

Hydraulisch onderzoek Tongelreep – Achtereind

1. Aanleiding

Waterschap De dommel is voornemens om beekherstel uit te voeren aan de Tongelreep te achtereind. Hiervoor is er een hydraulisch onderzoek en modelstudie uitgevoerd wat in dit rapport behandeld zal worden.

1.1 Doel van rapportage

Deze rapportage beschrijft de modellering van de Tongelreep en de stappen die doorlopen zijn om te komen tot een ontwerp van de Tongelreep dat voldoet aan de ecologische doelstellingen. Hierbij worden effecten van maatregelen op waterstanden, afvoeren en stroomsnelheden in beeld gebracht. De wijzigingen worden ten opzichte van de huidige situatie in beeld gebracht. Als randvoorwaarde is ervoor gekozen om de bosmeander te laten functioneren als hoofdwatgang. Het water wordt middels een vaste drempel de bosmeander ingestuurd. Het huidig deel van de Tongelreep, gelegen achter de drempel, gaat functioneren als bypass. Daarnaast is het wenselijk dat de bypass niet passeerbaar wordt t.g.v. aanzanding.

2. Modellering huidige situatie (stationair)

2.1 Inleiding

Om de effecten van de ontwerpprofielen van de Tongelreep in beeld te brengen wordt gebruik gemaakt van een hydraulisch model. Dit model is gebaseerd op het HMI van Waterschap De Dommel (het Hydrologisch Modelinstrumentarium). Het HMI bestaat uit afspraken over de modelopbouw en de verschillende afvoersituaties die doorgerekend moeten worden. In het model is de huidige situatie geschematiseerd, waarna voor de vier seizoenen (stationair) de waterstanden, afvoeren en stroomsnelheden zijn berekend. Naast de stationaire afvoeren zijn ook een vijftal afvoergolven doorgerekend met herhalings tijden van 1 keer per jaar, 1 keer per 10, 25, 50 en 100 jaar.

Dit hoofdstuk beschrijft randen van het model (paragraaf 2.2), de kalibratie van het model en de modelresultaten voor de huidige situatie.

2.2. Modelopbouw

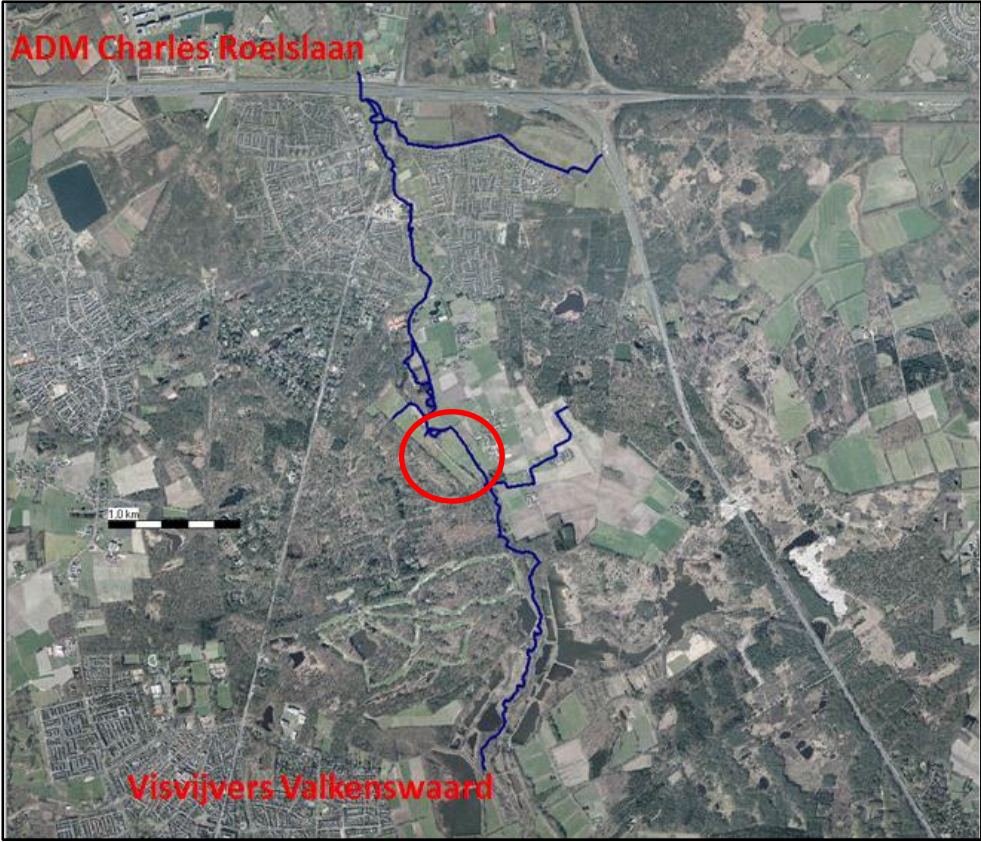
Het modelgebied (figuur 1) omvat de Tongelreep vanaf de visvijvers Valkenswaard en loopt door tot Charles Roelslaan Eindhoven. Het interessegebied is omcirkeld.

Het model bevat 2 modelranden:

1. Bovenrand Tongelreep ter hoogte van de visvijvers in Valkenswaard
2. Benedenrand ter hoogte van Charles Roelslaan (meetlocatie 0091 ADM Tongelreep)

Op de Bovenrand (rand 1) zijn per seizoen verschillende debieten opgelegd. Deze zijn onderstaand beschreven. De benedenrand bevat een vaste waterstand per seizoen welke per seizoen is afgeleid uit de gemeten waterstand bij TMX locatie 0091 ADM Charles Roelslaan. Deze benedenrand ligt ver genoeg van het projectgebied om geen invloed te hebben op de waterstanden in het projectgebied.

