



SYNTHE RAPPORT

IMPACT VAN
WIJZIGENDE NEERSLAGPATRONEN
OP LOKALE WATERLOPEN

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
Samenvatting	4
1. Inleiding	5
1.1 Situering	5
1.2 Beschikbare scenario's	6
1.3 Beschouwde gebieden	7
1.3.1 Schijn.....	7
1.3.2 Benedenvliet.....	9
2. Hydrologische vergelijking klimaatscenario's	10
2.1 Methodiek.....	10
2.2 Schijn Noord (Benedenschijn)	10
2.3 Schijn Zuid (Groot en Klein Schijn)	12
2.4 Benedenvliet.....	13
2.4.1 Afstroming naar de waterloop.....	13
2.4.2 Lokale afstroming in het stedelijk gebied	14
2.5 Conclusies hydrologische vergelijking	16
3. Hydraulische vergelijking / overstromingskaarten	17
3.1 Gebruikte modellen	17
3.1.1 Waterloopmodel Schijn.....	17
3.1.2 Integraal model Benedenvliet.....	17
3.2 Overstromingskaarten	19
3.3 Conclusies overstromingskaarten.....	20
4. Faling kritische infrastructuur	21
4.1 Methodiek.....	21
4.2 Overstromingskaarten	22
4.2.1 Benedenschijn (Schijn Noord)	22
4.2.2 Groot Schijn (Schijn Zuid).....	23
4.2.3 Klein Schijn (Schijn Zuid)	24
4.2.4 Benedenvliet.....	25
5. Buffermaatregelen Benedenvliet.....	26
5.1 Beschouwde bufferscenario's	26
5.2 Conclusies bufferscenario's	27

6. Conclusies en aanbevelingen	28
6.1 Overzicht	28
6.2 Overstromingsbeheersing natuurlijk watersysteem	29
6.2.1 Maatregelen langsheen de waterloop	29
6.2.2 Optimalisatie sponswerking landelijke afstroming	29
6.3 Overstromingsbeheersing gerioleerd gebied	30
6.3.1 Verbetering stedelijke afwatering	30
6.3.2 Bronmaatregelen in verstedelijkt gebied	30
6.4 Studiewerk m.b.t. klimaatanalyse en modellering	31
6.4.1 Bijsturing omwille van onzekerheden	31
6.4.2 Integrale modellering	31
6.5 Wees voorbereid	32
6.5.1 Uitbouwen meetnet	32
6.5.2 Decision Support System	32
6.5.3 De ruimtelijke relevantie van extreme zomerneerslag	34
6.6 Specifieke aanbevelingen	35
6.6.1 Het Schijn	35
6.6.2 De Benedenvliet	35
Referenties	36
Bijlage A: Vergelijking overstromingskaarten	37
A.1 Schijn Noord (Benedenschijn)	37
A.2 Schijn Zuid (Groot en Klein Schijn)	43
A.3 Benedenvliet	49

SAMENVATTING

De voorliggende studie analyseert de impact van klimaatverandering op de lokale Antwerpse waterlopen en dit specifiek toegepast op het Schijn (Groot en Klein Schijn, Benedenschijn) en de Benedenvliet.

Het Antwerpse klimaatmodel is vergeleken met het klimaatmodel voor Vlaanderen om in te kunnen schatten wat de impact is van het lokale klimaat op de afstromingsdebieten naar de waterlopen en hoe dit zich verhoudt tot het Vlaams gemiddelde (hoofdstuk 2).

Deze afstromingsdebieten onder de verschillende klimaatcondities en voor verschillende tijdshorizonten zijn voor de betreffende waterlopen gesimuleerd. Op basis hiervan zijn vergelijkende overstromingskaarten gegenereerd (hoofdstuk 3). Voor de Benedenvliet zijn hierbij ook de lokale riooloverstromingen en de interacties tussen riolering en waterloop in rekening gebracht via een integrale modellering.

Simulaties zijn uitgevoerd om de reikwijdte m.b.t. overstromingen in te schatten bij operationele problemen zoals pompuitslag en blokkage van kritische kokers (hoofdstuk 4).

Voor de Benedenvliet zijn een aantal structurele maatregelen tegen overstromingsgevaar geanalyseerd in het licht van de klimaatscenario's, d.w.z. de aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden (hoofdstuk 5).

Tenslotte zijn beleidsaanbevelingen uitgewerkt (hoofdstuk 6) over de keuze en gebruik van de klimaatmodellen en over de mogelijke maatregelen voor het verhogen van de meerlaagse veiligheid.

De aanbevelingen m.b.t. het omgaan met de (stijgende) overstromingsrisico's kunnen gecategoriseerd worden onder 3 thema's:

- **Protectie (Resistance):** weerstand opbouwen tegen overstromingen door structurele maatregelen te nemen die overstromingen tot een bepaald niveau voorkomen
- **Preventie (Resilience):** minimaliseren van de impact (door structurele maatregelen) van overstromingen wanneer ze zich voordoen
- **Paraatheid (Readiness):** wanneer een extreme gebeurtenis zich voordoet, zorgen dat men dit ziet aankomen, er klaar voor staat en weet wat te doen (tijdelijke maatregelen, noodmaatregelen)

Deze studie omvat meer specifieke aanbevelingen m.b.t. (hoofdstuk 6):

- Overstromingsbeheersing langsheen waterlopen
- Overstromingsbeheersing in gerioleerd gebied
- Bronmaatregelen in verstedelijkt gebied
- Optimalisatie sponswerking landelijke afstroming
- Studiewerk omtrent klimaatanalyse en (integrale) modellering
- Uitbouwen meetnet en Decision Support System
- Specifieke aanbevelingen in het gebied van het Schijn
- Specifieke aanbevelingen in het gebied van de Benedenvliet

De aanbevelingen zijn geen menukaart waar een beperkte keuze uit kan worden gemaakt. Om de klimaateffecten en overstromingsproblematiek effectief aan te pakken en op te volgen is een ruime combinatie van deze maatregelen nodig.

