



RAPPORT

IMPACT VAN WIJZIGENDE NEERSLAGPATRONEN OP LOKALE WATERLOPEN

DEEL 2: OVERSTROMINGSKAARTEN

IN OPDRACHT VAN
STAD ANTWERPEN

Disclaimer

HydroScan en degenen die aan dit rapport hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld op basis van de best beschikbare informatie. Desondanks kunnen er zich onjuistheden in dit rapport bevinden. HydroScan sluit, mede ten behoeve van hen die aan dit rapport hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die kan voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

Copyright

Niets uit dit rapport mag worden gekopieerd zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stad Antwerpen

INHOUDSTAFEL

Inhoudstafel	2
1. Inleiding	3
1.1 Situering	3
1.2 Globale methodiek	4
2. Hydraulische modellering	5
2.1 Omzetting hydrologische analyse naar input voor hydraulische modellen.....	5
2.1.1 Methodiek.....	5
2.1.2 Interpolatie scenario huidige toestand.....	6
2.1.3 Ruimtelijke correctie voor het HighS scenario	8
2.2 Modelaanpassingen	16
2.2.1 Pompstations het Schijn	16
2.2.2 Opwaartse randvoorwaarden het Schijn.....	17
2.2.3 Afwaartse randvoorwaarde Benedenvliet	18
2.2.4 Water op straat modellering voor riolering gekoppeld aan Benedenvliet.....	19
3. Overstromingskaarten	23
3.1 Opmaak overstromingskaarten.....	23
3.1.1 RS modellen Schijn Noord en Zuid	23
3.1.2 ICM model Benedenvliet	23
3.2 Bespreking overstromingskaarten	24
3.2.1 Schijn Noord	24
3.2.2 Schijn Zuid (inclusief Klein Schijn).....	25
3.2.3 Benedenvliet.....	25
4. Pomputval	27
4.1 Methodiek.....	27
4.2 Timing per deelgebied.....	27
4.2.1 Het Schijn.....	27
4.2.2 Benedenvliet.....	28
4.3 Resultaten pomputval.....	29
Referenties.....	30
Bijlage A: Vergelijking overstromingskaarten	31
A.1 Schijn Noord.....	31
A.2 Schijn Zuid en Klein Schijn	41
A.3 Benedenvliet.....	51
Bijlage B: Overstromingskaarten bij pomputval.....	57
B.1 Schijn Noord.....	57
B.2 Schijn Zuid	62
B.3 Klein Schijn	67
B.4 Benedenvliet	72
Bijlage C: Vergelijking traditioneel model versus water op straat modellering	77

1. INLEIDING

1.1 *Situering*

In het kader van de herziening van het Klimaatplan (2015_CBS_04294), de Covenant of Mayors Adapt (2014_CBS_10146) en de uitwerking van een Antwerpse Adaptatiestrategie (PO4678) moeten de lokale effecten van de klimaatverandering in kaart worden gebracht. Hiervoor kan beroep gedaan worden op bestaande klimaatmodellen. Maar gezien de kriticiet van overstromingsproblematieken in grote delen van de Stad Antwerpen en gezien de waardevolle meetgegevens van een netwerk van pluviografen die duiden op een ruimtelijke variatie van neerslagpatronen, heeft de stad opdracht gegeven om een modellering ten aanzien van neerslag op te stellen voor de Antwerpse Regio (2014_CBS_07460). De resultaten van deze studie m.b.t. het lokale Antwerpse neerslagklimaat (Willems et al., 2015) zijn in de voorliggende studie als input gebruikt om een impactstudie uit te voeren op de riviersystemen Schijn en Benedenvliet, met de interacties met het rioolsysteem voor Benedenvliet.

De impactstudie kadert ook in de opmaak van het Waterplan, het Bovenlokaal Groenplan (2015_DCEK_00283) en de herziening van het strategisch ruimtelijk structuurplan van Antwerpen. Hierin worden de ruimtelijke krijtlijnen vastgelegd voor de uitbouw van een klimaatbestendige stad. De impactstudie bouwt ook verder op de overstromingsrisicobeheerplannen (ORBP's) van de VMM (VMM, 2014), inzake optimalisatie van de meerlaagse veiligheid op vlak van preventie (optimalisatie van ruimtelijke plannen om schade te beperken) en paraatheid (rampencoördinatie).

De voorliggende studie omvat de analyse van de impact op de lokale waterlopen Schijn, Benedenvliet, Benedenschijn tot Rode Weel. Enerzijds wordt een vergelijkende hydrologische analyse uitgevoerd van het Antwerpse klimaatmodel (KU Leuven, cfr. Willems et al. 2015) en het klimaatmodel voor Vlaanderen (VMM, cfr. Tabari et al. 2015) om in te kunnen schatten wat de impact is van het Antwerpse klimaatmodel op de afstromingsdebieten naar de waterlopen (fase 1). Anderzijds worden overstromingskaarten gegenereerd met verschillende terugkeerperiodes onder de verschillende klimaatcondities en voor verschillende tijdshorizonten (fase 2). Daarna worden een aantal scenario's doorgerekend m.b.t. structurele maatregelen tegen overstromingsgevaar en m.b.t. mogelijke operationele problemen (pompuival) (fase 3). Tenslotte worden beleidsaanbevelingen uitgewerkt over de keuze en gebruik van de klimaatmodellen, en over de mogelijke ruimtelijke maatregelen voor het verhogen van de meerlaagse veiligheid (preventie en paraatheid) t.a.v. hoge klimaatprognoses en falen van de pompgemalen Groot Schijn, Benedenvliet en Rode Weel (fase 4).

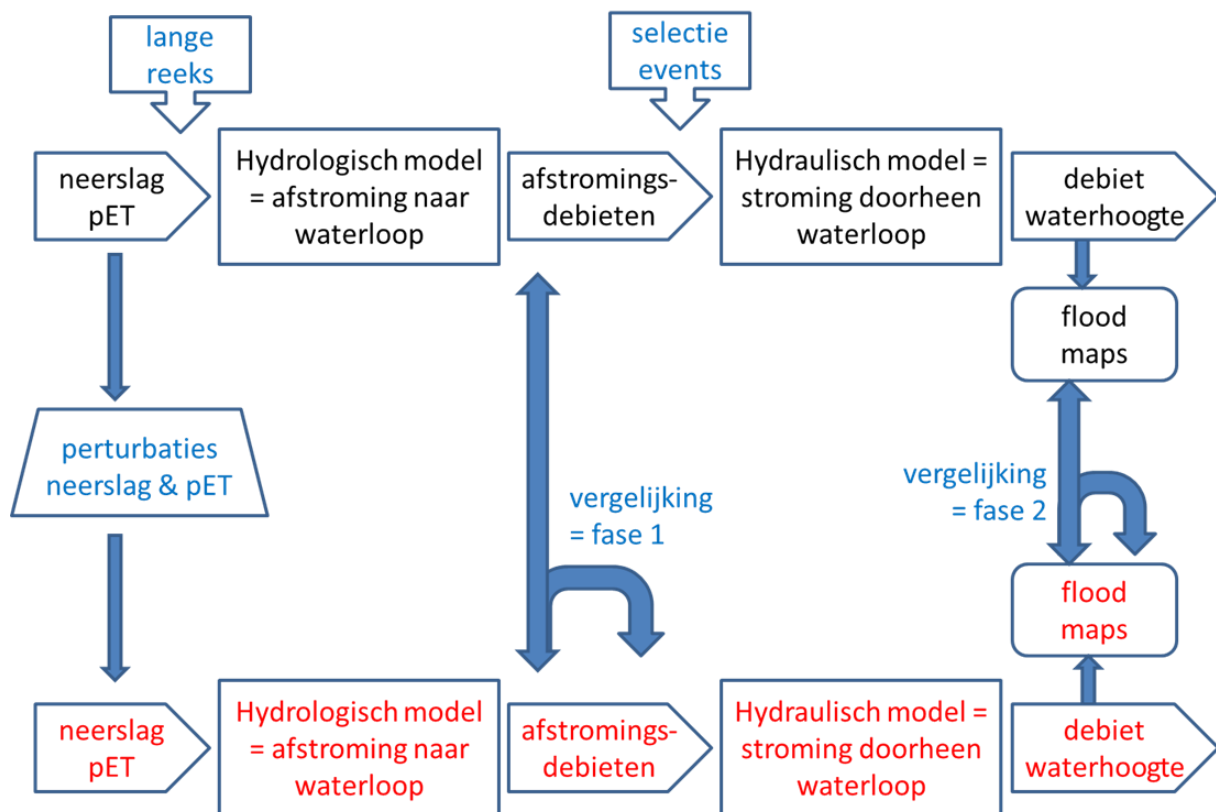
1.2 Globale methodiek

De methodiek voor deze studie omvat volgende fases:

- Fase 1: vergelijkende hydrologische analyse en keuze van de te simuleren klimaatscenario's
- Fase 2: uitvoeren van de simulaties en opmaken van overstromingskaarten voor de geselecteerde klimaatscenario's en vergelijking ervan
- Fase 3: uitvoeren van scenario-analyse enerzijds m.b.t. ORBP maatregelen en anderzijds m.b.t. pompuitval
- Fase 4: beleidsaanbevelingen

Figuur 1 geeft een overzicht van de vergelijkende methodiek voor fase 1 en 2.

In een eerste rapport werd de hydrologische analyse (fase 1) weergegeven [Hydroscan, 2016]. Dit rapport omvat de hydraulische analyse via het vergelijken van overstromingskaarten (fase 2), alsook de analyses van pompuitval voor de bestaande toestand (deel van fase 3).



Figuur 1: Overzichtsschema voor de methodiek van de studie (fase 1+2): in rood de analyse op de geperturbeerde tijdreeksen.

2. HYDRAULISCHE MODELLERING

2.1 *Omzetting hydrologische analyse naar input voor hydraulische modellen*

2.1.1 Methodiek

2.1.1.1 *Traditionele aanpak*

De traditionele methode voor het bepalen van overstromingscontouren bij een bepaalde terugkeerperiode bestaat erin om alle belangrijke neerslaggebeurtenissen te selecteren en in bulk doorrekenen. Daarna volgt een extreme waarden analyse op de resultaten waaruit de waterhoogtes bij de betreffende terugkeerperiode worden bepaald in alle overstroomde modelknopen. Op basis hiervan wordt dan een overstromingskaart opgemaakt. Het nadeel van deze methodiek is vooral de zeer grote rekentijd. Bovendien moet de extreme waarden analyse gebeuren voor een zeer groot aantal modelknopen, wat omwille van het grote rekenwerk enkel kan in een automatische tool die weinig ruimte laat voor bijsturing.

Daarnaast bestaat er een vereenvoudigde methodiek waarbij een aantal gebeurtenissen worden geselecteerd die zo dicht mogelijk een bepaalde terugkeerperiode benaderen voor de betreffende range van concentratietijden en wordt verondersteld dat de overstromingscontouren die veroorzaakt door die bui een terugkeerperiode hebben gelijk aan de terugkeerperiode van deze bui. Het grootste nadeel van deze vereenvoudigde methodiek is dat historische buien zelden een uniforme terugkeerperiode hebben voor een brede waaier aan concentratietijden en dat dan de terugkeerperiode ofwel goed is ingeschat voor piekdebieten ofwel voor volumes, maar zelden voor beiden.

2.1.1.2 *Voorstel alternatief*

Door HydroScan werd een alternatieve methodiek ontwikkeld die eenvoudiger is toe te passen. Deze methodiek werd eerder toegepast in het kader van de integrale modellering van de Scheibeek in Sint-Denijs-Westrem i.o.v. Farys en de provincie Oost-Vlaanderen en wordt ook toegepast op de integrale modellering van de Woluwe i.o.v. de VMM.

In het PDM model wordt een lange tijdreeks gesimuleerd en hierop wordt een statistische analyse uitgevoerd (extreme waarden verdeling voor uurlijkse piekafstromingsdebieten en dagvolumes: zie ook fase 1). De composietbuien voor verschillende terugkeerperiodes worden gesimuleerd in het PDM model met initiële condities, waarbij deze initiële condities zodanig bepaald worden dat de piekdebieten op de extreme waarden verdeling ligt van de lange termijn PDM simulatie. Deze initiële condities geven de gemiddelde voorafgaandelijke vernatting aan die ervoor zorgt dat de piekafvoer correct wordt gesimuleerd. Het is vooral de voorafgaandelijke vernatting die het grote verschil geeft in piekafvoer bij landelijke afstroming.

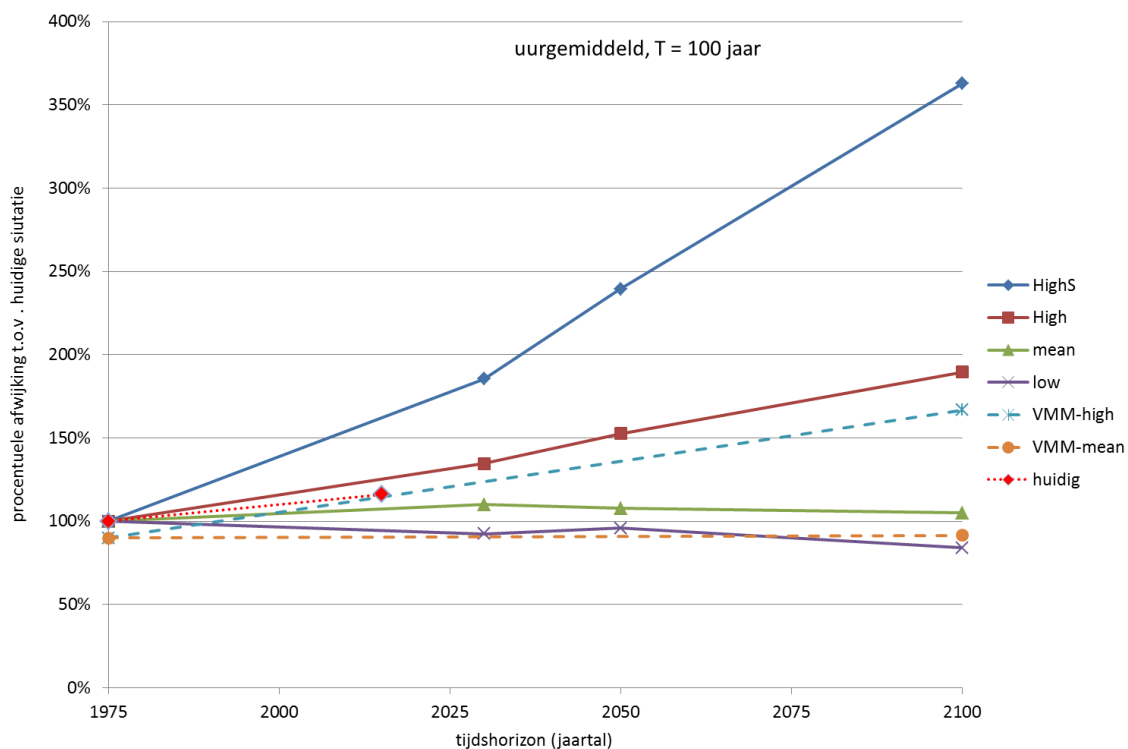
Deze methodiek is ook heel praktisch toe te passen in een integraal model. In het integrale model worden de composietbuizen gelijktijdig gesimuleerd voor zowel de rechtstreekse afstroming van de verharde oppervlakte als voor de PDM afstroming (met de bepaalde initiële condities). Dit geeft één simulatie per terugkeerperiode waarmee eenvoudig een overstromingskaart kan worden aangemaakt.

Een nadeel van deze methodiek is nog dat wanneer de piekdebieten correct worden bereikt via het inschatten van de initiële condities, de dagvolumes vaak overschat worden. Om dit te compenseren, worden de bekomen afstromingshydrogrammen herschaald zonder de piekdebieten te beïnvloeden en zodanig dat de dagvolumes overeenkomen met deze uit de extreme waarden verdelingen.

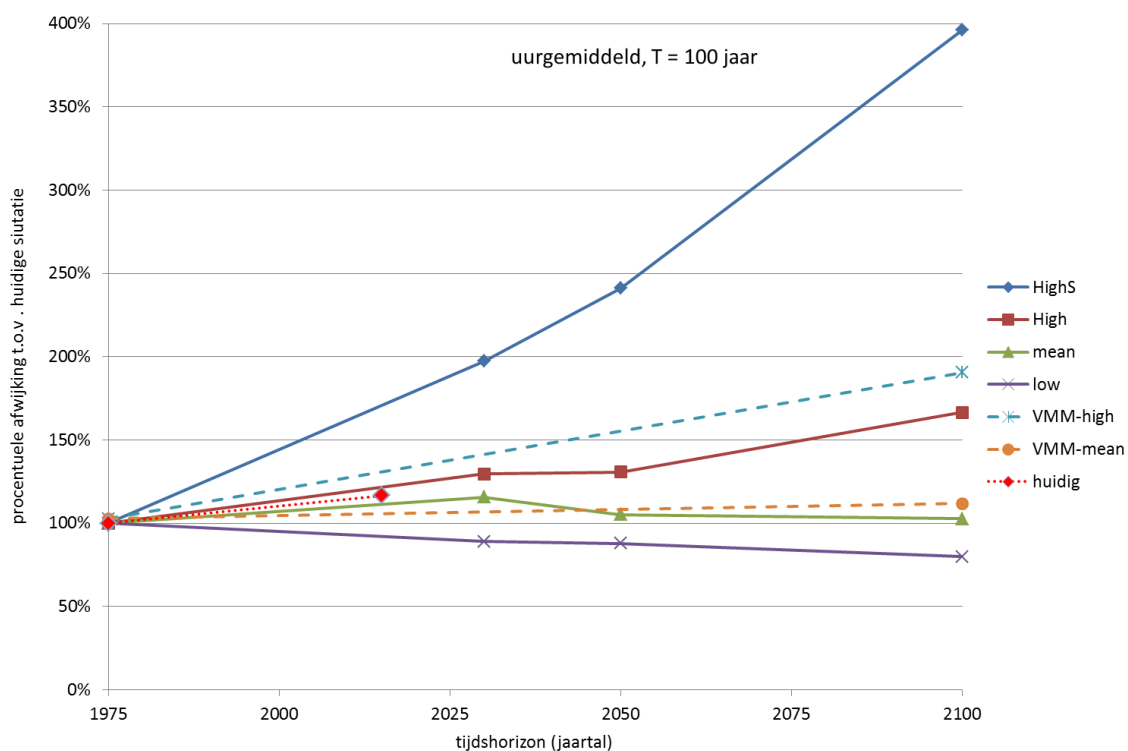
Deze hydrogrammen worden dan als opwaartse instromen in het hydraulisch waterlopenmodel opgelegd.

2.1.2 Interpolatie scenario huidige toestand

De referentiereeksen zonder klimaatinvloed hebben een representatieve tijdshorizon gelijk aan 1975. De huidige toestand ligt dus veel dichterbij de klimaatscenario's met tijdshorizon 2030. Volgens prof. Willems van de KU Leuven, evolueerden we tot nu toe eerder volgens het High dan volgens het Mean klimaatscenario, tenminste in termen van broeikaseffect. Daarnaast zijn er nog andere aspecten die een rol spelen. Het is daardoor niet eenvoudig om een goede inschatting te maken van welke situatie het best overeenkomt met de huidige toestand. Voor deze studie is een ruwe inschatting hiervan gemaakt door te stellen dat de huidige toestand ergens midden tussen het High en het Mean afstromingsscenario ligt en dat we tussen 1975 en 2030 lineair kunnen interpoleren. Dit geeft een grootteorde weer die is weergegeven t.o.v. de andere afstromingsscenario's voor de verschillende stroomgebieden in respectievelijk figuur 2 en figuur 3 voor Schijn Zuid en Noord. De inschatting is nog redelijk betrouwbaar, aangezien de verschillen tussen het High en Mean afstromingsscenario tot 2030 relatief beperkt zijn. Voor Benedenvliet worden deze inschattingen weergegeven in figuur 8 t.e.m. figuur 11 in paragraaf 2.1.3.3. Omdat voor Benedenvliet de situatie complexer is door het voorkomen van extreme zomerbuien die vooral de stedelijke afwatering sterk belasten en de extreme winterafvoeren die vooral de landelijke afwatering sterk belasten, wordt er geen specifiek geïnterpoleerd scenario uitgewerkt voor de huidige toestand. Uit de grafieken blijkt dat het Mean 2030 scenario gemiddeld gezien redelijk goed aansluit bij de huidige toestand, wordt dit Mean 2030 scenario als huidige toestand gebruikt.



Figuur 2: Vergelijking van de inschatting voor de huidige toestand (rode ruit) t.o.v. de andere klimaatscenario's en tijdshorizonten voor de uurlijkse afstromingsdebieten bij een terugkeerperiode van 100 jaar voor Schijn Zuid.



Figuur 3: Vergelijking van de inschatting voor de huidige toestand (rode ruit) t.o.v. de andere klimaatscenario's en tijdshorizonten voor de uurlijkse afstromingsdebieten bij een terugkeerperiode van 100 jaar voor Schijn Noord.

2.1.3 Ruimtelijke correctie voor het HighS scenario

Het HighS scenario omvat de uiterste variatie voor toename van zomerse onweders. Dit in tegenstelling tot het High scenario dat de uiterste variatie voor de toename van de winterse condities omvat. De convectieve zomerse onweders komen echter meer lokaal voor dan winterse neerslag die wordt veroorzaakt door frontale neerslagzones. Indien buien zouden worden gesimuleerd gelijktijdig over het gehele gebied, zou dit tot een grote overschatting van de impact leiden. Daarom wordt voor de buien van het HighS een ruimtelijke correctie uitgewerkt op de neerslag. De HighS scenario's worden enkel gesimuleerd voor Benedenvliet, aangezien dit een integraal model is met een specifieke modellering van de stedelijke afwatering. Overstromingsrisico's in stedelijke gebied worden immers in grote mate door de plotse hevige zomerse onweders veroorzaakt. Voor de landelijke afstroming geeft dit geen extreme situatie en daarom wordt het ook niet gesimuleerd in het waterloop model van het Schijn.

2.1.3.1 *Ruimtelijke neerslagcorrectie*

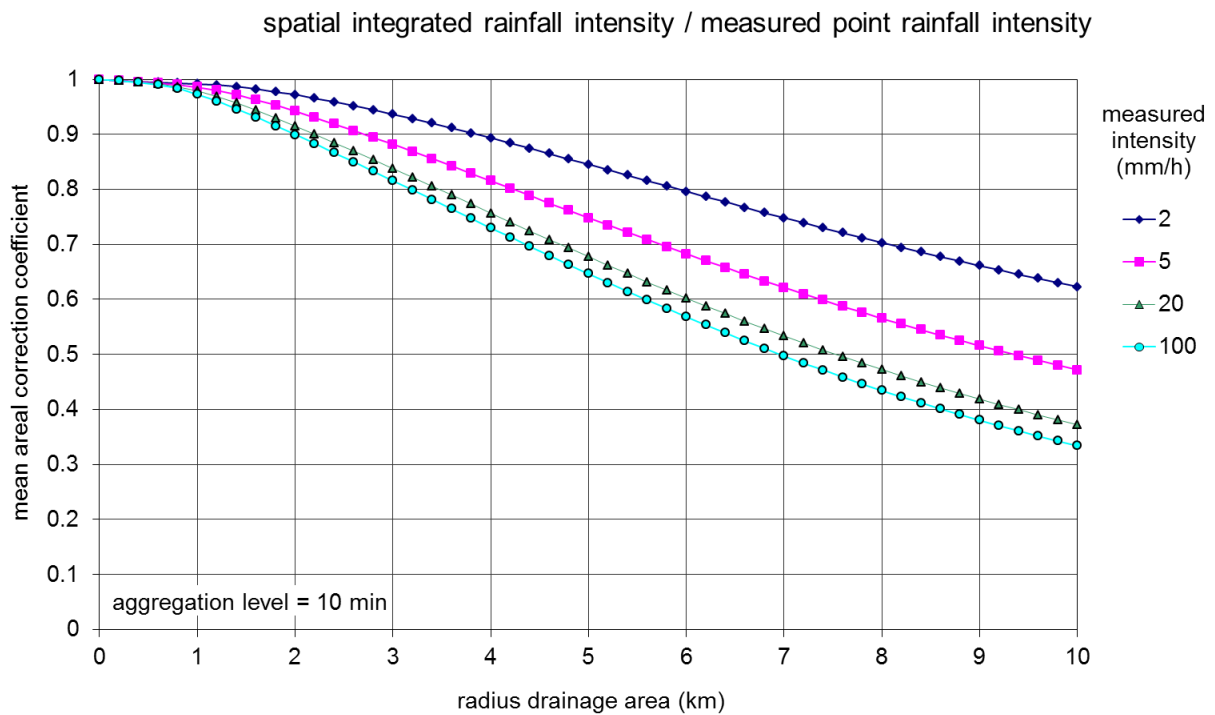
Om de ruimtelijke correctie in rekening te brengen op de buien van het HighS scenario wordt gebruik gemaakt van de ruimtelijke correctiecoëfficiënten afgeleid door (Vaes et al., 2005). Deze correctiecoëfficiënten zijn gebaseerd op een stochastische ruimtelijke neerslaggenerator voor Vlaanderen opgesteld door (Willems, 2000).

De ruimtelijke correctiecoëfficiënten zijn functie van de grootte van het gebied (radius), de duur van de neerslag (aggregatieniveau) en de neerslagintensiteit (gemeten puntneerslagintensiteit). Figuur 4 geeft een voorbeeld van de Vlaamse ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor een aggregatieniveau van 10 minuten. Hoe groter het gebied en hoe heviger de intensiteit, hoe groter de correctie. Hoe groter het aggregatieniveau hoe kleiner de correctie (vergelijk figuur 4 en figuur 5).

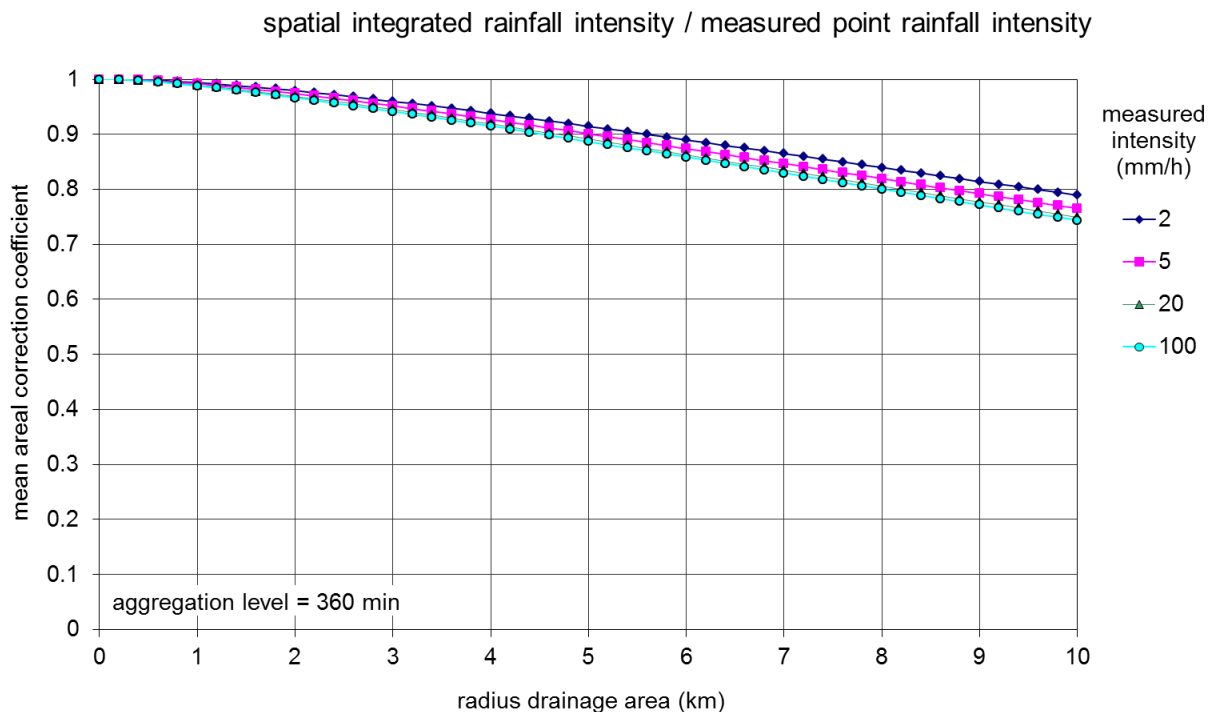
Aangezien er een correlatie is tussen de parameters grootte van het gebied en concentratietijd (de meest nadelige afstromingscondities worden bekomen als het aggregatieniveau gelijk is aan de concentratietijd) die functie is van het afwateringssysteem, is hier bijkomende informatie over nodig om de ruimtelijke correctiefactoren te kunnen implementeren.

Voor het afwateringsgebied van Benedenvliet is de gemiddelde straal gelijk aan 4.2 km (dus 8.4 km doorsnede) en is de concentratietijd ingeschat op 6 uur. Voor de implementatie is aangenomen dat de correlatie tussen gebiedsgrootte en concentratietijd lineair varieert van de combinatie 0 km en 0 uur tot de combinatie 4.2 km en 6 uur.