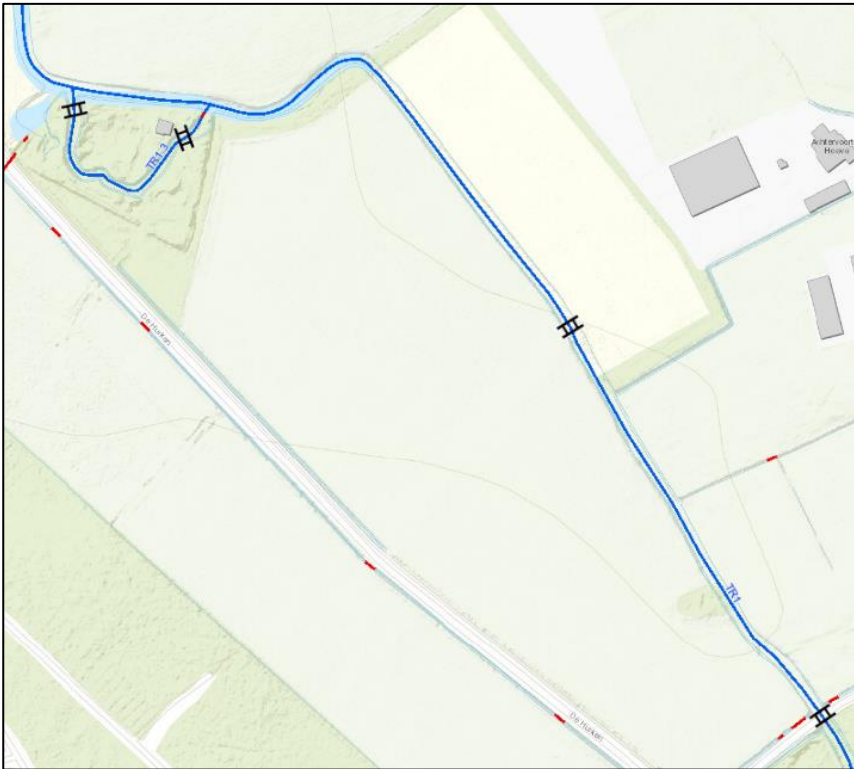
In het model zijn de meest recent ingemeten dwarsprofielen gebruikt. Hierin zijn de beekherstel projecten uit de afgelopen jaren ook verwerkt.



Figuur 1: modelgebied

2.3 Kunstwerken

In figuur 2 zijn de belangrijkste kunstwerken in het plangebied weergegeven.



Figuur 2: aanwezige kunstwerken in plangebied

In het plangebied zitten momenteel 4 bruggen en 1 duiker deze staan hieronder benoemd beginnend bovenstrooms:

Bruggen (ID; Naam)

- TR1 - KBR10; brug Achtereindseweg
- TR1 – KBR11; brug Brabants Landschap
- TR1 –KBR1; bosmeander 1
- TR1 –KBR2; bosmeander 2

Duiker (ID; Naam)

- TR1 – KDU1; duiker instroom bosmeander

Verder zijn er geen stuwten of andere kunstwerken in dit traject aanwezig die invloed kunnen hebben op de waterstanden.

2.4 Afleiding stationaire situaties

De stationaire afvoer per seizoen is gedefinieerd als de gemiddelde afvoer per seizoen. Deze is afgeleid uit resultaten van de stationaire berekeningen uit het M16bl_v4 SOBEK model. Voor dit model is gebruik gemaakt van gemiddelden waarden van de aanwezige meetpunten. In **tabel 1** zijn de gebruikte stationaire afvoeren weergegeven.

Tabel 1: Bovenstroomse randvoorwaarden stationaire afvoeren per seizoen

Seizoen	Maanden	Debiet (m3/s)
Qv - Voorjaar	maart – mei	1,02
Qz - Zomer	juni- augustus	0,64
Qn - Najaar	september - november	0,81
Qw - Winter	december - februari	1,39

2.6 Randvoorwaarden laterale stromingen

Voor de zijwatergangen en de afwatering direct op de beek wordt gebruikt gemaakt van laterale nodes . Hiervoor zijn de laterale afvoeren gebruikt uit het model M16bl_v4. Deze zijn bepaald aan de hand van specifieke afvoerfactoren (l/s/ha) en de oppervlaktes van de door de waterlopen ontwaterende gebieden.

3 Kalibratie

Stationair

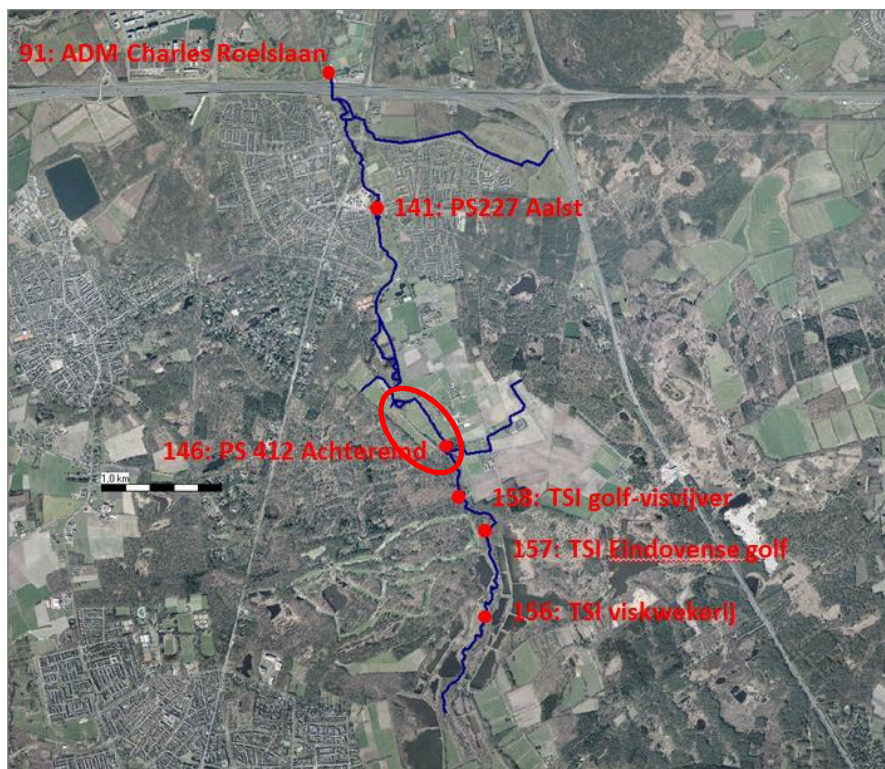
3.1 Aanpak

Het model van de huidige situatie is in eerste instantie gekalibreerd voor de stationaire afvoeren. De kalibratie is uitgevoerd op basis van gemeten waterstanden. Voor deze kalibratie zijn onderstaande TMX waterstandmeetpunten in de Tongelreep gebruikt, tabel 2.

Tabel 1: Meetlocaties gebruikt voor kalibratie

TMX nr	Omschrijving
156	TSI viskwekerij
157	TSI Eindhovense golf
158	TSI golf-visvijvers
146	PS 412 achtereind
147	PS 227 Aalst

Locatie 146, meetpunt PS412 ligt direct bovenstrooms van het projectgebied. Daarom is bij de kalibratie de meeste aandacht uit gegaan naar dit meetpunt en is bij de aanpassingen van de weerstand ook met name naar het interesse gebied gekeken. In figuur 3 is de ligging van de meetlocaties weergegeven en het interesse gebied (plangebied) omcirkeld.



Figuur 3: Ligging meetlocaties.

