

MEMO

Aan: Marjon Cuijpers en Maaïke Cazemier (Waterschap De Dommel)
Van: Dorien Honingh, Bertus de Graaff en Roy Daggenvoorde
Datum: 20 december 2021
Projectnummer: PR3985.10
Onderwerp: DO-model

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Resultaten	4
2.1	Kanodrempel bij bypass 't Laar	4
2.2	Resultaten voor zomer, najaar, winter en het voorjaar	5
2.3	Resultaten voor de zomer met profielen van DO, legger en gemeten profielen	7
2.4	Resultaten voor T100WH met profielen van het DO, de legger en de inmetingen van 2018	9
2.5	Resultaten voor WH en HK T1, T10, T25, T50 en T100	12
2.6	Winterbed-inundatie en stroomsnelheid	15
2.7	Inundatiebeelden	17
2.8	Bruggen	22
2.9	Meestromende Dommelarm Sint Oedenrode	23
	Bijlage A: Meestromende Dommelarm Sint Oedenrode	24
	Bijlage B: Modelaanpassingen	33

1 Inleiding

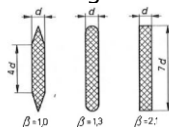
In het voortraject van het project Klimaatrobuust beekdal Sint Oedenrode heeft Iv-Infra de impact van diverse maatregelen onderzocht. Dit heeft geleid tot het Iv-Infra voorkeursmodel waarin de gewenste maatregelen uit het voortraject zijn opgenomen. Dit model gebruiken we als basis voor de modelstudie die HKV uitvoert voor het project Klimaatrobuust beekdal Sint Oedenrode.

Waterschap De Dommel heeft op basis van voortschrijdend inzicht gevraagd een aantal verbeteringen door te voeren in het Iv-Infra voorkeursmodel, op basis waarvan we tot **referentiemodel Iv+** gekomen zijn. De modelaanpassingen om tot dit model te komen zijn beschreven in bijlage B. Belangrijke wijzigingen die onder andere zijn doorgevoerd en gecontroleerd zijn:

- Het aanpassen van de numerieke instelling voor de 1D2D koppeling naar de standaard die het waterschap hanteert ('lowest of embankment' instelling);
- Het aanpassen van de weerstand van de Hambrug (met een waarde van 0,6);
- Het afkoppelen van de Neulmeander en het toevoegen van de hoogwatergeul Rijsingen in het 2D model;
- Profielovergangen (instelling interpoleren over 'reaches' gebruiken);
- Neren / terugstroming over maaiveld voorkomen door Riv_DO40, Riv_DO41.1 en Riv_DO41 te verwijderen en de lateralen te behouden;
- Berging in 'storage nodes' op 0 m² zetten.

Vervolgens hebben we op basis van het referentiemodel Iv+ wijzigingen doorgevoerd om tot het voorlopig ontwerp te komen (resultierend in het **VO-referentiemodel**) en een optimalisatieslag uitgevoerd wat uiteindelijk het **definitieve VO-model** opleverde. De modelaanpassingen zijn beschreven in bijlage B. Deels zijn dit ontwerpmaatregelen en deels modeloptimalisaties. De belangrijkste wijzigingen die doorgevoerd zijn om tot het **definitieve VO-model** te komen zijn:

- Rivierlengte verlengen: Traject Odaschool tot Neulbrug was 502 m, nu 525 m en het traject Neulbrug tot Cathalijnebrug was 271 m, nu 273 m.
- Het opnemen van 1 kanodrempel bij sportpark de Neul.
- Het verbreden van het winterbed voor het traject DP8 tot aan de hoogwatergeul bij Rijsingen volgens VO-profielen met een versmalling van de stroomgeul van 3,5 m i.p.v. 1,5 m.
- Het aanpassen van het 2D-hoogtegrid in het rivierdeel om dubbele berging en afvoercapaciteit te voorkomen met de nieuwe VO-profielen.
- Het aanpassen het 2D-hoogtegrid bij de hoogwatergeul Rijsingen (uitstroomhoogte naar 8,80 m+NAP en de instroomhoogte naar 9,00 m+NAP).
- De hoogte van kanodrempel 't Laar met 30 cm verhogen (8,90 m+NAP) met daarin een kanogoot van 1.5 m breed en een bodemhoogte van 8,50 m+NAP (*let op: 8,90 m+NAP is 30 cm boven de ingemeten hoogte en niet ten opzichte van de oorspronkelijke geschematiseerde hoogte*).
- Bruggen (Philippusbrug, brug zwembad/Dommelpark en Cathalijnebrug) opnemen met 2 pijlers in het winterbed met ieder een breedte van 1 m en een gestroomlijnde vorm in het winterbed. Hiervoor is een β -waarde van 1,3 genomen (zie onderstaande figuur uit [Nortier, 1996]). De Neulbrug schematiseren we op de zelfde manier maar met 1 pijler van 1 meter.



- Profiel kanodrempels en visdrempels controleren aan de hand van nieuwe profielen en profielen bij de vistrappen rondom de Hambrug (handm_vistrap_hambrug_1-5) en profiel prof_DO1-DP-12338_kopie (net bovenstrooms van de Hambrug) zijn aangepast naar de oude profielen, maar met een verhoging van maaiveld.
- Weerstand van het zomerbed van het ontwerptraject van de Dommel aanpassen naar een Strickler waarde van $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (was deels $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). Dat is vergelijkbaar met de in het model gedefinieerde ruwheid bovenstrooms en benedenstrooms van het ontwerptraject. Deze ruwheid is representatief voor een relatief schone waterloop. Voor het winterbed is een ruwheid van $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gekozen, overeenkomend met een matig begroeide waterloop. Zie een verdere toelichting hierop in bijlage B.
- Toevoegen van extra rekenpunten in het model voor een vloeiender waterstandsverloop in de lengteprofielen van piekwaterstanden.
- De hoogwaterbelastingen volgens de inzichten uit 2018 (de zogenaamde 2018-afvoergolf) wordt gebruikt.
- De originele legger-profielen (2013) die nog in het model zaten zijn vervangen door de in 2018 ingemeten profielen voor het traject tussen de A50 en de uitstroom van de hoogwatergeul.

Tenslotte zijn er modelverbeteringen en aanpassingen doorgevoerd om tot het **DO-model** te komen. Hieronder vallen:

- De aansluiting van de in- en uitstroomprofielen voor de hoogwatergeul bij Wiersma.
- Het toepassen van het AHN3 5m grid rondom de hoogwatergeul met aanpassingen bij de in- en uitstroom van de Hoogwatergeul.
- Het aanpassen van een aantal profielen onder andere vanwege de versmalde winterbedden bij Alkemade en het verbrede Cathalijnepad.
- Het opnemen van de Philippusbrug met wegdek aangezien hier opstuwing door het brugdek kan plaatsvinden.
- Nieuwe locatie, breedte en hoogte van de instroom naar sportpark de Neul op basis van de maximale T50WH waterstand benedenstrooms van de Neulbrug met een breedte van 50 m. De instroomhoogte is geschematiseerd op 9,86 m+NAP. De profielen op de oude locatie zijn hiervoor weer opgehoogd.

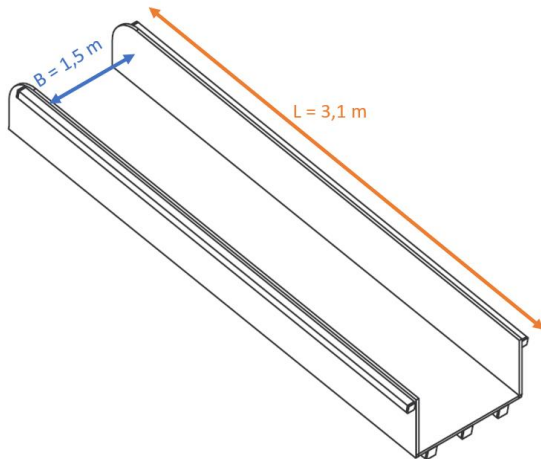
In dit memo zijn de resultaten van de het DO-model gepresenteerd. Voor de gemiddelde zomer-, najaar-, winter- en voorjaarssituaties wijzigen de resultaten niet ten opzichte van het VO-model. De wijzigingen naar het DO-model hebben wel invloed op de resultaten voor de T1 t/m T100 afvoersituaties. Deze resultaten zijn dan ook gewijzigd in dit memo ten opzichte van de rapportage over het VO-model.

2 Resultaten

2.1 Kanodrempel bij bypass 't Laar

De kanogoot bij bypass 't Laar heeft een breedte van 1,5 m en een lengte van 3,1 m (Figuur 1) en een helling van 1/5. Op basis van de uitgevoerde berekeningen is gekozen voor een kruinhoogte van de kanogoot van 8,5 m+NAP met een breedte van 1,5 m. De rest van de kanodrempel heeft een hoogte van 8,9 m+NAP. Om voldoende vaardiepte te bewerkstelligen is er bovenstrooms van de kanodrempel een waterstand van minimaal 8,65 m+NAP nodig. Daarnaast dient de benedenstroomse waterstand minimaal 8,03 m+NAP te zijn om voldoende vaardiepte te hebben. Uit de berekening met de zomersituatie volgt een bovenstroomse waterstand van 8,76 m+NAP en een benedenstroomse waterstand van 8,27 m+NAP. Hiermee wordt voldaan aan de vereiste vaardiepte. We hebben niet getoetst op bevaarbaarheid van de kanodrempel bij deze waterstanden en dit verval.

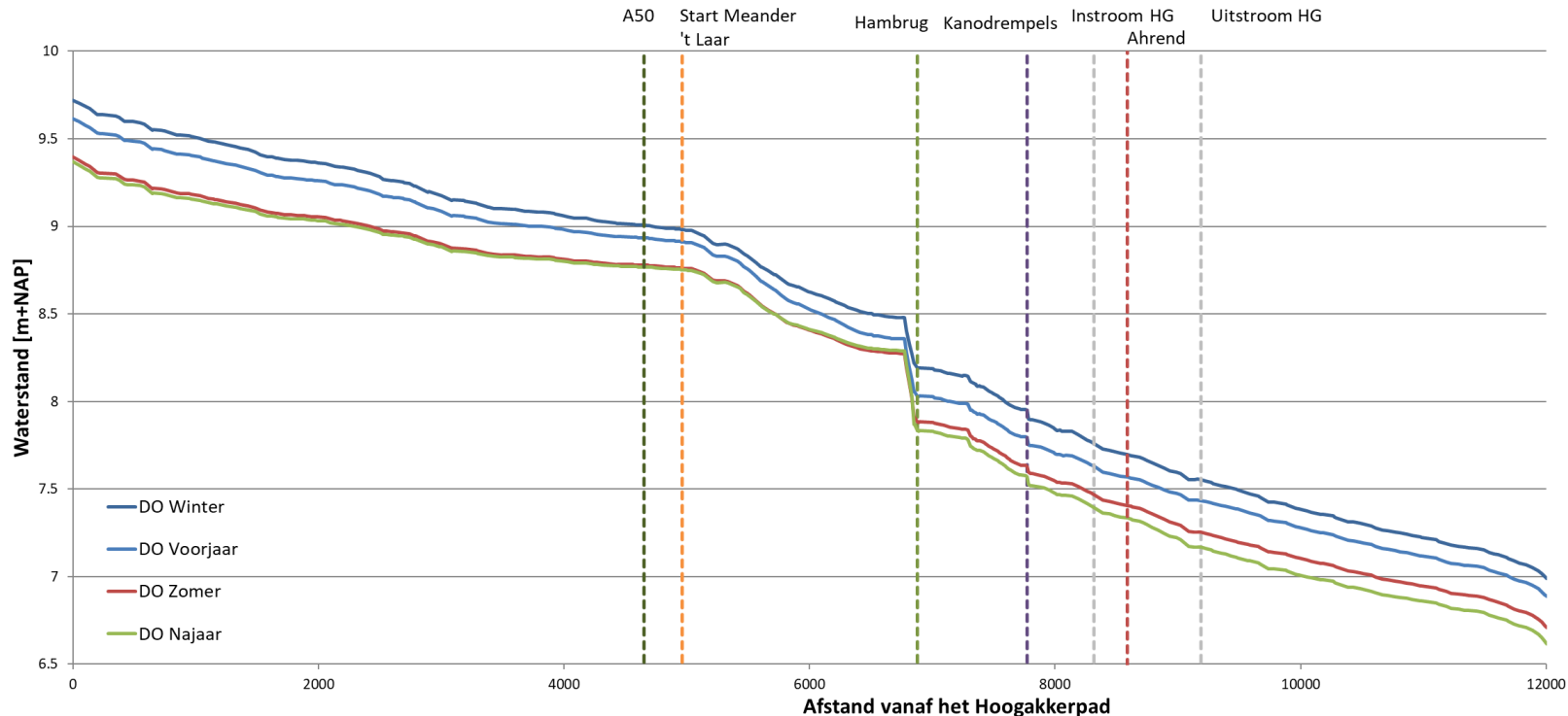
Figuur 1 Schematische weergave van kanodrempel 't Laar



2.2 Resultaten voor zomer, najaar, winter en het voorjaar

In Figuur 2 worden de gesimuleerde waterstanden voor een gemiddelde zomer-, najaar-, winter- en voorjaarssituaties gepresenteerd. Vervolgens zijn de waterstanden en waterdieptes bij de gearceerde locaties weergegeven in Tabel 1. De waterstanden in de wintersituatie zijn als gevolg van de afvoer het hoogst, gevolgd door de waterstanden in de voorjaarsituatie. De waterstanden in de zomer- en najaar situatie liggen vrijwel op elkaar bovenstrooms van de Hambrug. Benedenstrooms daarvan zijn de waterstanden in het najaar lager dan in de zomer. De afvoer in het najaar is orde 7% hoger dan in de zomer, maar de waterstanden worden met name beïnvloed door de hydraulische weerstand van de watergangen die die in dit traject significant hoger is in de zomer.

Figuur 2 Lengteprofiel met waterstanden van het Hoogakkerpad via meander 't Laar tot nabij de Bobbenagelseweg voor de zomer, het najaar, de winter en het voorjaar.