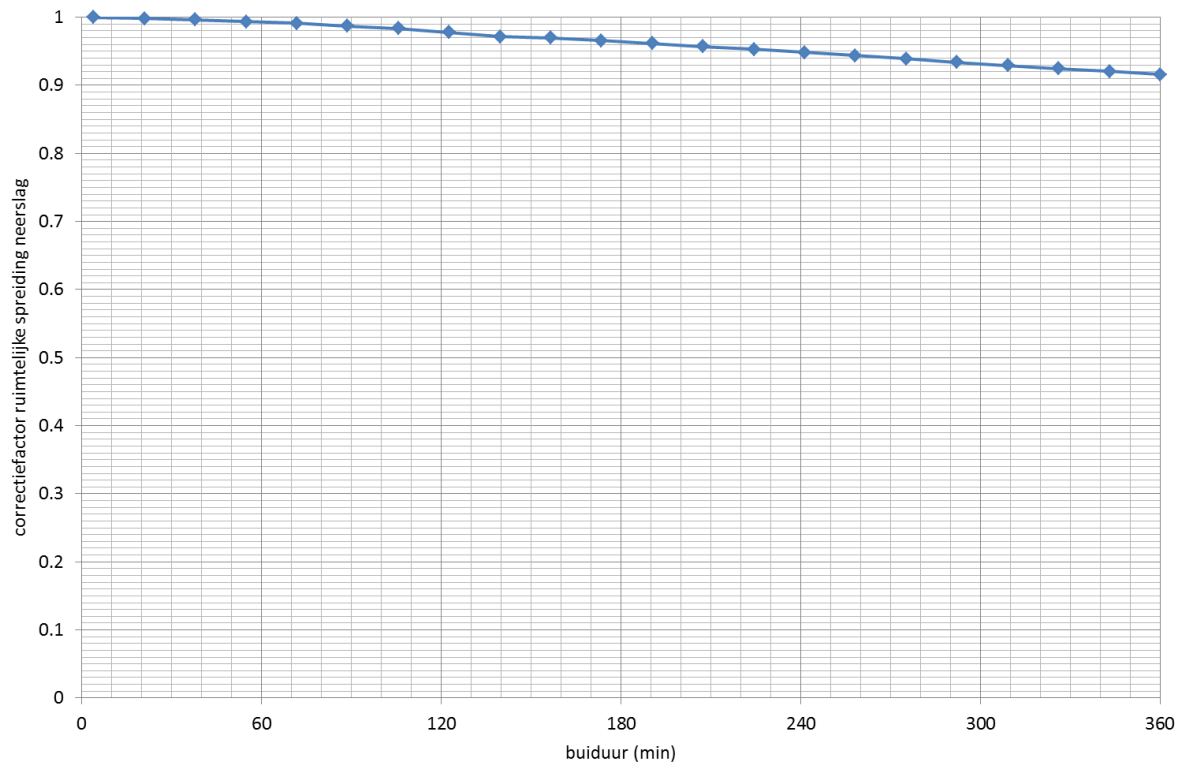
In figuur 6 wordt een voorbeeld gegeven van de resulterende ruimtelijke correctie voor een composietbui (referentie) met een terugkeerperiode van 100 jaar. In figuur 7 wordt het effect op de composietbui getoond: de piekintensiteiten blijven hetzelfde, maar het buivolume neemt af. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de ruimtelijke neerslagcorrecties voor de HighS scenario's voor Benedenvliet.



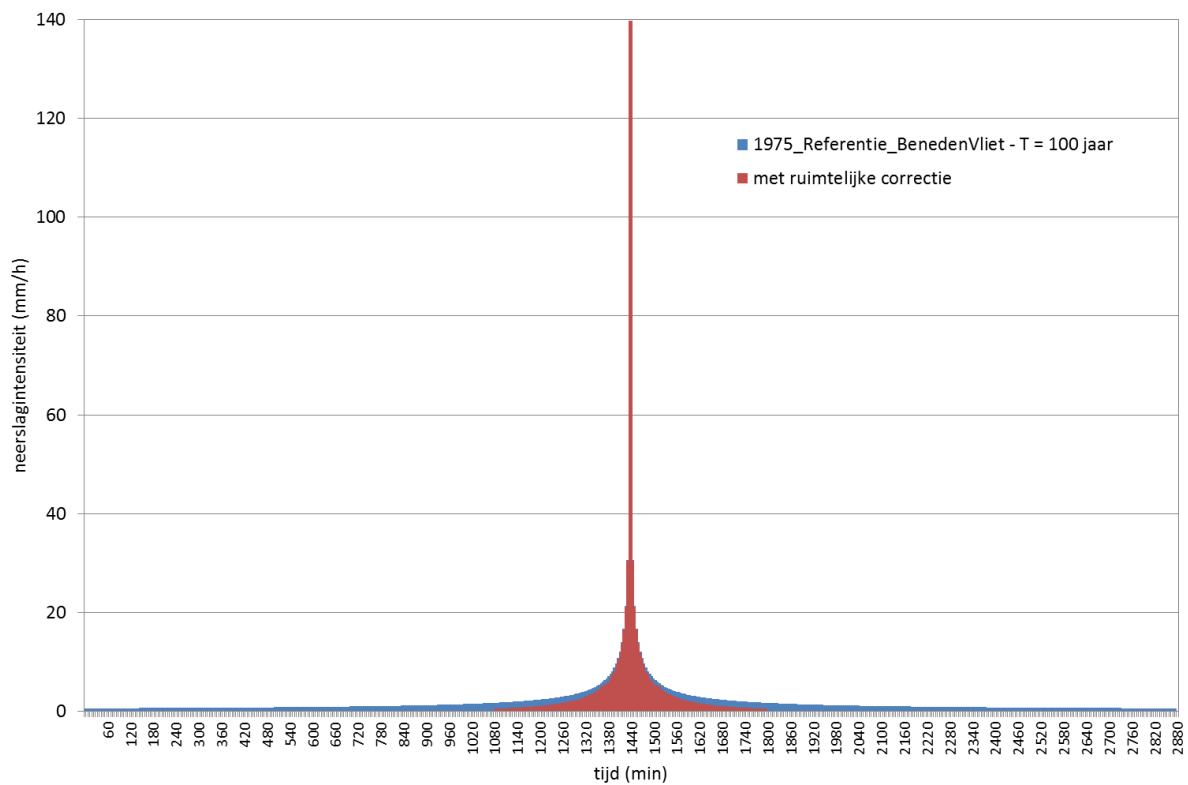
Figuur 4: Ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor Vlaanderen voor een aggregatieniveau van 10 minuten (Vaes et al., 2005).



Figuur 5: Ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor Vlaanderen voor een aggregatieniveau van 360 minuten (Vaes et al., 2005).



Figuur 6: Gecombineerde ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor Benedenvliet voor een composietbui (referentie) met een terugkeerperiode van 100 jaar.



Figuur 7: Effect van de ruimtelijke neerslagcorrectie voor Benedenvliet voor een composietbui (referentie) met een terugkeerperiode van 100 jaar (blauw = oorspronkelijke bui; rood = ruimtelijk gecorrigeerde bui)

Tabel 1: Overzicht van de neerslagintensiteiten voor de gecorrigeerde HighS scenario's.

HighS horizon	T (jaar)	uurgemiddelde intensiteit (mm/h)			daggemiddelde intensiteit (mm/h)		
		oorspronkelijk	gecorrigeerd	% correctie	oorspronkelijk	gecorrigeerd	% correctie
2030	5	24.044	23.882	99.3%	2.336	1.542	66.0%
2050	5	26.036	25.858	99.3%	2.529	1.668	65.9%
2100	5	31.016	30.797	99.3%	3.013	1.983	65.8%
2030	20	34.617	34.368	99.3%	3.188	2.191	68.7%
2050	20	38.108	37.829	99.3%	3.510	2.409	68.6%
2100	20	46.836	46.483	99.2%	4.314	2.956	68.5%
2030	100	47.742	47.381	99.2%	4.809	3.337	69.4%
2050	100	53.491	53.080	99.2%	5.388	3.736	69.3%
2100	100	67.862	67.324	99.2%	6.835	4.733	69.2%

2.1.3.2 Invloed van ruimtelijke neerslagcorrectie op landelijke afstroming

De ruimtelijke spreiding van de neerslag heeft ook een invloed op de landelijke afstroming. Om deze te bepalen is een correlatie gezocht tussen de uurgemiddelde en daggemiddelde neerslagintensiteiten enerzijds en de landelijke afstromingsdebieten anderzijds (uurgemiddeld en daggemiddeld afzonderlijk). Als deze correlatie is gekend, kunnen daarmee de uurgemiddelde en daggemiddelde landelijke afstromingsdebieten bepaald worden op basis van de ruimtelijk gecorrigeerde neerslagwaarden. De resultaten worden weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Overzicht van de landelijke afstromingsdebieten voor de ruimtelijk gecorrigeerde HighS scenario's.

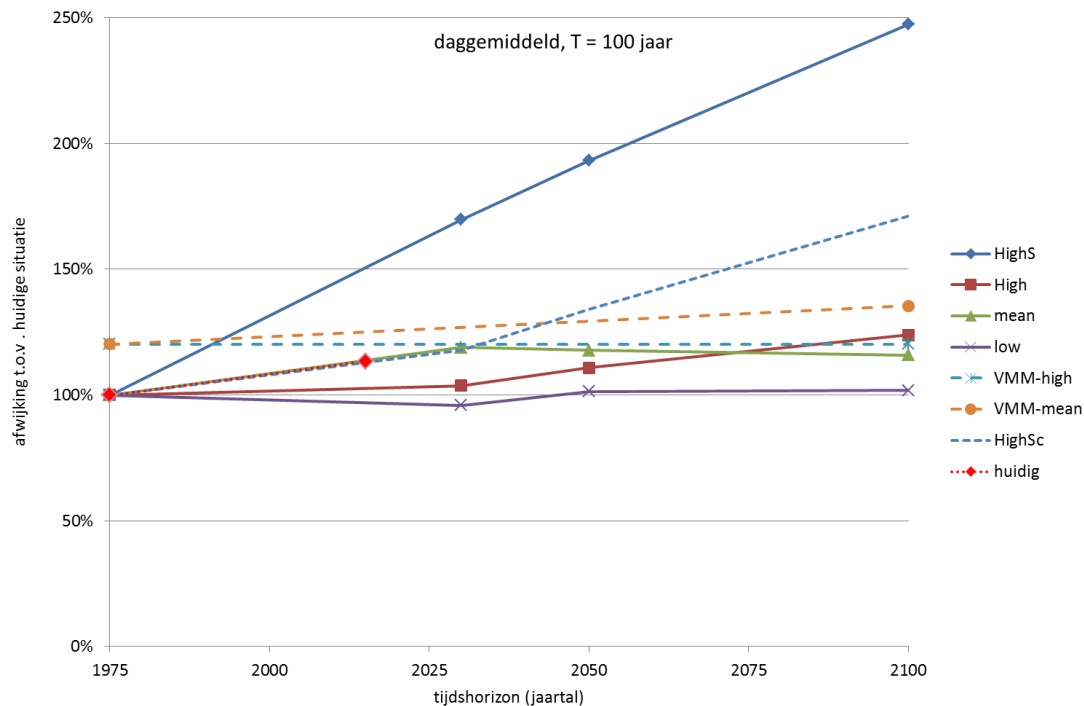
HighS horizon	T (jaar)	uurgemiddelde afstromingsdebiet (m ³ /s)			daggemiddelde afstromingsdebiet (m ³ /s)		
		oorspronkelijk	gecorrigeerd	% correctie	oorspronkelijk	gecorrigeerd	% correctie
2030	5	30.670	7.542	24.6%	9.690	2.458	25%
2050	5	36.723	8.876	24.2%	11.519	2.862	25%
2100	5	52.570	13.248	25.2%	16.440	4.222	26%
2030	20	43.298	11.989	27.7%	13.599	3.831	28%
2050	20	53.064	16.330	30.8%	16.601	5.170	31%
2100	20	77.174	27.974	36.2%	24.103	8.789	36%
2030	100	57.959	19.380	33.4%	18.138	6.113	34%
2050	100	72.035	27.098	37.6%	22.501	8.508	38%
2100	100	105.738	46.283	43.8%	33.000	14.478	44%

2.1.3.3 Ruimtelijk gecorrigeerd klimaatscenario HighS

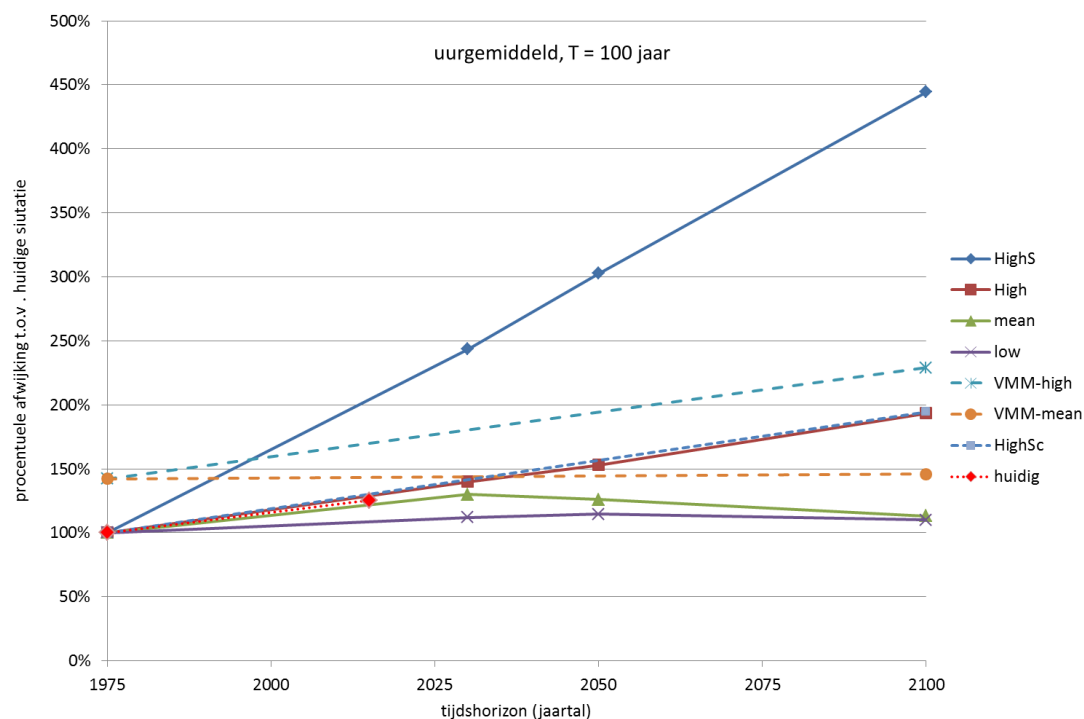
In de figuur 8 t.e.m. figuur 11 worden de resultaten van de ruimtelijke correctie voor de neerslag en de landelijke afstromingsdebieten voor Benedenvliet getoond in vergelijking met de oorspronkelijke HighS waarden en de andere klimaatscenario's. De uurgemiddelde neerslag verandert nauwelijks en hier geeft het HighS scenario de worst case klimaatvariatiës. Voor daggemiddelde neerslag valt de ruimtelijk gecorrigeerde neerslag terug op de daggemiddelde waarden van het Mean scenario tot een tijdshorizon van 2030, daarna stijgt de gecorrigeerde HighSc neerslag verder, terwijl deze voor het Mean scenario daalt. De gecorrigeerde landelijke afstroming volgens het HighSc scenario valt voor uurgemiddelde debieten ongeveer samen met het High (winter) scenario en voor daggemiddelde debieten ongeveer samen met het Mean scenario. Hieruit blijkt duidelijk dat het HighS scenario het extreme scenario is voor het stedelijke gebied en niet voor het landelijke gebied waar het High (winter) scenario de bovenhand haalt. In die zin is het logisch dat de HighS scenario's enkel worden toegepast op riool- of geïntegreerde modellen en niet op waterloopmodellen met enkel een lumped landelijk afstromingsmodel.



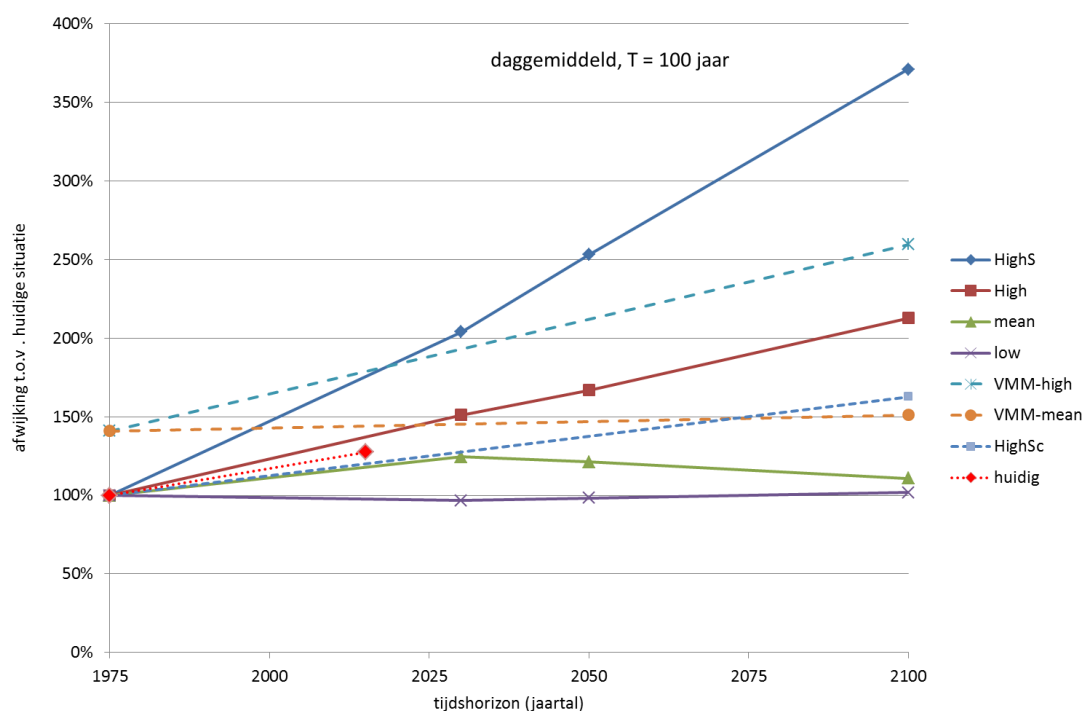
Figuur 8: Vergelijking van de ruimtelijk gecorrigeerde uurgemiddelde neerslag (HighSc) versus de originele HighS scenario's voor Benedenvliet. Vergelijking van de inschatting voor de huidige toestand (rode ruit) t.o.v. de andere klimaatscenario's en tijdshorizonten voor de uurlijkse neerslagintensiteiten bij een terugkeerperiode van 100 jaar.



Figuur 9: Vergelijking van de ruimtelijk gecorrigeerde daggemiddelde neerslag (HighSc) versus de originele HighS scenario's voor Benedenvliet. Vergelijking van de inschatting voor de huidige toestand (rode ruit) t.o.v. de andere klimaatscenario's en tijdshorizonten voor de daggemiddelde neerslag bij een terugkeerperiode van 100 jaar.



Figuur 10: Vergelijking van de ruimtelijk gecorrigeerde uurgemiddelde afstroming (HighSc) versus de originele HighS scenario's voor Benedenvliet. Vergelijking van de inschatting voor de huidige toestand (rode ruit) t.o.v. de andere klimaatscenario's en tijdshorizonten voor de uurlijkse landelijke afstromingsdebiëten bij een terugkeerperiode van 100 jaar.



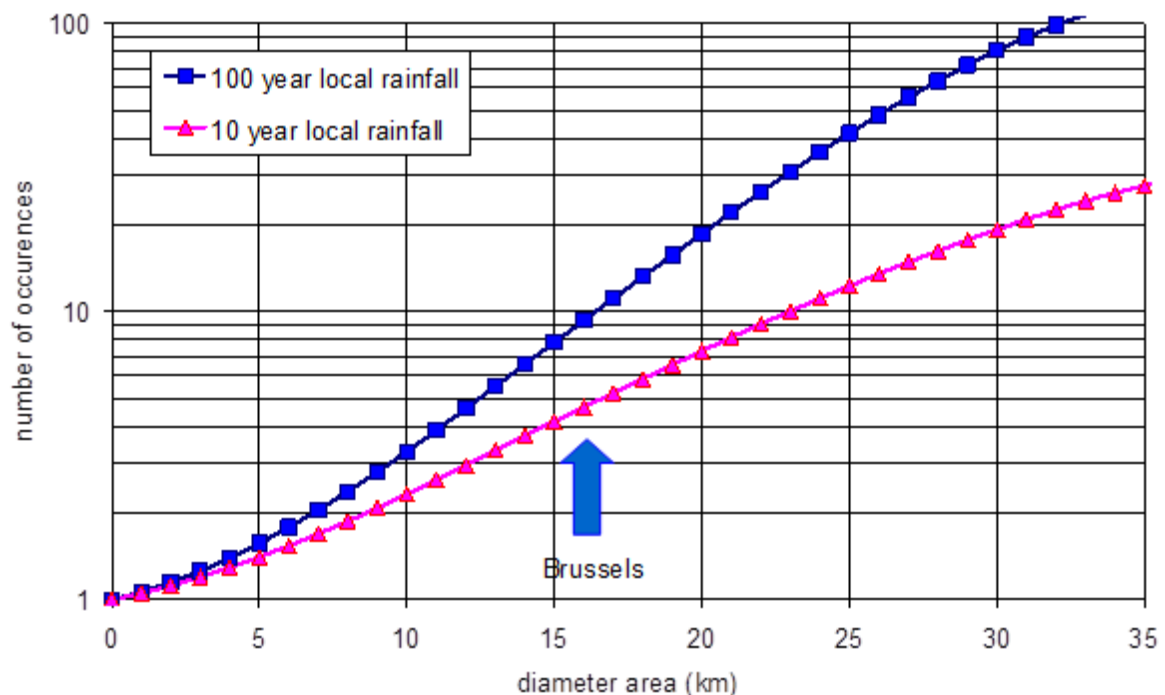
Figuur 11: Vergelijking van de ruimtelijk gecorrigeerde daggemiddelde afstroming (HighSc) versus de originele HighS scenario's voor Benedenvliet. Vergelijking van de inschatting voor de huidige toestand (rode ruit) t.o.v. de andere klimaatscenario's en tijdshorizonten voor de daggemiddelde landelijke afstromingsdebieten bij een terugkeerperiode van 100 jaar.

2.1.3.4 De ruimtelijke relevantie van extreme zomerneerslag

Extreme neerslag is de drijvende kracht achter het ontwerp van afwateringssystemen. Voor ontwerpberekeningen wordt neerslag gebruikt afkomstig van puntmetingen. Een belangrijke vraag bij het ontwerp van afwateringssystemen is de terugkeerperiode waarvoor het ontwerp wordt uitgevoerd. Deze vraag heeft ook een 'ruimtelijk' aspect. Elk individueel afwateringssysteem of onderdeel ervan kan worden ontworpen om geen overstroming te geven voor een bepaalde terugkeerperiode T . Dit moet verzekeren dat op elke locatie er slechts gemiddeld 1 keer in T jaren een overstroming plaats vindt. Wanneer en waar deze extreme gebeurtenissen zich zullen voordoen blijft een loterij. Vooral zomerse onweders kunnen zeer lokaal zijn, zodat ze vaak slechts een deel van een afwateringssysteem beïnvloeden. Wanneer een relatief groot rioleringsysteem wordt gedimensioneerd om op elke plaats geen overstroming te hebben eens in gemiddeld T jaar, heeft dit als gevolg dat binnen dit afwateringsgebied een dergelijke bui meerdere keren zal voorkomen op verschillende momenten in de tijd, maar op andere locaties binnen dit afwateringsgebied. De vraag voor een beheerder van een dergelijk afwateringssysteem is dan: hoe vaak kunnen dergelijke extreme gebeurtenissen voorkomen in mijn gebied? Voor Vlaamse neerslag is een inschatting gemaakt van deze kans op basis van de ruimtelijke neerslaggenerator van de KU Leuven (Willems, 2000). Het resultaat van deze inschatting wordt getoond in figuur 12 (Vaes, 2007).

Op basis van deze inschatting kunnen voor de drie deelgebieden de volgende terugkeerperiodes voor het voorkomen van extreme buien worden afgeleid (figuur 12).

- Schijn Noord: diameter gebied ongeveer 14 km
 - Ongeveer 7 keren in 100 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 100 jaar
 - Ongeveer 4 keer in 10 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 10 jaar
- Schijn Zuid: diameter gebied ongeveer 13 km
 - Ongeveer 6 keren in 100 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 100 jaar
 - Ongeveer 3 keer in 10 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 10 jaar
- Benedenvliet: diameter gebied ongeveer 8 km
 - Ongeveer 3 keren in 100 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 100 jaar
 - Ongeveer 2 keer in 10 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 10 jaar



Figuur 12: Aantal keren dat een T jaar gebeurtenis voorkomt in een periode van T jaar ergens in een groter gebied [Vaes, 2007].

2.2 Modelaanpassingen

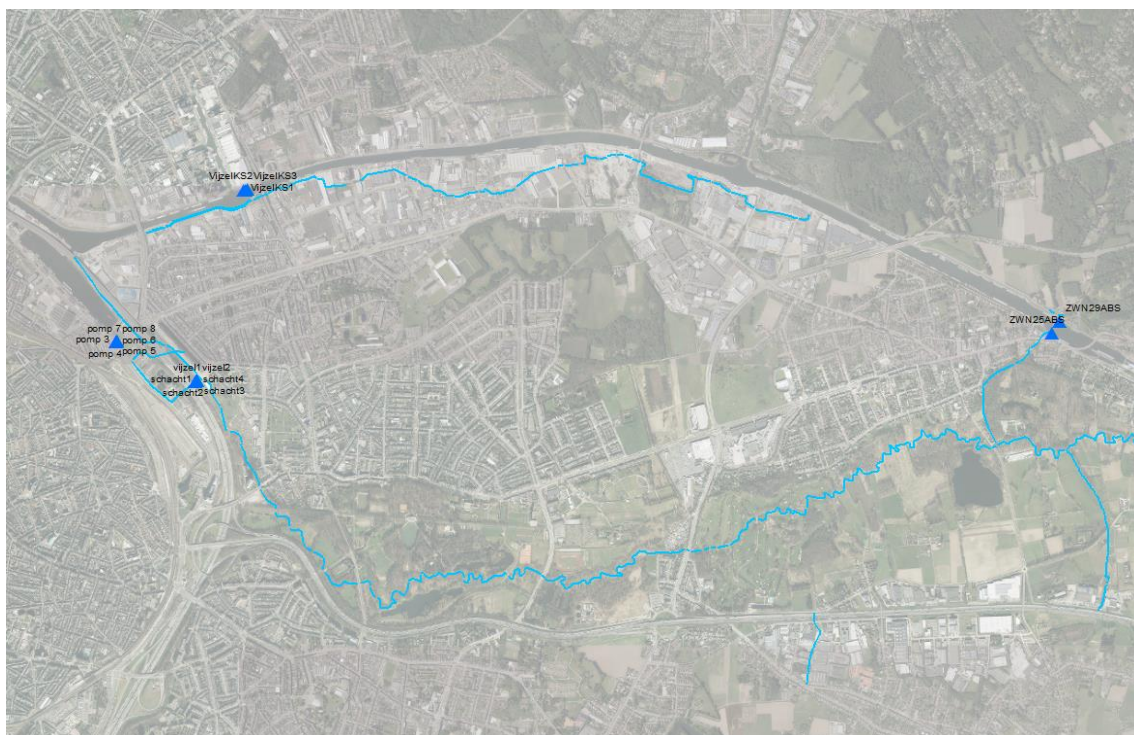
2.2.1 Pompstations het Schijn

Voor de simulaties is gebruik gemaakt van het model voor het Schijn aangeleverd door de VMM met daarin reeds de vervanging van de pompstations Lobroekdok en Schijnpoort door een pompstation richting Albertkanaal.

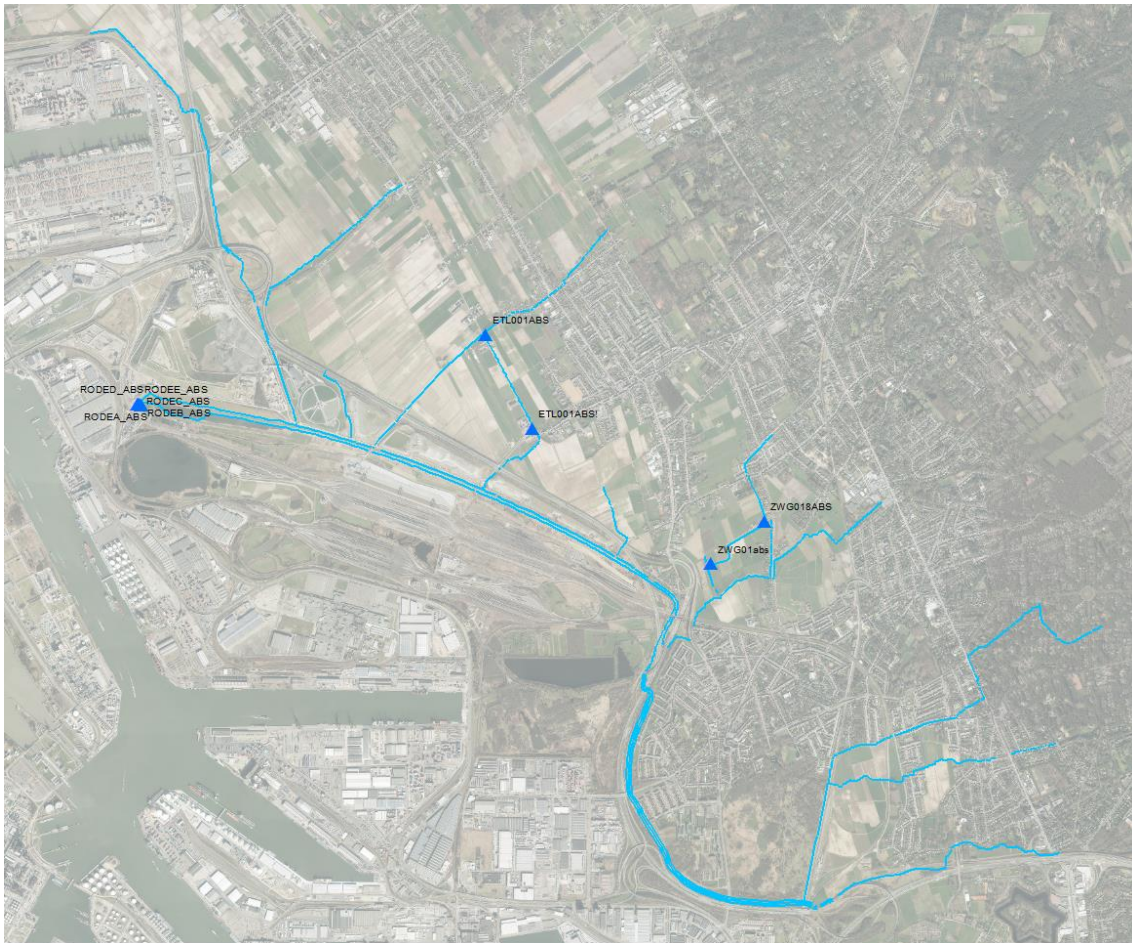
In dit model van het Schijn zijn de onderstaande afwaartse pompgemalen aanwezig (figuur 13 en figuur 14):

- Afwaarts Schijn Zuid in Deurne richting Albertkanaal: RWZI Schijnpoort (pomp1-8) en het recent pompstation richting Albertkanaal (Schacht 1-4 en Vijzel1-2)
- Afwaarts Klein Schijn aan het Albertkanaal (VijzelKS1-3)
- Afwaarts Schijn Noord: pompgemaal Rode Weel (RODEA-E)

In het model aangeleverd door de VMM zitten er tevens nog andere pompstations vervat die dienen ter stabilisatie van het model of andere modeleringsdoeleinden: ETL001ABS, ETL001ABS!, ZWG018AB, ZWG01abs, ZWN25ABS en ZWN29ABS.



Figuur 13: Locatie pompen in Schijn Zuid en Klein Schijn.



Figuur 14: Locatie pompen in Schijn Noord.