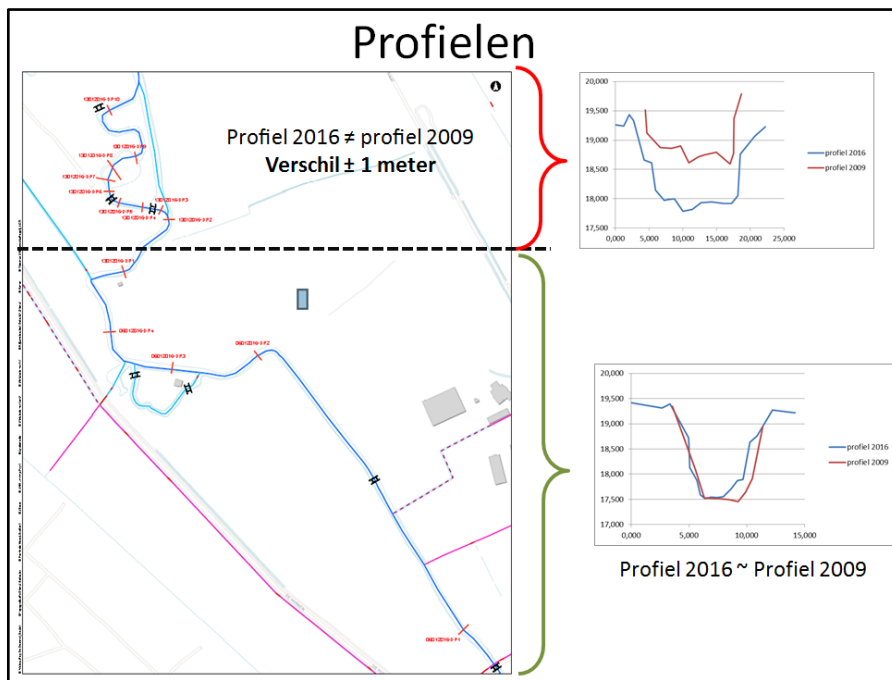
Per seizoen zijn vervolgens de waterstanden verkregen uit het model vergeleken met de waterstanden gemeten op de verschillende locaties waarbij gekeken is naar perioden in de meetreeks met een gelijk debiet als in het model gebruikte gemiddelde debiet.

3.2 Resultaten

Na een analyse van de eerste resultaten is er twijfel ontstaan over de juistheid van de profielen gelegen benedenstrooms het projectgebied (meander De Hurken). Daartoe is besloten om de profielen in het traject weergegeven in figuur 4 opnieuw in te meten.

Uit deze metingen is gebleken dat de profielen die gemeten zijn in 2009 ongeveer +1mNAP te hoog ingemeten zijn. De nieuwe in gemeten profielen laten ook een reëler verhang zien.

In figuur 4 is het verschil weergegeven tussen het profiel uit 2009 en het nieuwe 2016 ingemeten profiel. De profielen gemeten in 2016 zijn opgenomen in de modellering.



Figuur 4: Opnieuw gemeten profielen en verschil meting 2009 en 2016.

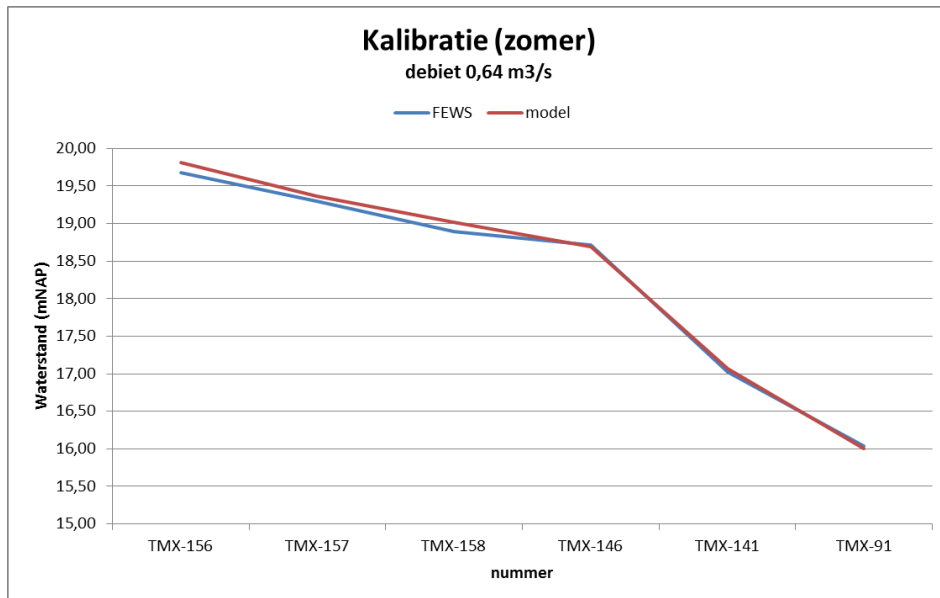
Uit een nieuwe kalibratie bleek dat met name in de zomer situatie een groot verschil in waterstand aanwezig was tussen gemeten en berekend in het model. Daarom is de ruwheid in de zomer op het traject verhoogd van Strickler 25 naar Strickler 10. Ook voor het najaar is de ruwheid verhoogd van Strickler 25 naar Strickler 15. In de zomer is de beek ter plaatse van het interesse gebied vrijwel geheel dichtgegroeid. De beek is hier namelijk niet beschaduwd. Bovendien wordt de beek hier niet gemaaid. Dit is gebleken uit het overleg met de gebiedsbeheerder. Met deze aanpassingen voldeed de kalibratie.

In tabel 3 zijn de verschillen per seizoen weergegeven tussen de gemeten waterstanden en de berekende waterstand uit de modellering.

Tabel 32: verschil in waterpeil tussen gemeten en gemodelleerd (m).

TMX	gemeten – gemodelleerd (m)			
	Voorjaar	zomer	Najaar	Winter
156	0,07	-0,14	0,18	0,45
157	0,18	-0,06	0,24	0,47
158	0,00	-0,12	0,13	0,29
146	0,12	0,01	0,33	0,20
141	-0,10	-0,04	-0,09	0,03

Ter illustratie is in onderstaande figuur 5 het gemeten waterpeil en het gemodelleerde waterpeil per meetpunt weergegeven voor de zomersituatie. De grotere afwijkingen tussen gemeten en gemodelleerd in de herfst en winter zijn geen probleem aangezien in de modellering uiteindelijk gekeken wordt naar de verschillen tussen de oude en nieuwe situatie.