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 (gemiddeld representatief voor Vlaanderen). Maar gezien de criticiteit 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 dan in de voorliggende studie als input gebruikt om een impactstudie mee uit te voeren voor de waterlopen Schijn en Benedenvliet, inclusief de interacties met het rioolsysteem voor de 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) van de Vlaamse Milieumaatschappij (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 (Groot en Klein Schijn), Benedenschijn tot Rode Weel en Benedenvliet. Enerzijds is 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 en hoe dit zich verhoudt tot het Vlaams gemiddelde (fase 1). Anderzijds zijn met deze inputs de waterlopen gesimuleerd en zijn op basis hiervan overstromingskaarten gegenereerd en vergeleken voor verschillende terugkeerperiodes onder de verschillende klimaatcondities en voor verschillende tijdshorizonten (fase 2). Daarna zijn een aantal scenario's doorgerekend m.b.t. structurele maatregelen tegen overstromingsgevaar en m.b.t. mogelijke operationele problemen (pompuival, blokkage) (fase 3). Tenslotte zijn beleidsaanbevelingen uitgewerkt over de keuze en gebruik van de klimaatmodellen en over de mogelijke ruimtelijke maatregelen voor het verhogen van de meerlaagse veiligheid (protectie, preventie en paraatheid) t.a.v. hoge klimaatprognoses en falen van de pompgemalen Groot Schijn, Rode Weel en Benedenvliet (fase 4).

Dit syntheserapport omvat een samenvatting van de fases 1 t.e.m. 3 (waarvan de details in drie technische rapporten terug te vinden zijn (HydroScan, 2016a,b,c)) en tot slot de beleidsaanbevelingen (fase 4).

1.2 Beschikbare scenario's

Hieronder wordt een oplijsting gemaakt van de beschikbare klimaatscenario's. Voor elk van deze scenario's zijn neerslag- en evapotranspiratiegegevens (verdamping) ter beschikking gesteld. De tijdreeksen bevatten geperturbeerde waarden die rekening houden met de klimaatwijzigingen (Ntegeka et al. 2014), m.a.w. de neerslag en verdamping zijn aangepast overeenkomstig met de verwachtingen van de betreffende klimaatscenario's. Enerzijds zijn er klimaatscenario's die globaal voor Vlaanderen gelden en opgesteld zijn in opdracht van de VMM (Tabari et al., 2015), anderzijds zijn er klimaatscenario's die specifiek zijn opgesteld voor de lokale Antwerpse situatie (Willems et al., 2015). De klimaatscenario's voor de lokale Antwerpse situatie zijn beschikbaar voor verschillende tijdshorizonten. Er wordt bij alle scenario's rekening gehouden met verschillende gradaties in klimaatontwikkeling; vandaar dat er klimaatscenario's zijn voor beperkt klimaateffect (Low), gemiddeld klimaateffect (Mean) en hoog klimaateffect (High). De referentiereeksen zonder klimaateffect zijn opgesteld voor een historische periode waarbij de representatieve tijdshorizon 1975 is (d.w.z. dat de historische neerslagreeks gemiddeld gezien de karakteristieken heeft van de neerslag die representatief is voor het jaar 1975).

De gebruikte klimaatscenario's in deze studie zijn (van hoog naar laag):

- HighS: klimaatscenario met hoog klimaateffect en met focus op extreme zomerbuien, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- High: klimaatscenario met hoog klimaateffect en met focus op extreme winterbuien, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- VMM-hCC (high climate change): Vlaams klimaatscenario met hoog klimaateffect en met focus op extreme winterbuien, enkel tijdshorizon 2100
- Mean: klimaatscenario met gemiddeld klimaateffect, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- VMM-mCC (mean climate change): Vlaams klimaatscenario met gemiddeld klimaateffect, enkel tijdshorizon 2100
- Low: klimaatscenario met laag klimaateffect, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- VMM-noCC (no climate change): Vlaamse referentiesituatie (1975) zonder klimaateffect
- Referentiereeksen (1975) specifiek voor Antwerpse situatie zonder klimaateffect