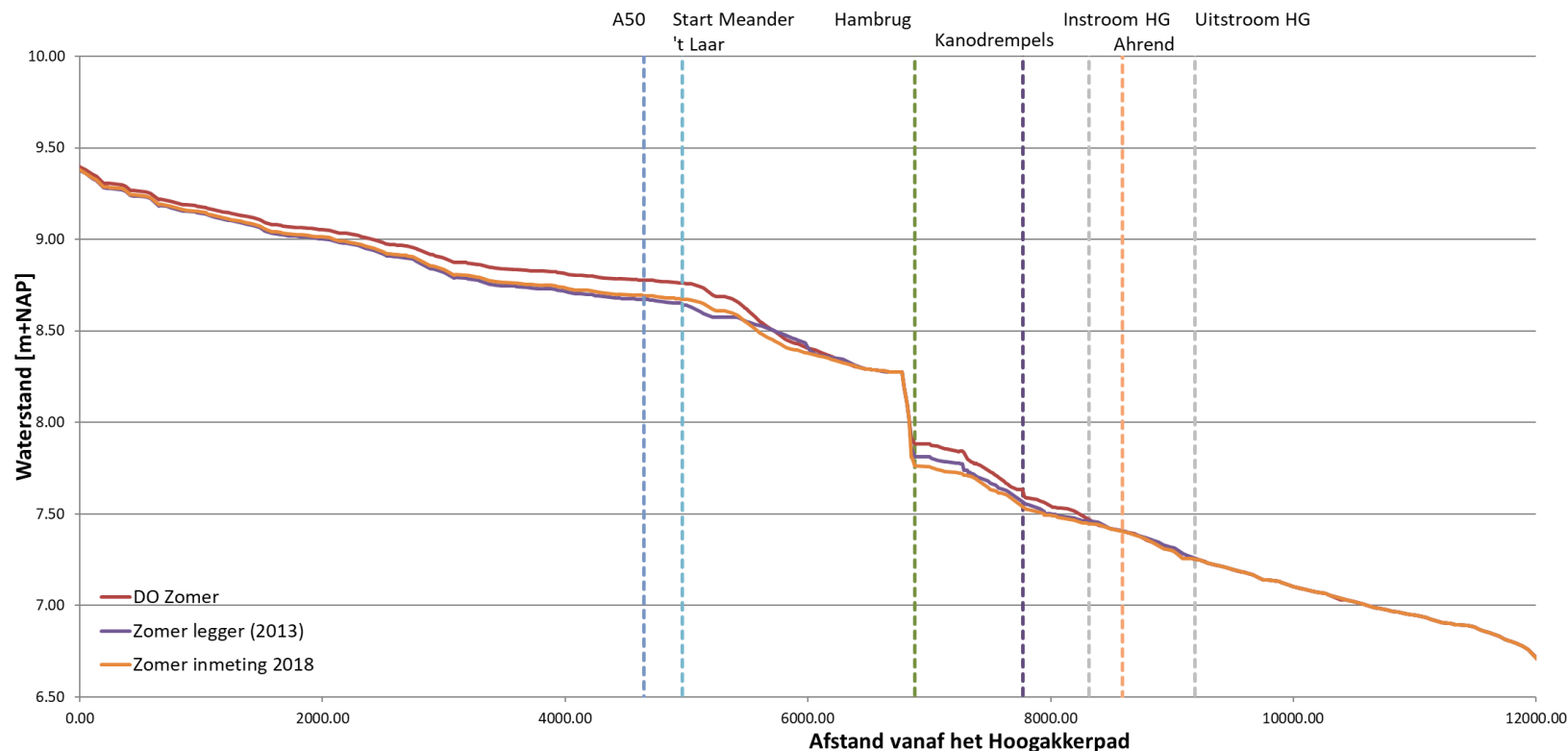
Tabel 1 Waterstanden en waterdieptes behorend bij de gearceerde locaties uit Figuur 2.

Locatie	Waterstand [m+NAP]				Waterdiepte [m]			
	Winter - DO	Voorjaar - DO	Zomer - DO	Najaar - DO	Winter - DO	Voorjaar - DO	Zomer - DO	Najaar - DO
Start Meander 't Laar	8,98	8,91	8,76	8,75	2,12	2,05	1,90	1,89
Sluisplein (nabij Hambrug)	8,33	8,19	8,11	8,12	2,24	2,11	2,02	2,03
Kanodrempels	7,90	7,75	7,60	7,53	1,82	1,67	1,52	1,45
Ahrend	7,70	7,57	7,41	7,34	2,13	1,99	1,83	1,76

2.3 Resultaten voor de zomer met profielen van DO, legger en gemeten profielen

In Figuur 3 worden de berekende waterstanden voor de zomersituatie gepresenteerd op basis van de DO-profielen, de leggerprofielen en de in 2018 ingemeten profielen. De waterstanden en waterdieptes bij de gearceerde locaties zijn weergegeven in Tabel 2

Figuur 3 Lengteprofiel met waterstanden van het Hoogakkerpad via meander 't Laar tot nabij de Bobbenagelseweg voor de zomer situatie.



Door de versmalling van de zomerbedprofielen in het DO stijgen de waterstanden ten opzichte van de legger en de inmetingen van 2018. Verder valt op dat in de zomersituatie de waterstanden op het traject van de Hambrug tot aan de instroomlocatie van de hoogwatergeul hoger zijn voor de leggerprofielen dan voor de in 2018 ingemeten profielen. Dit komt doordat de in 2018 ingemeten profielen daar ruimer (dieper en/of breder) zijn dan die in de legger. Profielveranderingen komen door aanzanding en erosie. De verschillen zijn het grootst net benedenstrooms de Hambrug en rond

meander 't Laar. Aandachtspunt hierbij is dat er 'maar' profielen eens in de 100 m in beeld zijn gebracht. Een zandbank daartussen kan worden gemist. Op deze twee stukken zal de onzekerheid ook het grootst zijn.

Tabel 2 Waterstanden en waterdieptes behorend bij de gearceerde locaties uit Figuur 3.

Locatie	Waterstand [m+NAP]			Waterdiepte [m]		
	Zomer - DO	Zomer - legger	Zomer – inmetingen 2018	Zomer - DO	Zomer - legger	Zomer – inmetingen 2018
Start Meander 't Laar	8,76	8,64	8,67	1,90	2,64	1,81
Sluisplein (nabij Hambrug)	8,11	8,10	8,10	2,02	2,01	2,01
Kanodrempels	7,60	7,56	7,53	1,52	1,48	1,46
Ahrend	7,41	7,41	7,41	1,83	1,80	1,83

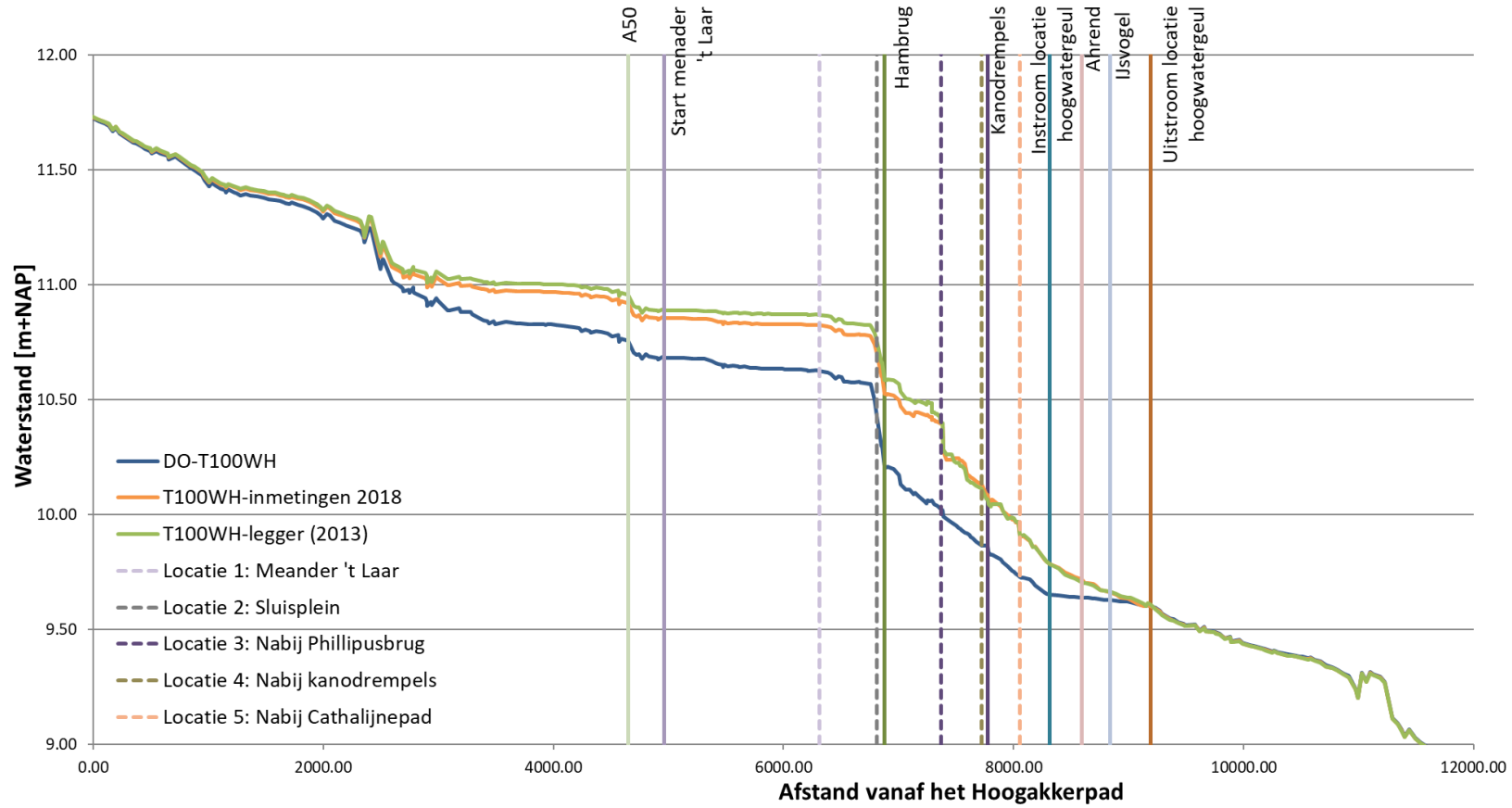
2.4 Resultaten voor T100WH met profielen van het DO, de legger en de inmetingen van 2018

Figuur 4 laat het lengteprofiel zien voor de berekeningen vanaf de A50, via de meander 't Laar, tot nabij de Bobbenagelseweg. Voor deze resultaten is een tijdreeks doorgerekend, waarvan in de figuur de maximale waterstanden zijn weergegeven. Deze maximale waterstanden treden dus niet per definitie op hetzelfde tijdstip op. Enkele belangrijke kritieke locaties waar het ontwerp getoetst wordt zoals de Hambrug, de kanodrempels, de IJsvogel en de in- en uitstroomlocatie van de hoogwatergeul zijn weergegeven. Daarnaast zijn ook de vijf locaties weergegeven waarvan later in deze memo de stroomsnelheden en inundatiefrequentie van het winterbed worden gepresenteerd. In Figuur 4 en Tabel 3 zijn de resultaten gepresenteerd van:

- de definitieve DO-berekening;
- de referentieberekening op basis van leggerprofielen (2013);
- de referentieberekening op basis van de in 2018 ingemeten profielen;

Duidelijk zichtbaar is dat de waterstanden voor de T100WH situatie door het DO significant dalen ten opzichte van de legger en ook de inmetingen van 2018.

Figuur 4 Lengteprofiel voor waterstanden van het Hoogakkerpad via meander 't Laar tot nabij de Bobbenagelseweg voor de T100WH situatie.



Tabel 3 De waterstanden voor de verschillende scenario's van de in Figuur 4 gearceerde locaties.

Beschrijving	Locatie [m]	Waterstand [m+NAP]		
		T100WH - DO	T100WH - legger	T100WH – ingemeten profielen 2018
A50	4651	10,76	10,96	10,92
Start Meander 't Laar	4964	10,68	10,89	10,86
Locatie 1: Meander 't Laar	6314	10,62	10,87	10,82
Samenkomst meander 't Laar en bypass	6754	10,57	10,82	10,78
Locatie 2: Sluisplein	6814	10,43	10,76	10,70
Hambrug bovenstrooms	6859	10,30	10,66	10,60
Locatie 3: Nabij Phillipusbrug	6879	10,02	10,40	10,40
Locatie 4: Nabij kanodrempels	7370	9,86	10,11	10,13
Kanodrempels	7784	9,83	10,05	10,07
Locatie 5: Nabij Cathalijnepad	7773	9,73	9,91	9,91
Instroom hoogwatergeul	8057	9,65	9,79	9,78
Ahrend	8591	9,64	9,71	9,72
IJsvogel	8317	9,63	9,67	9,66
Uitstroom hoogwatergeul	8838	9,61	9,61	9,60