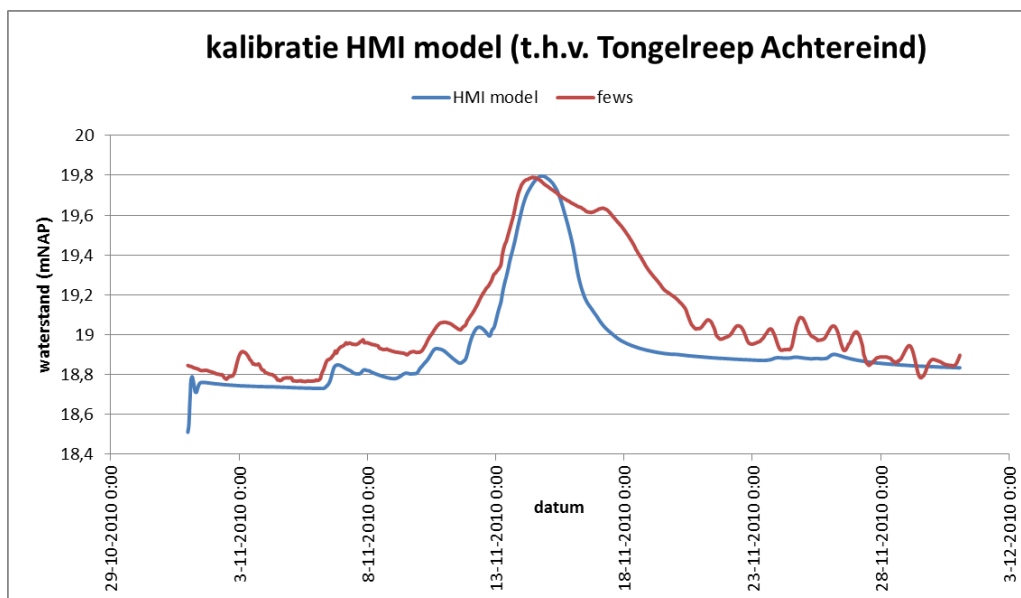


Figuur 5: Verschil per meetlocatie tussen gemeten waarden en berekende waarde.

Dynamisch

Voor het doorrekenen van de dynamische situaties is gebruik gemaakt van het HMI model (3108_Ebov). Dit model is in het project van de watersysteemtoets gekalibreerd en is bedoeld om het effect van overstromingen in beeld te brengen.

In figuur 6 zijn de modelresultaten vergeleken met werkelijk gemeten waterstand (TMX locatie 146 – brug Achtereindseweg).



Figuur 6: Kalibratie HMI Model ter hoogte van Tongelreep Achtereind.

Hieruit blijkt dat de hoogwaterpiek van het HMI model aardig overeenkomt met de werkelijk gemeten waterstand. Wat aantoont dat het model geschikt is. Een verschil is wel dat de piek in het HMI model redelijk kort duurt terwijl de werkelijk gemeten waterstand lange tijd hoog blijft. Dit heeft echter geen effect op de maximale overstromingen en de verschil berekeningen die gemaakt worden.

4 Ontwerp beekherstel

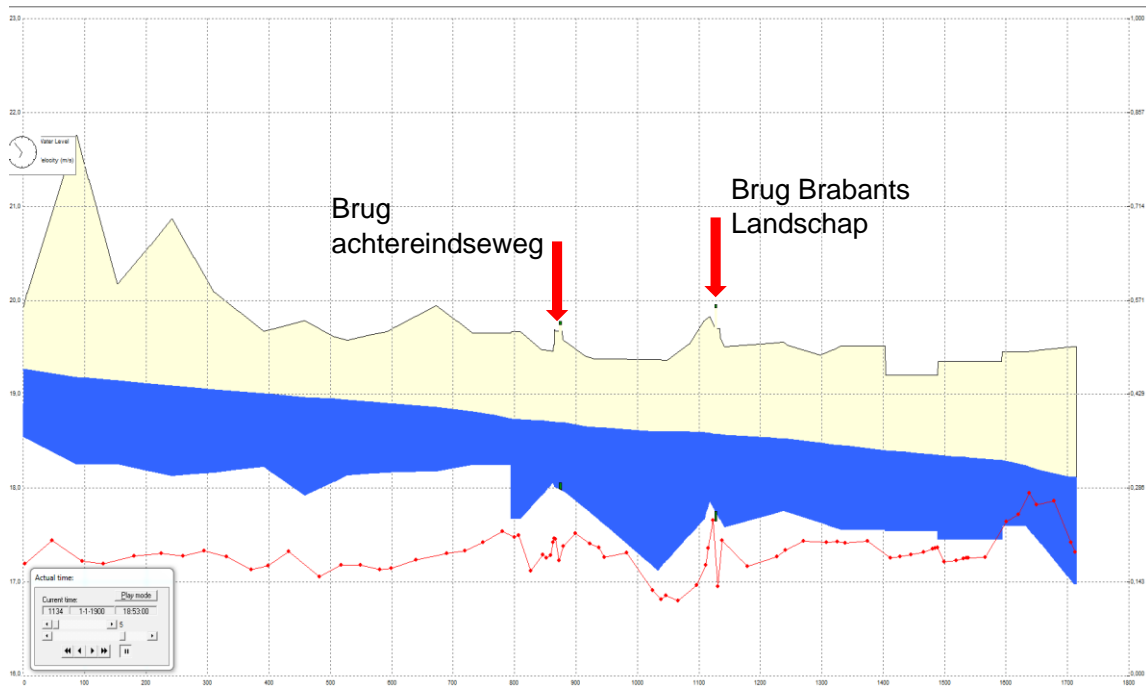
Er is een verkenning uitgevoerd van de mogelijkheden voor het hydraulisch ontwerp voor beekherstel Tongelreep achtereind. Deze verkenning dient als uitgangspunt voor het definitieve ontwerp.

4.1 Ligging beektraject

De nieuw te graven beekloop zal een hogere sinuositeit hebben. Met als doel om de stroomsnelheid en de substraat samenstelling te heterogeniseren. Daarnaast stimuleert het geomorfologische processen waardoor de beek een natuurlijk karakter krijgt. Het merendeel van de huidige loop worden gedempt. De basisafvoer zal in de toekomstige situatie door middel van een drempel in de bosmeander gestuurd worden. Het benedenstroomse deel van de drempel zal als bypass gaan functioneren. Tijdens hoogwatersituaties gaat de bypass mee-stromen zodat de waterstanden bovenstroom niet te hoog worden en erosie in de bosmeander beperkt blijft.