2.2.2 Opwaartse randvoorwaarden het Schijn

De hydrogrammen bepaald onder paragraaf 2.1.1.2 zijn als opwaartse instromen ter hoogte van de PDM-boundary nodes in het RS model van het Schijn opgelegd. De instroomdebieten zijn hierbij gecorrigeerd met de minimum flow voorzien voor modelstabiliteit in de boundary nodes van het oorspronkelijk model.

Naast de PDM-boundary nodes zijn er tevens ook urban boundary nodes in het model aanwezig die gebaseerd zijn op directe neerslagafstroming. Hiervoor zijn de composietbuien van de betreffende scenario's gebruikt. Voor de VMM klimaatscenario's en inschattingen van het huidig klimaat (2015) zijn uit de reeks van beschikbare geperturbeerde composietbuien deze gebruikt die zo nauw mogelijk aansluiten bij het betreffende neerslagklimaat (tabel 3).

Tabel 3: Composietbuizen gebruikt bij de urban boundary nodes voor de VMM en huidige toestand scenario 's.

Scenario	Composietbui
VMM noCC T5	Referentie T5
VMM noCC T20	Referentie T20
VMM noCC T100	Referentie T100
VMM mCC T5	Mean 2030 T50
VMM mCC T20	Mean 2030 T20
VMM mCC T100	Mean 2030 T10
VMM hCC T5	HighW 2100 T100
VMM hCC T20	HighW 2100 T100
VMM hCC T100	HighW 2100 T100
Toestand 2015 T5	Mean 2030 T5
Toestand 2015 T20	Mean 2030 T20
Toestand 2015 T100	Mean 2030 T100

2.2.3 Afwaartse randvoorwaarde Benedenvliet

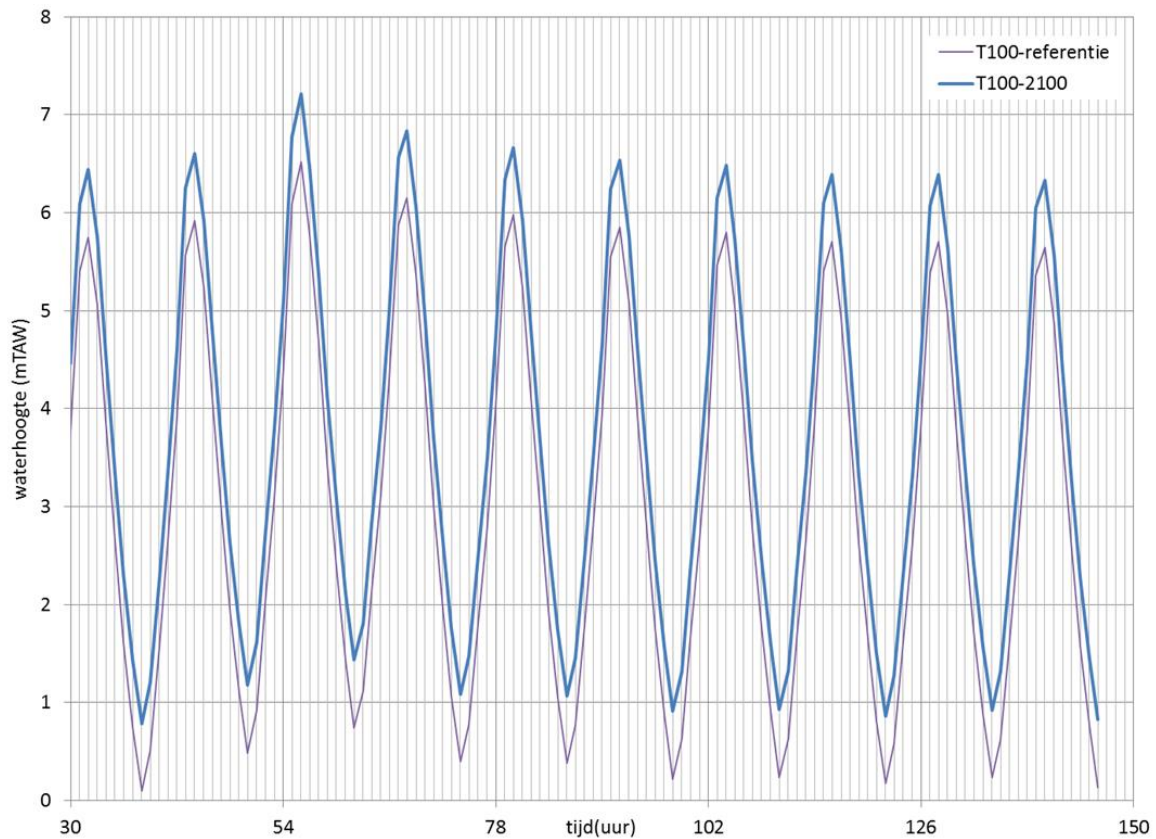
Voor de afwaartse randvoorwaarde voor de Benedenvliet ter hoogte van de monding in de Schelde is er voor de referentietoestand een tijdsafhankelijke waterhoogte beschikbaar voor verschillende terugkeerperiodes. Er wordt van uitgegaan dat deze waterhoogte in de Schelde niet wordt beïnvloed door de opwaartse debieten en dus niet door de gewijzigde afstroming in het gebied van de Benedenvliet.

Wel wordt er rekening gehouden met de zeespiegelrijzing en dit voor de verschillende tijdshorizonten. Uit Weisse et al., (2014) blijkt dat er voor de Vlaamse situatie een gemiddelde zeespiegelrijzing is te verwachten van 60 cm per 100 jaar (mean scenario, gebruikt voor de herziening van het SIGMA plan). De randvoorwaarde voor de referentiesituatie is representatief voor het jaar 1985 (referentiejaar tijdreeksen ORBP [VMM,2014]). Dit betekent dat voor de verschillende bestudeerde tijdshorizonten volgende zeespiegelrijzing wordt ingewerkt:

- 2030 = + 27 cm
- 2050 = + 39 cm
- 2100 = + 69 cm

Het effect van deze zeespiegelrijzing op de afwaartse randvoorwaarde wordt voor de tijdshorizon 2100 getoond in figuur 15.

Voor de simulaties wordt dit afwaartse limnigram zodanig gepositioneerd dat de piek van de waterhoogte samenvalt met het piekafstromingsdebiet van alle opwaartse catchments. Dit is de aanpak die ook in de ORBP studies is gehanteerd [VMM, 2014].



Figuur 15: Afwaartse randvoorwaarde op de Schelde t.h.v. de monding van de Benedenvliet: in paars de referentiesituatie bij een terugkeerperiode van 100 jaar; in blauw de situatie voor tijdshorizon 2100 met de zeespiegelrijzing.

2.2.4 Water op straat modellering voor riolering gekoppeld aan Benedenvliet

In een traditioneel rioolmodel wordt water dat uit het riool treedt, lokaal geborgen en later terug in het systeem gevoerd. In werkelijkheid zal dit water afstromen over de straat en eventueel terug instromen op een plaats waar wel voldoende capaciteit is. De effectieve plaats van wateroverlast komt daardoor niet altijd overeen met wat er wordt gesimuleerd. Bovendien wordt oppervlakkige afstroming standaard rechtstreeks op het riool ingerekend, terwijl bij piekafwatering niet alle water onmiddellijk via de kolken naar het riool kan.

In het geïntegreerd model van de Benedenvliet zijn daarom de straten op vereenvoudigde wijze ingebracht een als tweede laag (zie voorbeeld in figuur 16) [Vaes et al., 2004]. Dit laat toe om het overstromingsgedrag vanuit de riolering en de afstroming over het oppervlak nauwkeuriger in de kaart te brengen. De waterhoogte op de straat kan zo ook realistischer worden ingeschat. De straten zijn als 1D ondiepe kanalen ingegeven en door middel van ‘kolken’ (leidingen met een beperkte diameter) verbonden met de riolering. Hierbij is de straatbreedte initieel op 8 m verondersteld en aan elke zijde is een stoep voorzien van 1 m breed met een hoogte van de stoeprand van 8 cm boven het straatniveau. De afstromende oppervlaktes van de straten zijn toegekend aan de straat, zodat het water eerst via de kolken naar de riolering stroomt en er niet standaard verondersteld wordt dat het water wel in de riolen zal geraken. De afstroming van de aanliggende percelen komen wel rechtstreeks op de riolering terecht.

Er zijn in het model geen specifieke storage areas ingegeven ter hoogte van de gebieden waar het water ‘over de stoep’ (waterhoogte > 8 cm boven maaiveld) gaat en waarbij de aanliggende percelen dus overstromen. Zodra het water over de stoep gaat, wordt verondersteld dat het lokaal op de aanliggende percelen wordt geborgen, zonder dat het over deze percelen kan afstromen (enkel afstroming via de straten). De overstromingsoppervlakte wordt procentueel aangesproken tot 100% bij 0.5 m waterhoogte. Dit is een benadering die een eerste orde inschatting mogelijk maakt van de water op straat problematiek binnen een beperkte modellering. De bekomen overstromingsgebieden binnen het gerioleerd gebied moeten dan ook met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Om de straten in te voeren wordt een nieuwe geometrie gedefinieerd in Infoworks ICM (zie figuur 17). De straatvorm helt licht af in de dwarsrichting om instabiliteiten in het model te voorkomen door stroming door een horizontale sectie. Verder wordt een klein stukje van de breedte lager voorzien om de base flow in het model toe te laten. Anders zou er door de base flow in Infoworks steeds ‘water op straat’ in het model gevisualiseerd worden. Het lager gelegen gedeelte kan dan de kolken of de straatgoot voorstellen. Het bodempeil van het straatprofiel wordt gelijk gelegd aan het niveau van het DHM Vlaanderen (resolutie 1 × 1m). Omdat er geen overstromingsgebieden worden ingevoerd, is de straatvorm langs beide kanten verticaal geëxtrapoleerd tot een hoogte van 0.5 m om stroming onder druk te vermijden. Anders zou, van zodra het water hoger komt dan de stoeprand (op 8 cm), stroming onder druk plaatsvinden.

Voor de straatknopen is de floodcone aangepast naar volgende minimale parameters met een minimaal overstromingsvolume:

- Flood depth 1: 0.1 m
- Flood depth 2: 1 m
- Flood area 1: 1%
- Flood area 2: 2%

Ingave van een grotere floodcone zou hier een extra opslagvolume creëren die reeds in het model zit ingerekend via de straatprofielen.

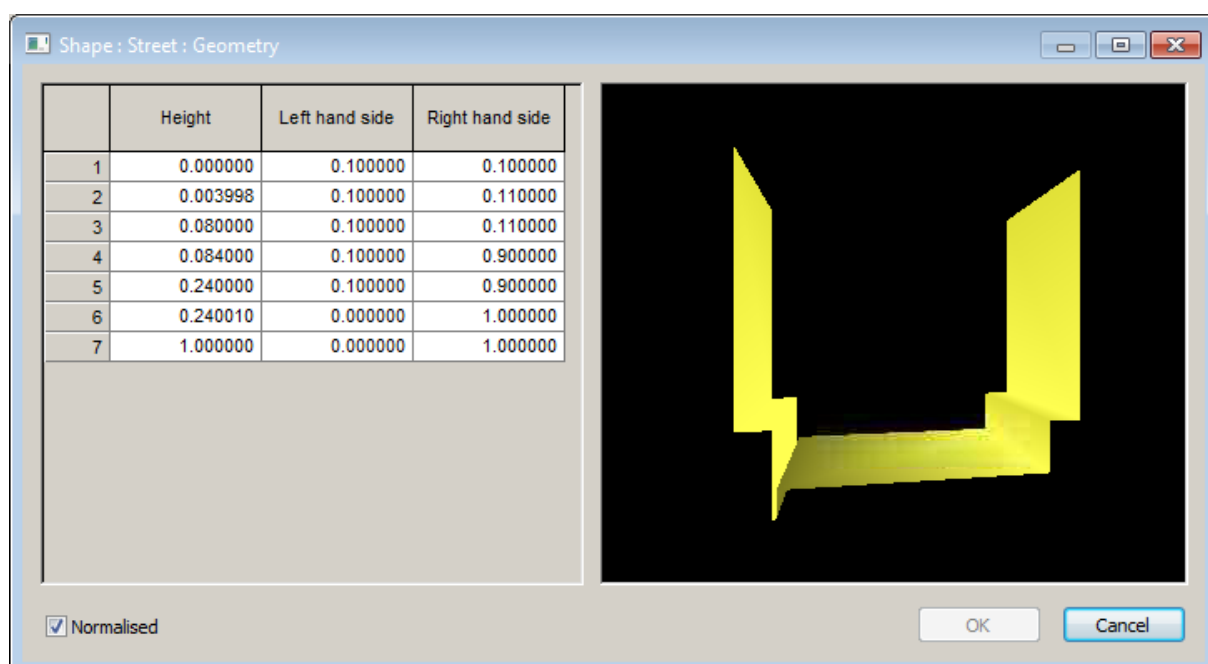
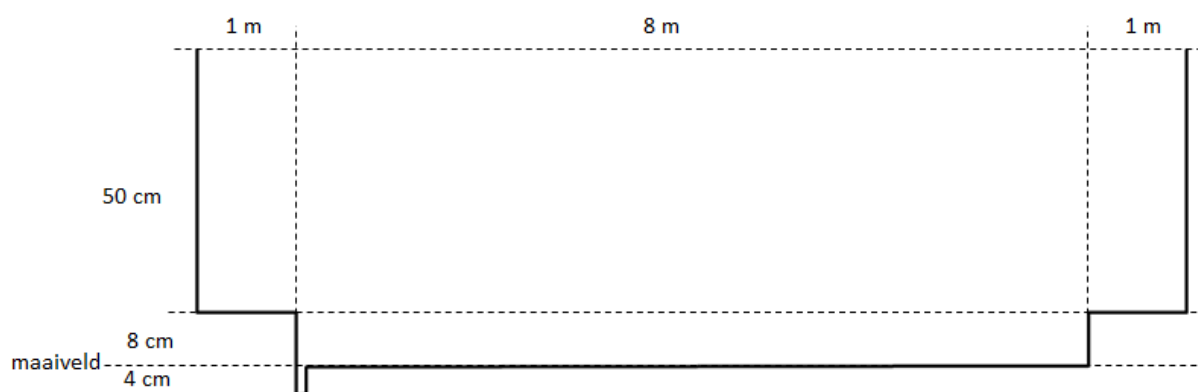
Voor de rioolknopen is wel gebruik gemaakt voor de standaard voorstelling in Infoworks als overstromingsconus, waarbij het water na afloop terug in de put treedt wanneer het rioolstelsel terug voldoende capaciteit heeft. Hier zijn de waarden voor de conussen ingevoerd overeenkomstig de laatste richtlijnen van Aquafin (Hydronaut procedure):

- Flood depth 1: 0.1 m
- Flood depth 2: 0.5 m
- Flood area 1: 10 %
- Flood area 2: 100%

Stijgt het water hoger dan 10 cm, dan zal het opgeslagen worden in de lokale conus, die het lokale ‘overstromingsgebied’ voorstelt. Hierbij wordt gerekend met de oppervlakte van het subcatchment dat op de respectievelijke knoop afwatert. Stijgt het water tot 0.5 m boven het maaiveld, dan kan het zich verspreiden over de volledige oppervlakte (100 %) van het aangesloten subcatchment.



Figuur 16: Voorbeeld van invoer straatlaag als 1D laag in het model.



Figuur 17: Dwarsdoorsnede straatprofiel: numeriek (boven, het gootje van 4 cm is nodig voor stabiliteit en correcte visualisatie) en genormaliseerd zoals gedefinieerd in Infoworks ICM (onder).

3. OVERSTROMINGSKAARTEN

3.1 *Opmaak overstromingskaarten*

3.1.1 RS modellen Schijn Noord en Zuid

De overstromingscontouren vanuit de waterloop zijn gevisualiseerd in Infoworks RS op basis van een overstromingsthema, waarbij de ondergrens voor visualisatie is vastgelegd op 0 cm. Deze contouren zijn geëxporteerd naar shapefiles om vergelijking van scenario's mogelijk te maken.

Het RS model is in hoofdzaak een waterloop model waarbij de afstroming hoofdzakelijk via het PDM hydrologisch model verloopt dat dient om de landelijke vertraagde afstroming te simuleren. Een beperkt deel van de oppervlakte zit in urban boundaries die de snellere rechtstreekse afstroming van verharde oppervlakte via riolen (lumped) in rekening brengt. In een dergelijk verstedelijkt gebied is de grootte van dergelijke snelle afstroming en het verschil in de respons met de landelijke afstroming relatief belangrijk. Bij de interpretatie van de simulatieresultaten moet dan ook in het achterhoofd worden gehouden dat dit vooral betrekking heeft op de winterse afstroming bij langdurige neerslag die voor piekafwatering zorgt door belangrijke voorafgaandelijke verzadiging van de ondergrond. Voor de afstroming van kortstondige piekafwatering van verstedelijkt gebied via riolen naar de waterloop, kan er een belangrijke onderschatting optreden van de kortstondige piekdebieten op de waterloop [Vaes et al., 2009].

3.1.2 ICM model Benedenvliet

Voor het geïntegreerde ICM-model van de Benedenvliet zijn aparte overstromingskaarten gemaakt voor de waterloop en de riolering. De overstromingscontouren vanuit de waterloop zijn gevisualiseerd in Infoworks ICM op basis van een overstromingsthema, waarbij de ondergrens voor visualisatie is vastgelegd op 0.001 m. Deze contouren zijn geëxporteerd naar shapefiles om vergelijking van scenario's mogelijk te maken.

Voor de visualisatie van de overstromingen uit de rioleringen is er een extra opsplitsing gemaakt in de methodiek voor de weergave van (i) water op straat en (ii) overstromingen naar aanpalende gebieden. Voor de weergave van water op straat is een interpolatie (IDW) gemaakt van de waterdieptes (cm) van alle straatknopen. Het resulterende raster is vervolgens geknipt om enkel de straatoppervlaktes te bevatten. De straatoppervlaktes zijn enkel ingekleurd wanneer de waterhoogte minimum 2 cm boven het straatpeil uitstijgt.

Voor de overstromingen naar de aanpalende gebieden is de waterhoogte (m TAW) geschat in de rioleringsknopen waarvoor de nabijgelegen straatknopen een maximale waterdiepte hebben hoger dan 8 cm boven het maaiveld. Onder deze voorwaarde is de waterhoogte hoger dan de stoeprand en worden de omliggende zones ook beïnvloed. De geschatte waterhoogte per rioleringsknoop is vervolgens gekoppeld aan het bijhorende subcatchment. Deze waterhoogtes (per subcatchment) zijn ingekleurd met behulp van het DTM om de overstromingscontouren te bekomen. De ondergrens voor visualisatie is vastgelegd op 0 cm.

De overstromingskaarten vanuit de riolering dienen met de nodige voorzichtigheid bekeken te worden, omdat niet alle lokale details in rekening worden gebracht door het standaard dwarsprofiel voor afstroming doorheen de straten, zoals:

- ondergrondse garages zonder stoeprand
- grote dwarsverkanting van de weg
- exacte locatie van roosters en kolken
- ...

Verdere detaillering van de modellering kan lokaal tot meer realistische resultaten leiden, maar de gehanteerde aanpak is bedoeld om de eerste orde effecten van stedelijke overstroming mee te nemen die in een standaard rioleringsmodellering niet accuraat worden gesimuleerd bij overstromingssituaties.

3.2 *Bespreking overstromingskaarten*

3.2.1 Schijn Noord

Voor Schijn Noord zijn vergelijkende overstromingskaarten opgemaakt voor volgende sets van klimaatsimulaties:

- Referentie (1975): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 5 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030, 2050, 2100

Daarnaast is er een vergelijking gemaakt met overstromingskaarten VMM klimaatscenario's voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Hierbij wordt vergeleken met het overeenkomstige lokale klimaatscenario.

- 'huidige situatie': huidig geïnterpoleerd scenario 2015 versus VMM noCC
- meest extreme mean klimaatscenario: lokaal mean klimaatscenario 2030 versus VMM mCC (2100)
- meest extreme high klimaatscenario: high (winter) klimaatscenario 2100 versus VMM hCC (2100)

De vergelijkende kaarten met de verschillende scenario's en terugkeerperiodes worden weergegeven in bijlage A.1.

3.2.2 Schijn Zuid (inclusief Klein Schijn)

Voor Schijn Zuid zijn vergelijkende overstromingskaarten opgemaakt voor volgende sets van klimaatsimulaties:

- Referentie (1975): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 5 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030, 2050, 2100

Daarnaast is er een vergelijking gemaakt met overstromingskaarten VMM klimaatscenario's voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Hierbij wordt vergeleken met het overeenkomstige lokale klimaatscenario.

- 'huidige situatie': huidig geïnterpoleerd scenario 2015 versus VMM noCC
- meest extreme mean klimaatscenario: lokaal mean klimaatscenario 2030 versus VMM mCC (2100)
- meest extreme high klimaatscenario: high (winter) klimaatscenario 2100 versus VMM hCC (2100)

De vergelijkende kaarten met de verschillende scenario's en terugkeerperiodes worden weergegeven in bijlage A.2.

3.2.3 Benedenvliet

Voor Benedenvliet zijn vergelijkende overstromingskaarten opgemaakt voor volgende sets van klimaatsimulaties:

- Referentie (1975): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 5 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030, 2050, 2100

- HighS (zomer) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030, 2050 en 2100

Daarnaast is er een vergelijking gemaakt met overstromingskaarten VMM klimaatscenario's voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Hierbij wordt vergeleken met het overeenkomstige lokale klimaatscenario.

- 'huidige situatie': Mean 2030 (als meest representatief voor huidige situatie: zie paragraaf 2.1.2) versus VMM noCC
- meest extreme mean klimaatscenario: lokaal mean klimaatscenario 2030 versus VMM mCC (2100)
- meest extreme high klimaatscenario: high (winter) klimaatscenario 2100 versus VMM hCC (2100)

De vergelijkende kaarten met de verschillende scenario's en terugkeerperiodes worden weergegeven in bijlage A.3.

In bijlage C wordt voor 1 klimaatscenario (2030 HighS, terugkeerperiode = 100 jaar) de vergelijking weergegeven van de overstromingen in het gerioleerd gebied enerzijds volgens de traditionele aanpak (zonder water op straat simulatie) en anderzijds met de water op straat modellering inbegrepen (zoals voorgesteld in paragraaf 2.2.4). Uit deze vergelijking blijkt een vrij grote overschatting van de wateroverlast bij de traditionele methodiek (gele gebied), maar anderzijds ook een onderschatting in een aantal (cruciale) lager gelegen zones (rode gebied). Het in rekening brengen van de afstroming over de straten is dan ook belangrijk voor een goede inschatting van de overstromingsrisico's bij extreme terugkeerperiodes of klimaatscenario's, ook al houdt het geen rekening met alle lokale details naar oppervlakteafstroming. De traditionele rioolmodellen zijn hoofdzakelijk gemaakt voor ontwerpberekeningen waarbij slechts terugkeerperiodes tot 20 jaar worden beschouwd voor het huidige klimaat.

4. POMPUITVAL

4.1 *Methodiek*

Er wordt nagegaan wat het effect is van een volledige uitval van de pompinstallaties. Op deze manier wordt de ergst mogelijke overstroming ingeschat. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen twee pompuitvalscenario's:

- De pompen worden uitgezet vlak voor de piek zodanig dat op korte termijn de grootste toename van de overstromingscontouren wordt bekomen. Hiervoor worden de pompen uitgezet wanneer het debiet een waarde bereikt die gedurende 24 uur wordt overschreden (zie figuur 18): voor deze simulatie wordt dan tot 24 uur na de pompuitval en per 3 uur tijdstap een overstromingscontour berekend.
- De pompen worden eerder uitgezet, zodat het totale overstromingsvolume groter is en een maximale overstromingscontour over een langere duur wordt bekomen. Hiervoor worden de pompen uitgezet wanneer het debiet een waarde bereikt die gedurende 48 uur wordt overschreden: voor deze simulatie wordt dan tot 48 uur na de pompuitval en per 6 uur tijdstap een overstromingscontour berekend.

In het eerste scenario wordt nagegaan hoe snel de overstroming kan ontstaan vlak na het uitvallen van de pompen, in het tweede scenario wordt nagegaan hoe ver de overstromingscontour kan uitbreiden.

De pompuitval wordt bestudeerd in een klimaatscenario dat aanleunt bij de huidige situatie (zie paragraaf 2.1.2) en voor twee verschillende terugkeerperioden, namelijk 5 en 100 jaar.

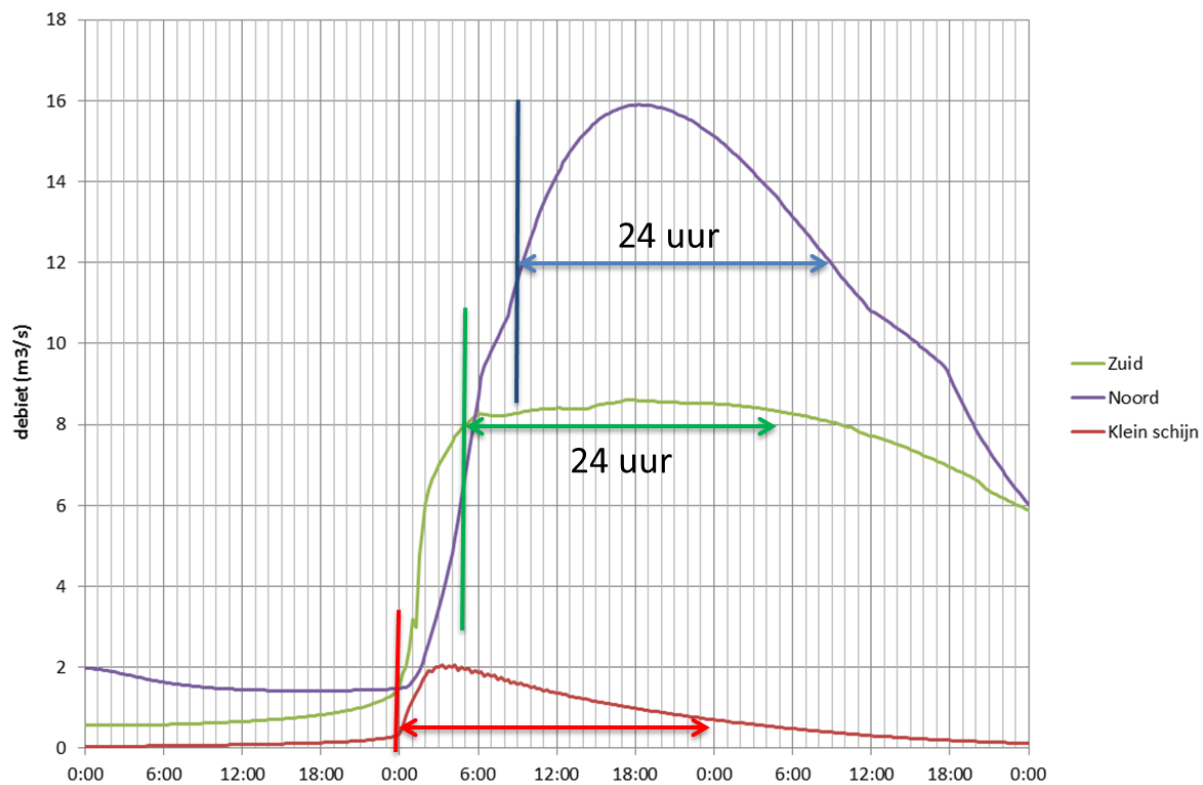
4.2 *Timing per deelgebied*

4.2.1 Het Schijn

De simulaties met pompuitval zijn voor het Groot Schijn (Noord en Zuid) en het Klein Schijn apart uitgevoerd. Hierbij zijn alle pompen aanwezig in het gebied uitgezet.

De tijdstippen van uitval voor de verschillende pompgemalen zijn (t.o.v. piek van de bui, figuur 18):

- Schijn Noord (Rode Weel):
 - 24 uur piek: + 9 uur
 - 48 uur volume: + 4 uur
- Schijn Zuid:
 - 24 uur piek: + 5.5 uur
 - 48 uur volume: + 1.5 uur
- Klein Schijn:
 - 24 uur piek: + 0.5 uur
 - 48 uur volume: -7.5 uur



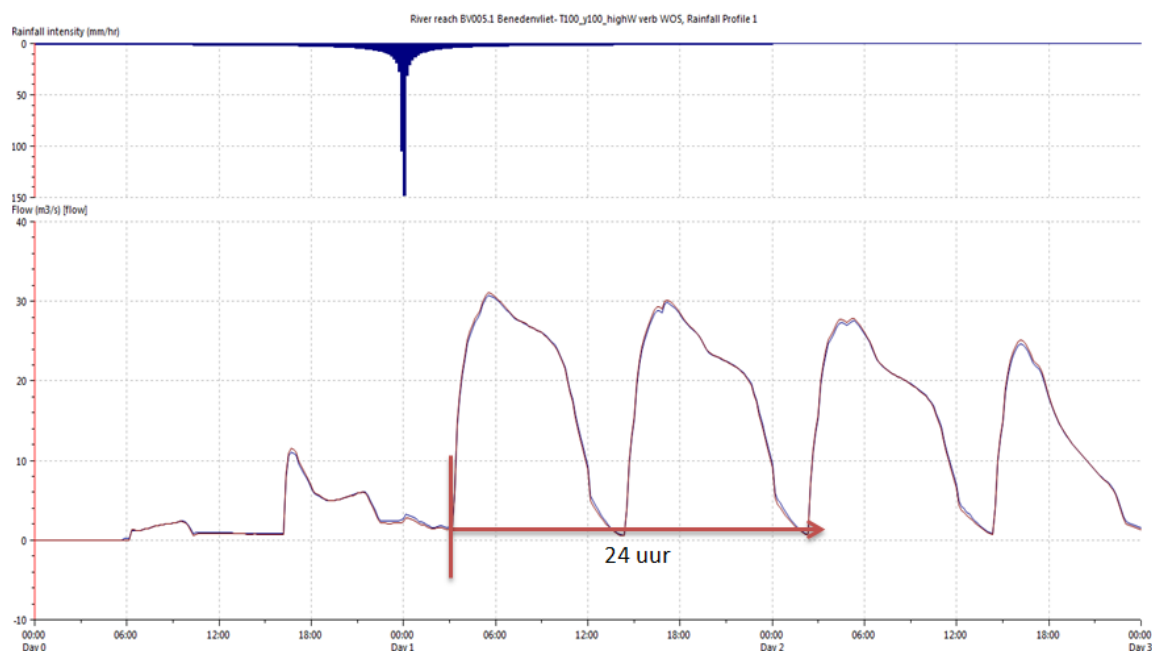
Figuur 18: Bepaling van het tijdstip van pomputval bij piekdebit.