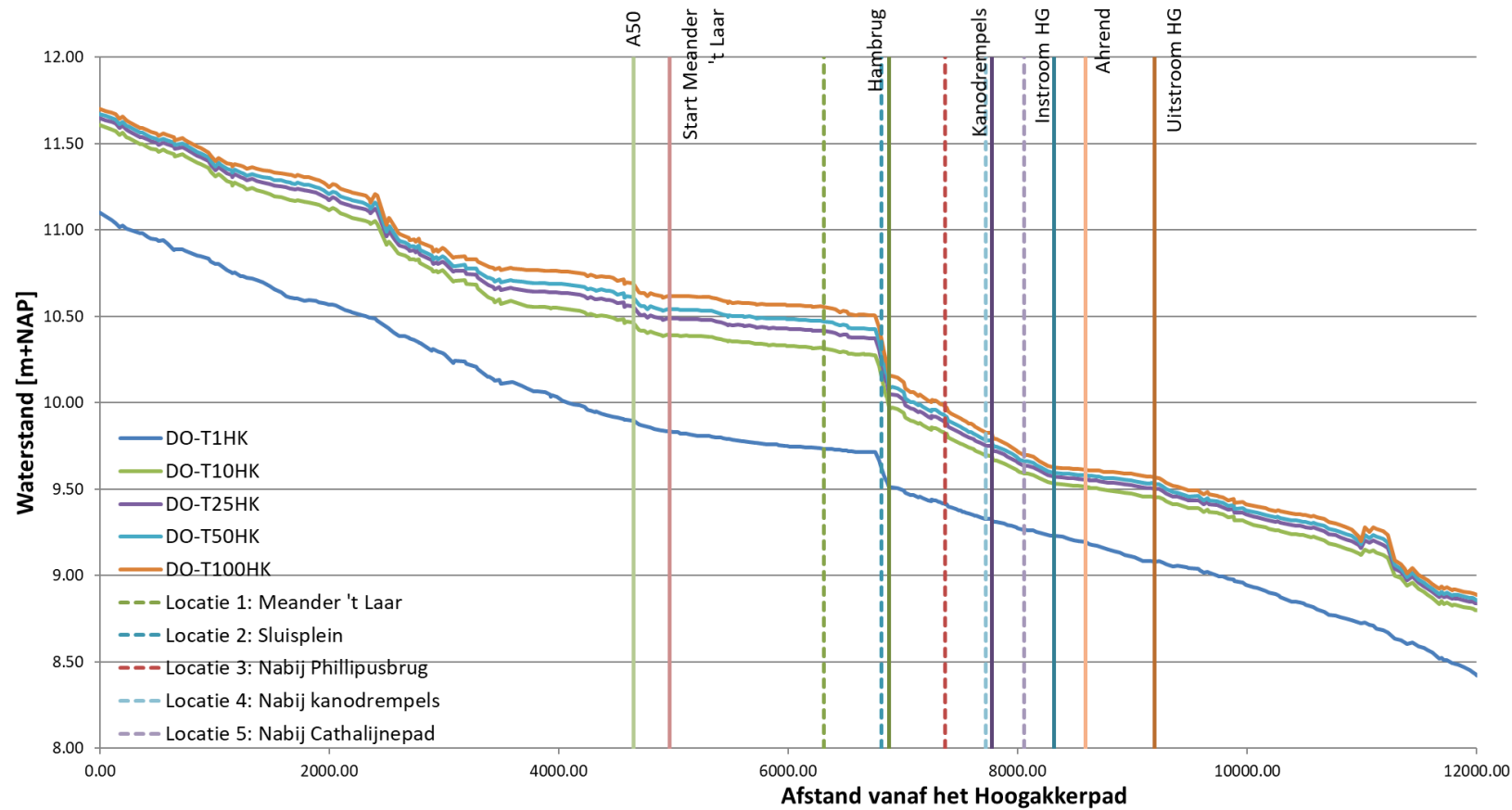
2.5 Resultaten voor WH en HK T1, T10, T25, T50 en T100

Figuur 5 en Figuur 6 laten het lengteprofiel zien voor de berekeningen voor respectievelijk het huidige klimaat en het toekomstige klimaatscenario vanaf het Hoogakkerpad tot nabij de Bobbenagelseweg. Voor deze resultaten is een tijdreeks doorgerekend, waarvan in de figuur de maximale waterstanden zijn weergegeven. Deze maximale waterstanden treden dus niet per definitie op hetzelfde tijdstip op. Enkele belangrijke locaties zoals de Hambrug, de kanodrempels en de in- en uitstroomlocatie van de hoogwatergeul zijn weergegeven. Daarnaast zijn ook de vijf locaties weergegeven waarvan later in deze memo de stroomsnelheden en inundatiefrequentie van het winterbed worden gepresenteerd. In de figuren zijn de resultaten gepresenteerd van:

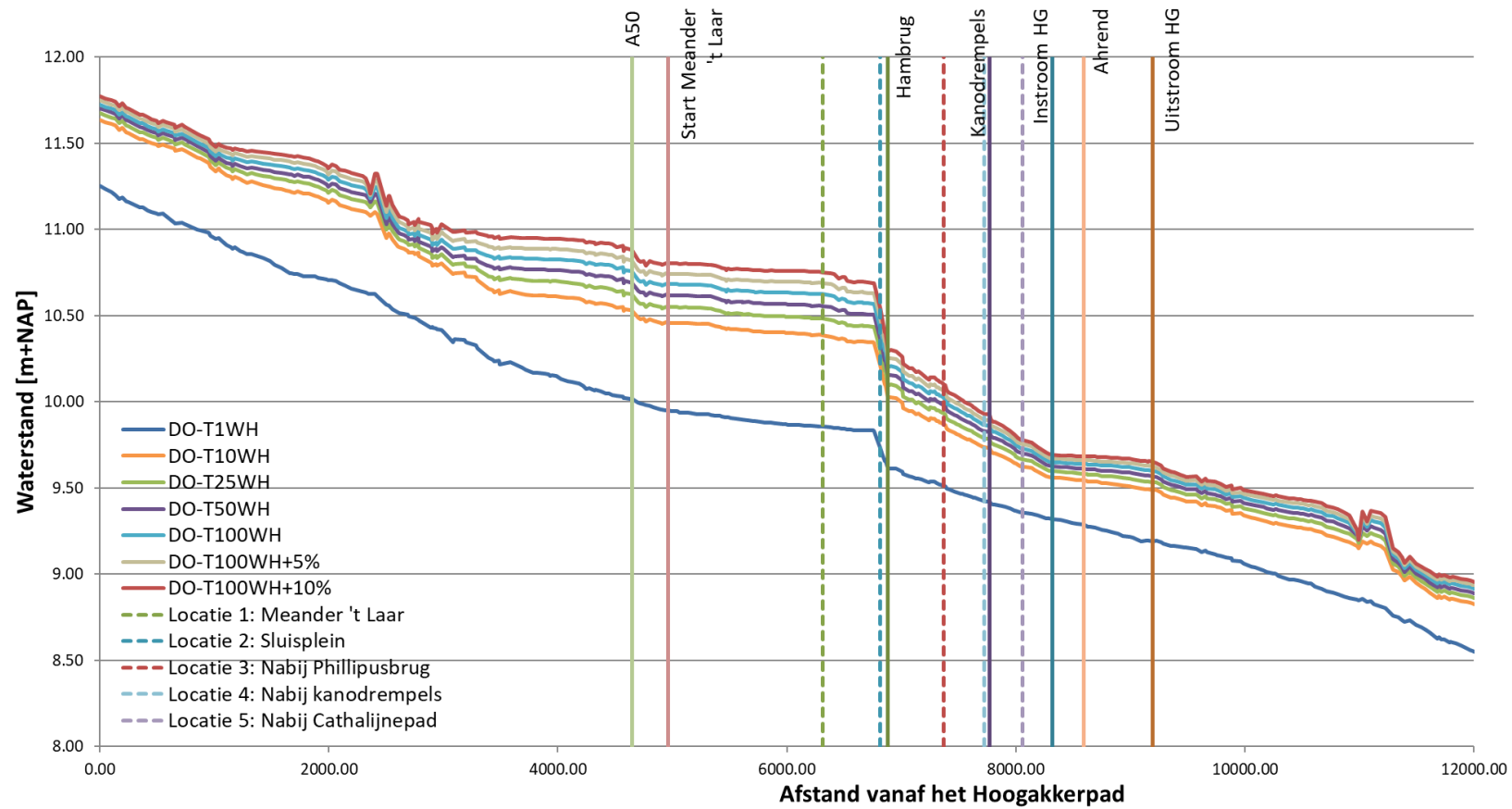
- de DO-berekening voor het huidige klimaat (HK) voor de terugkeertijden T1, T10, T25, T50 en T100 (Figuur 5);
- de DO-berekening voor het toekomstige klimaat (WH) voor de terugkeertijden T1, T10, T25, T50 en T100, T100+5% en T100 +10%(Figuur 6);

Bij de T100WH+5% en T100WH+10% berekeningen zijn de afvoer op de bovenstroomse randvoorwaarden, de effluentafvoer van RWZI van Sint Oedenrode en het bui-bestand met 5% en 10% opgehoogd. Dit laat de gevoeligheid binnen de T100WH-berekening zien. Dit is een indicatie voor de robuustheid van het ontwerp.

Figuur 5 Lengteprofiel voor waterstanden van het Hoogakkerpad via meander 't Laar tot nabij de Bobbenagelseweg voor de verschillende terugkeertijden en huidige klimaat



Figuur 6 Lengteprofiel voor waterstanden van het Hoogakkerpad via meander 't Laar tot nabij de Bobbenagelseweg voor de verschillende terugkeertijden en toekomstig klimaat



2.6 Winterbed-inundatie en stroomsnelheid

Voor de ecologie zijn de inundatiefrequentie van het winterbed en de maximale stroomsnelheid van belang. Voor vier locaties (Figuur 7) is de maximale stroomsnelheid bepaald en voor 3 locaties met winterbed (locatie 2 t/m 4 uit Figuur 7) zijn de inundatiefrequenties van het winterbed bepaald en weergegeven in Tabel 4. Dit is gedaan door de debieten (meetreeks 2009-2019) in de modelresultaten op te zoeken. De modelresultaten zijn de gecombineerde dataset van de stationaire sommen (winter, voorjaar, zomer en najaar) en de dynamische sommen (T1WH en T100WH). Voor gelijke debieten in de meting en simulatie bij de A50 zijn de waterstanden uitgelezen bij de locaties met winterbed: Philippusbrug (locatie 2), kanodrempels (locatie 3) en Cathelijnepad (locatie 4). Hierbij is er gecontroleerd op hysteresis (verschillende waterstanden bij dezelfde debieten). Dit hysteresis-effect treedt pas op bij waterstanden boven de inundatieniveaus van het winterbed en heeft daarom geen invloed op de bepaling van de inundatiefrequentie. Voor de drie niveaus van het winterbed is bepaald wat gedurende iedere tijdstap de waterstand is en of deze waterstand de hoogte van dat winterbedniveau overschrijdt. Het percentage geeft dus aan hoeveel procent van de tijd gedurende de aangeleverde tijdreeks dat deel van het winterbed geïnundeerd zou zijn.

Figuur 7 Vier locaties waarvoor de stroomsnelheden en inundatiefrequentie van het winterbed zijn onderzocht



Daarnaast is voor de vier locaties ook de maximale stroomsnelheid voor de T1-situatie bepaald, aangezien de T1-situatie belangrijk is voor morfologie. De maximale stroomsnelheden en de inundatiefrequenties bij deze herhalingstijd zijn weergegeven in Tabel 4. Nabij de kanodrempels is de stroomsnelheid hoger dan 0,5 m/s en treedt er in de T1 situatie mogelijk erosie op.

Tenslotte is gekeken naar het mee stromen van de hoogwatergeul. Bij de T1HK begint de hoogwatergeul een klein beetje mee te stromen en naar mate de herhalingstijd toeneemt, neemt ook de stroming door de geul toe. De hoogwatergeul loopt hierbij eerst deels vol vanuit benedenstroomse richting, waarna het bij hogere waterstanden gaat mee stromen vanuit bovenstroomse richting. Bij de gemiddelde voorjaar-, zomer-, najaar- en wintersituatie stroomt de hoogwatergeul niet mee.

Tabel 4 Overzicht van inundatiefrequentie gecombineerd met de maximale stroomsnelheden op 4 locaties binnen het projectgebied

Locatie beschrijving	Parameter	DO-model
Locatie 1 in de Neul meander	Max. T1 stroomsnelheid [m/s]	0,47 m/s
2 Nabij de Philippusbrug	Inundatie percentage niveau 1: 8,04 m+NAP	25,7 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Inundatie percentage niveau 2: 8,24 m+NAP	9,7 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Inundatie percentage niveau 3: 8,44 m+NAP	5,1 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Max. T1 stroomsnelheid [m/s]	0,46 m/s
3 Nabij de kanodrempels	Inundatie percentage niveau 1: 7,98 m+NAP	13,4 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Inundatie percentage niveau 2: 8,18 m+NAP	7,4 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Inundatie percentage niveau 3: 8,38 m+NAP	4,2 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Max. T1 stroomsnelheid [m/s]	0,58 m/s
4 Nabij het Cathalijnepad	Inundatie percentage niveau 1: 7,85 m+NAP	13,3 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Inundatie percentage niveau 2: 8,05 m+NAP	7,5 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Inundatie percentage niveau 3: 8,25 m+NAP	4,5 % van de tijd o.b.v. de meetreeks 2009-2019
	Max. T1 stroomsnelheid [m/s]	0,46 m/s