4.2 Bodemhoogte (verhang)

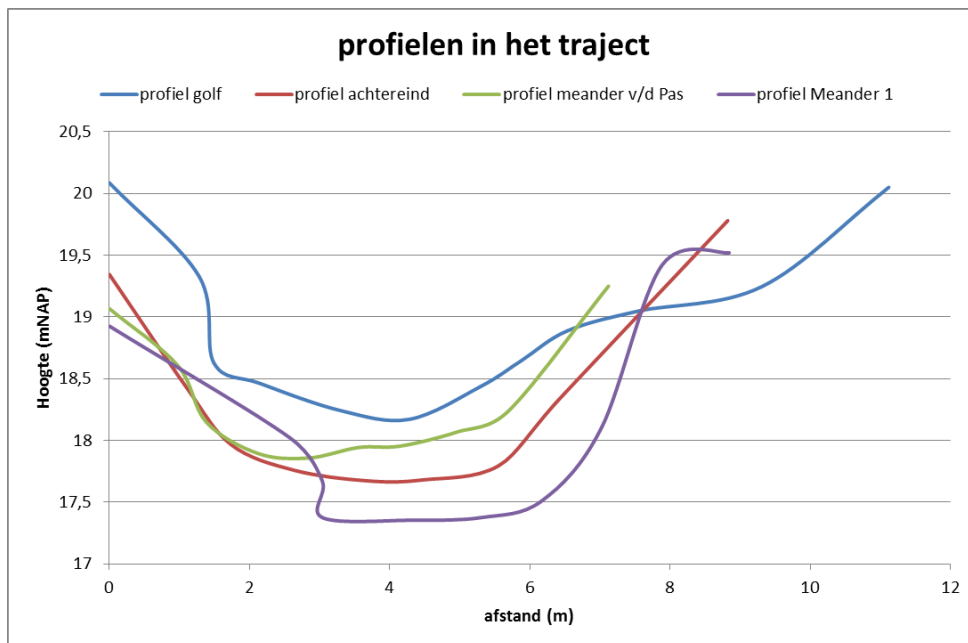
Figuur 7 toont de huidige waterstanden, maaiveldligging en bodemligging in een lengteprofiel. Ter voorkoming van effecten bovenstrooms is er besloten om de bodemligging na het beekherstel gelijk te houden aan de huidige situatie. De nieuwe profielen krijgen een bodemhoogte die aansluit op de bovenstroomse en benedenstroomse profielen in de huidige beek. Het huidige verval in het projectgebied bedraagt ongeveer 9 cm per 100 meter. De stroomsnelheid ligt gemiddeld op 0,18 m/s met daarbij enkele uitschieters naar boven (0,2 m/s).



Figuur 7: Lengteprofiel van het traject inclusief waterpeil, maaiveld en bodemhoogte

4.3 Dwarsprofielen

Voor de nieuwe profielen is uitgegaan van de huidige profilering. Er zijn verschillende profielen met elkaar vergeleken (zie figuur 8). Hieruit is blijkt dat de profielen qua vorm redelijk overeenkomen. In het model is uiteindelijk uitgegaan van profiel Achtereind.



Figuur 8: Vergelijk verschillende profielen

4.4 Vaste drempel

In de huidige situatie stroomt er weinig water door de bosmeander. Het water schiet nu grotendeels rechtdoor, waardoor er nagenoeg geen verversing optreedt in de omleiding (bosmeander). Om het water na beekherstel meer door de bosmeander te laten stromen wordt de duiker bij de ingang van de bosmeander verwijderd en zal er een vaste drempel worden geplaatst aan het begin van de omleiding om zo het water de meander in te sturen. Er zal alleen bij hoge waterstanden afvoer over de vaste drempel plaatsvinden.

De hoogte van de vaste drempel is 18,50 mNAP en is afgeleid van de waterstand in de huidige wintersituatie. Dit betekent dat bij afvoeren hoger dan de gemiddelde winterafvoer de bypass mee gaat stromen om zo te zorgen dat er voldoende afvoercapaciteit is en stijging van de waterstanden bovenstrooms te beperken. Om te zorgen voor voldoende overstort bij hogere afvoeren zal de balk schuin in het traject gelegd worden.

Het is nog de vraag of er een pijpje door de vaste drempel gemaakt moet worden, voor minimale afvoer of risico dat deze dicht slibbt. Modelmatig is het niet nodig deze op te nemen aangezien het effect verwaarloosbaar is. Dus indien nodig is het voldoende dit op te nemen in het projectplan.

4.5 Sinuositeit

De sinuositeit beschrijft het meanderend karakter van een beek. De sinuositeit wordt bepaald door de totale beeklengte te delen door de afstand van het traject hemelsbreed. Een hogere waarde geeft betekend dus meer meandering. In de huidige situatie is de beek In de huidige situatie is de sinuositeit 1, na beekherstel zal >1,25. De gewenste waarde vanuit de KRW is $\geq 1,25$ (HOW analyse).

4.5. modellering beekherstel

Om het beekherstel op te nemen in het hydraulisch model van de huidige situatie zijn de volgende modelaanpassingen uitgevoerd:

- Ligging van de beek aangepast (meanders)
- Duiker: TR1 – KDU1; *duiker instroom bosmeander* verwijderd
- Vaste drempel aanleggen bij bosmeander met hoogte 18,50 mNAP en een breedte van 7 meter.

5. Modelresultaten beekherstel

5.1 Stationaire berekeningen

Met het model zijn de stroomsnelheden, afvoeren en waterstanden in de situatie na beekherstel berekend, net als in de huidige situatie (referentie). Hieronder volgen de resultaten voor de stationaire zomer en winter situatie. De situatie in het voorjaar en najaar zijn opgenomen in de bijlagen.

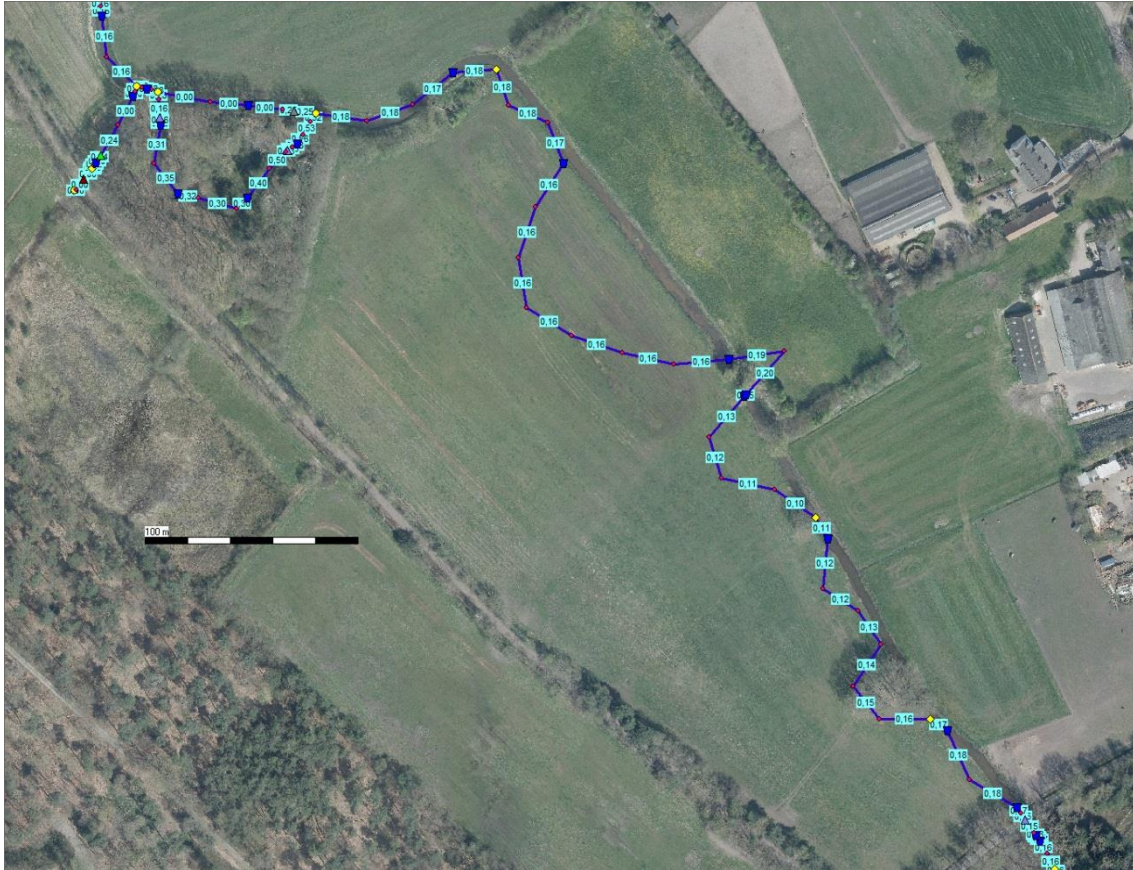
Stroomsnelheden (zomer)