4.2.2 Benedenvliet

Voor Benedenvliet is er een gravitaire koker en een pompgemaal bij de uitstroom naar de Schelde. De rooster op de gravitaire uitlaat is echter al enkele keren geblokkeerd geraakt. De simulaties zijn daarom uitgevoerd met pomputval en een volledig verstopte koker om zo de uiterste overstromingscontouren te bekomen.

De tijdstippen voor het uitvallen van het gemaal en het blokkeren van de gravitaire doorvoer zijn (t.o.v. de piek van de bui):

- 24 uur piek: + 3 uur
- 48 uur volume: + 3 uur



Figuur 19: Bepaling van het tijdstip van pomputval bij piekdebiet.

4.3 Resultaten pomputval

De resultaten van de simulatie met pomputval worden gevisualiseerd in RS en ICM o.b.v. het DTM gecombineerd met een oversromingsthema en vervolgens geëxporteerd naar shapefiles. Voor pomputval o.b.v. de 24 uur piek wordt tot 24 uur na de pomputval en per 3 uur tijdstap een oversromingscontour geëxporteerd. Deze simulatie focust op de snelheid waarmee de overstroming bij pomputval kan uitbreiden. Voor pomputval o.b.v. het 48 uur volume wordt tot 48 uur na de pomputval en per 6 uur tijdstap een oversromingscontour geëxporteerd. Deze simulatie focust op de maximale contour van de overstroming bij pomputval. De kaarten met de contouren zijn weergegeven in bijlage B.

REFERENTIES

HydroScan (2016). Impact van wijzigende neerslagpatronen op lokale waterlopen; deel 1: hydrologische vergelijkende analyse. Januari 2016.

Vaes G., Bouteligier R., Herbos P. & Berlamont J. (2004). Modelling of floods caused by urban drainage systems. 6th international Conference on Urban Drainage Modelling, Dresden, Duitsland, september 2004.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2005). Areal rainfall correction coefficients for small urban catchments. Atmospheric Research, volume 77, nr. 1, september/oktober 2005.

Vaes G. (2007). The spatial relevance of extreme rainfall events. 6th international conference on sustainable techniques and strategies in urban water management, Novatech, Lyon, France, June 2007.

Vaes G., Feyaerts T. & Swartenbroekx P. (2009). Influence and modelling of urban runoff on the peak flows in rivers. Water Science & Technology, vol. 60, nr. 7.

VMM (2014). Onderbouwing van het overstromingsrisicobeheerplan van de onbevaarbare waterlopen: ORBP-analyse Antwerpen. Rapport R04.

Willems P. (2000). Probabilistic immission modelling of receiving surface waters. PhD, KU Leuven, oktober 2000.

Weisse R., Bellafiore D., Menendez M., Mendez F., Nicholls R., Umgiesser G., Willems P. (2014). Changing extreme sea levels along European coasts. Coastal Engineering, vol. 87.

BIJLAGE A: VERGELIJKING OVERSTROMINGSKAARTEN

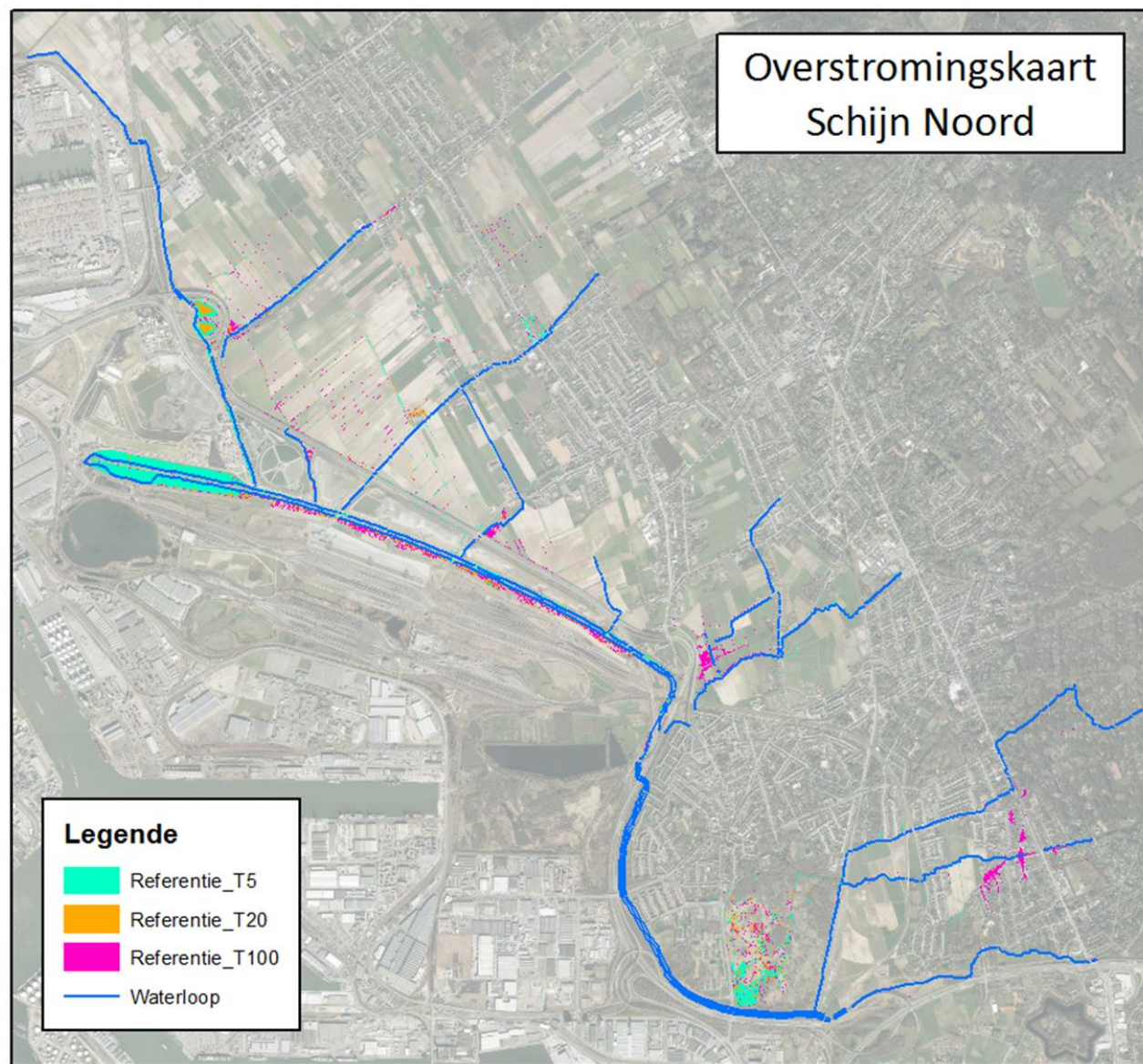
A.1 Schijn Noord

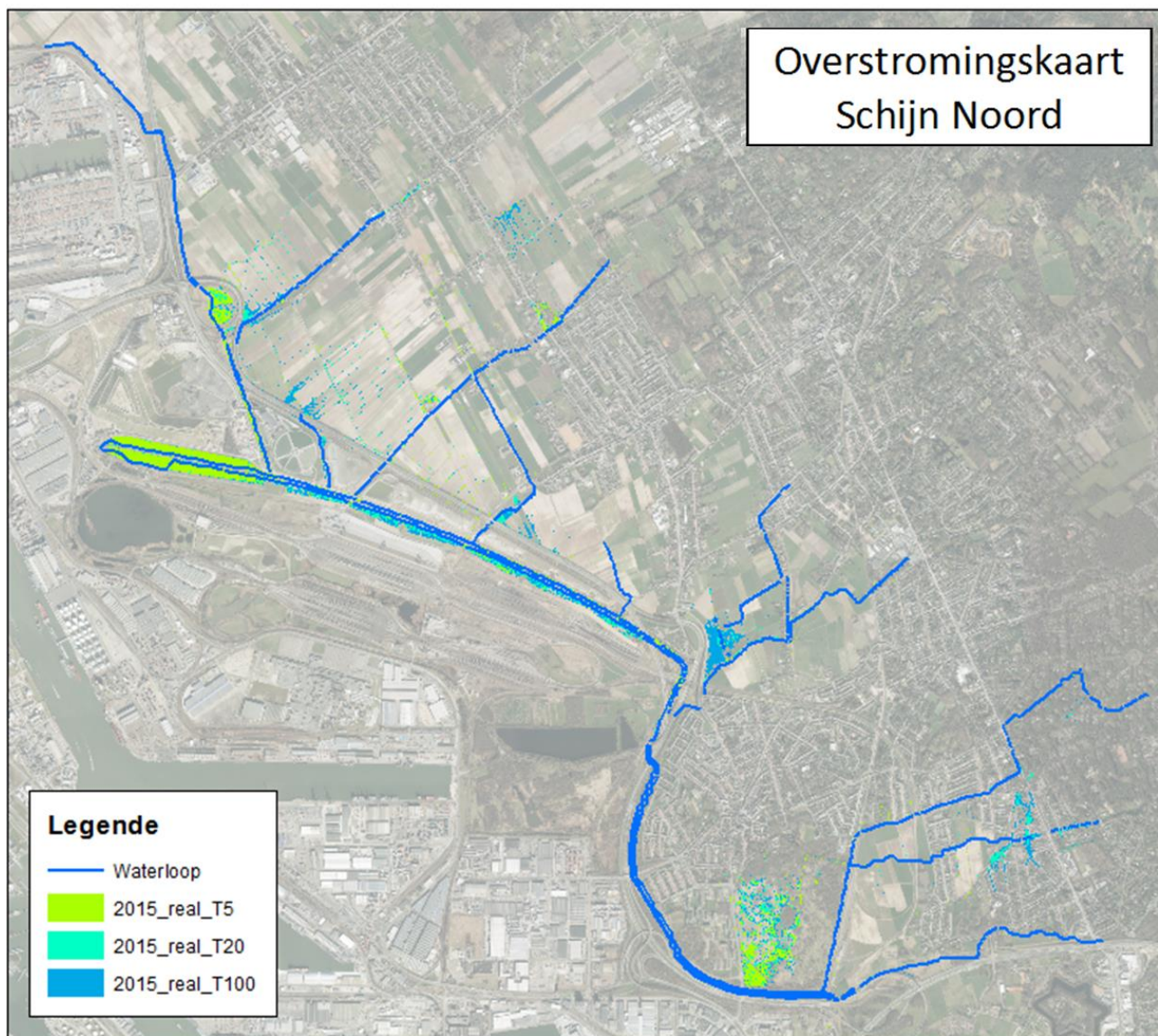
Voor Schijn Noord worden vergelijkende overstromingskaarten weergegeven voor volgende sets van klimaatsimulaties:

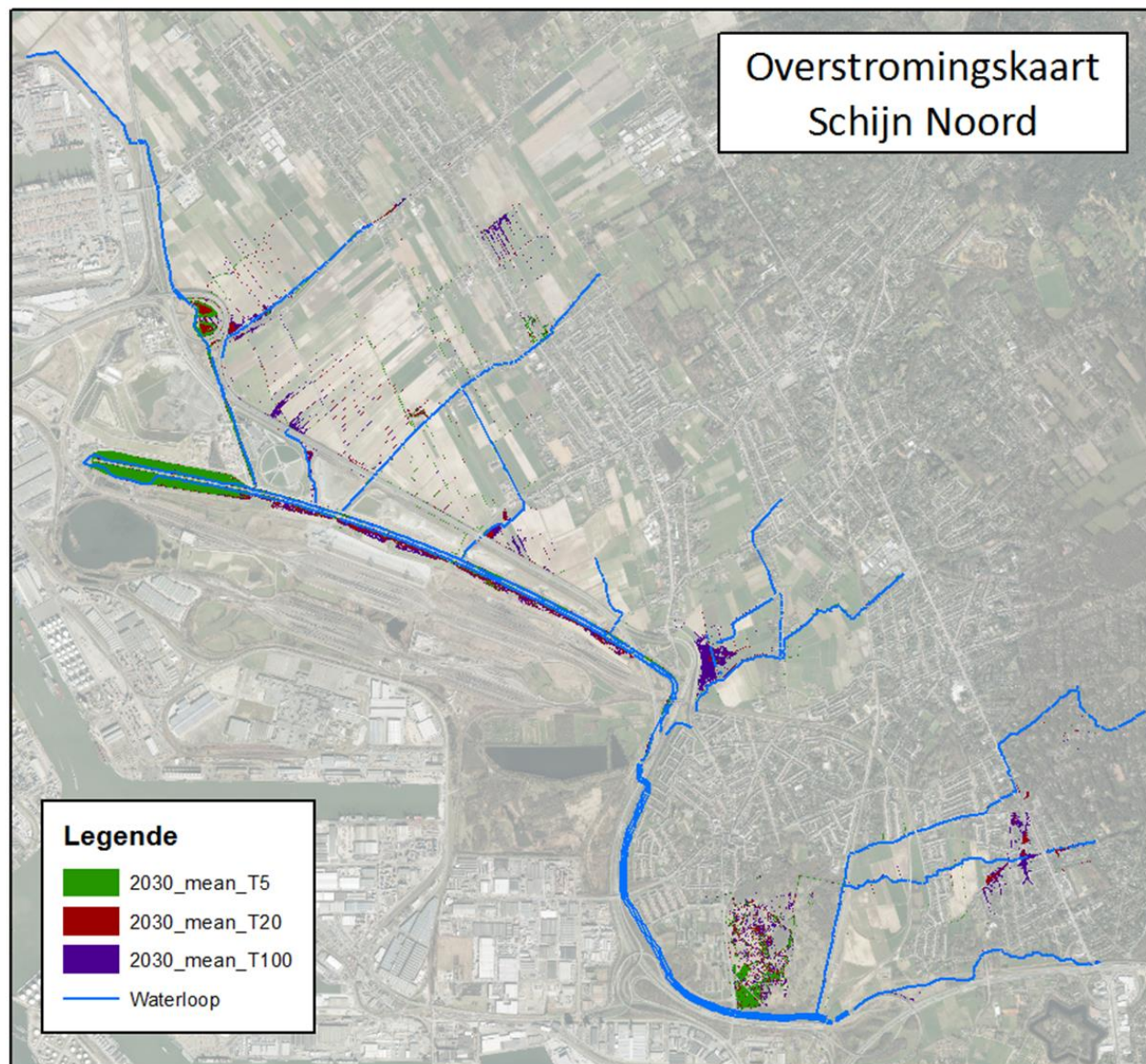
- Referentie (1975): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Huidige situatie (2015, inschatting): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high klimaatscenario voor 2100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 5 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030, 2050, 2100

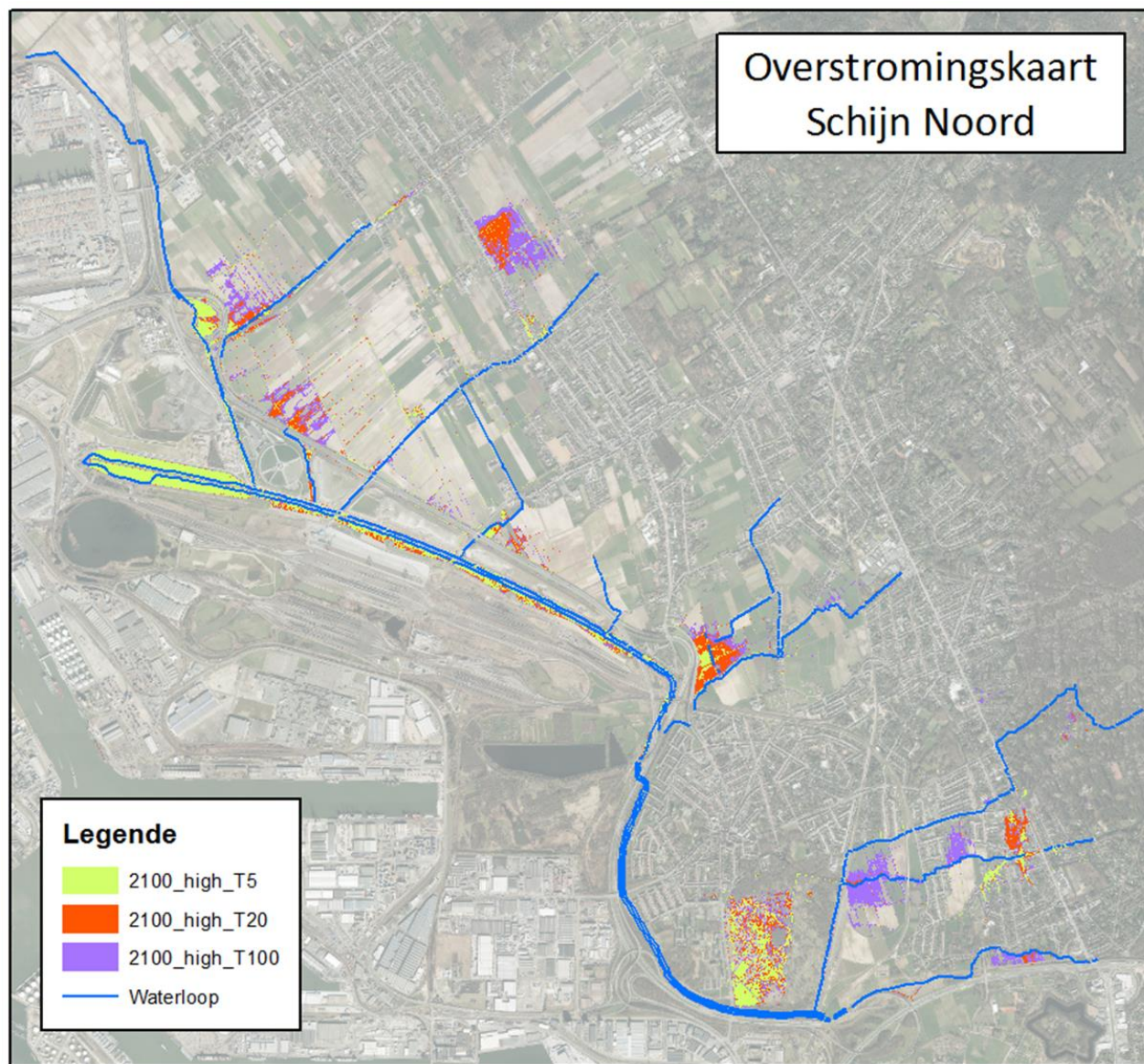
Daarnaast wordt er een vergelijking getoond met overstromingskaarten VMM klimaatscenario's voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Hierbij wordt vergeleken met het overeenkomstige lokale klimaatscenario.

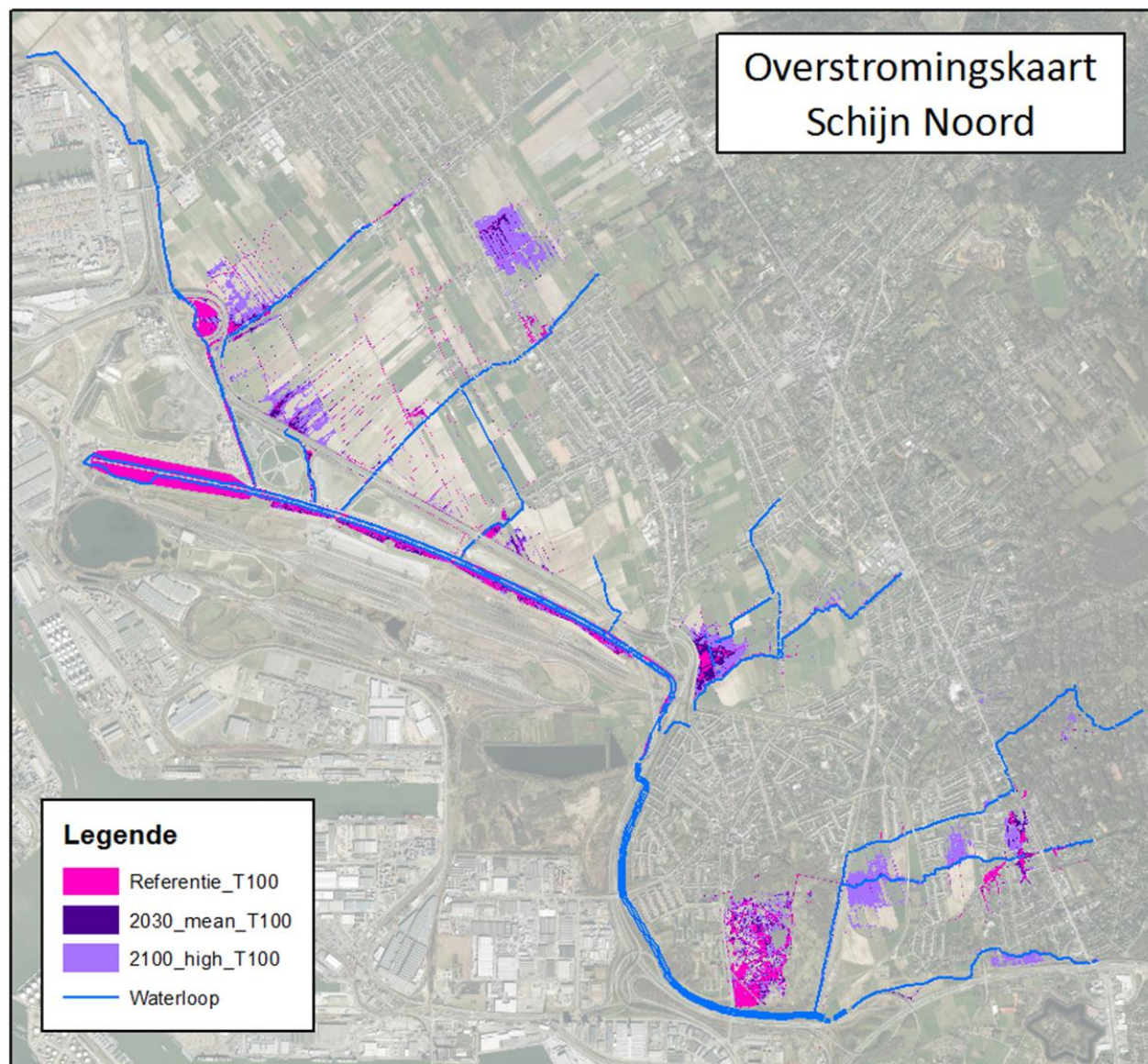
- meest extreme mean klimaatscenario: lokaal mean klimaatscenario 2030 versus VMM mCC (2100)
- meest extreme high klimaatscenario: high (winter) klimaatscenario 2100 versus VMM hCC (2100)

