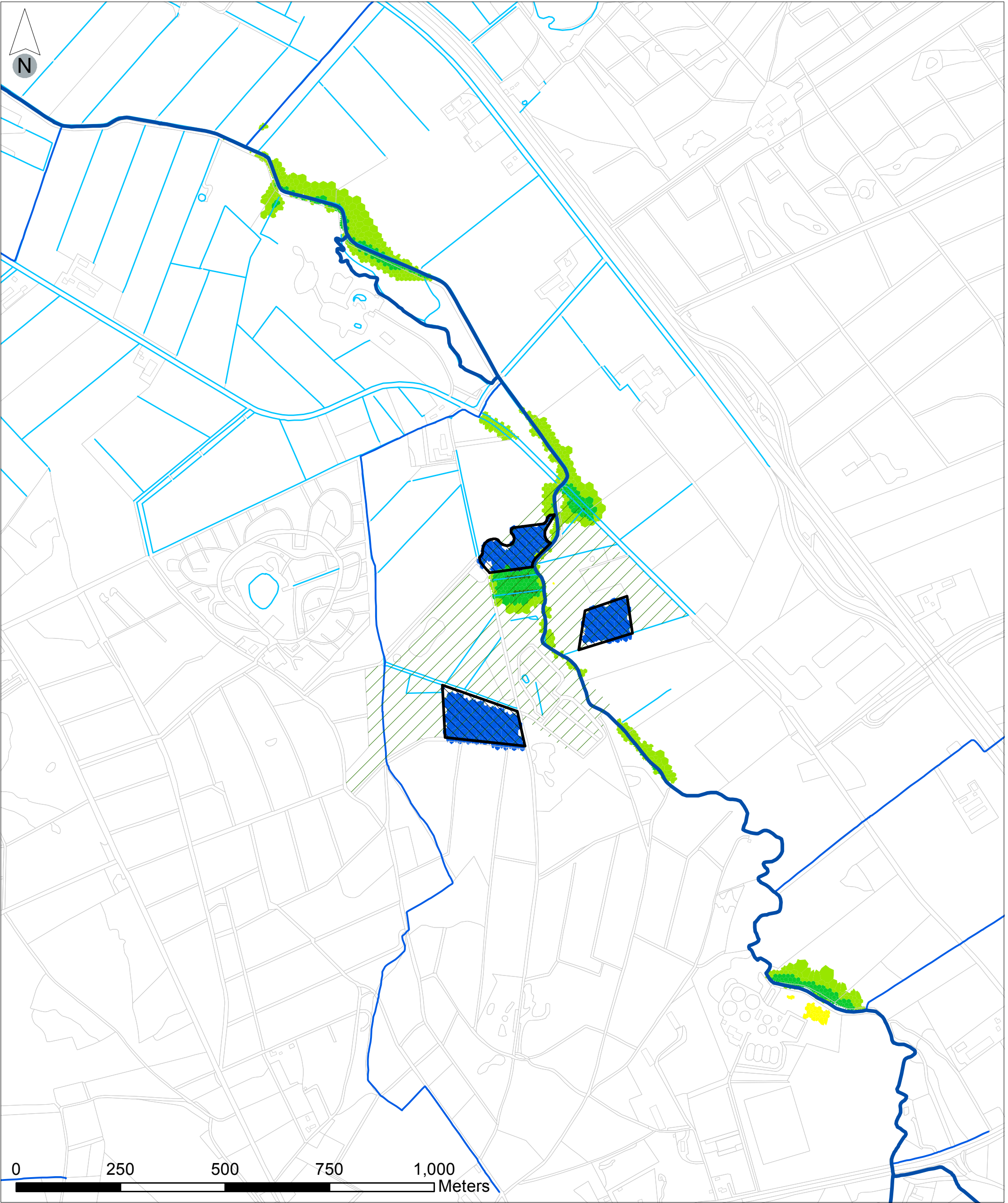
Top10 ondergrond: : © De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de
Topografische Dienst Kadaster, Emmen, [2009]
Waterlopen & Stuwten: Waterschap De Dommel
Begrenzungen natte natuurple: © Provincie Noord-Brabant

Figuur:
2.5

Gecontroleerd door:
JJJa

Volgnummer:
1





Legenda

- Hoofdwaterloop
- Secundaire waterloop
- NNP Ulkedoncken
- Maaiveld afgraven

Verandering GLG (cm)

Afname	Toename
> 50	5 - 10
30 - 50	10 - 20
20 - 30	20 - 30
10 - 20	30 - 50
5 - 10	50 - 75
< 5 cm verandering	>75

Titel:
Verandering GLG
scenario

Project:
Beekherstel Bulder Aa

Opdrachtgever:
Waterschap de Dommel

Datum:
01-07-2014

Schaal:
1:8500

Top10 ondergrond: : © De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de
Topografische Dienst Kadaster, Emmen, [2009]
Waterlopen & Stuwen: Waterschap De Dommel
Begrenzings natte natuurple: © Provincie Noord-Brabant

Figuur:
2.6

Gecontroleerd door:
JJJa

Volgnummer:
1