In figuur 9 is de stroomsnelheid in de huidige zomer situatie weergegeven.



Figuur 9: Stroomsnelheid huidige zomer situatie.

In de huidige situatie varieert de stroomsnelheid van 0m/s in de bosmeander tot 0,24 m/s bij de brug van Brabants landschap. Gemiddeld komt de stroomsnelheid neer op $\pm 0,18$ m/s met o.a. uitschieters in de haakse bocht. De stroomsnelheden na beekherstel worden getoond in figuur 10.



Figuur 9: Stroomsnelheden na beekherstel (zomer)

De stroomsnelheden in de nieuwe situatie zijn ongeveer gelijk aan de huidige situatie. In de bosmeander is een toename van de stroomsnelheid gemoduleerd, mits deze wordt aangesloten. Mogelijk dat er door de hogere stroomsnelheden erosie van de oeverwand kan plaatsvinden. Dit kan worden voorkomen door het aanleggen van een oeververdediging op plaatsen waar de stroomsnelheid hoog is ($>0,4$ m/s).

In het model is gebruik gemaakt van een hoge ruwheid (Strickler = 10) voor het gehele traject. In werkelijkheid zal de begroeiing niet in het gehele traject optreden maar plaatselijk, en vaak in de vorm van banken waardoor er in werkelijkheid meer variatie in stroomsnelheid zal ontstaan.

Waterstanden

De waterstanden in de nieuwe situatie zijn vergeleken met de waterstanden in de huidige situatie. In figuur 11 is aangegeven op welke locaties de waterstanden vergeleken zijn.



Figuur 11: Locaties voor vergelijking.

De waterstanden van zowel de huidige situatie als de situatie na beekherstel en het verschil tussen beide is in onderstaande tabellen weergegeven voor de zomer en winter. Respectievelijk tabel 4 en 5.

Tabel 3: Stationaire zomerpeil voor- en na de herinrichting.

Zomer	1	2	3	4	5	6	7
Huidig waterstand (mNAP)	19,02	18,82	18,65	18,45	18,39	18,34	18,34
Waterstand scenario (mNAP)	19,03	18,87	18,77	18,55	18,51	18,43	18,43
Vershil (m)	0,02	0,05	0,12	0,10	0,12	0,09	0,09

Tabel 5: Stationaire winterpeil voor- en na de herinrichting.

Winter	1	2	3	4	5	6	7
Huidig waterstand (mNAP)	19,00	18,83	18,70	18,51	18,47	18,44	18,44
Waterstand scenario (mNAP)	19,03	18,88	18,79	18,64	18,61	18,50	18,50
Vershil (m)	0,03	0,05	0,09	0,13	0,14	0,06	0,06

Conclusie:

De verschillen worden met name veroorzaakt door de aanleg van de drempel om zo veel mogelijk water door de bosmeander te sturen. De verschillen zijn acceptabel.