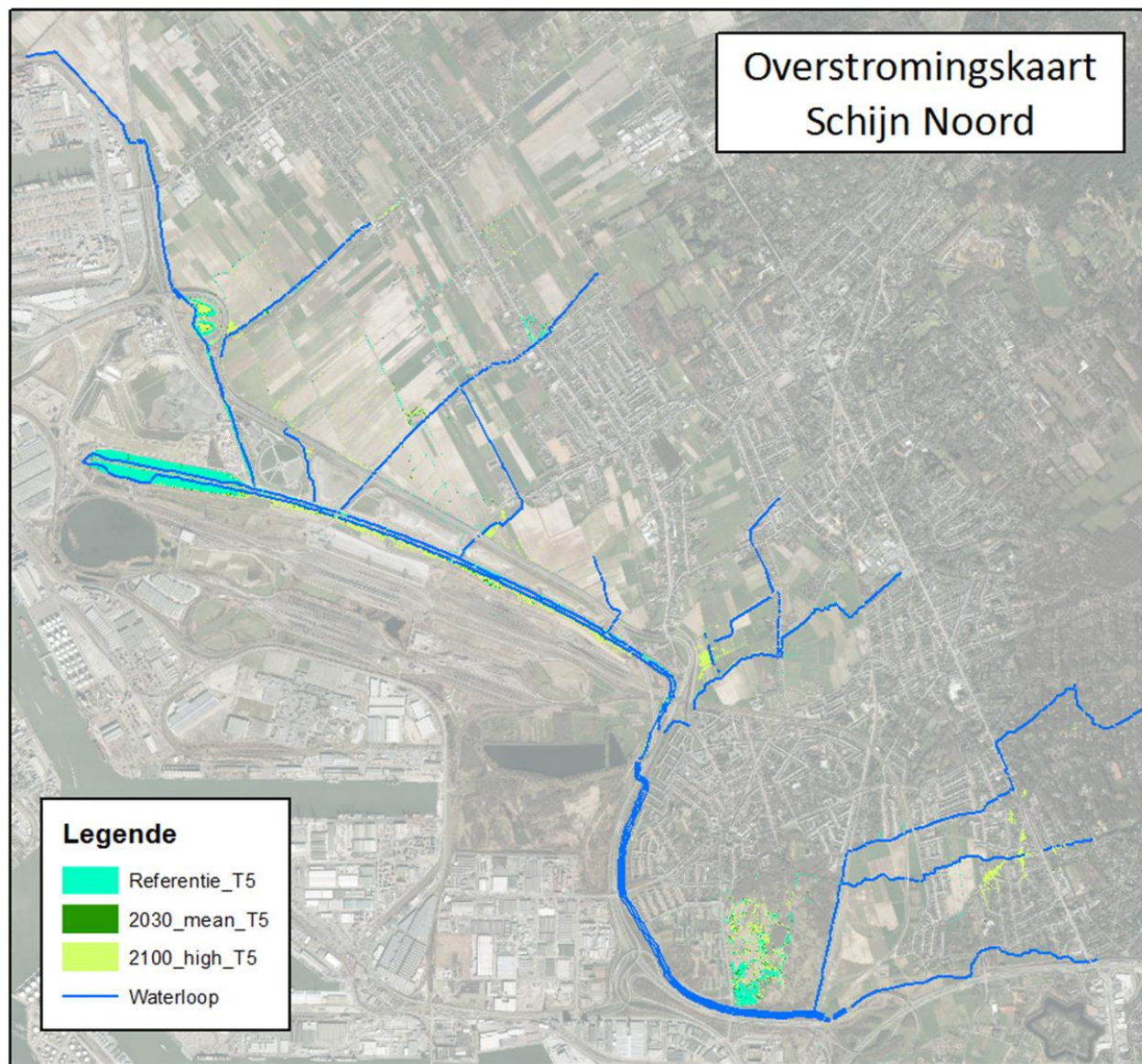


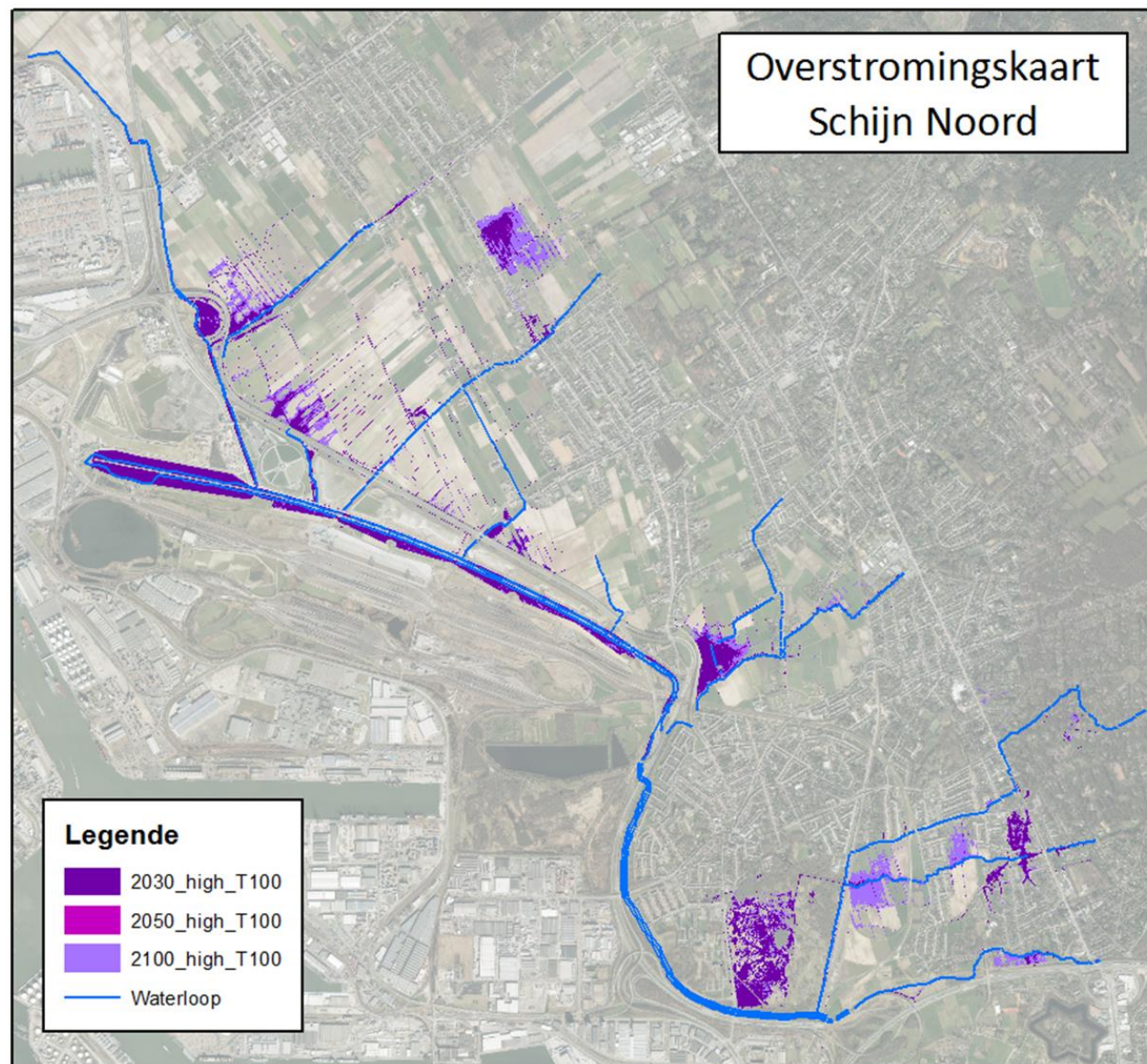


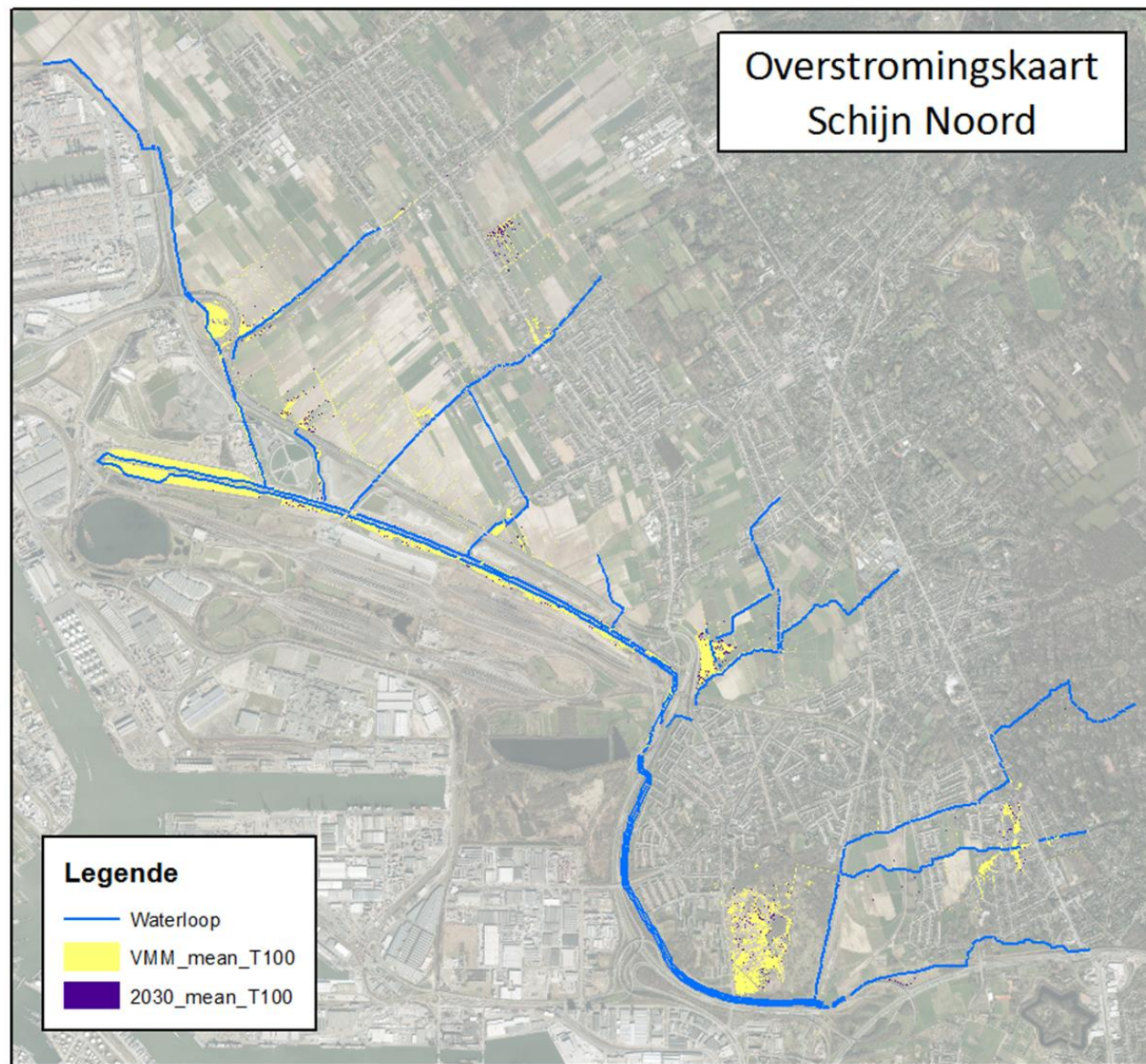


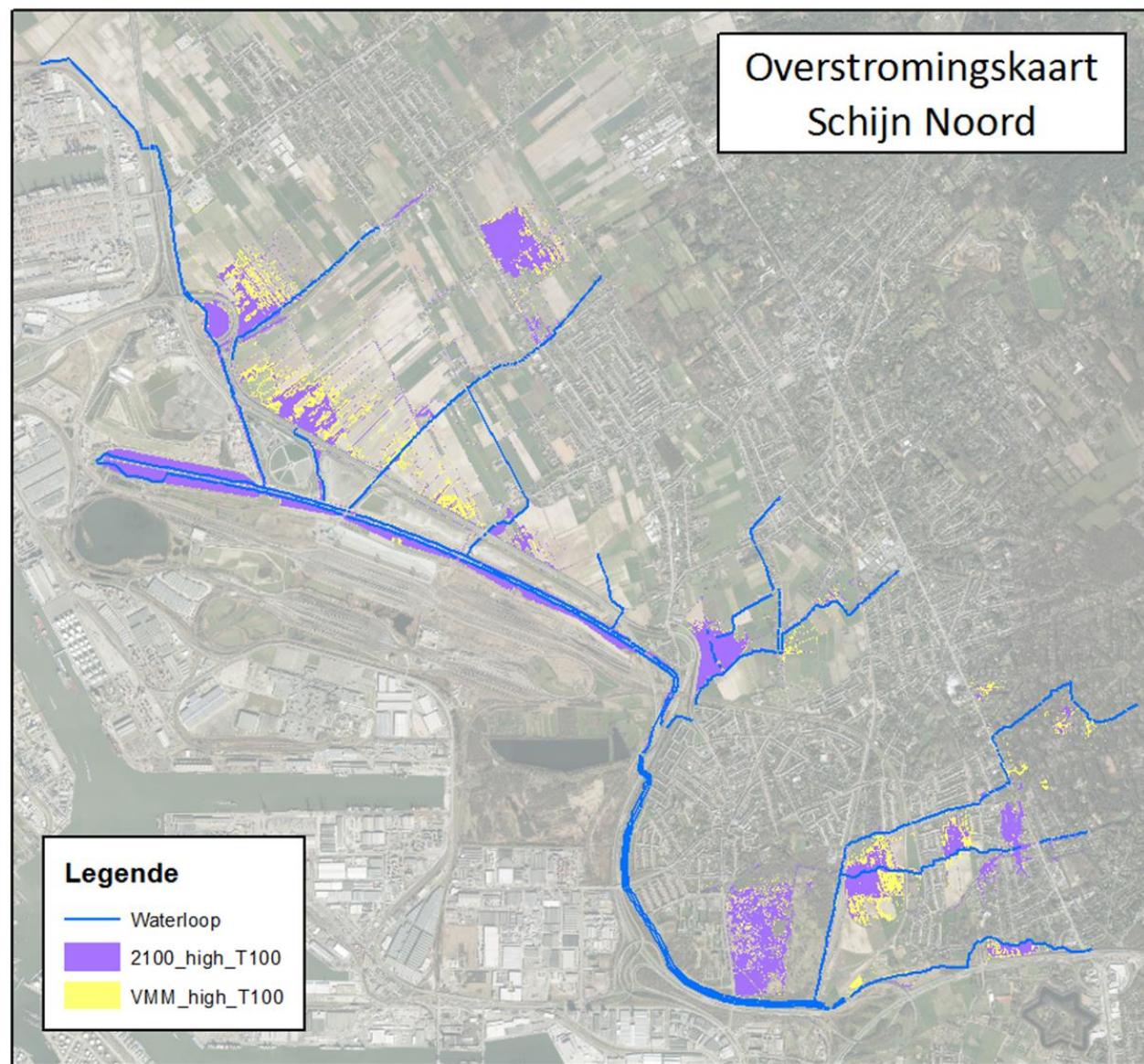












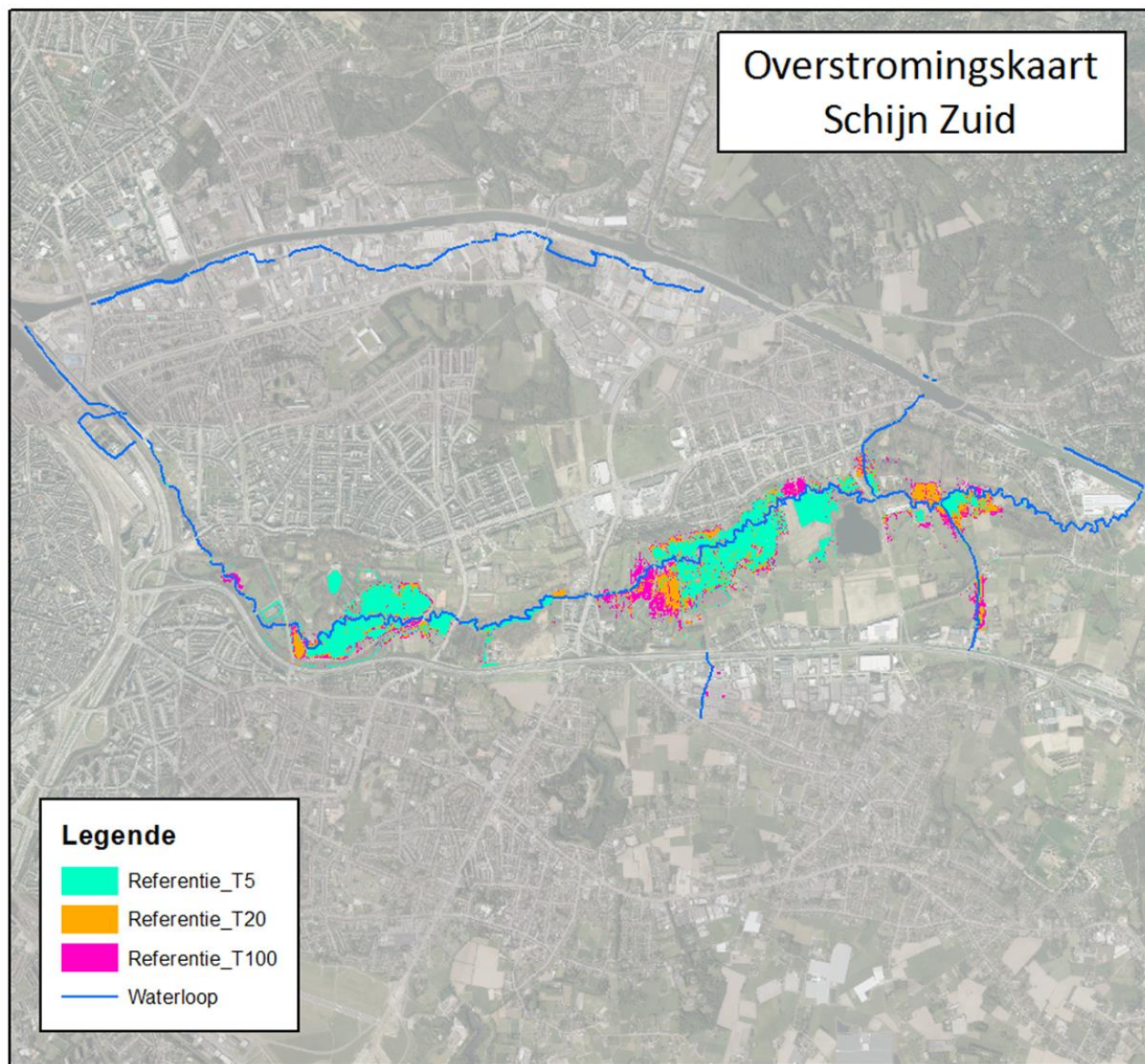
A.2 Schijn Zuid en Klein Schijn

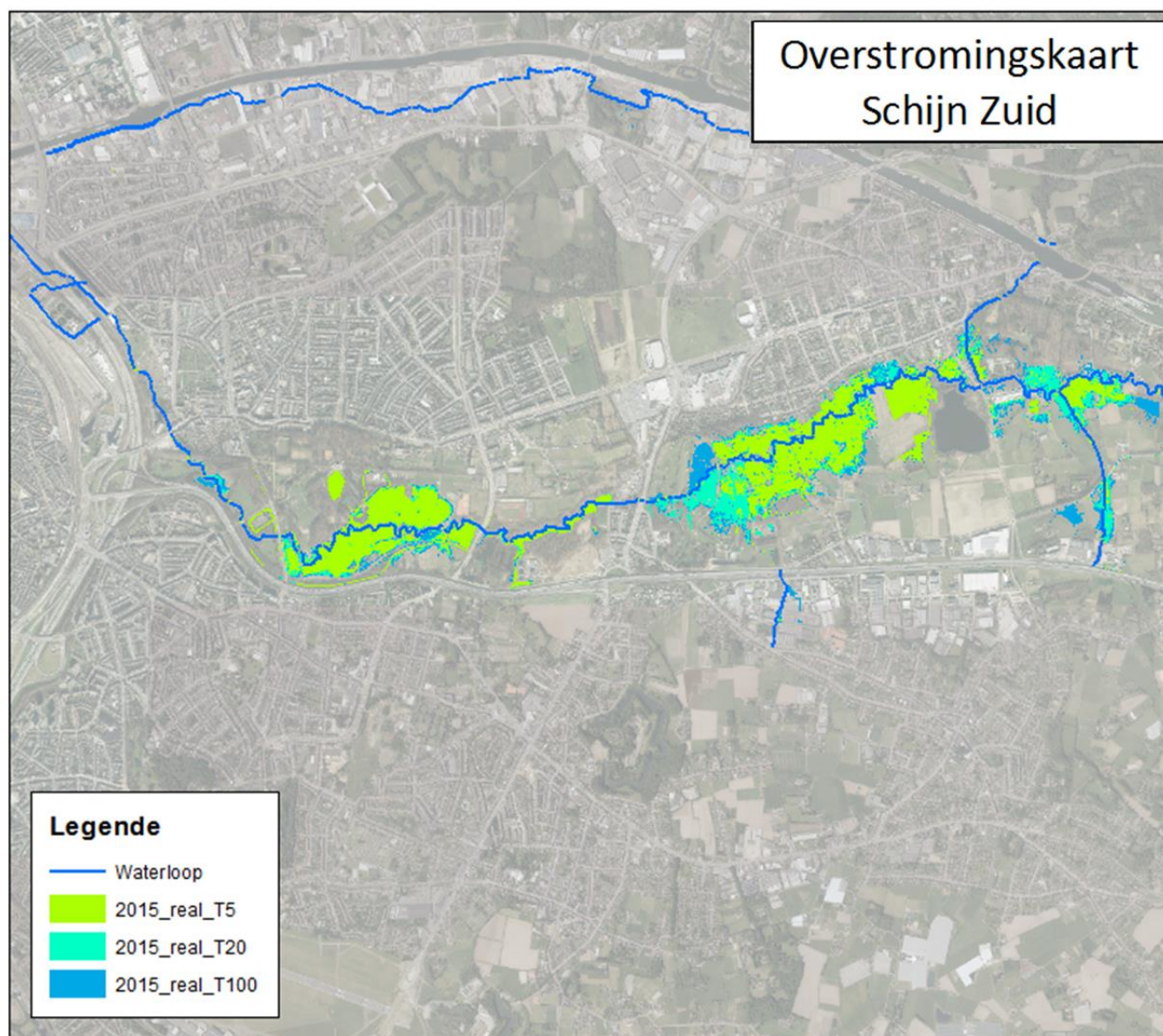
Voor Schijn Zuid (inclusief Klein Schijn) worden vergelijkende overstromingskaarten weergegeven voor volgende sets van klimaatsimulaties:

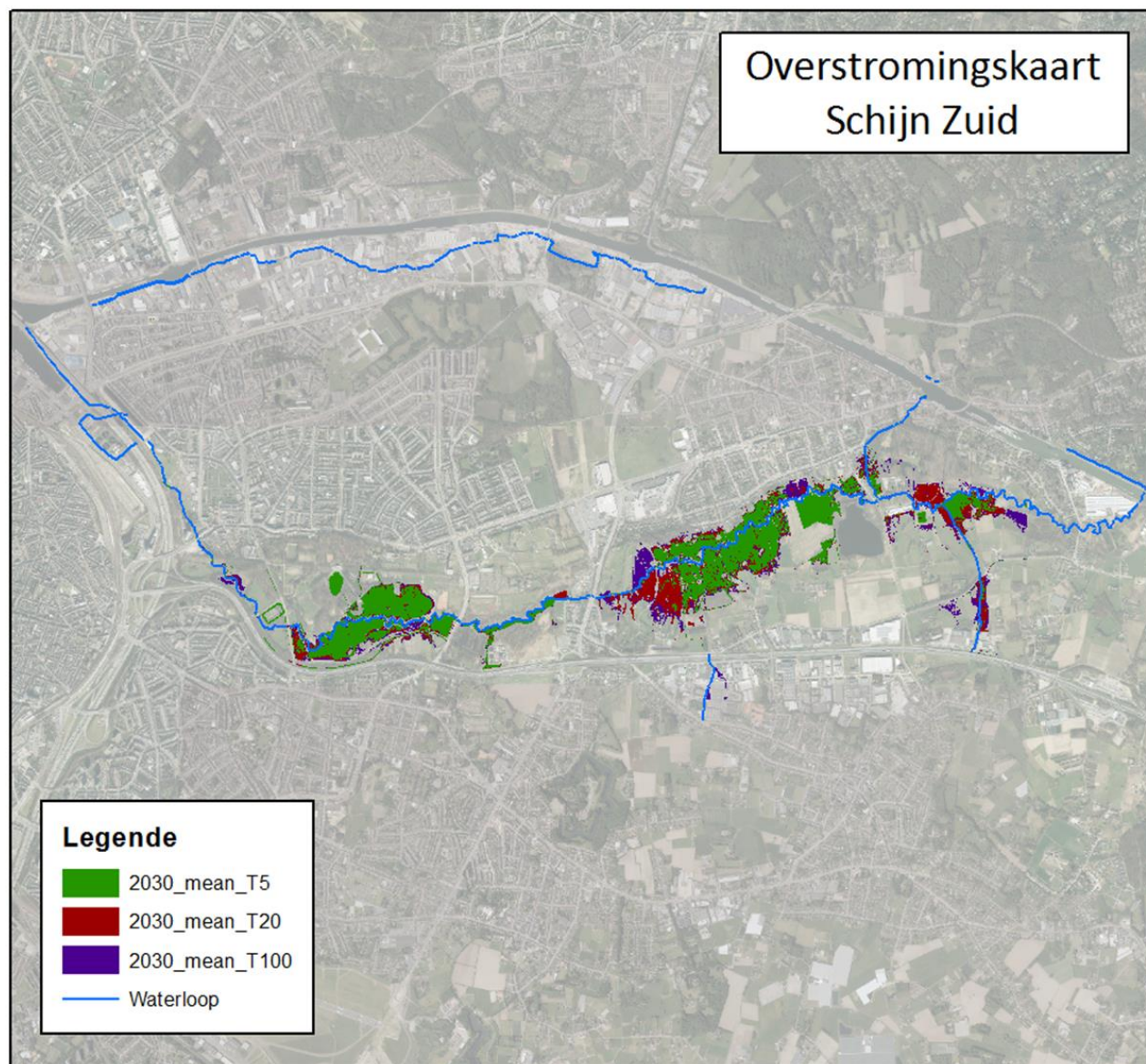
- Referentie (1975): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Huidige situatie (2015, inschatting): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high klimaatscenario voor 2100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 5 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030, 2050, 2100

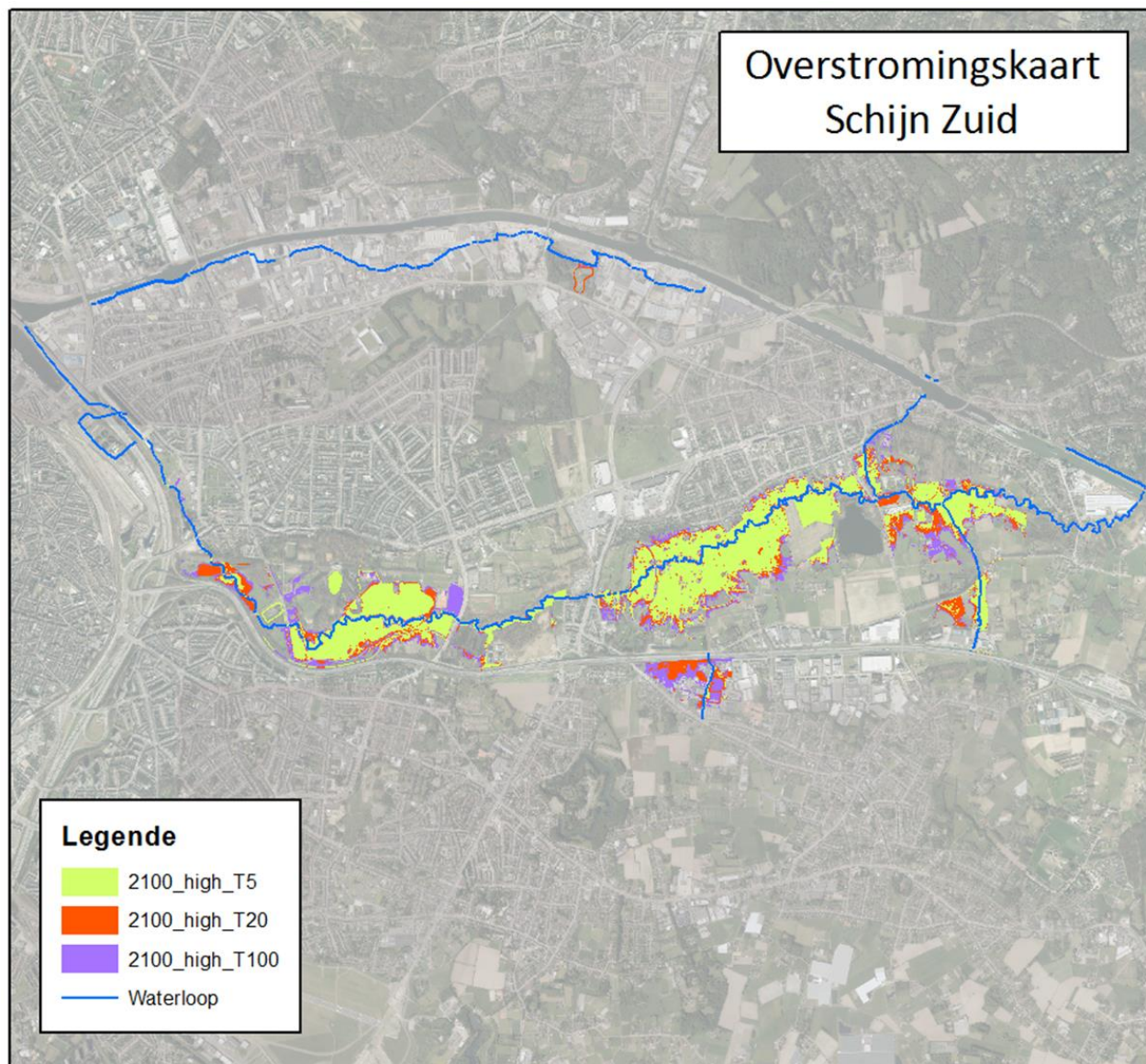
Daarnaast wordt er een vergelijking getoond met overstromingskaarten VMM klimaatscenario's voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Hierbij wordt vergeleken met het overeenkomstige lokale klimaatscenario.

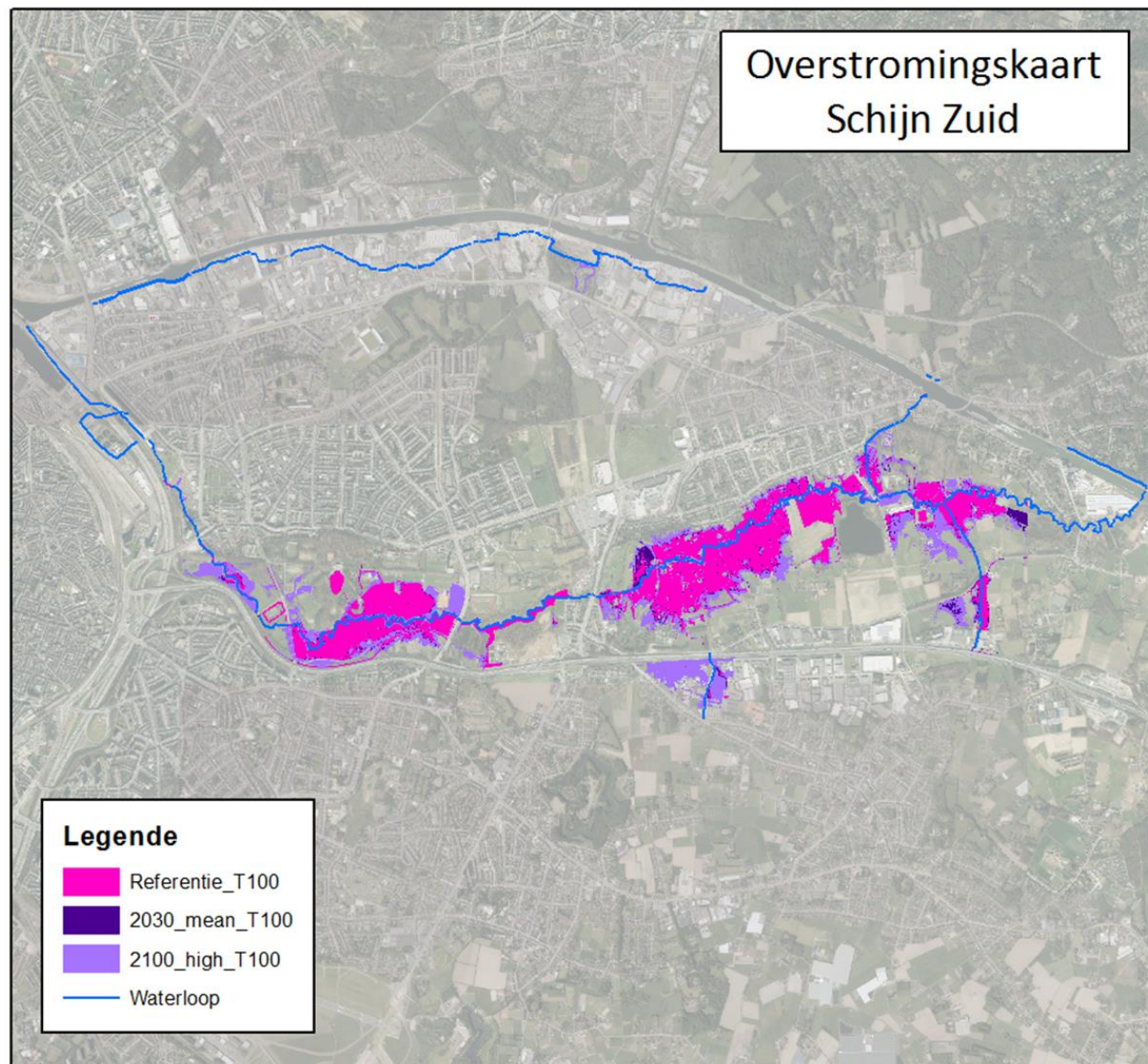
- meest extreme mean klimaatscenario: lokaal mean klimaatscenario 2030 versus VMM mCC (2100)
- meest extreme high klimaatscenario: high (winter) klimaatscenario 2100 versus VMM hCC (2100)