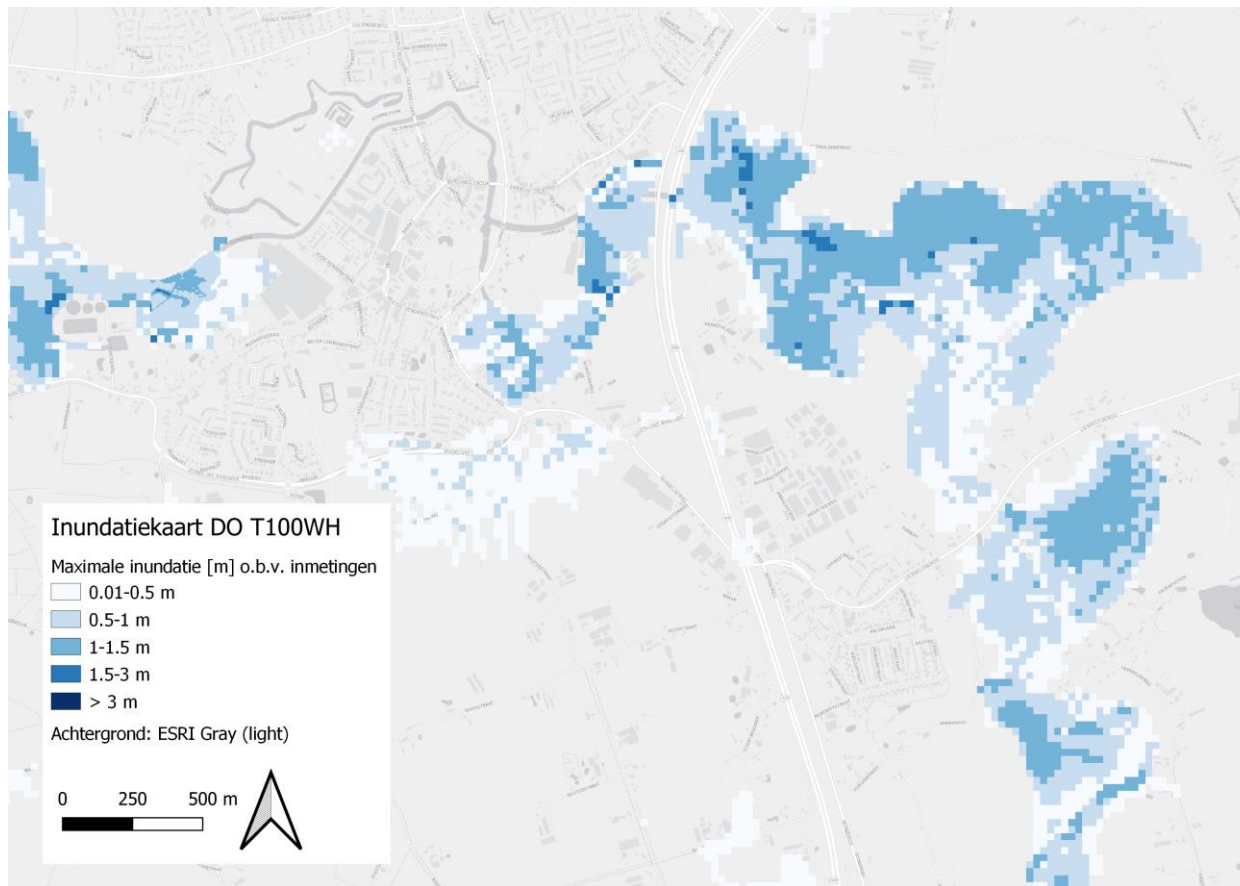
2.7 Inundatiebeelden

Figuur 8 en Figuur 9 laten respectievelijk de inundatiebeelden voor het DO zien voor de T1WH en de T100WH. Figuur 10 en Figuur 11 laten vervolgens voor de T100WH het verschil in geïnundeerd oppervlak zien ten opzichte van de referentiemodellen, namelijk het referentiemodel op basis van de leggerprofielen en de ingemeten profielen uit 2018. In de figuur zijn in het blauw gebieden weergegeven die in zowel het DO en in de referentiemodellen inunderen. In het paars zijn inundaties weergegeven die alleen in het DO optreden. In het geel zijn inundaties weergegeven die alleen de referentiemodellen optreden. In de figuren is zichtbaar dat de inundaties binnen de dorpskern afnemen (geel) door het DO.

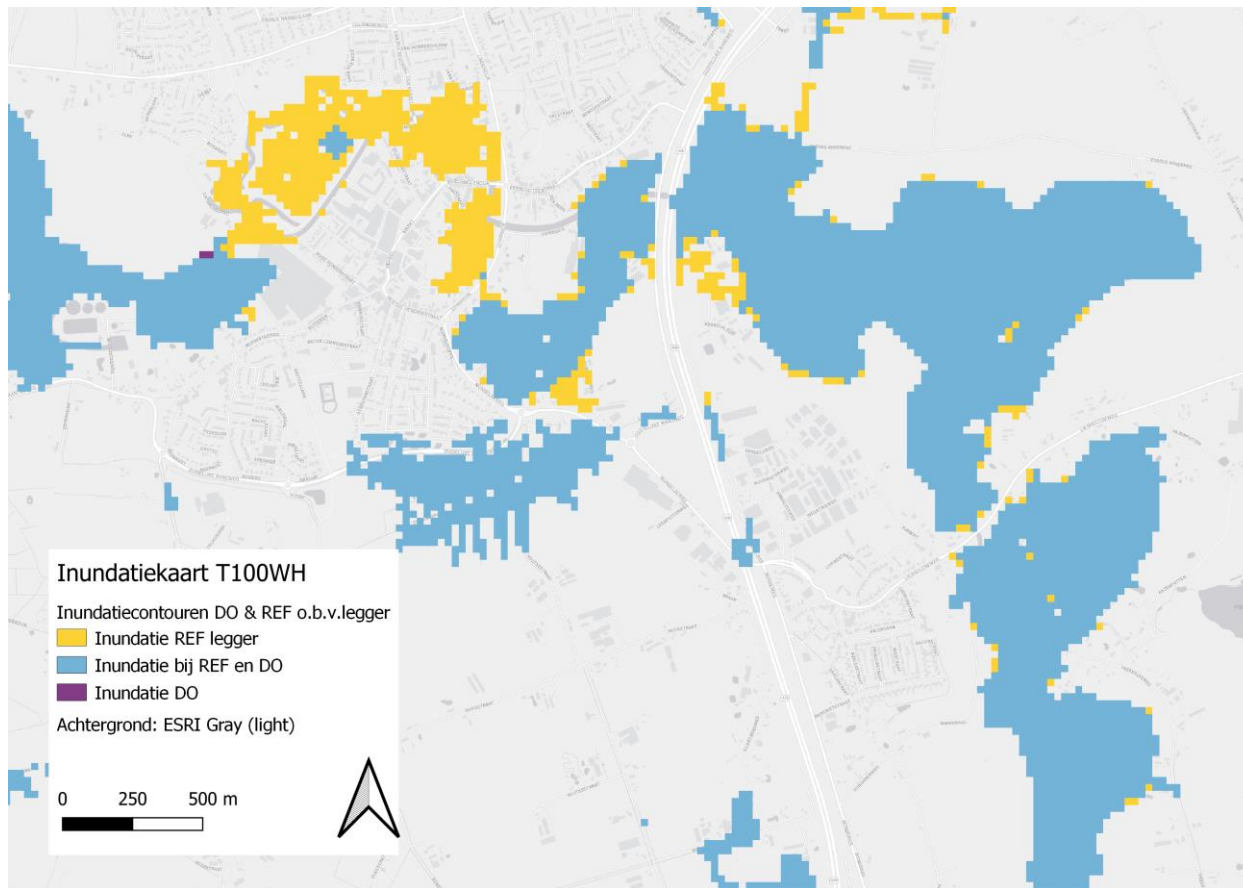
Figuur 8: Inundatiebeeld voor de maximale inundatie tijdens een T1WH-situatie



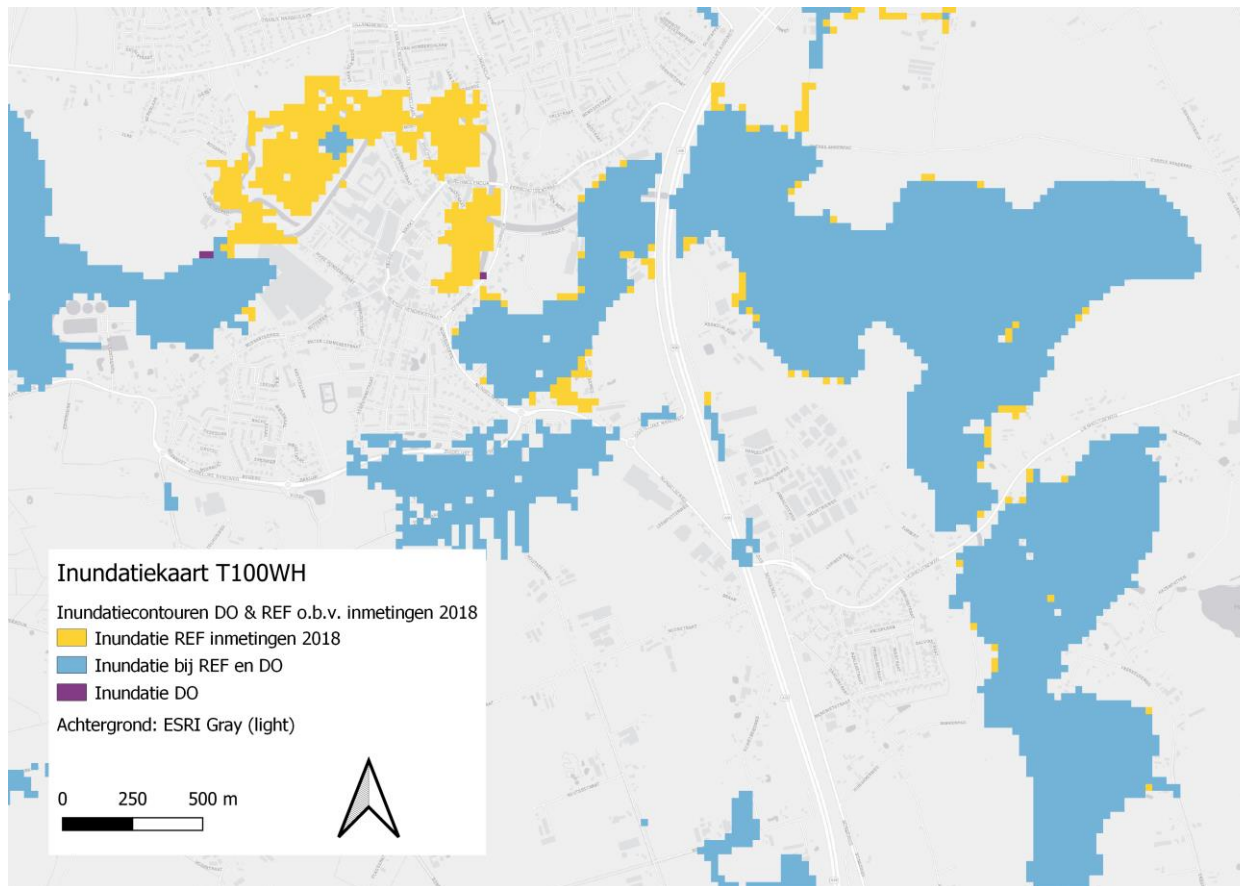
Figuur 9: Inundatiebeeld voor de maximale inundatie tijdens een T100WH-situatie



Figuur 10 Inundatieverschilkaart voor de maximale inundatie tijdens een T100WH-situatie met de legger en het DO



Figuur 11 Inundatieverschilkaart voor de maximale inundatie tijdens een T100WH-situatie met de inmetingen uit 2018 en het DO



2.8 Bruggen

Bij de T100WH-waterstanden mag er bij voorkeur geen opstuwing optreden door het brugdek. Tabel 5 presenteert de minimale, maximale en gemiddelde hoogte van de onderkant van het brugdek van de bruggen en de T100WH piekwaterstanden. In de tabel is daarnaast weergegeven of de T100WH piekwaterstand boven deze hoogtes uitkomt en opstuwing door het brugdek zal plaatsvinden. De Philippusbrug heeft opstuwing als gevolg van het brugdek. Voor Fietsbrug sportpark kan enige opstuwing optreden. De minimale hoogte van het brugdek wordt licht overschreden, maar we verwachten dat het effect verwaarloosbaar is omdat het een boogbrug betreft met voldoende ruimte boven de waterspiegel.

Tabel 5 Toets of de maximale waterstanden voor de situatie T100WH ter plaatse van de vier bruggen langs sportpark De Neul mogelijk opstuwing veroorzaken

	Minimale brug- hoogte [m+NAP]	Maximale brug- hoogte [m+NAP]	Gemiddelde brug- hoogte [m+NAP]	H DO T100WH [m+NAP]	Overschrijding min. [m]	Overschrijding max. [m]	Overschrijding gem. [m]
Philippusbrug	9,85	9,85	9,85	10,02	0,17	0,17	0,17
Fietsbrug sportpark	9,90	10,77	10,34	9,92	0,02	-0,85	-0,42
Neulbrug	10,05	10,13	10,09	9,87	-0,18	-0,26	-0,22
Cathalijnebrug	10,00	10,67	10,34	9,73	-0,27	-0,94	-0,61

Bij de T10WH-waterstanden dient de speling tussen de onderzijde van het brugdek en de maximale waterstand bij voorkeur 0,5 m te zijn. Tabel 6 laat met rode cijfers de speling zien als deze kleiner is dan 0.50 m. We zien ook dat de speling voor de Philippusbrug negatief is en dat deze brug dus opstuwt vanaf T10WH.

Tabel 6 Toets of de maximale waterstanden voor de situatie T10WH ter plaatse van de vier bruggen langs sportpark De Neul voldoen aan de gewenste 50 cm speling

	Minimale brug- hoogte [m+NAP]	Maximale brug- hoogte [m+NAP]	Gemiddelde brug- hoogte [m+NAP]	H DO T10WH [m+NAP]	Speling min. [m]	Speling max. [m]	Speling gem. [m]
Philippusbrug	9,85	9,85	9,85	9,87	-0,02	-0,02	-0,02
Fietsbrug sportpark	9,90	10,77	10,34	9,78	0,12	0,99	0,56
Neulbrug	10,05	10,13	10,09	9,74	0,31	0,39	0,35
Cathalijnebrug	10,00	10,67	10,34	9,63	0,37	1,04	0,71

2.9 Meestromende Dommelarm Sint Oedenrode

In de huidige situatie pompt een kleine pomp water vanuit de Dommel naar het noordoostelijke uiteinde van de Dommelarm bij de A50. In de toekomstige situatie vervalt deze pomp en moet de Dommelarm vrij mee gaan stromen. In bijlage A wordt aangetoond dat met de maatregelen zoals gepresenteerd in het voorlopig ontwerp, de zijarm inderdaad vrij zal meestromen en dat daarbij geen (of weinig) zandtransport zal plaatsvinden.

Voor de te plaatsen duiker worden de volgende kenmerken geadviseerd:

- Lengte: 14 m
- Materiaal: beton
- Hoogte onderzijde duiker (B.O.B.): 8,20 m NAP
- De duiker ligt horizontaal
- De duiker heeft een binnendiameter van 0,5 m

Deze duiker ligt dan 1,52 m boven de lokale bodemhoogte van de Dommel. Hierdoor blijft de hoeveelheid sedimenttransport naar de Dommelarm beperkt. Door de duiker en de Dommelarm stroomt een debiet van 0,04-0,05 m³/s door het jaar heen. Dit komt overeen met 144-180 m³/uur.

Bijlage A: Meestromende Dommelarm Sint Oedenrode

Waterschap de Dommel richt de Dommel rondom St. Oedenrode opnieuw in. Eén van de aanpassingen bij Sint Oedenrode is het vrij mee laten stromen van de Dommelarm nabij de A50 (Figuur 12).