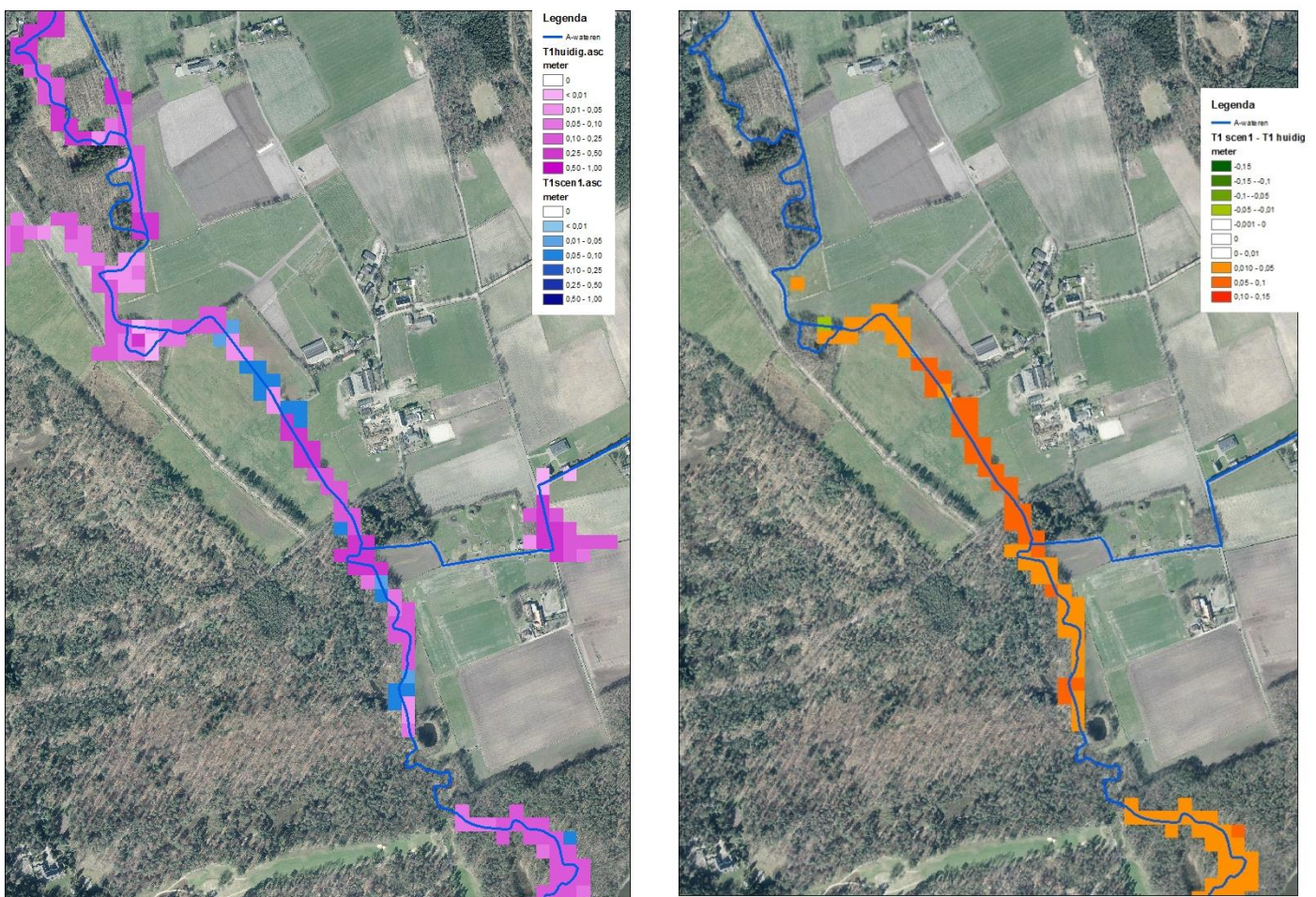
5.2 Dynamisch

De hoogwatergolf T=1, T=10 en T=100 jaar worden hieronder verder toegelicht deze geven een goed beeld van alle doorgekende hoogwatersituaties.

Situatie T=1

In figuur 12A is de oppervlakte van inundatie weergegeven bij een T=1 in de huidige situatie en de situatie na beekherstel. De blokjes weergegeven in het blauw zijn dus gebieden die na uitvoer van beekherstel extra inunderen bij een T=1 ten opzichte van de huidige situatie. Hieruit blijkt dat er meer inundatie zal plaatsvinden in het projectgebied (mede door verleggen beek) maar ook in een gedeelte bovenstrooms het projectgebied. Het totale inundatiegebied wordt dus groter.

Ook is er gekeken naar het verschil van maximale waterdiepte bij inundatie in de huidige situatie en de situatie na beekherstel. Dit is weergegeven in bovenstaande figuur 12B (links).



Figuur 12: A (links) inundatieoppervlak en B (rechts) diepteverschil bij een T=1

In het traject waar het beekherstel zal plaatsvinden zal de waterdiepte maximaal 10 cm toenemen, de grootste toename in diepte vindplaats net bovenstrooms het projectgebied. Hier zal de maximale diepte toenemen tussen de 10 en 15 cm

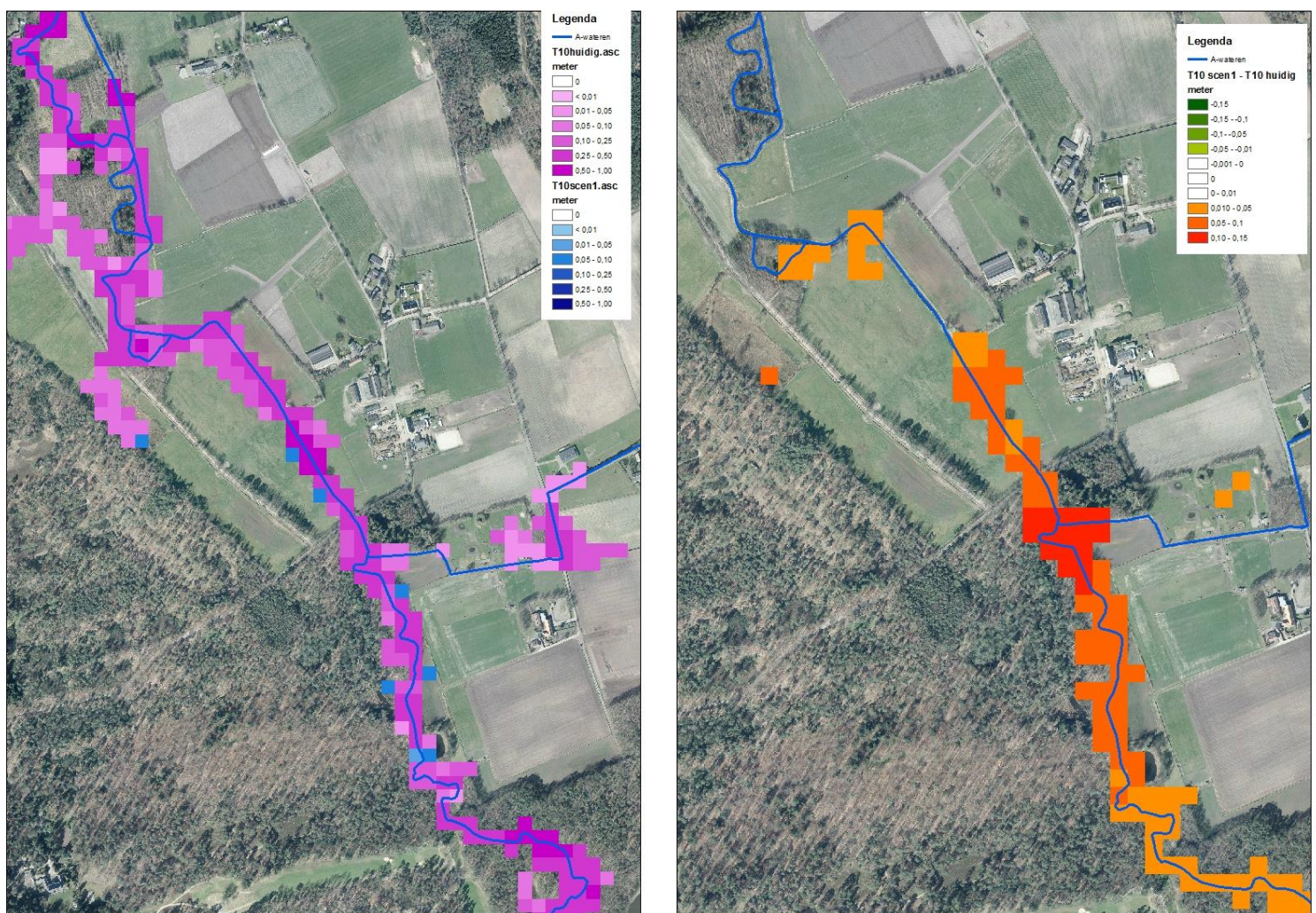
In tabel 6 zijn de maximale waterstanden weergegeven in een T=1 situatie in de huidige situatie, na beekherstel en het verschil tussen beide situaties. In figuur 11 zijn de locaties weergegeven van de plaatsen waar de waterstanden zijn vergeleken.