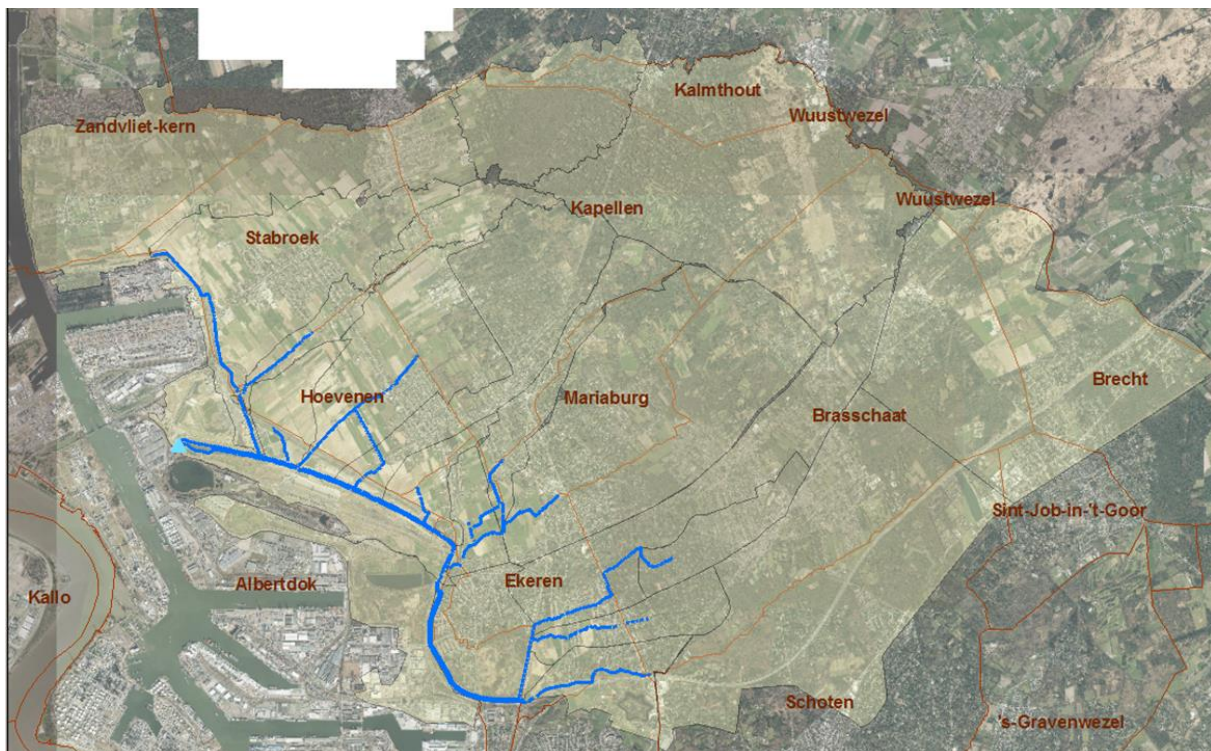
1.3 *Beschouwde gebieden*

1.3.1 Schijn

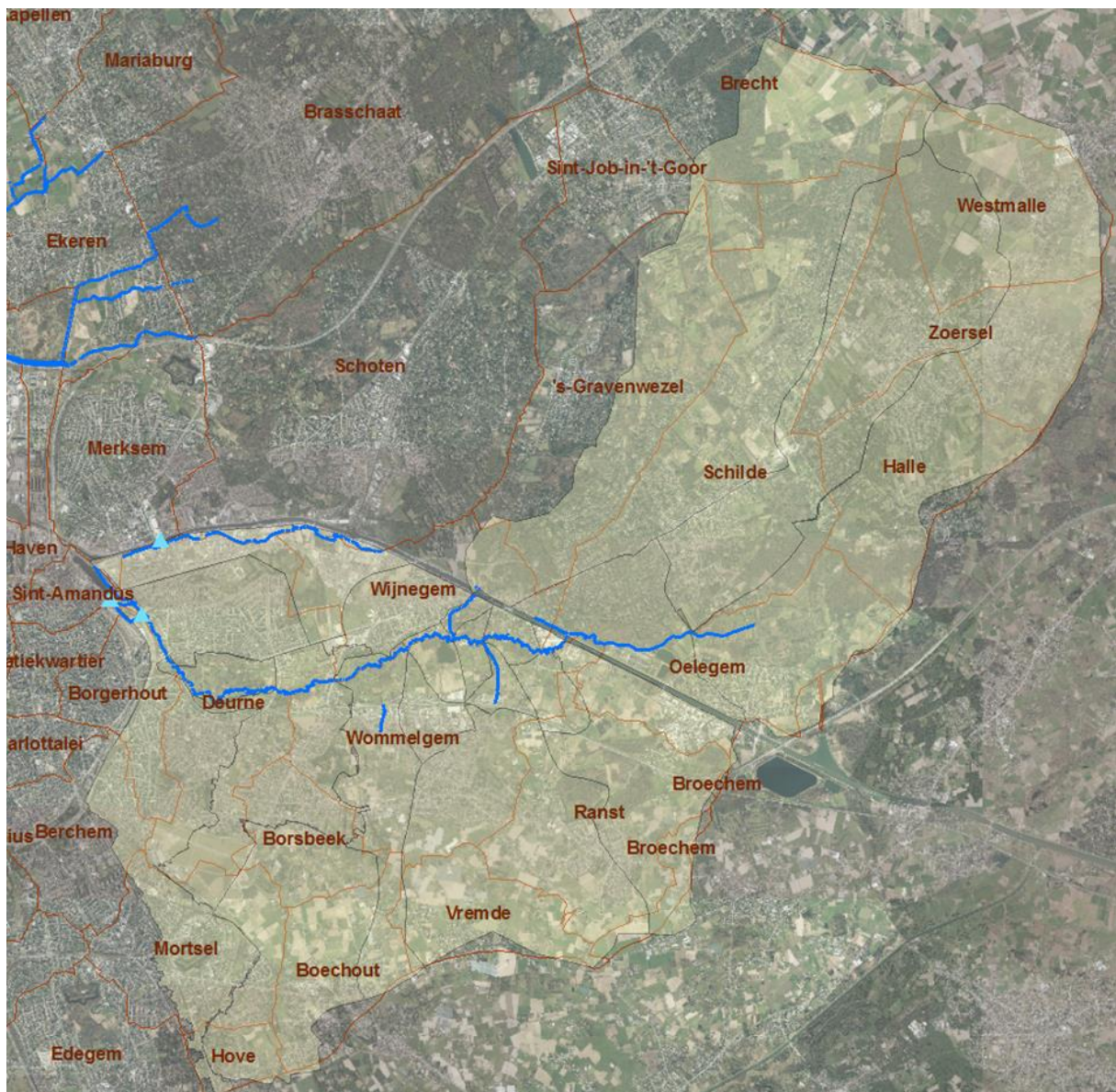
Het model van het Schijn omvat twee deelgebieden: Schijn Noord (ook Benedenschijn genoemd) en Schijn Zuid (ook Bovenschijn genoemd). Het model bevat enkel de waterloop en houdt dus geen rekening met overstromingen in de riolering of de interactie met de riolering. Dit betekent ook dat het effect van kortstondige extreme situaties ten gevolgen van plotse hevige zomeronweders met deze modellen niet kan beoordeeld worden.