Figuur 12 Links de huidige situatie (OpenStreetmap), rechts het voorlopige ontwerp [BWZ, 2020a]

In de huidige situatie pompt een kleine pomp water vanuit de Dommel naar het noordoostelijke uiteinde van de Dommelarm (120 m³/u). In de toekomstige situatie vervalt deze pomp en moet de Dommelarm vrij mee gaan stromen.

De nieuwe situatie moet aan de volgende voorwaarden voldoen:

- De zijarm moet mee stromen zonder pomp
- Geen (of weinig) zandtransport vanuit de Dommel naar de zijarm

Waterschap de Dommel heeft aan HKV gevraagd of het voorlopige ontwerp [BWZ, 2020a en BWZ, 2020b] voldoet aan deze voorwaarden.

Daarnaast vraagt BWZ op welke hoogte (B.O.B.) de duiker tussen de Dommel en de zijarm moet liggen en welke diameter deze moet hebben.

Methode

De Dommelarm stroomt in de huidige situatie met een debiet van 120 m³/uur (0.033 m³/s). In de toekomstige situatie moet de Dommelarm vrij mee stromen. Voor de grootte van het debiet door de Dommelarm is geen eis opgesteld. Als uitgangspunt in deze analyse nemen we aan dat het debiet door de Dommelarm minimaal zo groot moet zijn als het debiet in de huidige situatie.

Het debiet dat door de zijarm gaat is afhankelijk van verschillende factoren:

- De capaciteit van de nieuw gegraven zijarm
- De capaciteit van de bestaande Dommelarm
- De capaciteit van de duiker
- Het debiet door de zijarm

Als al deze eerste drie onderdelen toestaan dat er minimaal $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ door de Dommelarm stroomt en het verhang is voldoende om dit debiet te realiseren dan voldoet het ontwerp aan de voorwaarden.

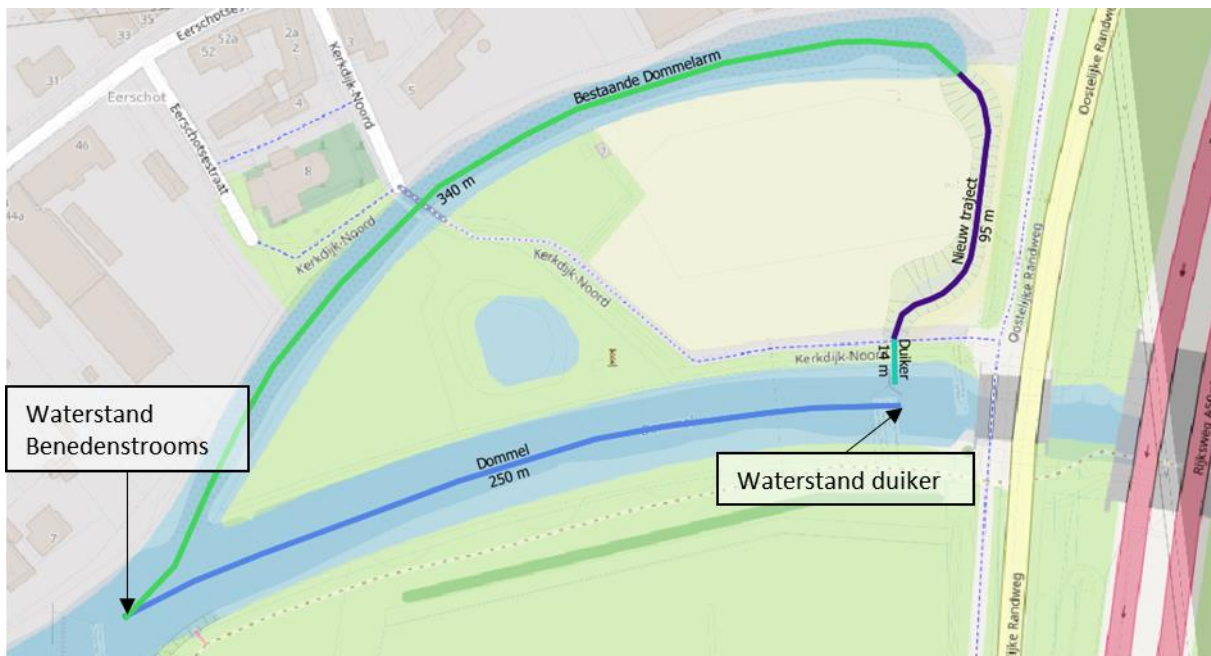
De afvoercapaciteit van de open wateren (het nieuwe traject en de bestaande dommelarm) volgt uit de formules van Chézy. De afvoercapaciteit volgt uit formuleringen voor duikers die ook in SOBEK worden gebruikt [Deltares, 2019].

In tegenstelling tot de aanbieding maakt de methode geen gebruik van de verhanglijnenmethode om de afvoer over de zijarm te bepalen. De verhanglijnenmethode vereist dat het watersysteem zich in een evenwichtssituatie bevindt, hiervoor moet de waterdiepte nagenoeg gelijk zijn aan de evenwichtswaterdiepte. Verkennende berekeningen toonden aan dat dit niet het geval is. Dit komt door veranderingen in de breedte van de Dommel ter hoogte van de bruggen (A50 en Oostelijke Randweg). Door deze versmallingen en opvolgende verbredingen moet de Dommel een nieuw evenwicht vinden. Om toch een indicatie van het debiet door de zijarm te kunnen geven analyseren we het energieverlies van de duiker en bepalen we daarmee het verwachte debiet door de zijarm.

Uitgangspunten

In deze analyse hanteren wij de volgende uitgangspunten

- De waterstanden en debieten op de Dommel zijn afkomstig uit het SOBEK-model waarmee het Voorlopig ontwerp is doorgerekend. Deze hydraulische omstandigheden zijn representatieve waarden voor de vier seizoenen (Tabel 7). Alle berekeningen in dit memo voeren we uit voor alle seizoenen om te zorgen dat het ontwerp het hele jaar door voldoet.
- De ruwheid is gelijk aan de ruwheid in het SOBEK-model (zomer $k_s = 19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, winter $k_s = 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ en in de lente en herfst $k_s = 22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$)
- De lengte van de verschillende onderdelen zijn gebaseerd op het VO, zie Figuur 13.



Figuur 13 Naamgeving en lengtes van de verschillende trajecten

Seizoen	Afvoer (m ³ /s)	Waterstand bij duiker (m NAP)	Waterstand benedenstrooms (m NAP)	Verval (m)	Ruwheid k _s (m ^{1/3} /s)
Zomer	4.63	8.78	8.76	0.01	19
Herfst	4.93	8.77	8.75	0.01	22
Winter	8.75	9.00	8.98	0.02	25
Lente	6.30	8.93	8.91	0.02	22

Tabel 7 Hydraulische randvoorwaarden

Afvoercapaciteit Dommelarm

De afvoercapaciteit van de Dommelarm is het minimum van de twee delen, de bestaande Dommelarm en het nieuw gegraven deel. Op basis van het Voorlopige ontwerp [BWZ, 2020a] bepalen we de afvoercapaciteit van beide delen op basis van de formule van Chézy (1).

$$Q = A * C * \sqrt{R * i} \quad (1)$$

Waarin:

Q = afvoer (m³/s)

A = doorstroomoppervlak (m²)

C = de Chézy-waarde (m^{1/2}/s), volgt uit $C = k_s * R^{1/6}$

R = de hydraulische straal (m), $R = \frac{A}{O}$

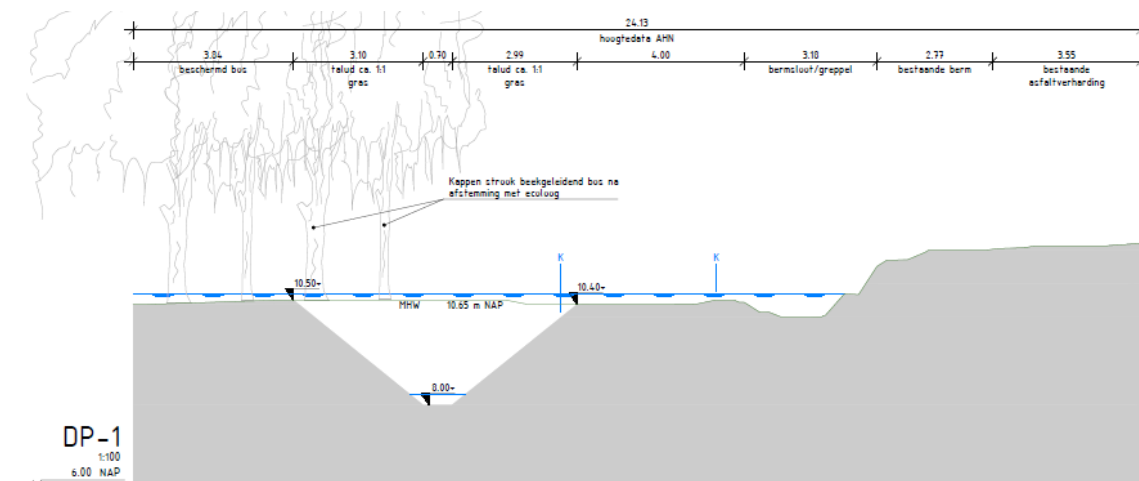
O = de natte omtrek, de lengte van het contactoppervlak tussen water en bodem.

i = het verhang (m/m)

Het waterstanderval over de Dommel is 1 tot 2 centimeter. De lengte van de zijarm is 435 m en daardoor is het verhang over de gehele Dommelarm ongeveer 0,00002 of 0,00004.

Nieuw traject

Het ontwerp van het dwarsprofiel van het nieuwe traject volgt uit DP-1 van [BWZ, 2020b], zie ook Figuur 14.



Figuur 14 Voorlopig ontwerp van het dwarsprofiel van het nieuwe traject [DP-2 – BWZ, 2020b]

Wederom is het uitgangspunt dat de waterstand aan de bovenstroomse kant gelijk is aan de waterstand op de Dommel ter hoogte van de duiker. Dit is niet het geval aangezien de waterstand zal dalen over het nieuwe traject, water stroomt immers altijd omlaag. Het verval over de gehele Dommelarm is hierdoor niet lager, maar de waterstand op de bestaande Dommelarm wel. Het effect van een waterstand die één tot anderhalve centimeter lager is, is zo beperkt dat dit geen probleem zal geven voor de afvoercapaciteit.

Om het mogelijke effect van de duiker in beeld te brengen zijn berekeningen gemaakt met een verlaagd verval over de dommelarm. Het verval is met 1 centimeter verlaagd, dit leidt tot de resultaten in Tabel 11.

Zowel Tabel 10 en Tabel 11 laten zien dat de afvoercapaciteit van de bestaande Dommelarm veel groter is dan de huidige afvoer door de Dommelarm. Het ontwerp voldoet dus qua afvoercapaciteit.

Tabel 10 Afvoercapaciteit nieuwe traject onder de aanname dat de waterstand bovenstrooms gelijk is aan de waterstand op de Dommel ter hoogte van de duiker.

Seizoen	Waterdiepte (m)	Doorstroomoppervlak (A)	Afvoercapaciteit (m ³ /s)
Zomer	2.19	25.64	3.41
Herfst	2.18	25.46	3.78
Winter	2.41	29.95	6.74
Lente	2.34	28.56	5.31

Tabel 11 Afvoercapaciteit nieuwe traject onder de aanname dat de waterstand op het nieuwe traject 1 cm lager dan de waterstand op de Dommel ter hoogte van de duiker.

Seizoen	Waterdiepte (m)	Doorstroomoppervlak (A)	Afvoercapaciteit (m ³ /s)
Zomer	2.18	25.45	1.85
Herfst	2.17	25.27	1.87
Winter	2.40	29.75	4.83
Lente	2.33	28.36	3.64

Afvoercapaciteit en ontwerp duiker

De ontworpen Dommelarm voldoet qua afvoercapaciteit, ook wanneer het verval door de duiker 1 centimeter kleiner wordt. Met deze informatie kan de volgende lijst met eisen voor de duiker worden opgesteld:

- Minimale afvoercapaciteit 0.033 m³/s
- Maximale vervalverlaging van 0.01 cm
- De inlaat moet voldoende hoog aangelegd om zandtransport door de duiker te voorkomen. Enkele decimeters boven de lokale bodemhoogte van de Dommel (6.68 m NAP)
- De uitlaat moet hoger liggen dan de bodemhoogte van het nieuwe traject (8.00 m NAP), deze hoogte is als uitgangspunt op 20 cm gezet.
- De duiker heeft een lengte van 14 meter (Figuur 15)
- De ruwheidswaarde (Nikuradse) van een betonnen duiker is $k_n = 0.05$ cm [Hulscher en Ribberink, 2012]
- De duiker ligt zo laag mogelijk om in zoveel mogelijk omstandigheden watervoerend te zijn
- De duiker ligt minimaal horizontaal, of de inlaat ligt iets hoger dan de uitlaat.

Omdat het exacte verhang in de nieuwe situatie onbekend is, is de waterstand aan de zijde van het nieuwe traject op de beneden waterstand + 70% van het verval gezet. Dit komt neer op een verval over de duiker van ongeveer een halve centimeter. Gezien de ruime afvoercapaciteit van de nieuwe Dommelarm zal het water eenvoudig kunnen afstromen en is 70% een veilige aanname. Deze waarde komt overeen met 30% energieverlies door de duiker.

Met deze uitgangspunten is de volgende duiker ontworpen op basis van de duiker-formuleringen in SOBEK [Deltares, 2019, paragraaf 6.1.16.4]. De duiker is op een hoogte van 8.20 m NAP gelegd om voldoende hoog boven de bodem van de zijarm te liggen. Op deze hoogte zijn vervolgens verschillende diameters doorgerekend met stappen van 10 centimeter. De diameter van 50 centimeter is de eerste grootte die voldoet in alle seizoenen.

De ontworpen duiker heeft de volgende eigenschappen:

- Lengte: 14 m
- Materiaal: beton
- Hoogte onderzijde duiker: 8.20 m NAP
- De duiker ligt horizontaal
- De duiker heeft een diameter van 0.5 m

De debieten door deze duiker in de verschillende seizoenen staan in Tabel 12. In Tabel 12 staat ook het debiet per uur, te zien is dat het debiet per uur altijd groter is dan 120 m³/uur, de afvoer door de duiker is kleiner dan de afvoer capaciteit van het nieuwe traject (Tabel 8).