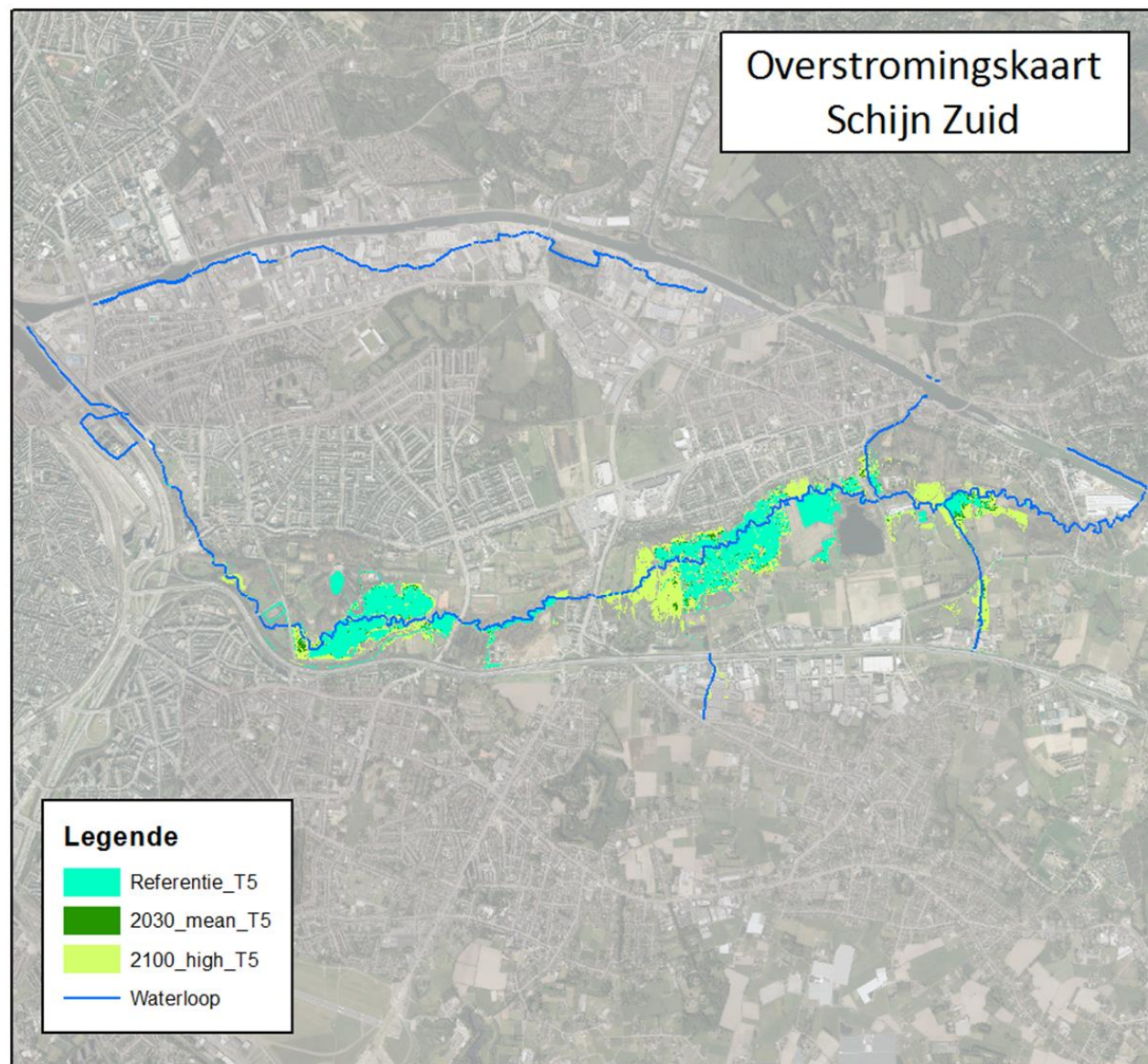


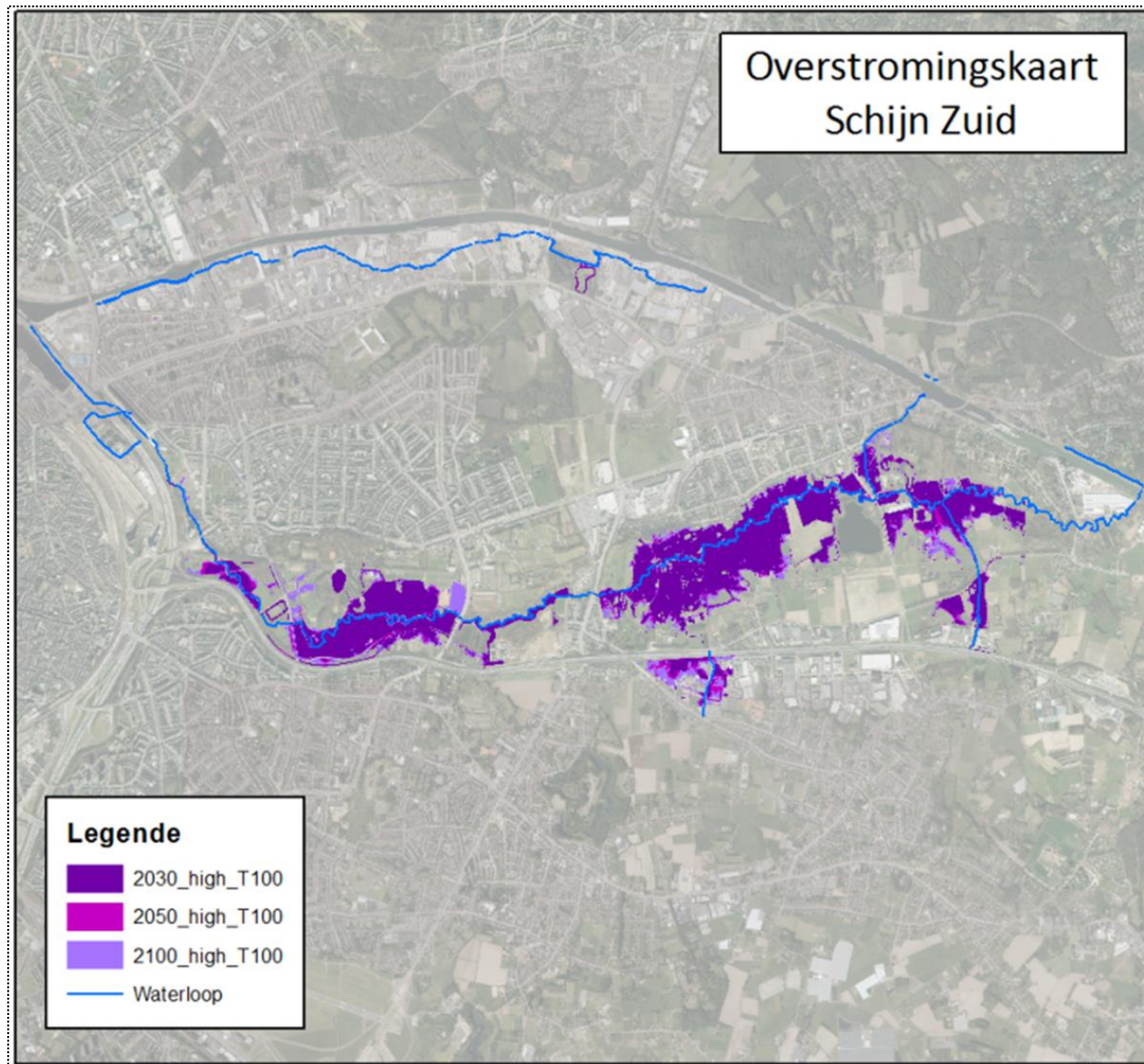


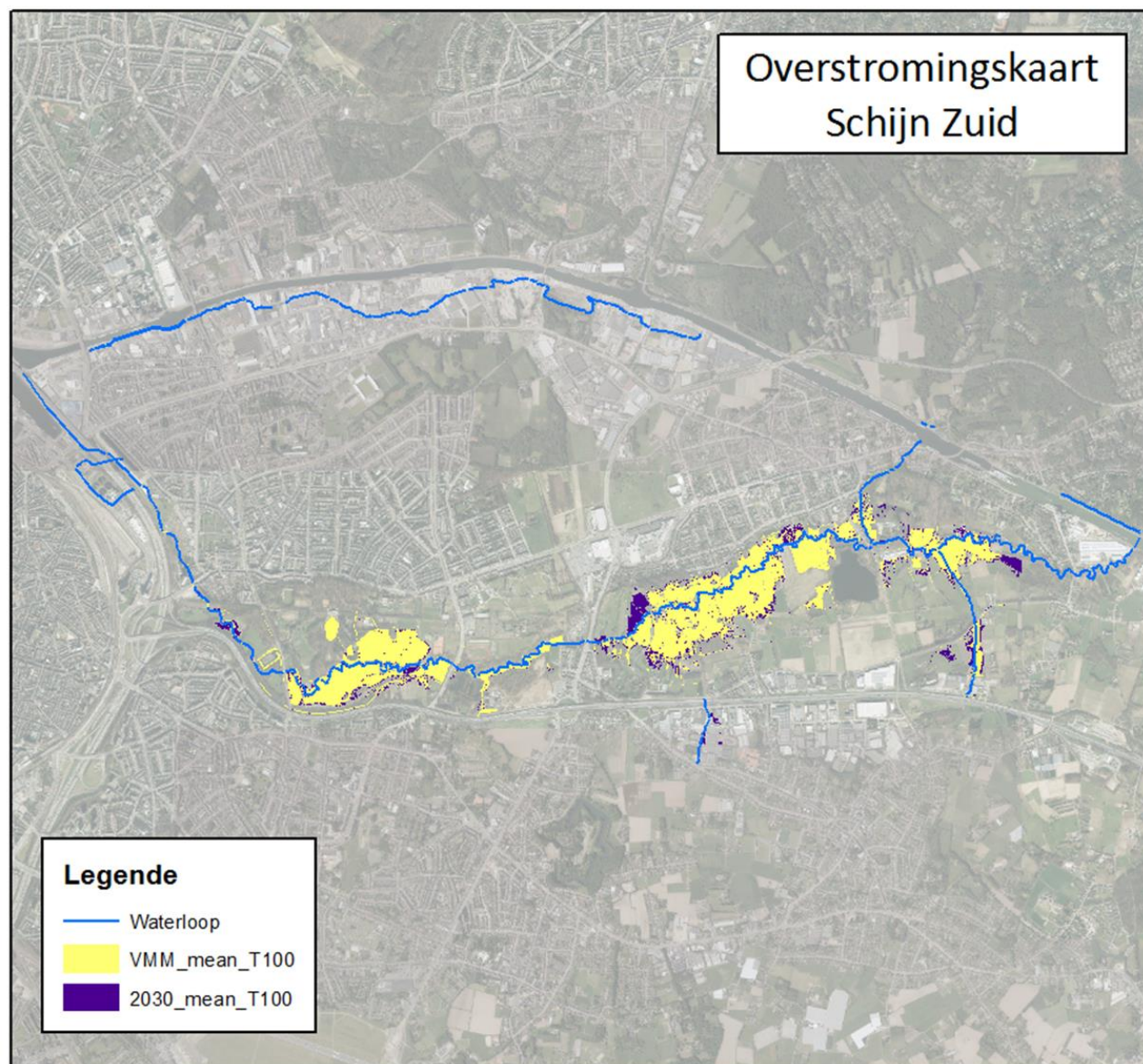


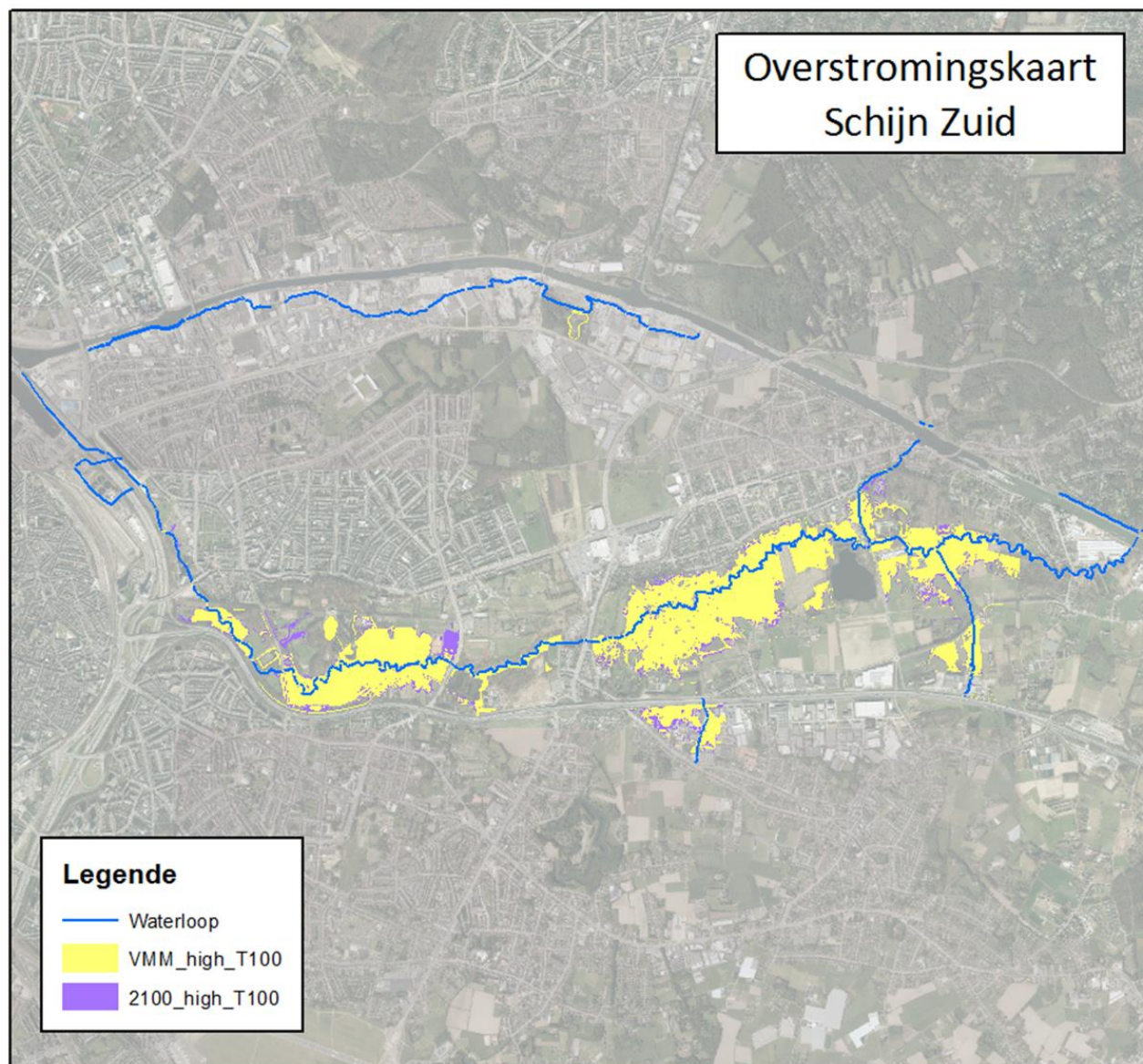










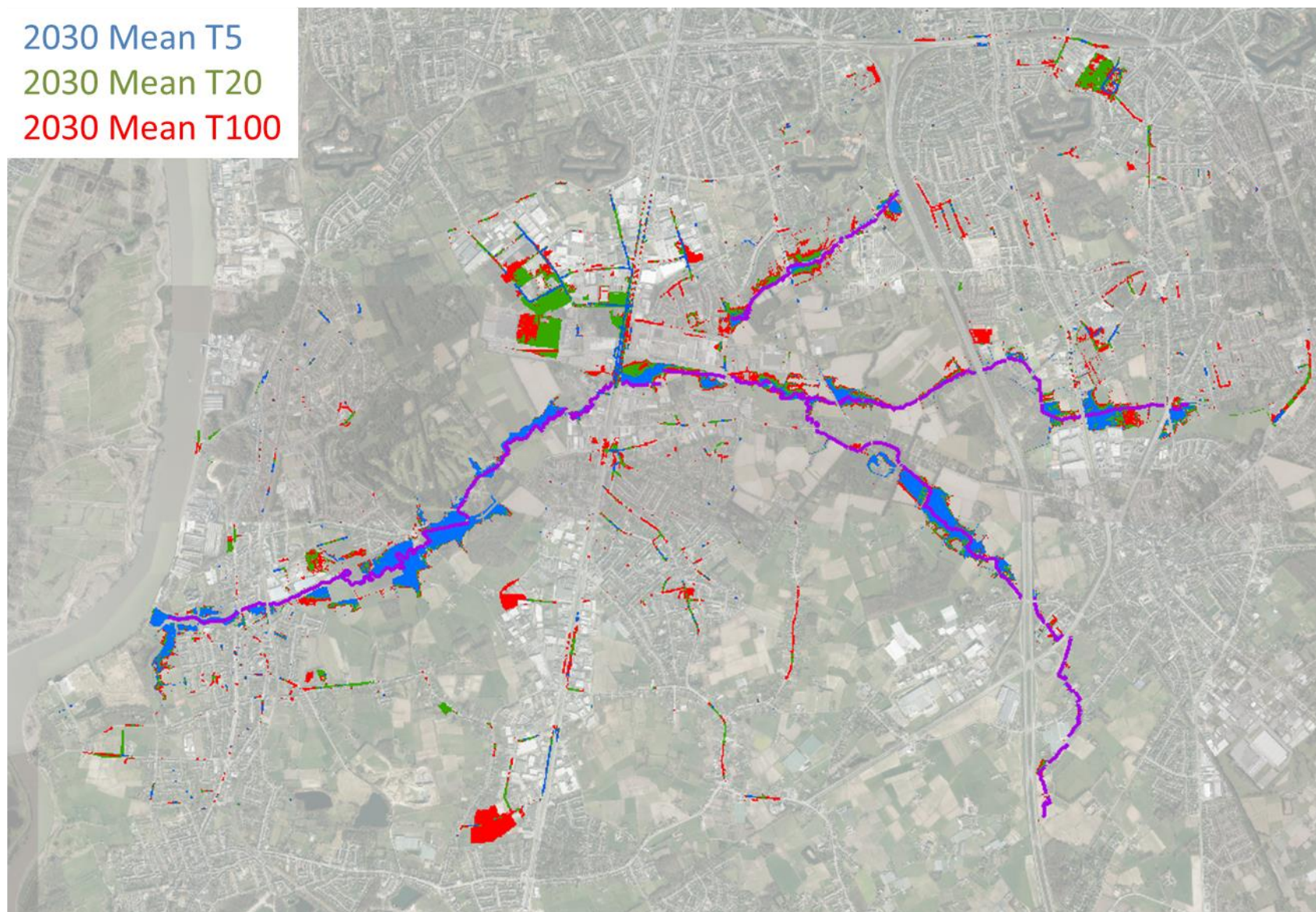


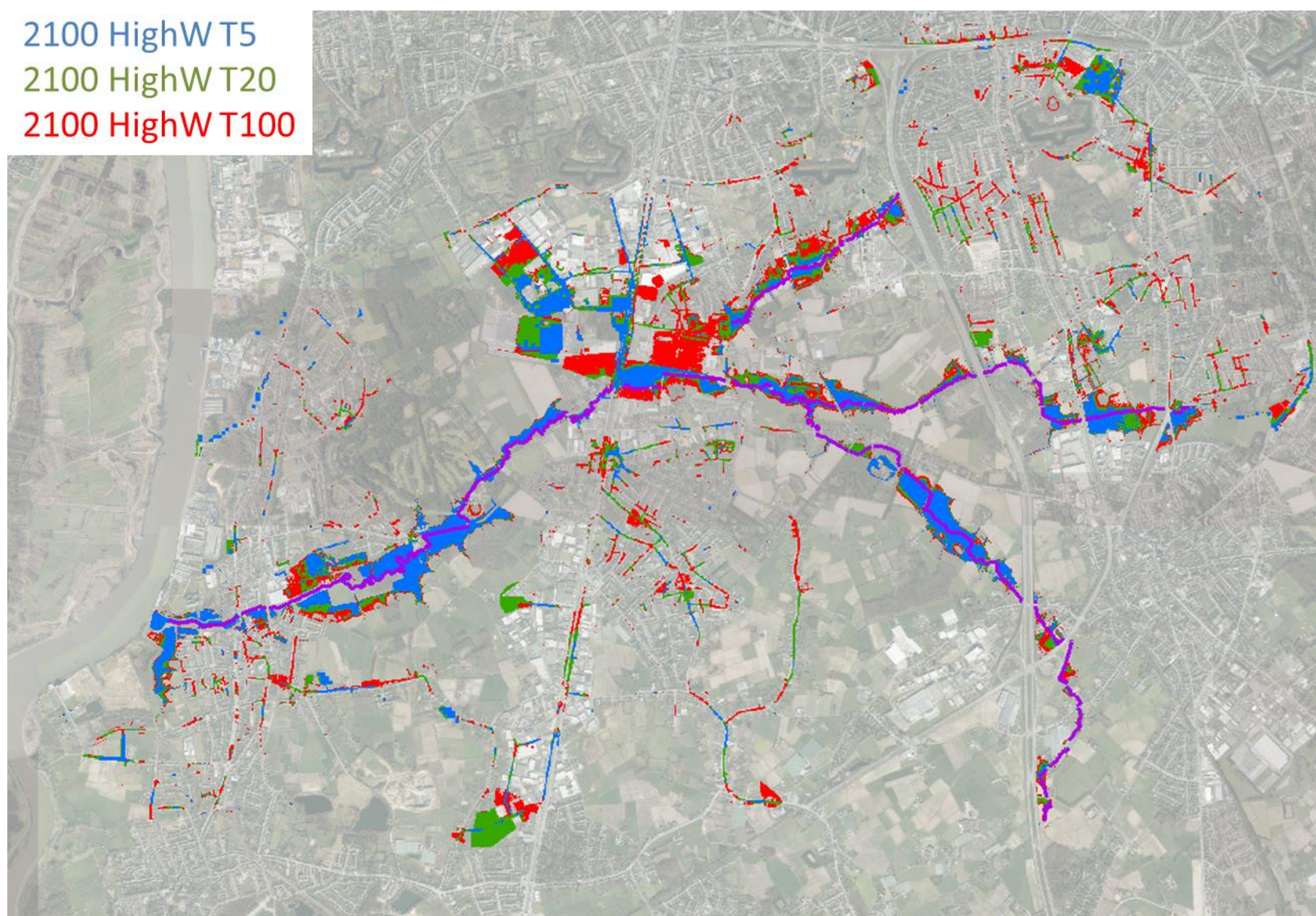
A.3 Benedenvliet

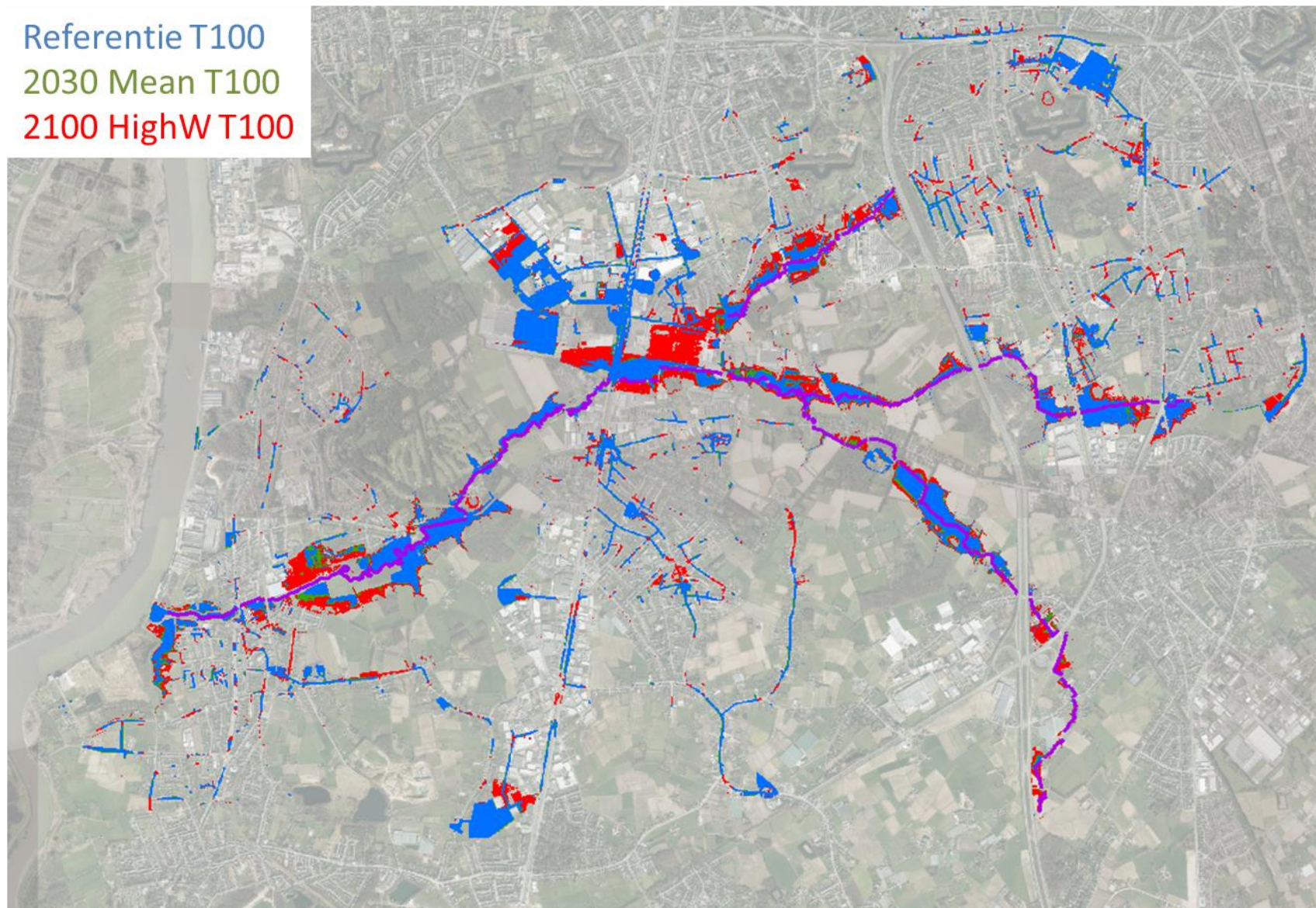
Voor Benedenvliet worden vergelijkende overstromingskaarten weergegeven voor volgende sets van klimaatsimulaties:

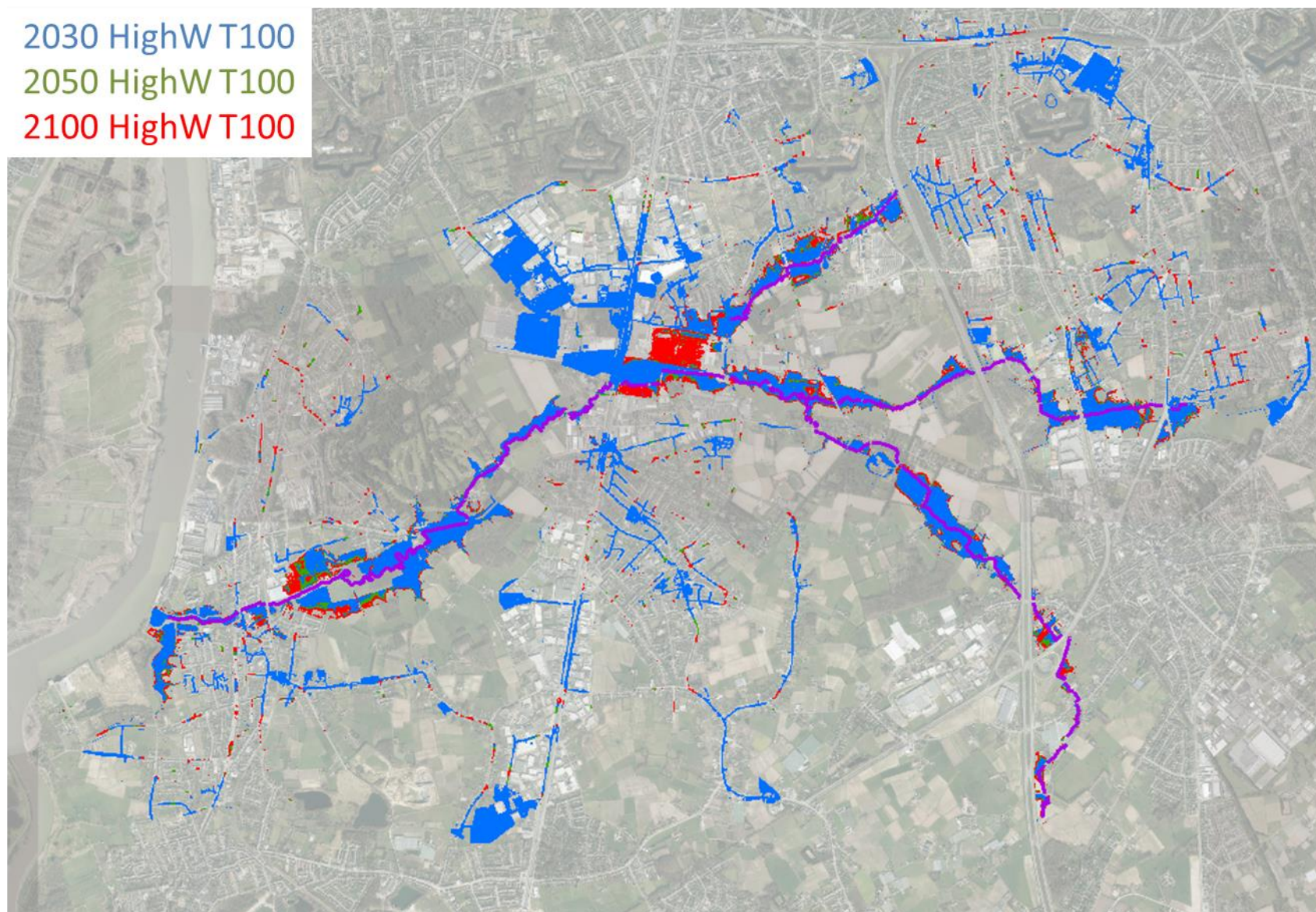
- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high (winter) klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030, 2050, 2100
- HighS (zomer) klimaatscenario voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar voor verschillende tijdshorizonten 2030 en 2100

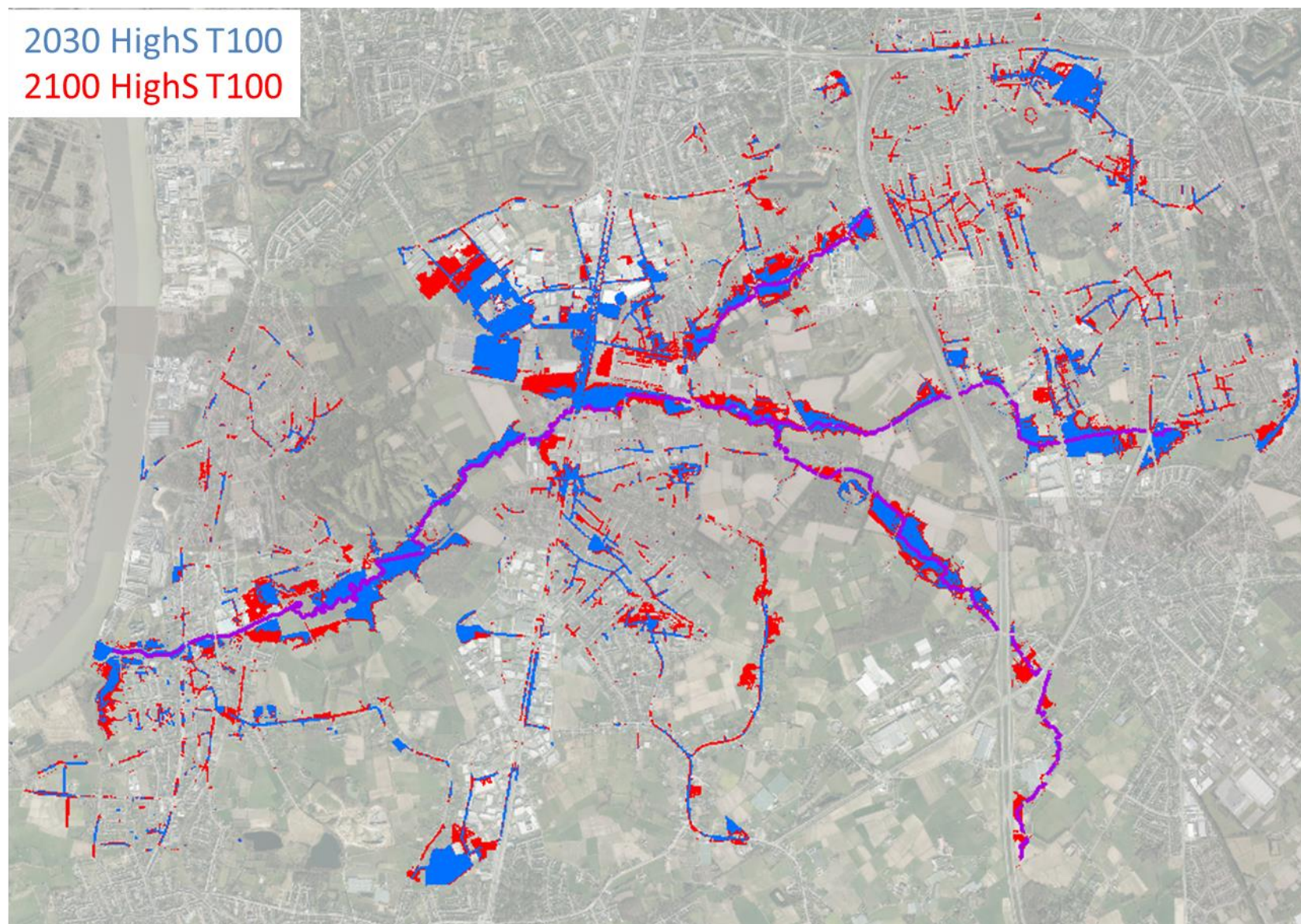
Deze kaarten omvatten zowel de overstromingen vanuit de waterloop als de overstromingen vanuit de riolering.