Het deelgebied Schijn Noord strekt zich uit over de gemeenten Antwerpen, Stabroek, Kapellen, Brasschaat en Schoten (figuur 1) met een totale oppervlakte van 15451 ha. In Antwerpen-Haven wordt de afvoer door het pompstation Rode Weel verpompt, enerzijds naar de Schelde en anderzijds naar het Kanaaldok.

Het deelgebied Schijn Zuid strekt zich uit over de gemeenten Antwerpen, Wijnegem, Schoten, Wommelgem, Ranst en Schilde (figuur 2) met een totale oppervlakte van 14008 ha. Het omvat de waterlopen Klein Schijn en Groot Schijn. In Antwerpen-Deurne wordt de afvoer enerzijds verpompt naar het Albertkanaal en anderzijds verpompt naar het Lobroekdok.



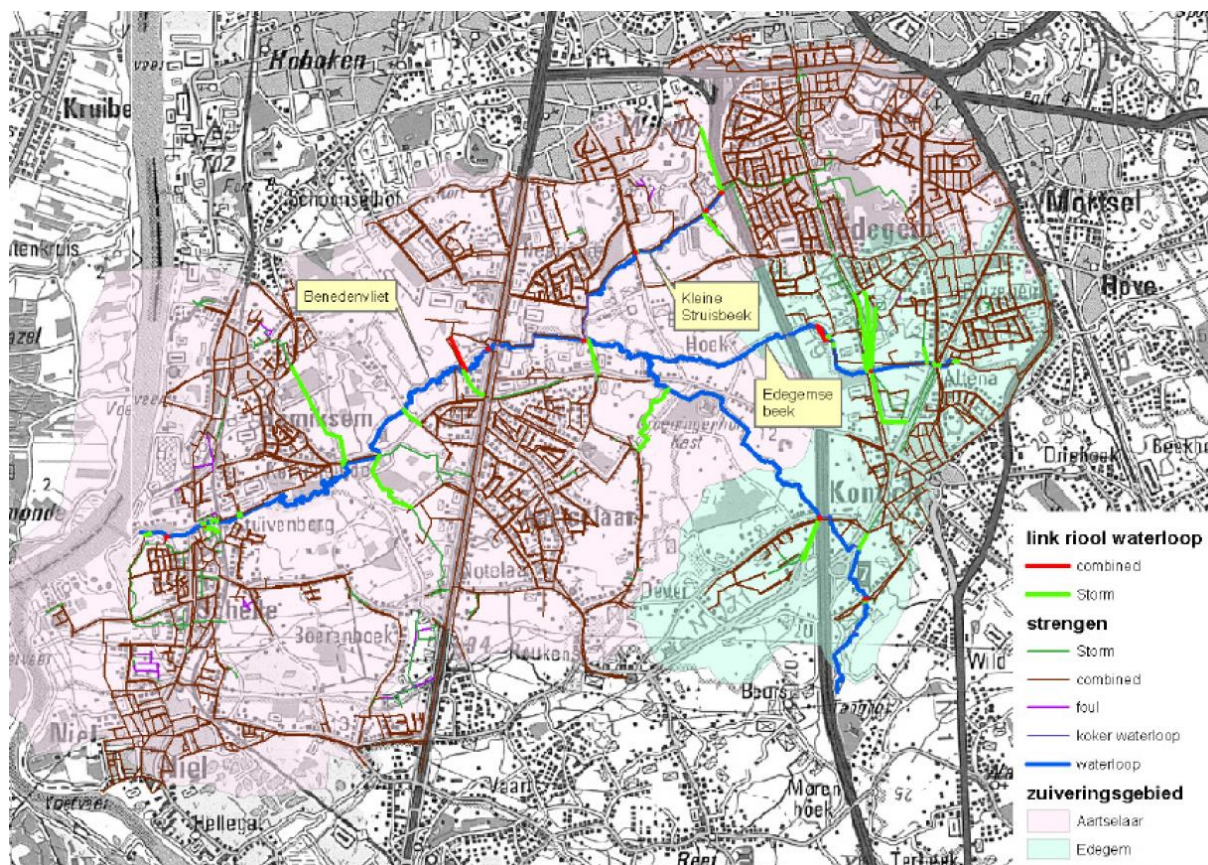
*Figuur 1: Deelgebied Schijn Noord (Benedenschijn)
met afwaarts pompgemaal (Rode Weel, blauwe driehoek).*



Figuur 2: Deelgebied Schijn Zuid (Bovenshijn) met afwaartse pompgemalen voor Groot en Klein Schijn in Deurne (blauwe driehoeken).