Tabel 12 Debieten door de duiker in de verschillende seizoenen (30% energieverlies)

Seizoen	Debiet duiker (m ³ /s)	Debiet duiker (m ³ /uur)
Zomer	0.041	147
Herfst	0.039	142
Winter	0.048	174
Lente	0.046	167

Dit ontwerp van de duiker ligt 1.52 m boven de bodem van de Dommel. sedimenttransport vindt voornamelijk plaats dicht bij de bodem, hierdoor is de hoeveel sediment die via de duiker van de Dommel naar de Dommelarm zal stromen erg beperkt. Enkel suspensief sediment kan via de duiker in de Dommelarm belanden.

Afvoer over de zijarm

Het exacte debiet door de zijarm kan niet worden afgeleid met de verhanglijnenmethode omdat het systeem niet in een evenwichtssituatie is. Wel zal er water stromen door de zijarm, het water bij de monding staat namelijk lager dan bij de duiker. Dit geeft een verhang over de zijarm en dit zorgt voor stroming. De duiker zorgt dat de waterstand op de zijarm iets lager is dan dat op de Dommel (energieverlies door wrijving). Hoe groot dit energieverlies is, bepaalt hoe groot het debiet door de zijarm wordt.

Hierbij kunnen we op basis van de volgende redeneringen een redeneerlijn opstellen:

- Een energieverlies van 0% betekent dat de waterstand aan beide kanten van de duiker gelijk is, het debiet over de zijarm is dan gelijk aan de afvoercapaciteit. (Deze situatie komt niet voor, want in deze situatie stroomt er ook geen water door de duiker omdat er geen verval over de duiker is).

- Een energieverlies van 100% betekent dat er geen water door de duiker stroomt. De waterstand op de zijarm is gelijk aan de benedenstroomse waterstand, er stroomt geen water. (Ook deze situatie komt niet voor, want de weerstand van de duiker is dan zo groot dat deze geen water doorlaat).
- Een energieverlies van 25% betekent dat de waterstand aan de benedenstroomse kant van de duiker gelijk is aan de benedenstroomse waterstand plus 75% van het verval.

Deze redeneerlijn leidt tot formule (2):

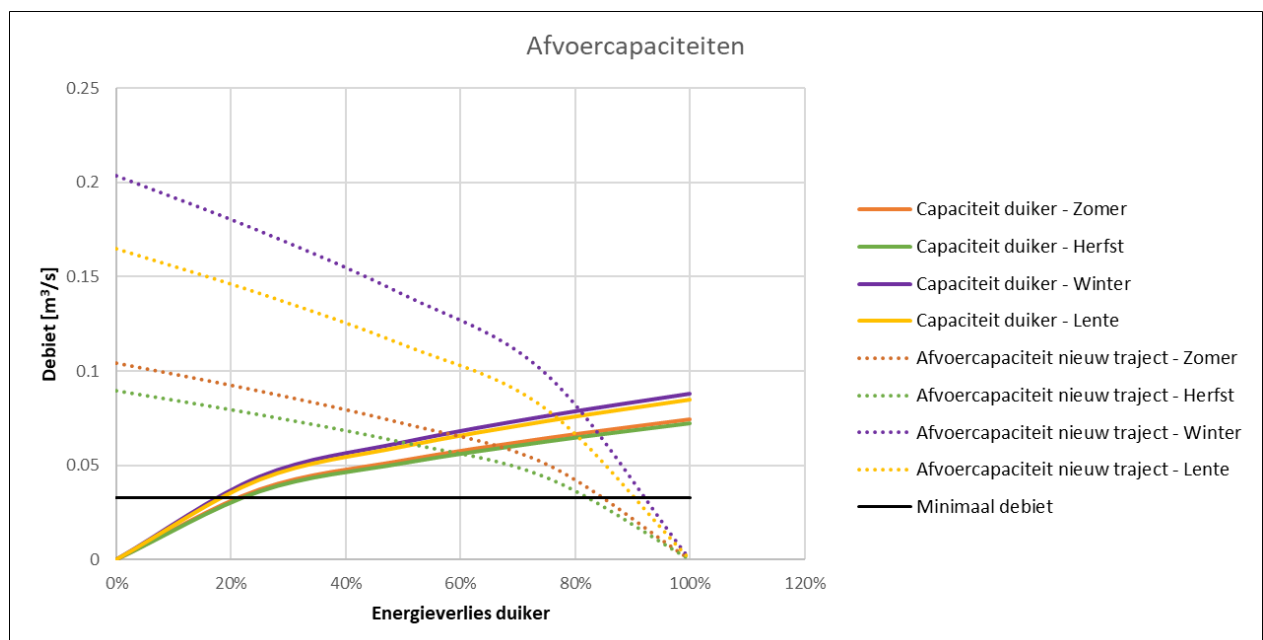
$$WS_{nieuw\ traject} = WS_{benedenstrooms} + (1 - \text{Energieverlies}) * \text{verval} \quad (2)$$

Met deze formulering is het mogelijk de capaciteit van de duiker en de capaciteit van het nieuwe traject afhankelijk te maken van het energieverlies. Dit leidt tot Figuur 16.

In Figuur 16 tonen de doorgetrokken lijnen hoe de capaciteit van de duiker afhankelijk is van het energieverlies. Hoe groter het energieverlies hoe lager de benedenstroomse waterstand en hoe groter het verval over de duiker en dus hoe groter het debiet door de duiker.

De gestippelde lijnen in Figuur 16 tonen het de capaciteit van het nieuwe traject. Hier geldt, hoe lager het energieverlies van de duiker hoe hoger de capaciteit. Dit komt doordat een laag energieverlies zorgt voor een groot verval over de Dommelarm.

Het debiet van de duiker en de Dommelarm voldoen als het debiet groter is dan 0.033 m³/s (zwarte lijn in Figuur 16). Te zien is dat alle situaties waarin het energieverlies groter is dan 25% en kleiner dan 80% voldoen.



Figuur 16 Energieverlies duiker en afvoercapaciteit

In de afvoercapaciteitsberekening van de duiker komt het energieverlies als factor voor, deze factor is afhankelijk van:

- De waterstand aan de instroomzijde

- De waterstand aan de uitstroomzijde
- De ruwheid van de duiker

De benedenstroomse waterstand (uitstroomzijde) heeft dus invloed op het energieverlies. Het energieverlies heeft op zijn beurt weer invloed op de benedenstroomse waterstand. Hierdoor ontstaat een iteratieve berekening waarmee we het energieverlies en het bijbehorende debiet kunnen bepalen. De resultaten hiervan staan in Tabel 13, de tabel laat zien dat het energieverlies rond de 28-30% ligt en welke debieten hierbij horen.

Het energieverlies van ongeveer 30% komt overeen met het gehanteerde uitgangspunt. De afvoercapaciteit van de duiker is in deze omstandigheden kleiner dan de afvoercapaciteit van de Dommelarm (Figuur 16), hierdoor is de duiker dus maatgevend. Het verwachte debiet door de Dommelarm is gelijk aan de afvoercapaciteit van de duiker.

Tabel 13 Debieten na analyse energieverlies

Seizoen	Energieverlies (%)	Debiet duiker (m ³ /s)	Debiet Dommelarm (m ³ /s)	Debiet (m ³ /s)
Zomer	28	0.040	0.087	0.040
Herfst	28	0.038	0.075	0.038
Winter	30	0.048	0.168	0.048
Lente	30	0.046	0.136	0.046

Conclusie

Het voorlopige ontwerp van de Dommelarm nabij de Knoptoren voldoet aan de gestelde eisen. Het huidige ontwerp is in staat het minimale debiet van 120 m³/uur af te voeren.

Om dit ontwerp te laten functioneren moet de duiker die het nieuwe traject en de Dommel met elkaar verbindt op 8.20 m NAP worden aangelegd, met een diameter van 0.5 m. De duiker kan horizontaal worden aangelegd, de B.O.B. van de duiker is zowel bovenstrooms als benedenstrooms 8.20 m NAP.

Deze duiker ligt 1.52 m boven de lokale bodemhoogte van de Dommel, hierdoor blijft de hoeveelheid sedimenttransport naar de Dommelarm beperkt.

De combinatie van deze duiker met het voorlopige ontwerp zorgt dat het verwachte debiet door de Dommelarm 0.04-0.05 m³/s is door het jaar heen. Dit komt overeen met 144-180 m³/uur.

Referenties

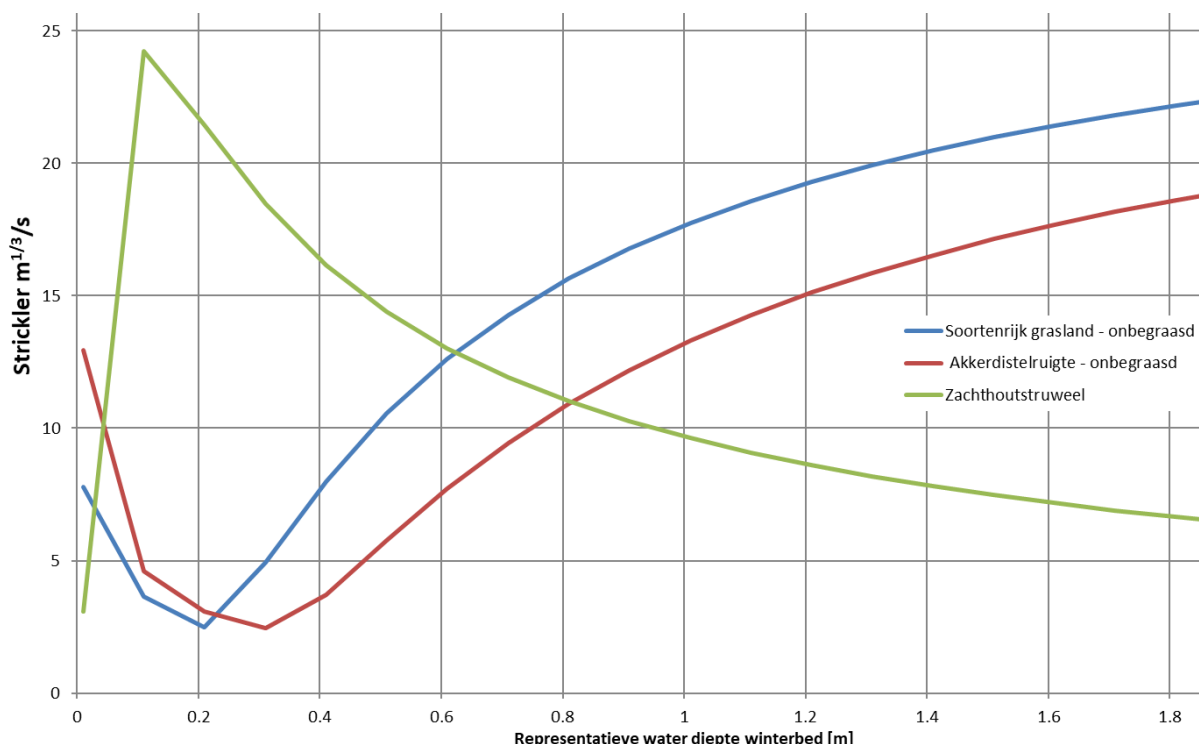
- **BWZ, 2020a**
Droge Voeten St. Oedenrode - Voorlopig ontwerp Situatietekening. BWZ in opdracht van Waterschap de Dommel. Tekeningnummer 010-19-BWZ-VO-ST-001. 23-10-2020
- **BWZ, 2020b**
Droge Voeten St. Oedenrode - Voorlopig ontwerp Dwarsprofielen 1 t/m 7. BWZ in opdracht van Waterschap de Dommel. Tekeningnummer: 010-19-BWZ-VO-DP-001. 23-10-2020
- **Deltares, 2019**
SOBEK, user manual – Hydrodynamics, Rainfall Runoff and Real Time Control. Deltares, SVN revision 60520. May 5, 2019
- **Hulscher en Ribberink, 2012**

River Dynamics – I: Shallow water flows. J.S. Ribberink en S.J.M.H. Hulscher. Dictaat
Universiteit Twente, Maart 2012.

Bijlage B: Modelaanpassingen

Toelichting bij de keuze van de Strickler-waarde

Toelichting bij de keuze van de Strickler-waarde voor het winterbed is gekeken naar welke begroeiing op dit moment voorgesteld wordt, hiervoor wordt voor het overgrote deel soortenrijk grasland voorgesteld. De bijpassende Strickler-waarde voor deze en de ruwere akkerdistelruigte en zachthoutstruweel zijn voor diverse waterdieptes in het figuur hieronder weergegeven op basis van het handboek voor overstroomde vegetatie van Rijkswaterstaat. Uitgaande van een representatieve waterdiepte van 1 m is gekozen om een Strickler-waarde van $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ te gebruiken.



Stationaire sommen

Voor de stationaire sommen is het dynamische model met alle modelaanpassingen omgezet naar een stationair model. In dit model zijn de greenhouse nodes en paved nodes eruit gehaald en vervangen door de lateralen uit de stationaire modellen, voor het najaar moest hierbij de waarde van $0,122 \text{ m}^3/\text{s}$ toegevoegd worden voor de RWZI Sint Oedenrode (ontbrak in het oude stationaire model). Daarnaast zijn de bovenstroomse boundaries overgenomen uit de stationaire modellen, de benedenstroomse randvoorwaarden waren gelijk voor alle cases. Ook zijn de stuwstanden overgenomen uit de oude stationaire cases en ditzelfde voor de weerstand. Voor nieuwe watergangen hebben we Strickler waarde voor de winter van 25, voor de zomer 19, voor het najaar 22 en voor het voorjaar 22 aangenomen.