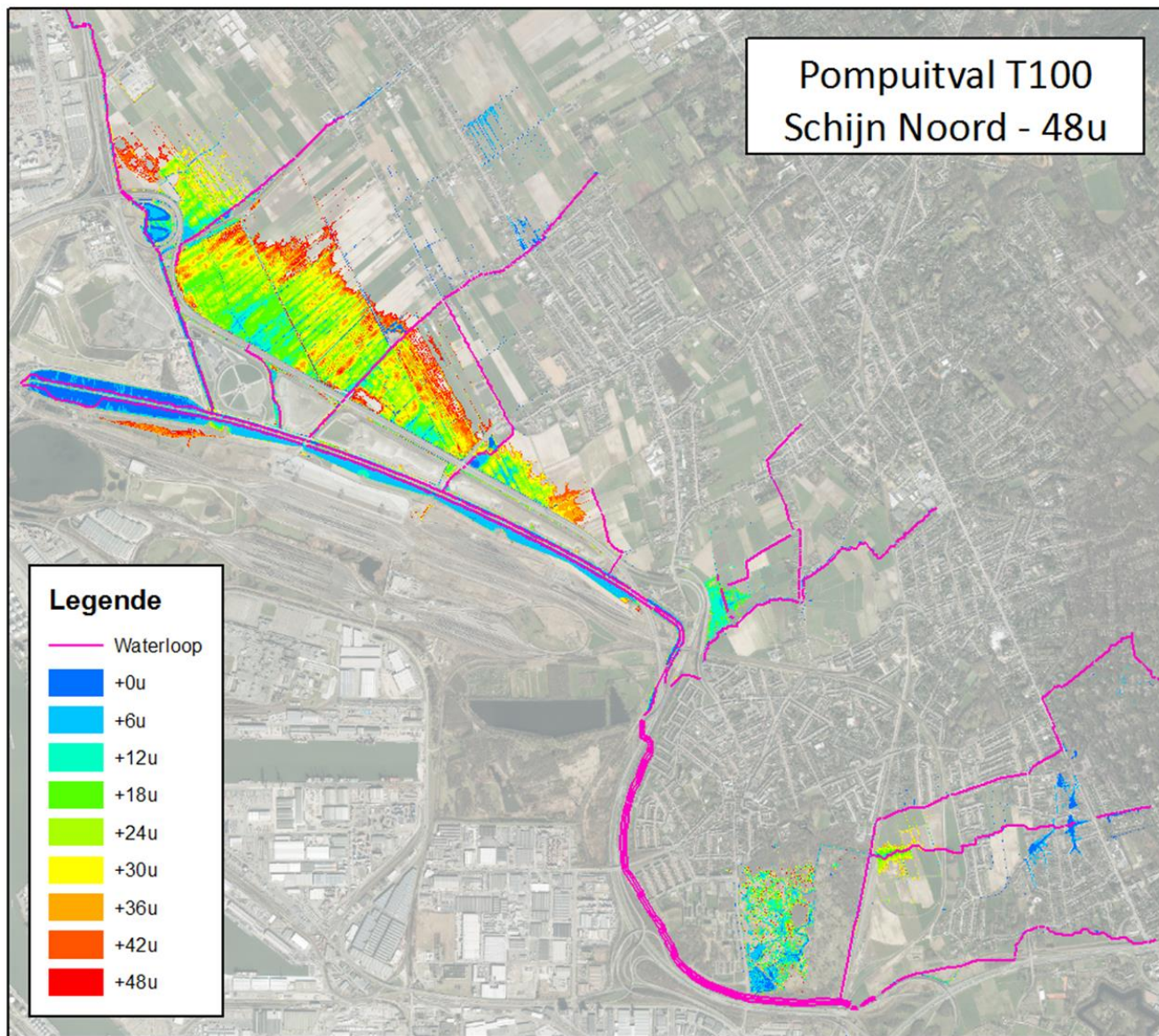


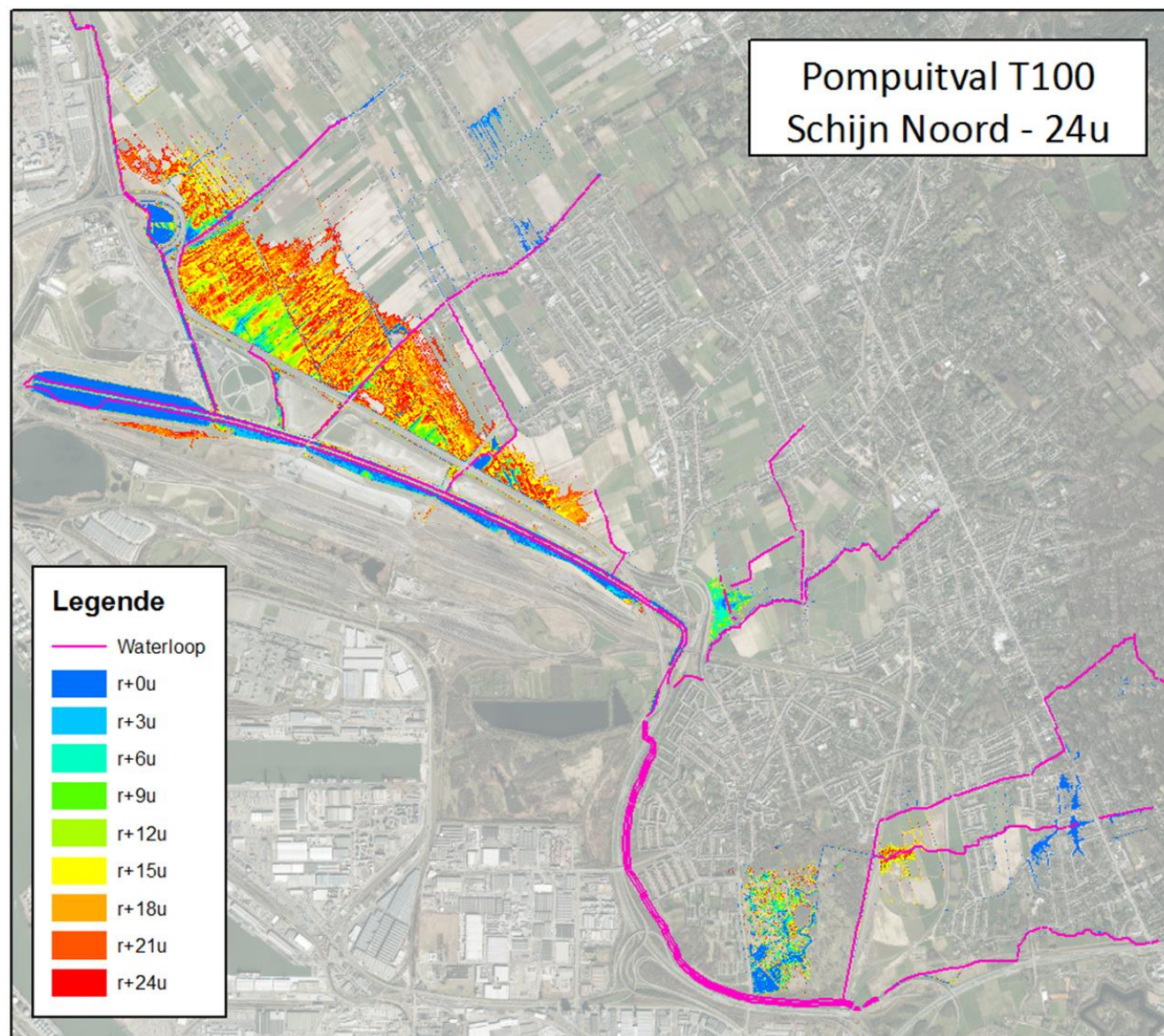


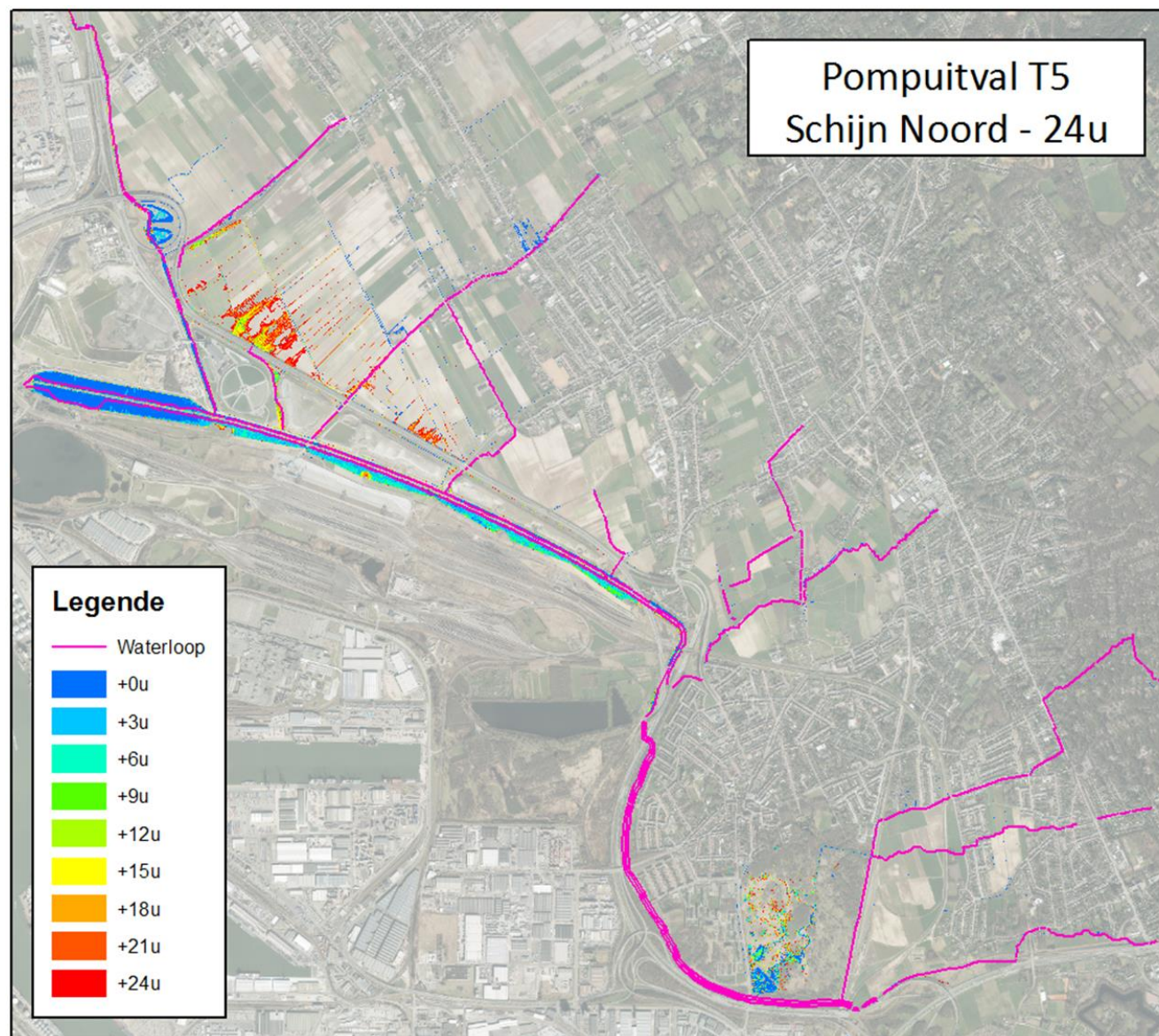
BIJLAGE B: OVERSTROMINGSKAARTEN BIJ POMPUITVAL

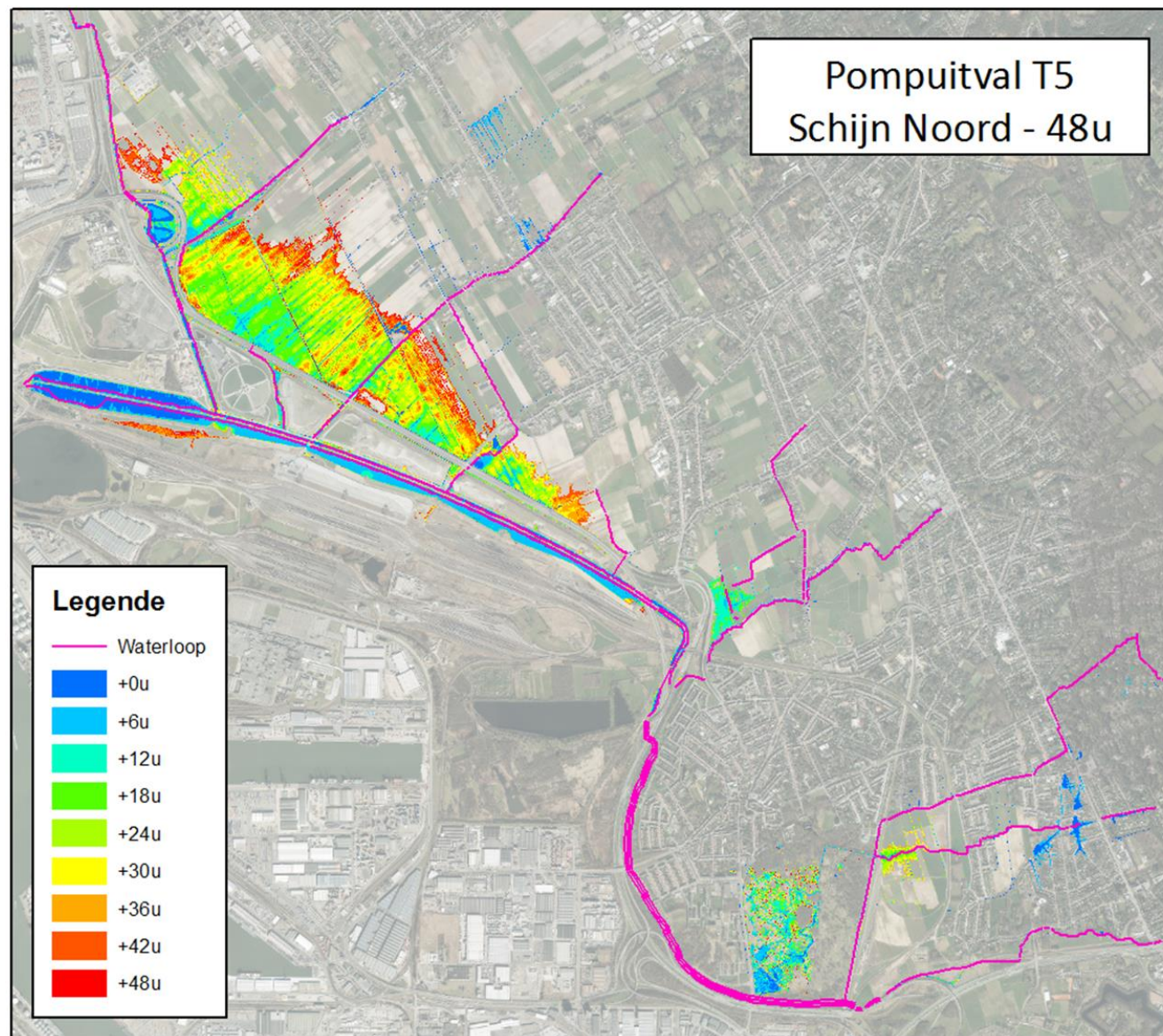
B.1 Schijn Noord

- Timelaps overstromingscontouren per 3 uur op 1 kaart tot 24 h: focus op snelste uitbreiding overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Timelaps overstromingscontouren per 6 uur op 1 kaart tot 48 h: focus op meest uitgestrekte overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Gebaseerd op interpolatie voor huidig klimaat 2015



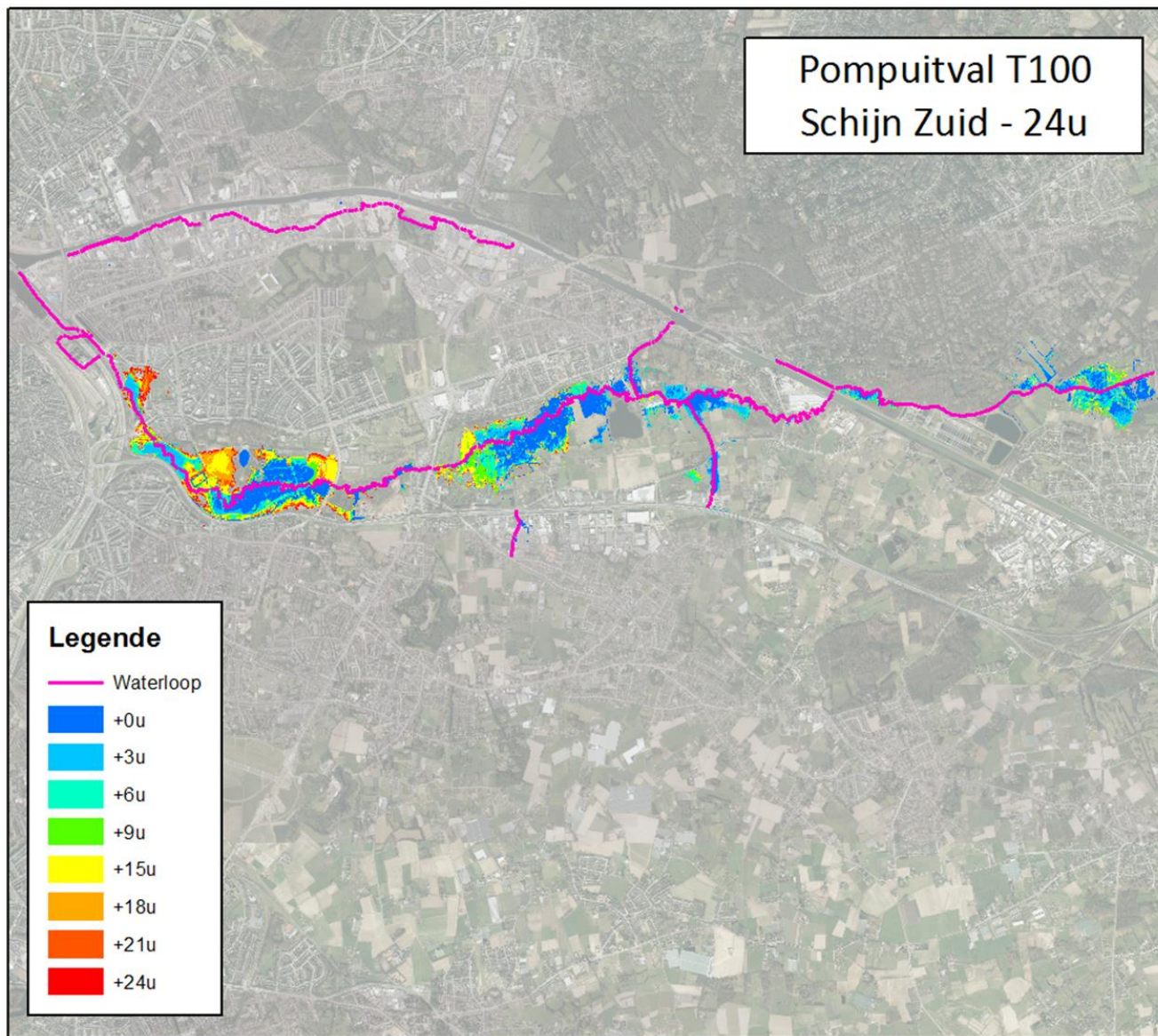


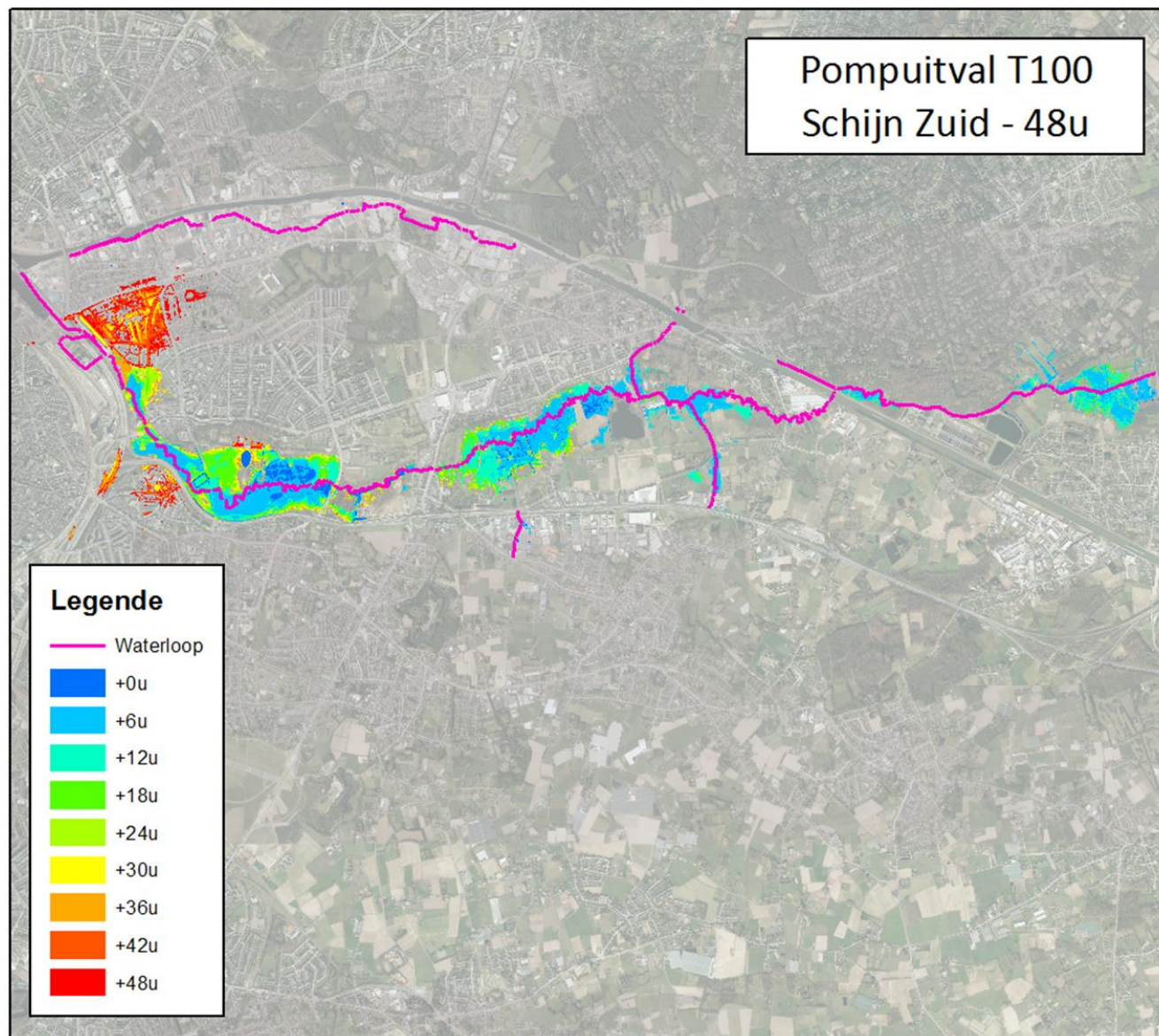


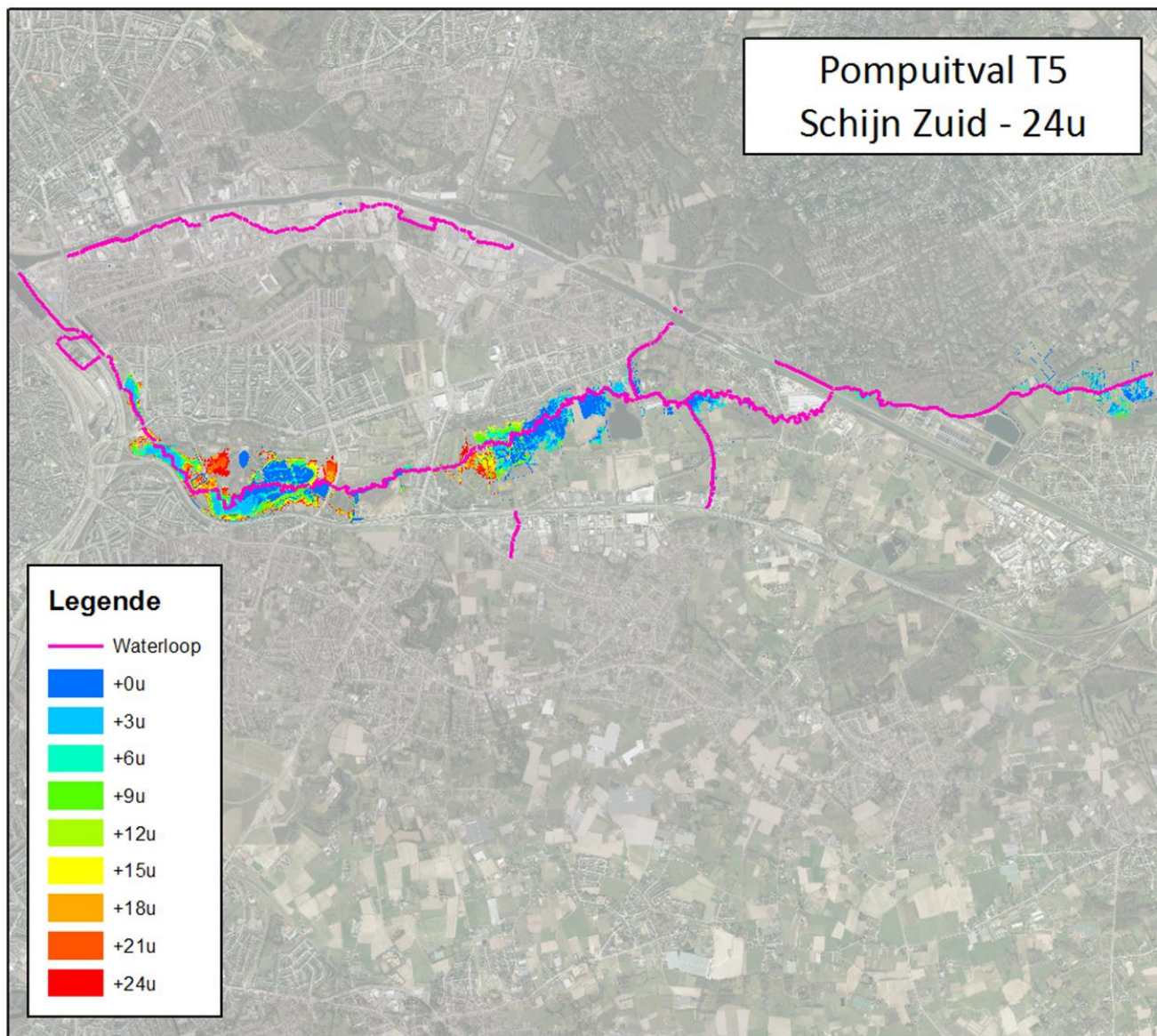


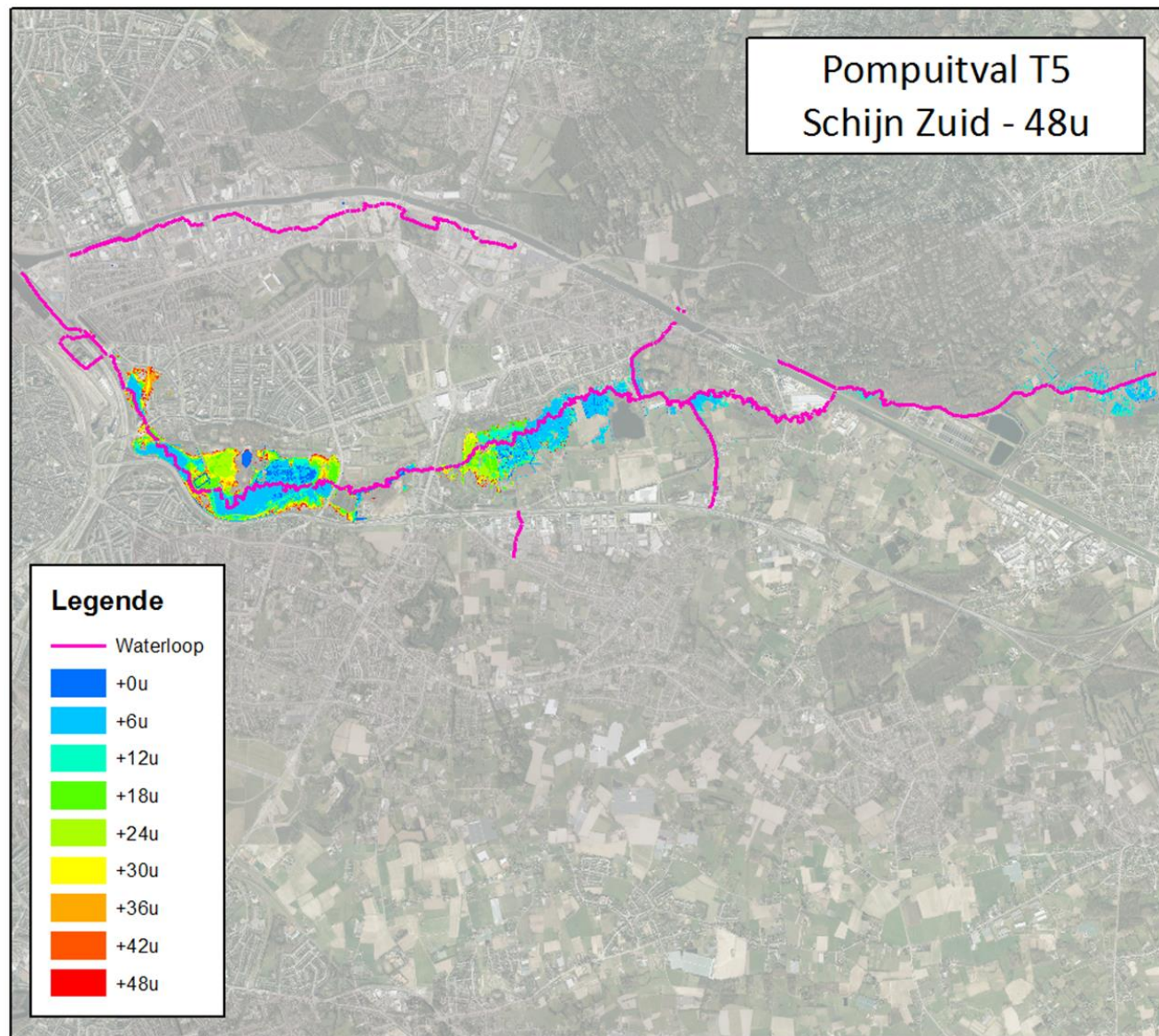
B.2 Schijn Zuid

- Timelaps overstromingscontouren per 3 uur op 1 kaart tot 24 h: focus op snelste uitbreiding overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Timelaps overstromingscontouren per 6 uur op 1 kaart tot 48 h: focus op meest uitgestrekte overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Gebaseerd op interpolatie voor huidig klimaat 2015