1.3.2 Benedenvliet

Het deelgebied van de Bedenvliet strekt zich uit over hoofdzakelijk de gemeenten Reet, Kontich, Aartselaar, Schelle, Hemiksem, Wilrijk, Morsel en Edegem en mondt uit in de Schelde in Hemiksem (figuur 3). Het model is een integraal model waarbij de stedelijke afvoer gebeurt via de hydraulische modellering van de riolering, de landelijke afvoer naar de waterloop via hydrologische modellen en de stroming doorheen de waterloop via een hydraulisch model. De effectief afstromende (verharde) oppervlakte via de riolering bedraagt 806 ha. De totale oppervlakte van de landelijk afstroming is 4335 ha. Voor de hydrologische vergelijking worden de afstromingsdebieten voor het gehele bekken van de Benedenvliet samengeteld. Omwille van de grote interactie tussen riolering en waterlopen, wordt daarnaast ook een specifieke analyse uitgevoerd op de som van de neerslagafstromingsdebieten van de verharde oppervlakte gekoppeld aan de riolering.



Figuur 3: Ligging van de Benedenvliet en interacties tussen waterloop en riolering.

2. HYDROLOGISCHE VERGELIJKING KLIMAATSCENARIO'S

2.1 *Methodiek*

Om de verschillende klimaatscenario's te kunnen vergelijken, worden de gesommeerde afstromingsdebieten per waterloop op een tijdas geplaatst. Deze vergelijking gebeurt relatief t.o.v. de lokale referentiesituatie; de referentiesituatie wordt op de tijdas geplaatst op 1975. Met deze weergave op een tijdas kunnen de trends worden geanalyseerd. De variatie wordt getoond voor uurlijkse afstromingsdebieten bij een extreme bui met een terugkeerperiode van 100 jaar, maar voor minder extreme buien of voor meer langdurige gemiddelden (bijvoorbeeld extreme dagvolumes) zijn de relatieve variaties vrij gelijkaardig.

2.2 *Schijn Noord (Benedenschijn)*

In figuur 4 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten naar Schijn Noord. De lokale referentiesituatie valt ongeveer samen met de Vlaamse referentiesituatie.

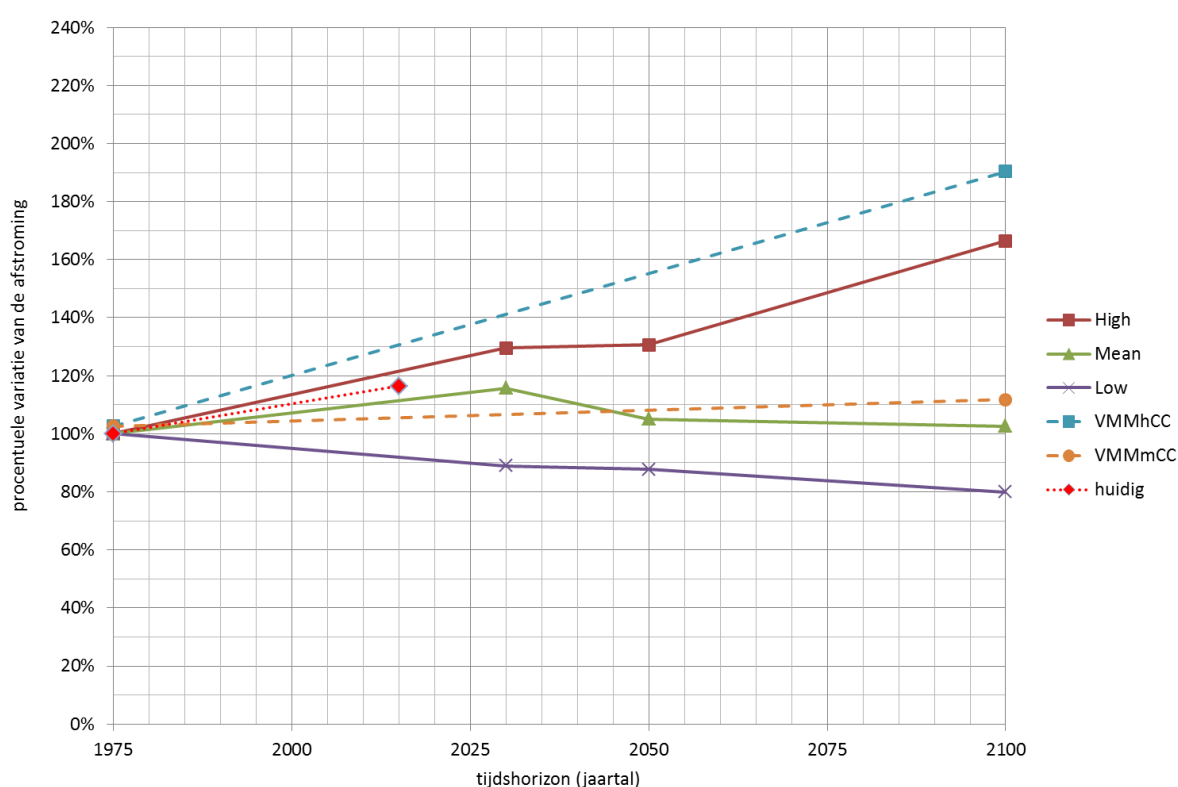
Het gemiddeld lokaal scenario (Mean) valt ongeveer samen met het Vlaamse gemiddeld scenario (VMM-mCC), maar voor het Vlaamse scenario is enkel de tijdshorizon 2100 gekend en niet de tussenliggende tijdshorizonten. Het gemiddeld lokaal scenario bereikt een piek in 2030 (+ 15%) en neemt dan terug af om bij 2100 ongeveer terug op het referentieklimaat te eindigen. De reden hiervoor is dat de neerslag toeneemt, maar op langere termijn de toename van de verdamping dit meer compenseert.