Aanpassingen voor DO

- Aanpassing van de in- en uitstroom van de hoogwatergeul zodat de geul goed mee stroomt. Daarnaast hogere resolutie (5 m) voor het 2D rooster aangehouden rondom de hoogwatergeul en ook de maaiveldhoogte op deze resolutie toegevoegd.
- Voor de versmalling bij Alkemade, zijn de profielen Bouwsteen7 (id Bouwsteen7) en 11 – VO_DP12 (id 11) versmald opgenomen ten opzichte van het VO. Wijzigingen opgenomen in de profielen Excel 20211117 vergelijking HI + inmeting + VO.xlsx
- De profielen prof_DO1-DP-12517 (id prof_DO1-DP-12517) en 33 (id 33) zijn versmald t.o.v. het VO vanwege de verbreding van het Cathalijnepad, wat ten koste gaat van het winterbed.
- De profielen prof_DO1.3-DP-1626 (id prof_DO1.3-DP-1626), prof_DO1.3-DP-1695 (prof_DO1.3-DP-1695), prof_DO1-DP-11266 (id prof_DO1-DP-11266), prof_DO1-DP-11392_kopie (prof_DO1-DP-11392_kopie), prof_D01-1-DP-12673_kopie (prof_D01-1-DP-12673_kopie) zijn aangepast om beter aan te sluiten bij de inmeting uit 2018.
- De profielen prof 17 en prof 40 (prof_DO1-DP-11914_VO) waren verlaagd naar 9.8 m+NAP en zijn nu weer opgehoogd naar 10.25 m+NAP omdat de instroom naar sportpark de Neul verder benedenstrooms is opgenomen ten opzichte van het VO.
- De Philippusbrug (id DO1-KBR13) is aangepast op basis van de toelevering van het waterschap. De brug is niet meer als pijlers maar met wegdek opgenomen aangezien de brug bij hoogwater voor opstuwing zorgt.
- Aanpassing instroom Neul (bij connection node 23) middels een dwarsprofiel met een bodemhoogte waardoor de Neul instroomt vanaf een T50WH situatie.

Aanpassingen voor definitieve VO

- Op basis van de met het waterschap gedeelde Excel: vergelijking HI + inmeting + VO.xlsx zijn in de VO-berekening, binnen het projectgebied, de leggerprofielen zonder VO-maatregelen vervangen door de inmetingsprofielen uit 2018. Dit is gedaan om effecten van maatregelen goed tot uitdrukking te laten komen, zonder dat dit beeld vertroebeld wordt door natuurlijke wijzigingen.
- Daarnaast is een referentieberekening uitgevoerd met alleen de inmetingsprofielen uit 2018 (traject A50 tot aan de uitstroom van de hoogwatergeul bij Rijsingen), dit waren eerst leggerprofielen. Ook een berekening uitgevoerd met alleen de leggerprofielen. Deze 2 referentiesommen zijn doorgerekend voor T100WH en de stationaire zomer-sommen.
- Voor de referentieberekeningen is het oorspronkelijk 2D grid gebruikt aangezien hier het winterbed nog niet verbreed moest worden, dit betreft het grid: 20181204_bedobo_22.asc
- Voor de referentiecase met inmetingen zijn om vervolgens bij het VO-model te komen de volgende profielen aangepast:
 - prof_DO1.3-DP-1626
 - prof_DO1.3-DP-1695
 - prof_DO1-DP-11266
 - 34
 - prof_DO1-DP-11392_kopie
 - prof_DO1-DP-11627
 - prof_DO1-DP-11627-kopie
 - prof_DO1-DP-11724
 - prof_DO1-DP-11775
 - tot hoogwatergeul
- Ook zijn er klimaatsommen met 5% en 10% extra debiet vanuit de bovenstroomse boundaries, een aangepaste RWZI-file en een 5% en 10% opgehoogde bui-file doorgerekend.

Aanpassingen aan VO-referentiemodel maart 2021 met de afvoergolf van 2018 en overige VO-finetuningsstappen

- Bij de Brockstraat is een pomp ($Q=1,5\text{m}^3/\text{s}$) opgenomen i.p.v. een open verbinding met de watergang bij de Brockstraat.
- Voor de berekeningen met de aangepaste afvoergolf (anno 2018) is:
 - De buifile vervangen door 1_W_T100
 - De paved nodes onder Meteo Stations verwijzen nu naar P_Neerslag_Stedelijk. De verwijzing van de Greenhouses zijn niet gewijzigd.
 - De RWZI knopen Sint Oedenrode, Boxtel en Eindhoven hebben de effluent tabel uit case 2018Q4_T100WH, deze is voor Den Bosch hetzelfde gebleven.
 - De Q-Boundary nodes zijn aangepast naar case 2018Q4_T100WH, de h-boundaries zijn niet aangepast.
- De breedte van de kanogoot is 1,5 m in plaats van 2 m, met een kanogootdrempel met een hoogte van 9,8 m+NAP en een kanogoothoogte van 9,5 m+NAP.
- Lateraal Conn2567 teruggezet naar 0 m³/s.
- Profiel 17 toegevoegd net bovenstrooms van de Philippusbrug.
- Profiel 12 (Philippusbrug) aangepast, de beschoeiing rechts vervangen door natuurlijk talud aansluitend op de boven- en benedenstroomse profielen.

Aanpassingen aan Iv+ referentiemodel om te komen tot VO-referentiemodel maart 2021

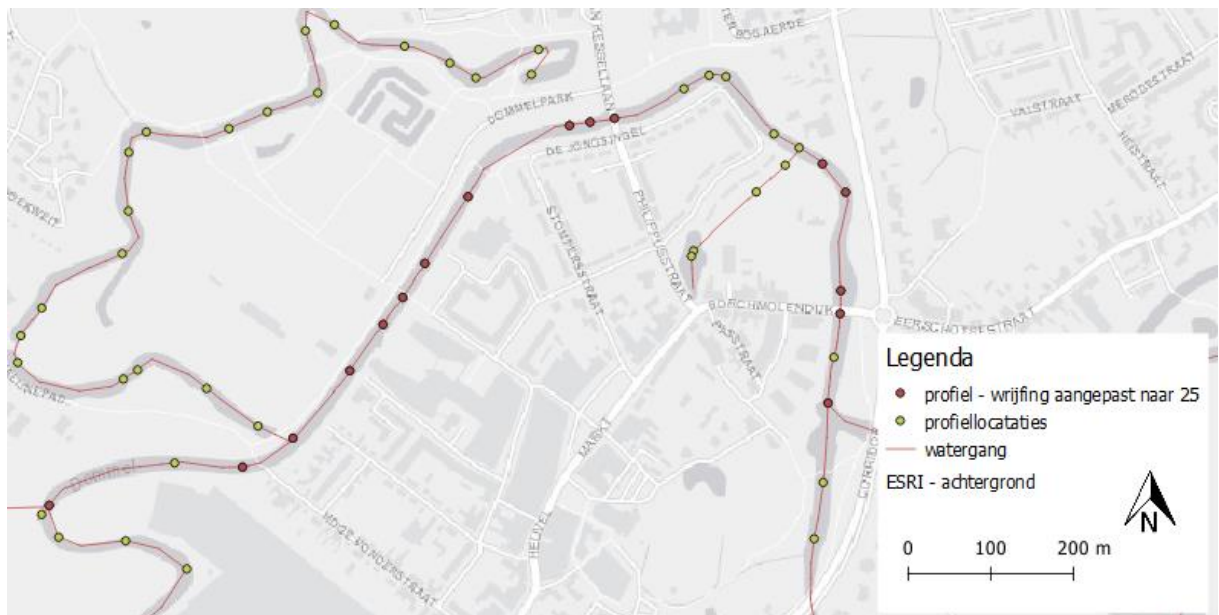
- 2D grid & 2D grid hoogwatergeul Rijsingen:
Overland flow model → grid → 2Dgrid → import 2D grid →
 - 20181204_bedobo_22_aangepast2Dgrid.asc
 - Ruwheid: 20171201_ruwheid_bov_4.asc
 - 2D9088.asc
 - Ruwheid: Data for grid → friction → White Colebrook (kn) → 0.2
- De profielen zijn op basis van de Afgestemde VO-referentiemodel profielen Excel doorgevoerd.
 - Hiervoor zijn 3 profielen toegevoegd:
 - ID: Node 11, VO_DP12
 - ID: Node 12, prof Philippusbrug
 - ID: Node 17, prof_DO1-DP-11914
 - Profielen verwijderen:
 - prof_DO1-DP-12590
 - prof_DO1-DP-12012 (VO 16)
 - prof_DO1-DP-12673
 - Profiel locatie aanpassen van
 - prof_DO1-DP-11392_kopie: naar net voor de Hambrug
 - prof_DO1-DP-12338_kopie: naar net bovenstrooms van Node Neul_2
 - prof_D01-1-DP-12673_kopie: naar de bocht voor de instroom van de hoogwatergeul bij Rijsingen
- Kanodrempels -t.o.v. het referentie Iv+ model moeten de 3 benedenstroomse kanodrempels bij het sportpark verwijderd worden (te veel opstuwing o.b.v. metingen van het waterschap) & moet de weirshift op 0 gezet worden.
- Kanodrempel 't Laar – moet opgehoogd worden naar 8,9m+NAP (i.p.v. (8.6m+NAP) + een kanogoot van 2 m breed moet met 20 cm worden verlaagd.
- Rivierlengte verlengen (traject Odaschool tot Neulbrug was 502 m, nu 525 m & traject Neulbrug tot Cathalijnebrug was 271 m, nu 273 m, komt neer op een totale verlenging van 25 m), in het model is dit 1 reach (ID:28) met een lengte van 428, indien dit met 1.06 verlengt

wordt komt dit ook neer op een verlenging van 25,7 m;

De profielen op het traject net na de Dommelmeander (prof_DO1-DP-11266) tot aan de hoogwatergeul bij Rijsingen (prof_D01-1-DP-12673_kopie) hadden geregeld Strickler waarde $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i.p.v. $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ zoals dit in de rest van de Dommel (boven en benedenstreams van het ontwerptraject zit), deze waarden zijn aangepast naar $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ voor het zomerbed en $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ voor het winterbed (zie uitleg in de inleiding van deze memo. Winterbedprofiel begint bij prof_DO1-DP-11724, dus vanaf hier wrijving deels 25 en deels 15. Voor het eilandje van profiel prof_DO1-DP-11775 is ook een Strickler waarde van $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gekozen.

De ID's van de aangepaste profielen zijn opgesomd en in onderstaande afbeelding weergegeven in het rood:

- prof_DO1-DP-11266
- prof_DO1-DP-11392_kopie
- prof_DO1-DP-11392
- prof_DO1-DP-11514
- Bouwsteen7
- 12
- prof_DO1-DP-11876
- 17
- prof_DO1-DP-12084
- prof_DO1-DP-12180
- prof_MEETPUNT240021
- prof_DO1-DP-12269
- prof_DO1-DP-12338
- prof_DO1-DP-12338_kopie
- prof_DO1-DP-12517
- prof_D01-1-DP-12673_kopie



- Bruggen (Philippusbrug, brug zwembad/Dommelpark en brug Cathalijnepad) opnemen als 2 pijlers met ieder een breedte van 1m en een gestroomlijnde vorm krijgen en in het winterbed worden geplaatst. De Neulbrug is met 1 pijler opgenomen. In Sobek is hiervoor gebruik gemaakt van een pillar bridge met een $b=2\text{m}$ (voor de Neulbrug $b=1\text{m}$) en $\text{shape factor}=1.3$.

- Totale lengte van de Dommel verlengen; factor 1.05 voor het traject van de Odaschool tot de Neulbrug en factor 1.01 voor het traject van de Neulbrug tot het wandelpad bij Rijssingen. Om te zorgen dat het traject op dezelfde locatie blijft liggen en niet verspringt is het nodig om eerst extra rekenpunten toe te voegen. Vervolgens kan m.b.v. split reach by connection node extra vaste punten worden aangebracht. Ook moeten er extra nieuwe rekenpunten worden toegevoegd, omdat er altijd rekenpunten tussen connection nodes aanwezig moeten zijn. Hoe de lengte daadwerkelijk is aangepast is te vinden in de Excel Afgestemde VO-referentiemodel profielen op tabblad verlenging Dommel.

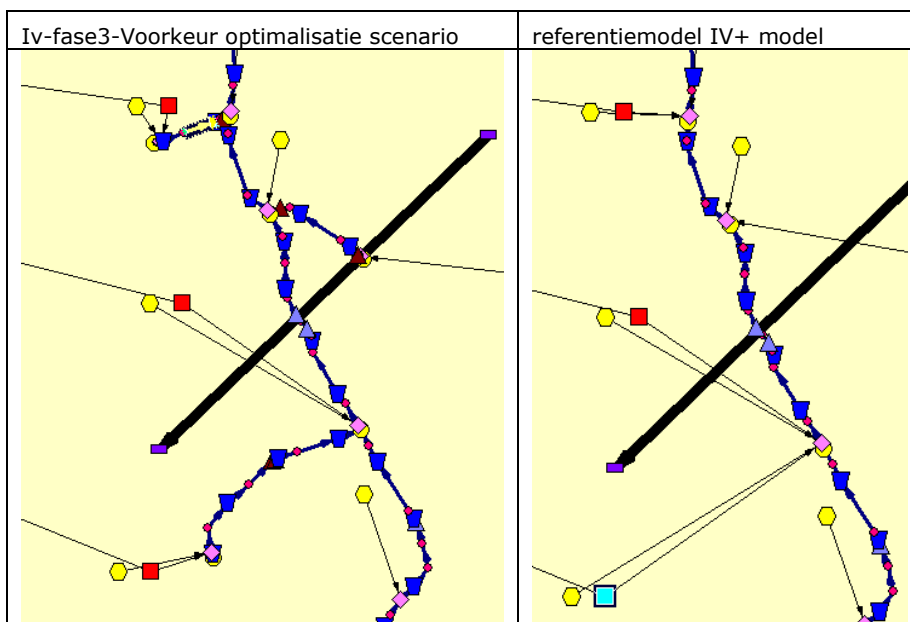
Aanpassingen aan Iv-Infra voorkeursmodel om te komen tot het referentiemodel I+ van maart 2020

Instelling voor overlandflow was no embankments, aangepast naar lowest of embankments
 Vanwege deze instelling moet het Bouwsteen1_Prof worden aangepast, zodat de instroom naar de hoogwatergeul niet wordt belemmerd.