Tabel 6: Neerslaggebeurtenis die statistische 1x per jaar voorkomt, voor- en na de herinrichting.

T=1	1	2	3	4	5	6	7
Huidig waterstand (mNAP)	19,73	19,55	19,48	19,24	19,18	19,15	19,15
Waterstand scenario (mNAP)	19,77	19,59	19,56	19,25	19,19	19,16	19,15
Vershil (m)	0,04	0,04	0,08	0,01	0,02	0,01	0,00

Situatie T=10

Voor de T=10 Situatie zal het inundatieoppervlak ook (minimaal) toenemen. De inundatiediepte (\pm 15 cm) zal het meeste toenemen bovenstrooms het plangebied zoals figuur 13 toond.



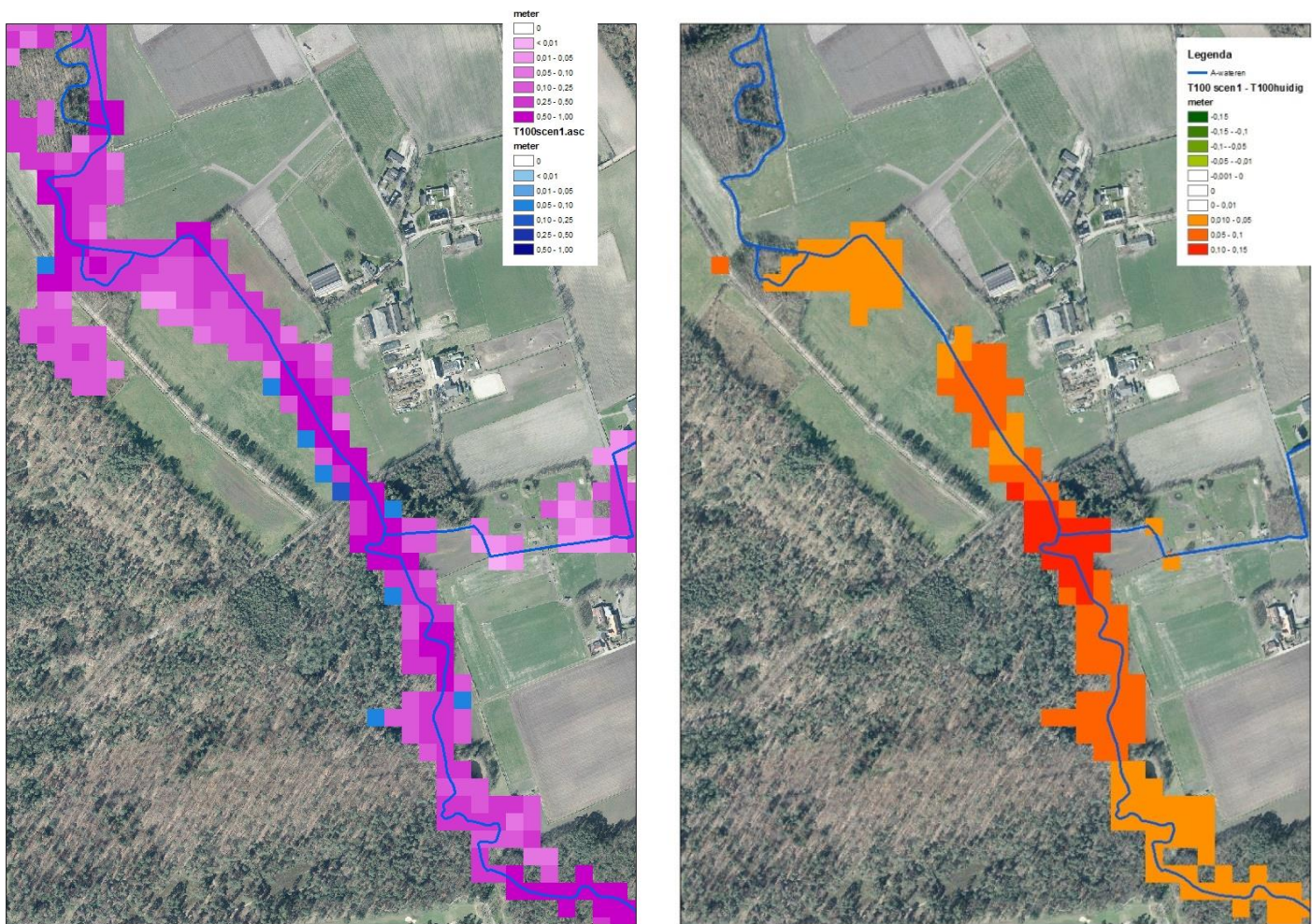
Figuur 13: A (links) inundatieoppervlak en B (rechts) diepteverschil bij een T=10

Tabel 6: Neerslaggebeurtenis die statistische 10 x per jaar voorkomt, voor- en na de herinrichting.

T=10	1	2	3	4	5	6	7
Huidig waterstand (mNAP)	19,99	19,71	19,73	19,46	19,38	19,38	19,37
Waterstand scenario (mNAP)	20,03	19,85	19,77	19,47	19,38	19,39	19,37
Vershil (m)	0,04	0,14	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00

Situatie T100

De T=100 situatie is vergelijkbaar met de T=1 en T=10 situatie. Er zal dus qua oppervlak meer inunderen en ook zal de waterdiepte het meest toenemen bovenstrooms het plangebied. Zie figuur 14.



Figuur 10: A (links) inundatieoppervlak en B (rechts) diepteverschil bij een T=100

Tabel 7: Neerslaggebeurtenis die statistische 100 x per jaar voorkomt, voor- en na de herinrichting.

T=100	1	2	3	4	5	6	7
Huidig waterstand (mNAP)	20,15	19,85	19,86	19,57	19,48	19,52	19,52
Waterstand scenario (mNAP)	20,20	20,00	19,91	19,61	19,53	19,54	19,52
Vershil (m)	0,05	0,15	0,05	0,04	0,05	0,02	0,00

6 Conclusies

Door het aanpassen van de beek en het aanleggen van de drempel zullen er wat veranderingen optreden in waterstanden, zowel stationair als dynamisch. Echter deze toename is minimaal (maximale stijging van ± 15 cm). De aanleg van de drempel zorgt ervoor dat er meer water door de bosmeander zal stromen. Om te zorgen dat er water blijft stromen in de bypass is het mogelijk om een buis door de vaste drempel te plaatsen. Door een buis van rond 15 cm zal een debiet van 0,018 m³/s stromen (gemiddeld zomerdebiet is 0,64 m³/s).

Verder zal de stroomsnelheid in het traject nagenoeg gelijk blijven, maar door het aanleggen van de meanders en het ontstaan van lokale plantengroei zal hier wel meer variatie in ontstaan.