Het hoog lokaal scenario (High) geeft een iets lagere stijging van de debieten in de toekomst dan het Vlaamse hoog scenario (VMM-hCC). Het hoog scenario kan worden gezien als een bovengrens van de klimaatverandering voor de winterse omstandigheden (langdurig natte periode).

Het hoog zomer scenario (HighS) is voor het Schijn niet weergegeven, aangezien dit hoofdzakelijk een rol speelt bij de afwatering van de verstedelijkte gebieden via riolen tijdens extreme zomerse onweders. Aangezien er enkel een riviermodel beschikbaar is voor het Schijn en geen integraal model, kan de impact hiervan niet worden nagegaan. Wel kan worden gesteld dat de klimaatimpact van dergelijke extreme zomerbuien lokaal groot is, wat ook blijkt uit de analyse voor Benedenvliet.

Het laag klimaatscenario (Low) geeft een continue afname van de afstroming (dus verdroging: tot – 20% in 2100).

De referentiereeksen zonder klimaatinvloed hebben een representatieve tijdshorizon gelijk aan 1975. De huidige toestand (2015) ligt dus veel dichterbij de klimaatscenario's met tijdshorizon 2030 dan bij het referentieklimaat. 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. Voor deze studie is een ruwe inschatting 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 in de grafiek (huidig $\approx +16\%$). De inschatting is redelijk betrouwbaar, aangezien de verschillen tussen het High en Mean afstromingsscenario tot 2030 relatief beperkt zijn.



Figuur 4: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten naar het Benedenschijn voor een extreme bui met een terugkeerperiode van 100 jaar.

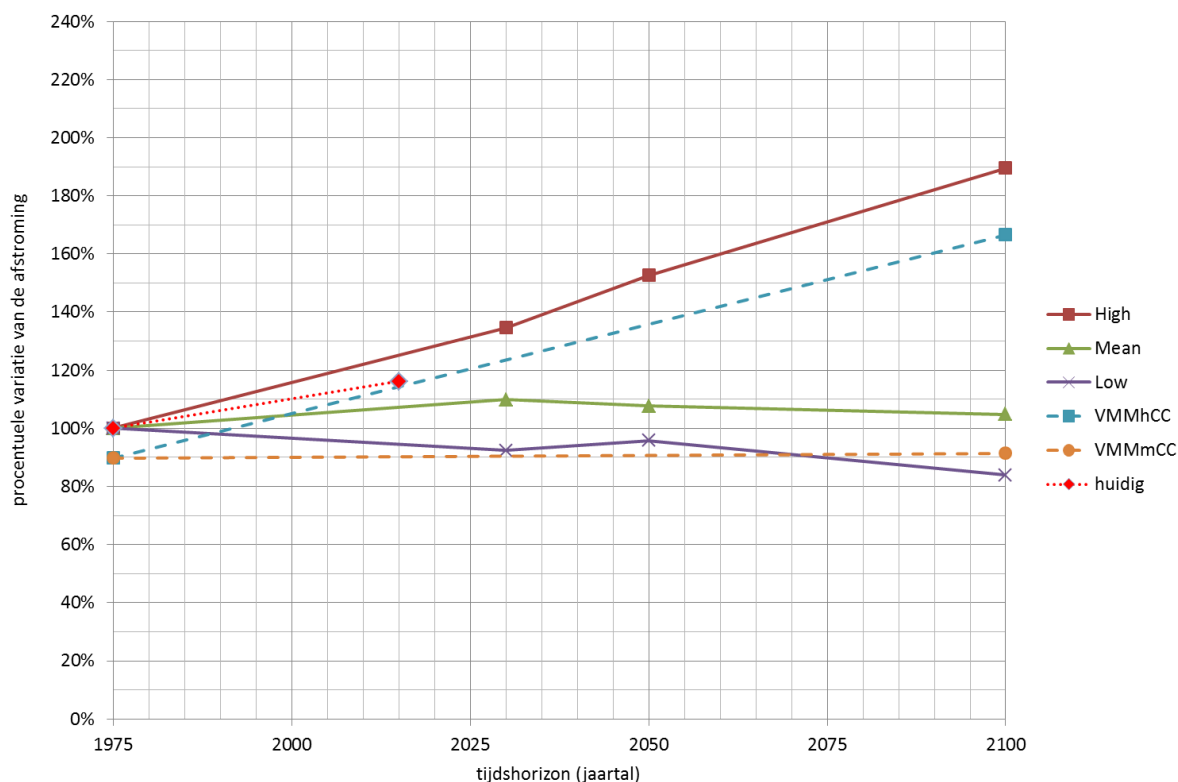
2.3 Schijn Zuid (Groot en Klein Schijn)

In figuur 5 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten naar Schijn Zuid. De lokale referentiesituatie valt iets hoger dan de Vlaamse referentiesituatie (+ 10%).

Het gemiddeld lokaal scenario (Mean) ligt hierdoor ook enigszins boven het Vlaamse gemiddeld scenario (VMM-mCC). Het gemiddeld lokaal scenario bereikt een piek in 2030 (+ 10%) en neemt dan terug af om bij 2100 ongeveer terug op het lokale referentieklimaat te eindigen.

Het hoog lokaal scenario (High) geeft voor Schijn Zuid een grotere stijging van de debieten in de toekomst dan het Vlaamse hoog scenario (VMM-hCC).

Het laag klimaatscenario (Low) geeft een lichte afname van de afstroming (dus verdroging). De huidige toestand (2015) is analoog ingeschat als voor Schijn Noord en weergegeven in de grafiek (huidig $\approx + 16\%$ t.o.v. de lokale referentie).