Op aanwijzing van Maaikse: Riv_DO40, Riv_DO41.1 en Riv_DO41 verwijderd

Lateral flow behouden → move and combine node → RR behouden

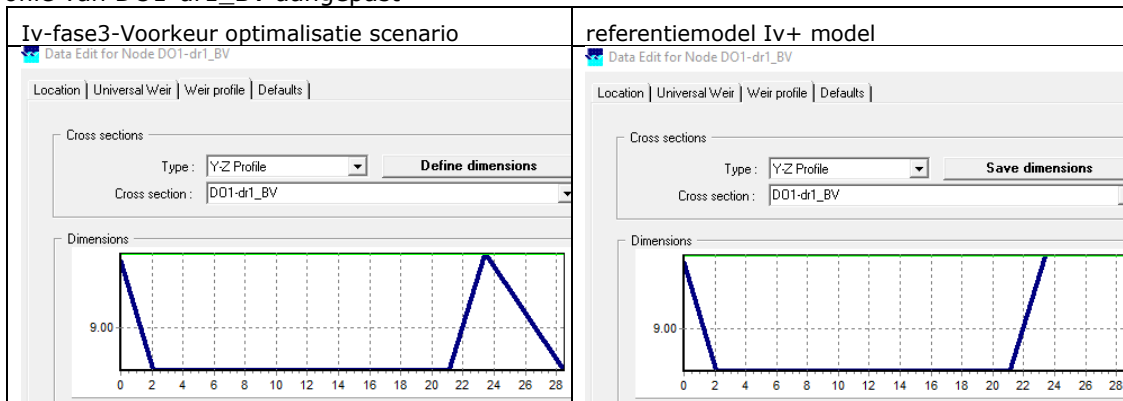
ID's: pav_riv_DO40_1, gre_riv_DO40_1, pav_riv_DO41.1_1, gre_riv_DO41.1_1, gre_riv_DO41_1



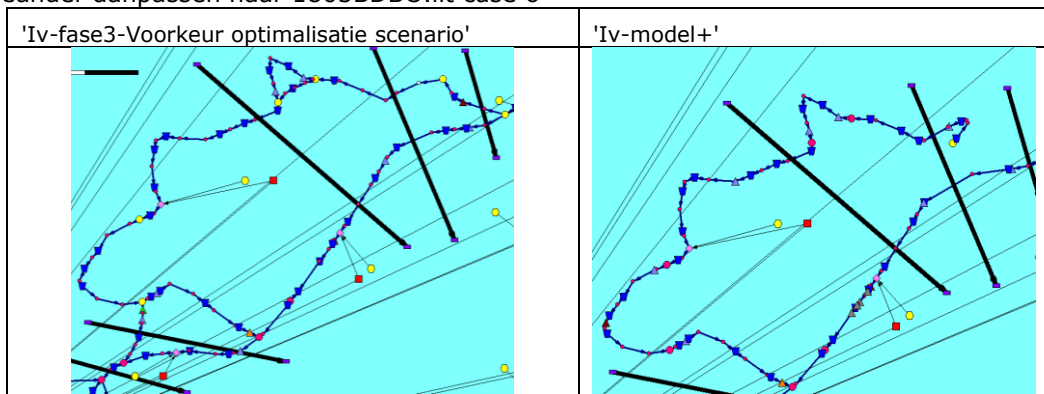
De Hambrug (Sobek id DO1-KBR12) → inlet loss coefficient was 0.667 (standaard) aangepast naar 0.6.

In het Toegepaste vloeistofmechanica hydraulica voor waterbouwkundige van I. Nortier en P. de Koning staat: voor een instroomopening met scherpe, niet afgeronde randen is $\mu = 0.6$. Aangezien de Hambrug wel afgeronde pilaren heeft, is dit al conservatieve aanname.

Weir profile van DO1-dr1_BV aangepast



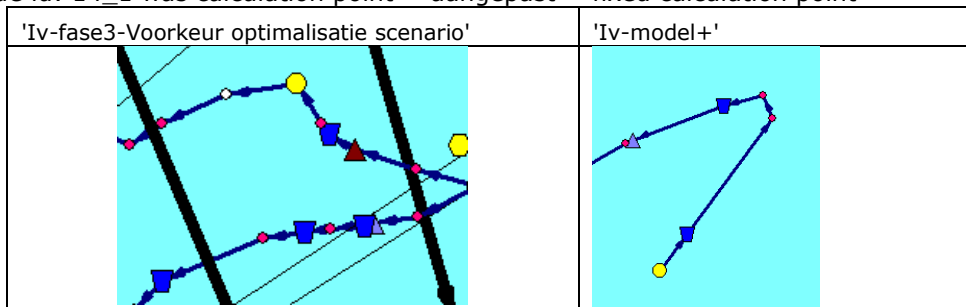
Neul meander aanpassen naar 1803BDBO.lit case 6



Hiervoor zijn de volgende stappen doorlopen:

Delete reach 30

Node id: 14_1 was calculation point → aangepast → fixed calculation point



Profielen **toegevoegd** en/of **aangepast**:

ID/name	Cross section
prof_24052016-NB-DP1	24052016-NB-DP1
prof_24052016-NB-DP2	24052016-NB-DP2
prof_24052016-NB-DP3	24052016-NB-DP3
prof_24052016-NB-DP4	24052016-NB-DP4
prof_24052016-NB-DP5	24052016-NB-DP5
prof_24052016-NB-DP8	24052016-NB-DP8
prof_24052016-NB-DP9	24052016-NB-DP9
prof_24052016-NB-DP9	24052016-NB-DP9
prof_24052016-NB-DP10	24052016-NB-DP10
prof_24052016-NB-DP11	24052016-NB-DP11

prof_24052016-NB-DP12	24052016-NB-DP12
prof_24052016-NB-DP13	24052016-NB-DP13
prof_24052016-NB-DP14	24052016-NB-DP14
prof_24052016-NB-DP15	24052016-NB-DP15
prof_24052016-NB-DP16	24052016-NB-DP16
prof_24052016-NB-DP17	24052016-NB-DP17
prof_24052016-NB-DP18	24052016-NB-DP18
prof_24052016-NB-DP19	24052016-NB-DP19
prof_24052016-NB-DP20	24052016-NB-DP20
prof_24052016-NB-DP21	24052016-NB-DP21
prof_24052016-NB-DP22	24052016-NB-DP22

De volgende bruggen zijn toegevoegd:

ID/name	Bottom level	length
D01_2-KBR6	8.52	1.8
D01_2-KBR3	7.3	2.5
D01_2-KBR4	7.25	1.15

De volgende duiker(s) zijn toegevoegd:

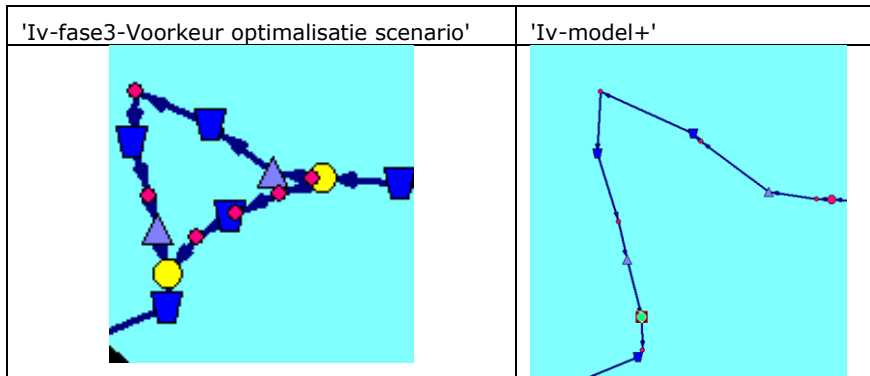
ID/name	Start-end	length
D01_1-KDU2	7.76-7.7	12.27

Bypass binnen de Neul meander verwijderen → Delete reach 26

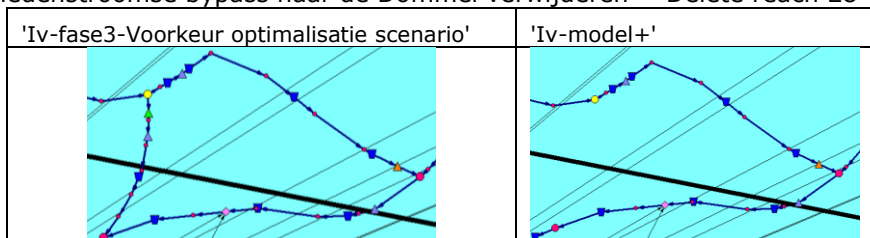
Connection nodes met storage + lat flow aanpassen in connection nodes, want hierbij kan er gekozen worden voor interpolatie over de nodes

Voor Bouwsteen4b_4 interpolate over reach 14 (first reach) en 24 (second reach)

Voor Bouwsteen4b_3 interpolate over reach 24 (first reach) en 23 (second reach)



Benedenstroomse bypass naar de Dommel verwijderen → Delete reach 28



Ook hier connection nodes met storage + lat flow aanpassen in connection nodes, want hierbij kan er gekozen worden voor interpolatie over de nodes

Bouwsteen4b_1 interpolate over reach 23 (first reach) en 25 (second reach)

Bouwsteen4b_2 interpolate over reach 25 (first reach) en 22 (second reach)

Ook buiten de Neul meander zijn connection nodes met storage + lat flow aangepast in connection nodes (selecteer connection node → node → node type)

- CONN1036 interpolate over reach 42 (first reach) en 3 (second reach)
- CONN1090 interpolate over reach 3 (first reach) en 40 (second reach)
- CONN798 interpolate over reach 31 (first reach) en riv_D01_39 (second reach)
- Bouwsteen5b_1 interpolate over reach riv_D01_39 (first reach) en 29 (second reach)
- CONN3517 interpolate over reach 11 (first reach) en riv_D01_38 (second reach)
- CONN4536 interpolate over reach riv_D01_38 (first reach) en riv_D01_37 (second reach)

Opnemen kanodrempels (coördinaten met google maps bepaald)

Opgenomen als universal weir (standaard weir coeff = 1).

ID's: Node 10, 11,12,14

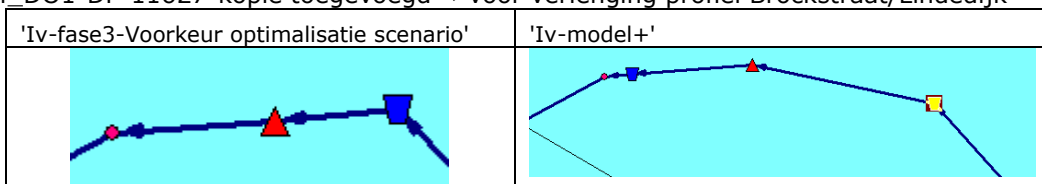
Doorsnede overzicht (Excel sheet prof_D01-DP-12269)



Rekenpunten toegevoegd tussen de verschillende kanodrempels/kunstwerken (node 15 en node 16)

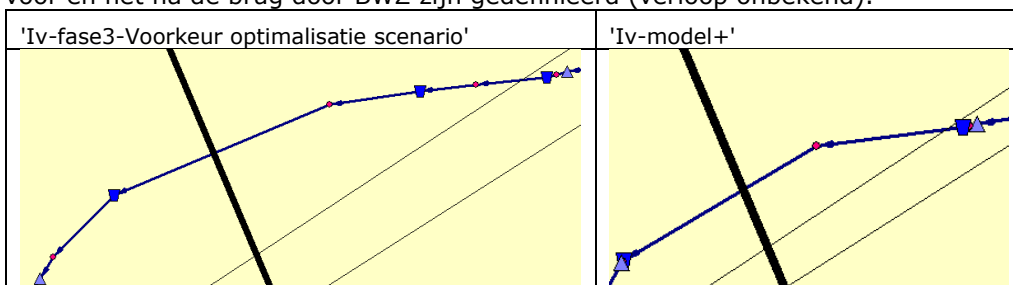
Aangepaste profielen (o.a. Brockstraat/Lindedijk), zie hiervoor ook de bijgevoegde Excel sheet prof_D01-DP-11724 verplaatst naar net na de bocht

prof_D01-DP-11627-kopie toegevoegd → voor verlenging profiel Brockstraat/Lindedijk



prof_D01-DP-11876 vervangen door prof_D01-DP-11914

Originele prof_D01-DP-11914 + rekenpunt FXCL4581 verwijderen omdat er alleen profielen net voor en net na de brug door BWZ zijn gedefinieerd (verloop onbekend).



Move node FXCL4584 en prof_DO1-DP-12012 tot net voor de benedenstroomse brug (hier moet namelijk $b=18$ gelden).

2D opname van de hoogwatergeul Rijsingen:

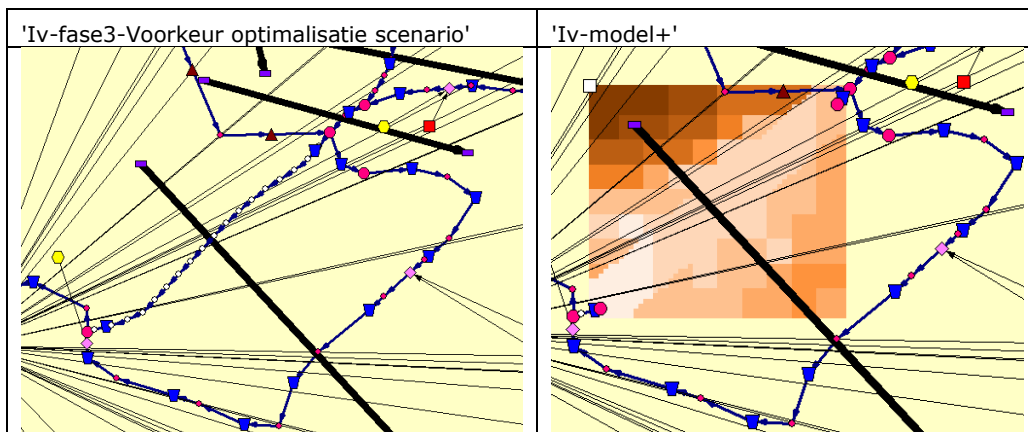
move node: Bouwsteen1_Prof naar bovenstrooms van node 33_1

reach → split reach at node, voor zowel node 33_17 en node 33_1

reach → delete reach 16

Overland flow model → grid → 2Dgrid → import 2D grid → hoogwatergeul_5mgroter_verloop.asc
(aangepast grid met python gemaakt → moet voor de extra berekeningen worden aangepast)

Data for grid → friction → White Colebrook (kn) → 0.2



Bouwsteen7 aangepast op basis van toelevering BWZ (profiel in Excel-sheet)