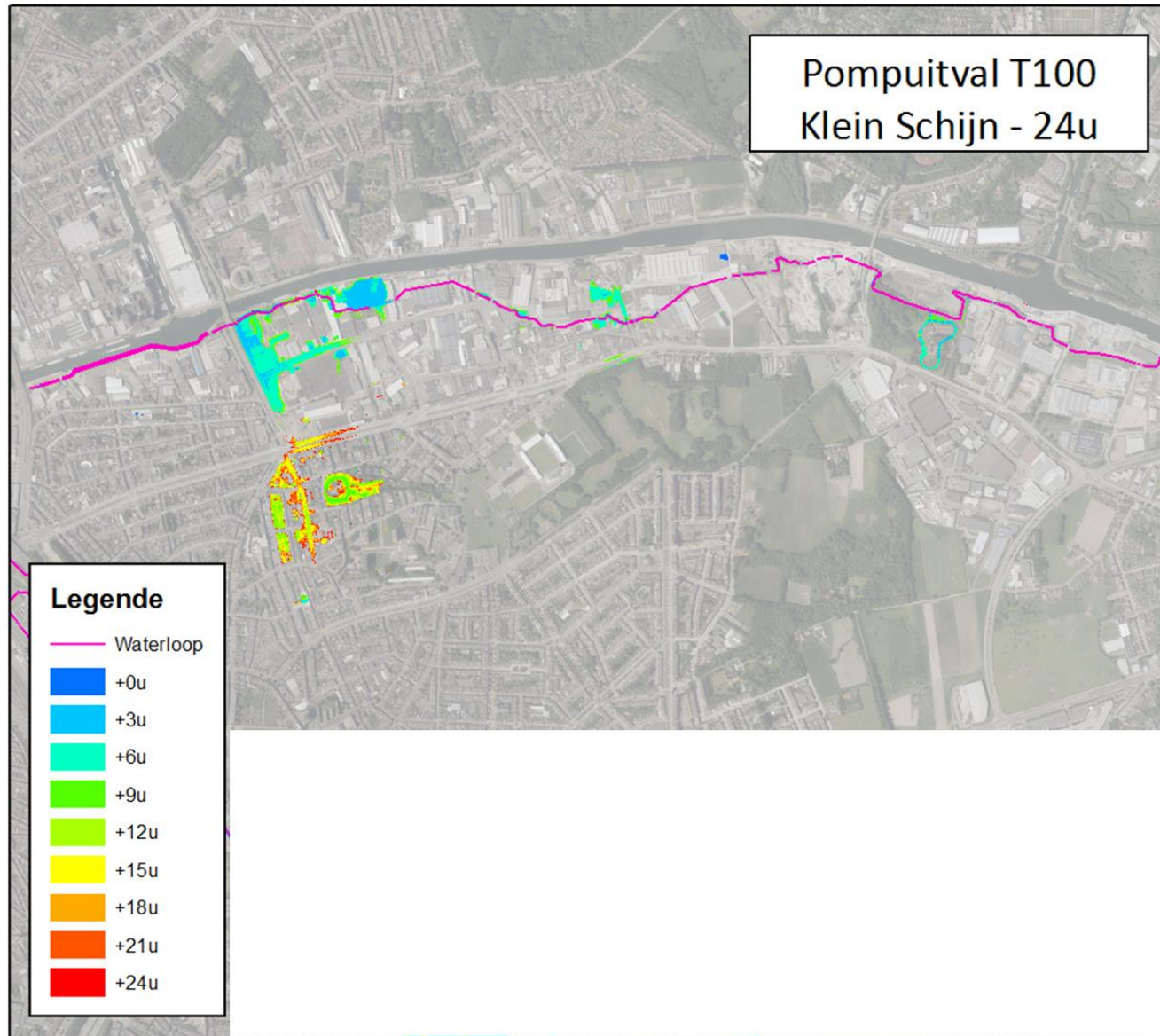


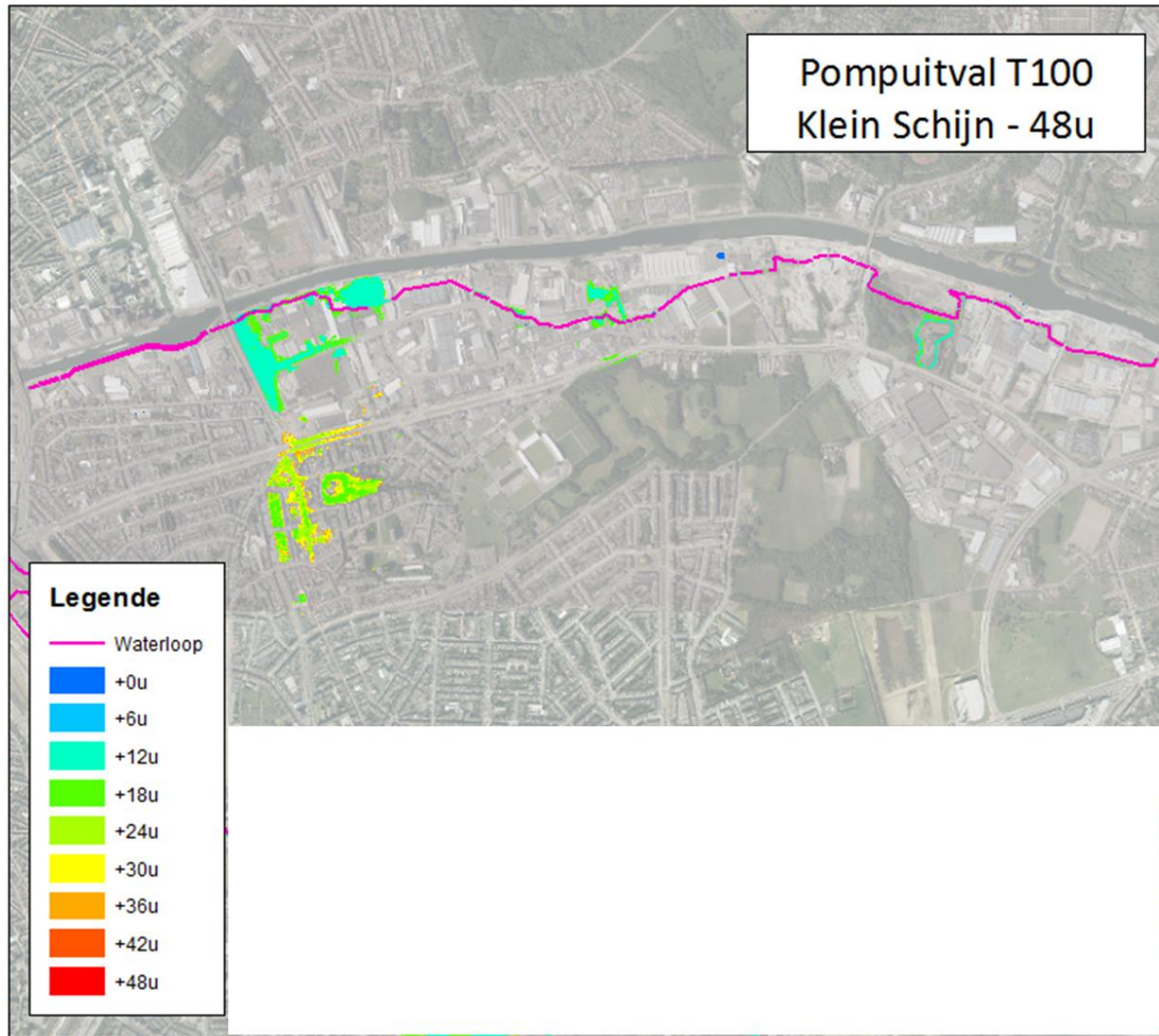


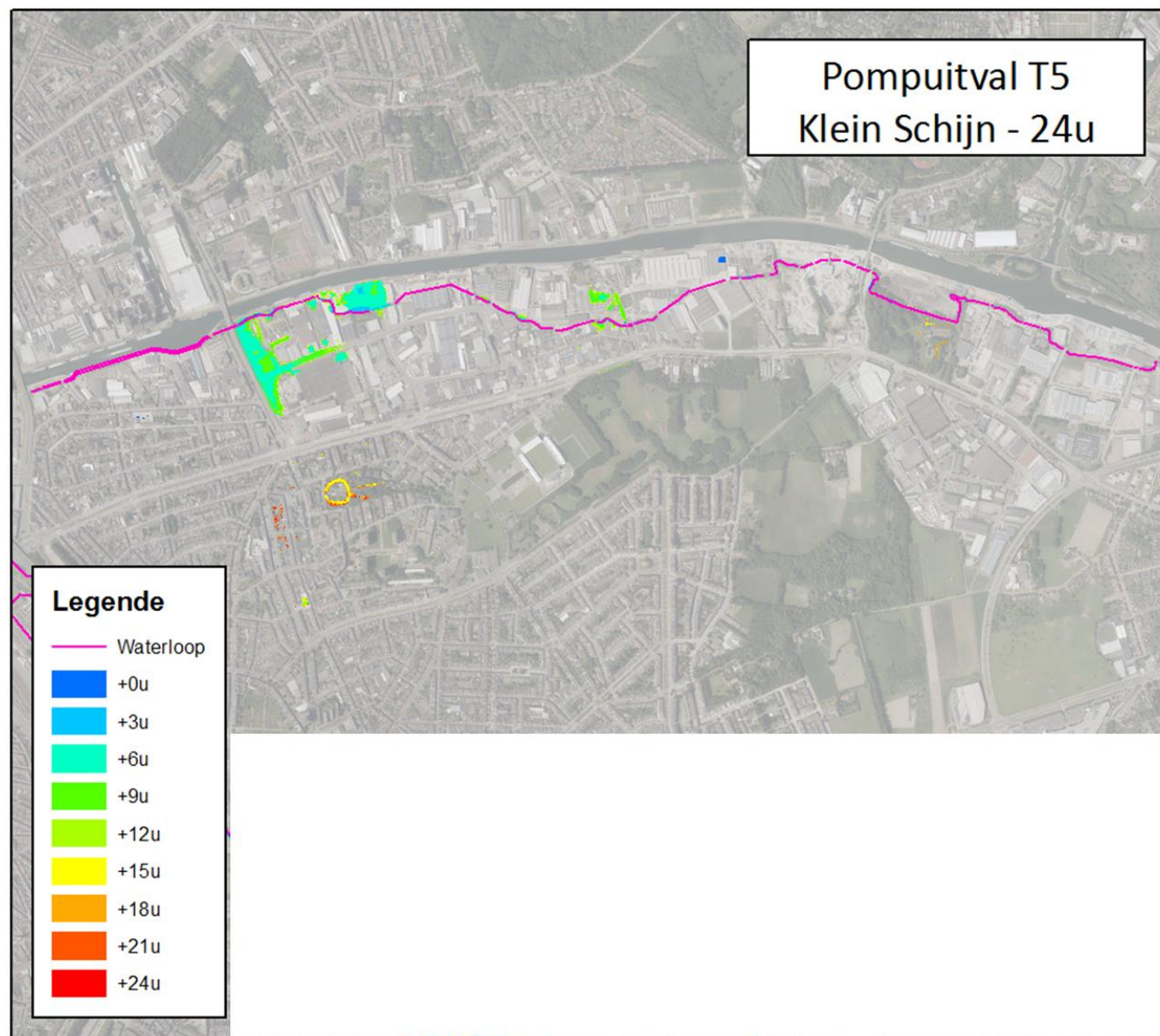


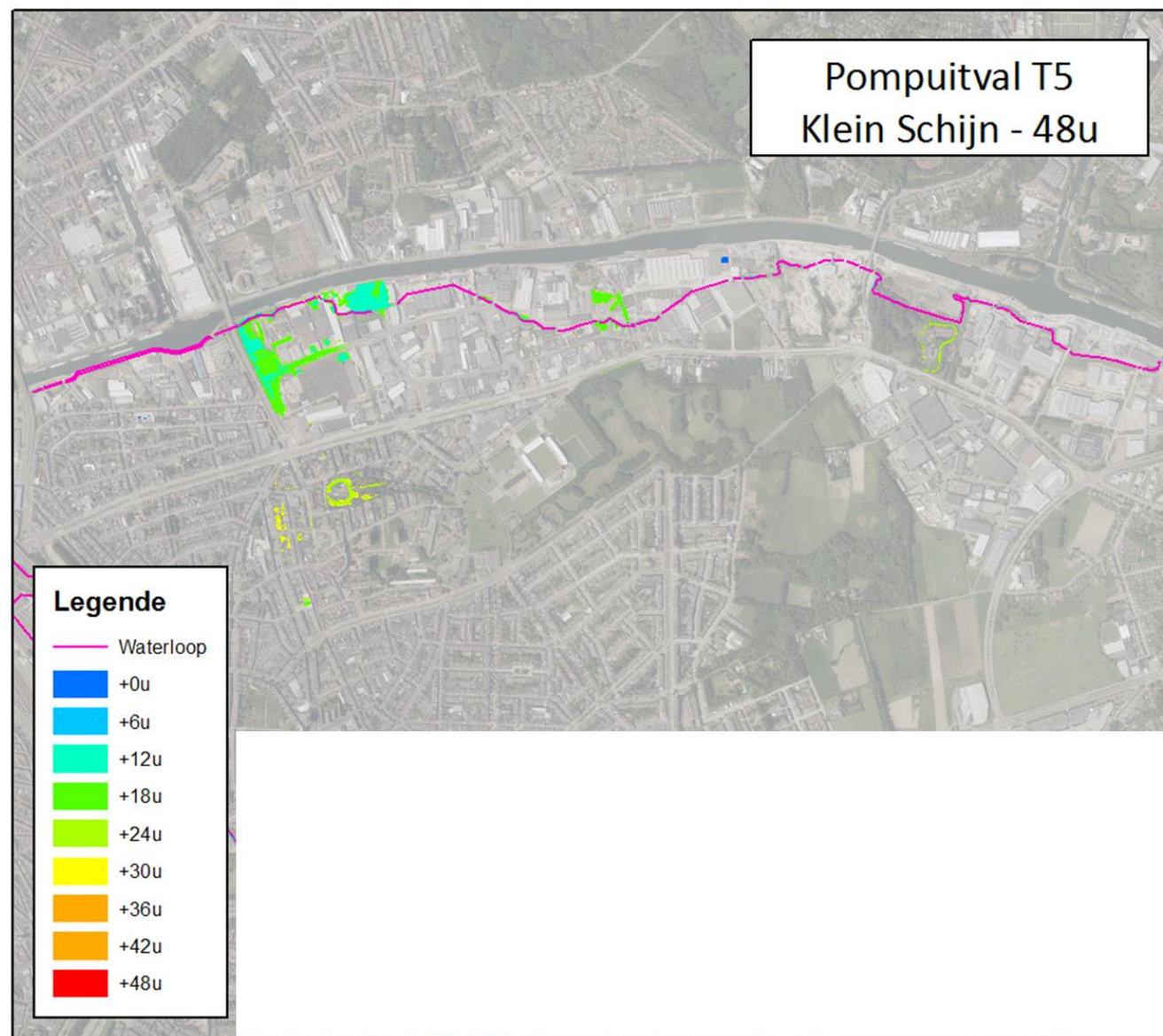
B.3 Klein Schijn

- Timelaps overstromingscontouren per 3 uur op 1 kaart tot 24 h: focus op snelste uitbreiding overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Timelaps overstromingscontouren per 6 uur op 1 kaart tot 48 h: focus op meest uitgestrekte overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Gebaseerd op interpolatie voor huidig klimaat 2015





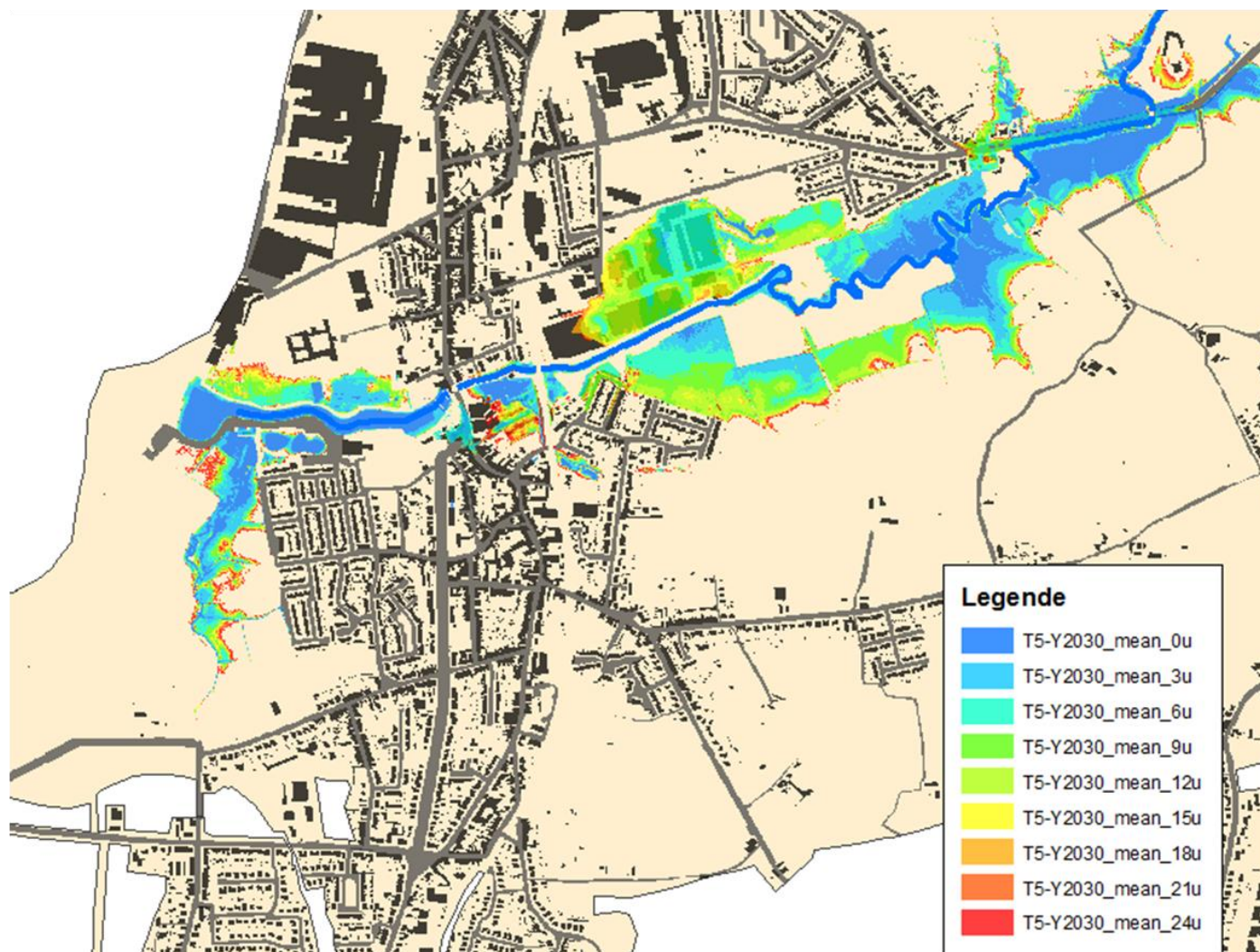




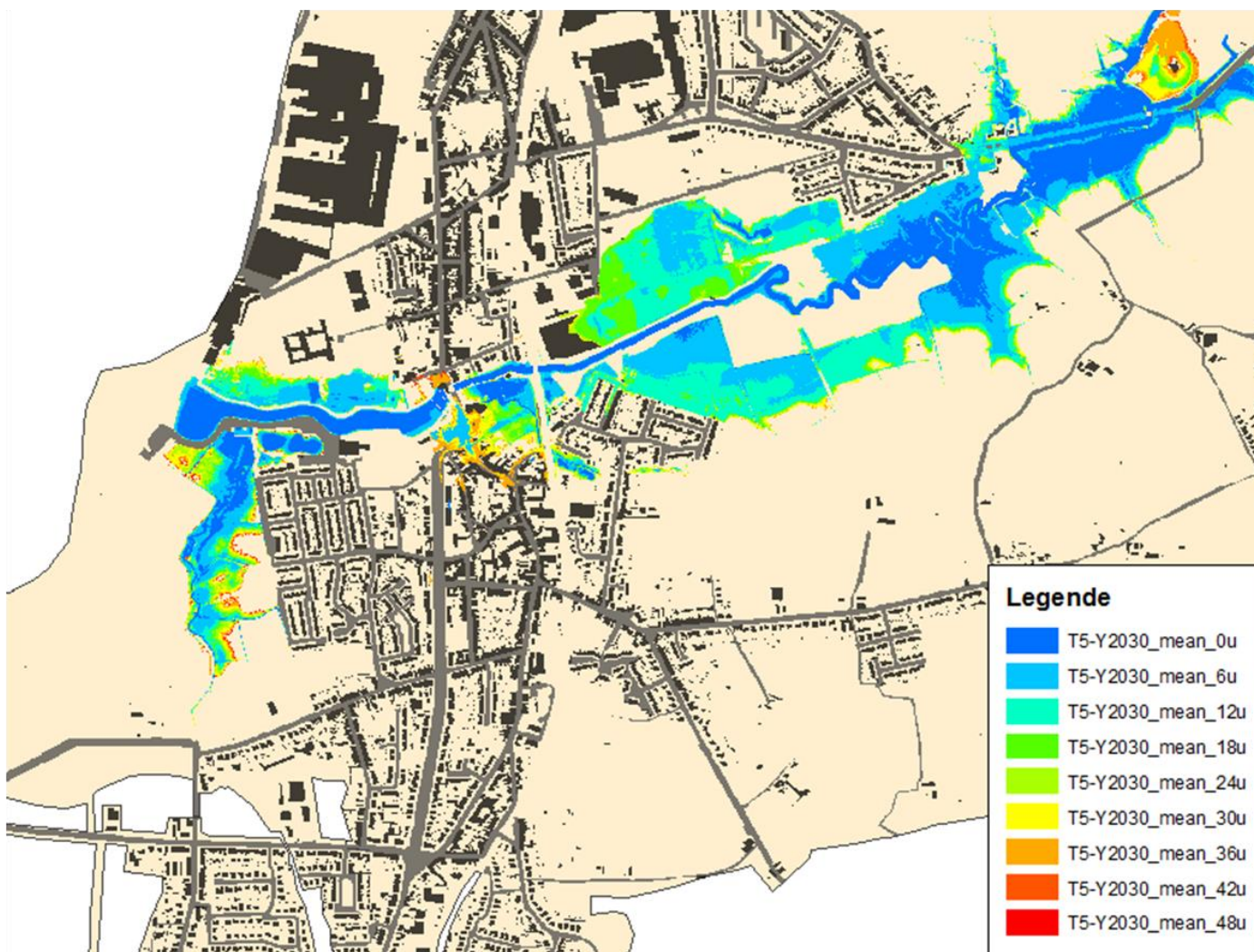
B.4 Benedenvliet

- Timelaps overstromingscontouren per 3 uur op 1 kaart tot 24 h: focus op snelste uitbreiding overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Timelaps overstromingscontouren per 6 uur op 1 kaart tot 48 h: focus op meest uitgestrekte overstroming
 - Voor grote bui met terugkeerperiode van 5 jaar
 - Voor extreme bui met terugkeerperiode van 100 jaar
- Gebaseerd op klimaatscenario mean 2030 als beste benadering van huidig klimaat

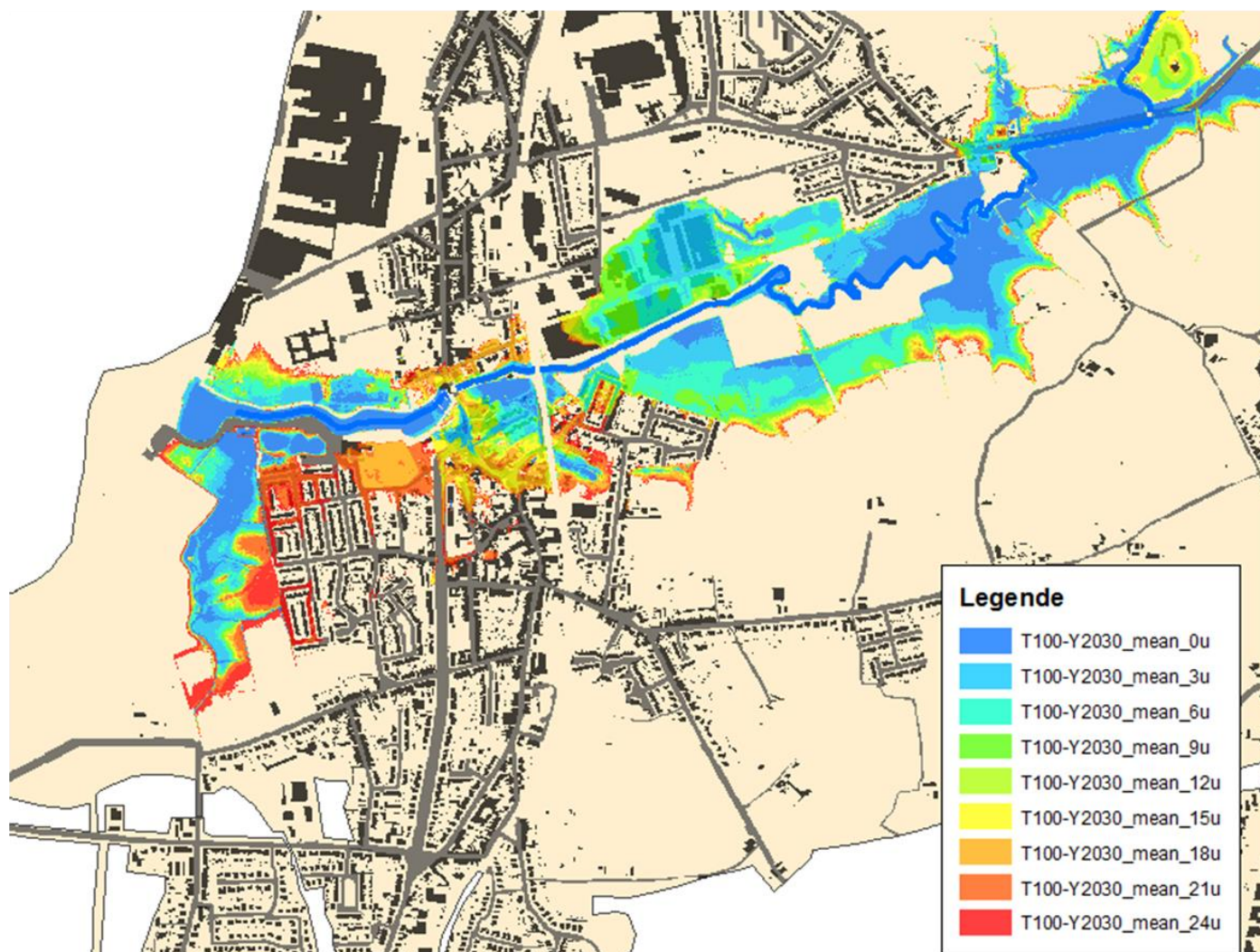
Pompuitval T5-2030-mean: 24 u (snelste uitbreiding)



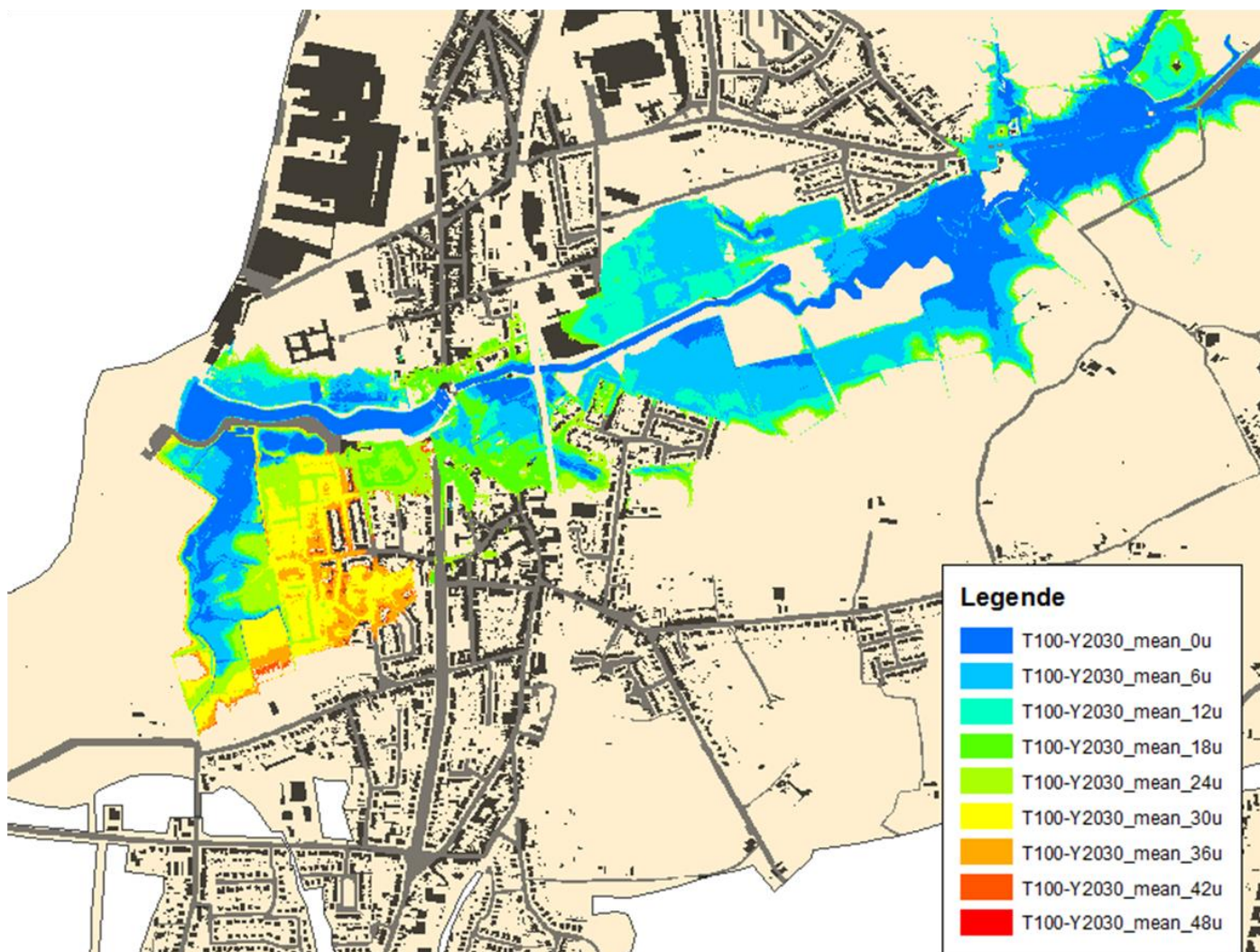
Pompuitval T5-2030-mean: 48 u (grootste uitbreiding)



Pompuitval T100-2030-mean: 24 u (snelste uitbreiding)



Pompuitval T100-2030-mean: 48 u (grootste uitbreiding)



BIJLAGE C: VERGELIJKING TRADITIONEEL MODEL VERSUS WATER OP STRAAT MODELLERING

In onderstaande figuur wordt voor 1 klimaatscenario (2030 HighS, terugkeerperiode = 100 jaar) de vergelijking weergegeven van de overstromingen in het gerioleerd gebied enerzijds volgens de traditionele aanpak (zonder water op straat simulatie) en anderzijds met de water op straat modellering inbegrepen (zoals voorgesteld in paragraaf 2.2.4).

De gele inkleuring geeft de locaties weer die enkel bij het standaardmodel overstroming geven, de blauwe kleur geeft de locaties weer waar in beide modellen overstroming voorkomt en de rode kleur geeft de locaties weer waar er enkel bij het gehanteerde model met water op straat modellering overstroming voorkomt. De combinatie van blauw en rood geeft dus de effectieve weergave van de overstromingsrisico's, zoals het in de andere kaarten wordt gevisualiseerd in bijlage A.