Figuur 5: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten naar Groot en Klein Schijn voor een extreme bui met een terugkeerperiode van 100 jaar.

2.4 Benedenvliet

2.4.1 Afstroming naar de waterloop

In figuur 6 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten naar de Benedenvliet (waterloop).

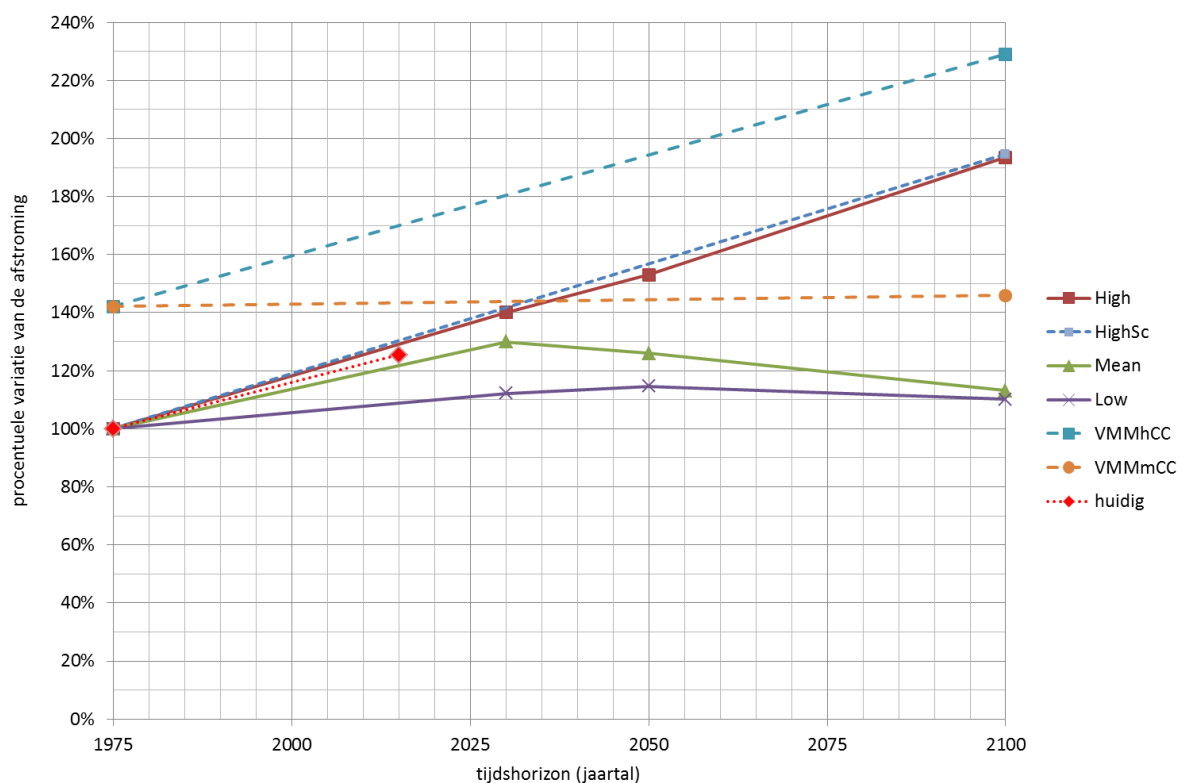
De lokale referentiesituatie significant ligt lager dan de Vlaamse referentiesituatie (- 40%), hierdoor zijn de scenario's moeilijk te vergelijken met elkaar en is het best om de lokale scenario's te hanteren.

Het gemiddeld lokaal scenario (Mean) bereikt een piek in 2030 (+ 30%) en neemt dan terug af om bij 2100 ongeveer terug op het lokale referentieklimaat te eindigen (+ 10%).

Het hoog lokaal scenario (High) geeft een stijging van de landelijke afstromingsdebieten tot bijna + 100 % in 2100. Ook het lokaal hoog zomer scenario (HighS) geeft na een ruimtelijke correctie eenzelfde stijging (HighSc). De ruimtelijke correctie is nodig omdat dergelijke zomerse neerslag meer lokaal is en zich nooit over het gehele afstromingsgebied zal voordoen (Vaes et al. 2005).

Het laag klimaatscenario (Low) geeft een lichte stijging van de afstroming (+10%).

De huidige toestand (2015) is analoog ingeschat als voor Schijn Noord en weergegeven in de grafiek (huidig $\approx + 25$ % t.o.v. lokale referentie).



Figuur 6: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten naar de Benedenvliet voor een extreme bui met een terugkeerperiode van 100 jaar.

2.4.2 Lokale afstroming in het stedelijk gebied

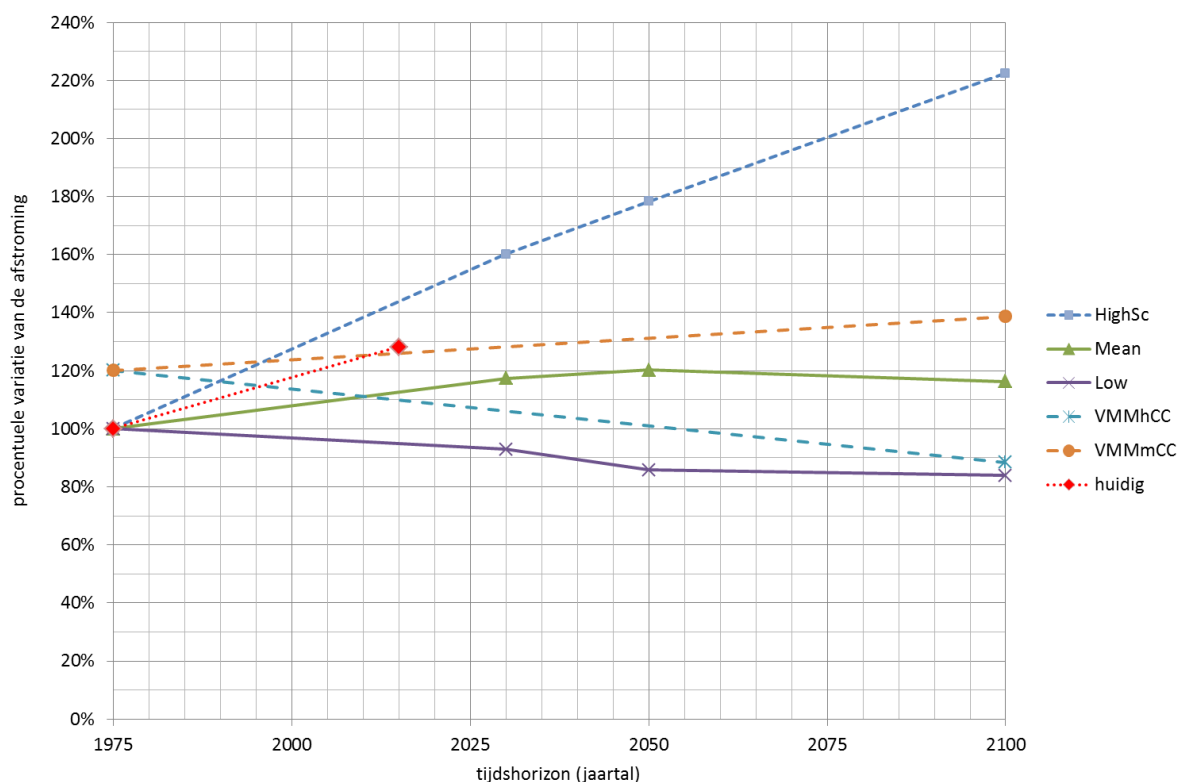
In figuur 7 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde neerslag in het gebied van de Benedenvliet, wat representatief is voor de stedelijke afstromingsdebeten.

De lokale referentiesituatie ligt significant lager dan de Vlaamse referentiesituatie (- 20%), hierdoor zijn de scenario's niet te vergelijken met elkaar en is het best om de lokale scenario's te hanteren.

Het gemiddeld lokaal scenario (Mean) bereikt een piek in 2050 (+ 20%) en neemt daarna lichtjes terug af.

Het lokaal hoog zomer scenario (ruimtelijk gecorrigeerd HighSc) geeft een grote stijging van de afstroming tot + 120% in 2100. De winterse neerslagpieken nemen af t.o.v. de referentie, omdat het eerder meer langdurig gaat regenen in de winter en minder intens. Dit geeft voor de stedelijke afwatering in de winter een analoog effect als het laag klimaatscenario (Low) met een lichte daling van de afstroming (- 16% in 2100).

De huidige toestand (2015) is ruwweg ingeschat als het gemiddelde tussen het HighSc en Mean klimaatscenario en weergegeven in de grafiek (huidig $\approx$ + 28 % t.o.v. lokale referentie).



Figuur 7: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde stedelijke afstromingsdebeten in het bekken van de Benedenvliet voor een extreme bui met een terugkeerperiode van 100 jaar.

Bij de neerslag levert het hoog winter scenario dus een daling op voor toekomstige tijdshorizonten. De afstromingsdebieten vanwege de landelijke gebieden geven in de winter de omgekeerde stijgende tendens. Dit komt doordat er minder intense, maar meer langdurige neerslag is in de winter die tot meer verzadiging van de ondergrond leidt en dus tot grotere landelijke afstromingsdebieten. In de winter zal het risico op wateroverlast vanuit waterlopen dus toenemen, maar vanuit rioleringen afnemen. Om deze reden is er ook het HighS scenario uitgewerkt om ook het andere uiterste van de klimaatonzekerheid te kunnen beoordelen, namelijk wanneer de zomerse onweders toenemen en er meer overstromingen ontstaan vanuit de riolering.

2.5 Conclusies hydrologische vergelijking

De algemene conclusie m.b.t. de klimaatvariaties is dat de lokale klimaatscenario's best worden gehanteerd. De tendensen zijn gemiddeld gezien niet zo sterk verschillend van de gemiddelde Vlaamse scenario's, maar wel significant verschillend van het ene gebied tot het andere. Bovendien is het nuttig om niet enkel de 2100 tijdshorizon mee te nemen, maar ook de tussenliggende tijdshorizonten, omdat de evolutie van de impact niet altijd lineair is in de tijd.

Volgende conclusies kunnen worden getrokken m.b.t. het gebruik van overstromingskaarten aangemaakt o.b.v. de gemiddelde Vlaamse klimaatscenario's:

- Voor de huidige toestand (2015) geven de overstromingskaarten van de VMM een onderschatting van de overstromingsrisico's voor het Schijn (Noord en Zuid), omdat de overstromingskaarten van de VMM voor de 'huidige toestand' eigenlijk die van de referentie zijn die representatief is voor 1975. Voor Schijn Zuid is deze onderschatting ongeveer 29% op de piekdebieten en voor Schijn Noord ongeveer 14%. Voor Benedenvliet liggen de lokale debieten 10 tot 40% lager dan het Vlaamse gemiddelde.
- Voor de lange termijn tijdshorizon geven de Vlaamse klimaatscenario's (mCC en hCC) een onderschatting van de risico's op overstroming voor Schijn Zuid met 14 tot 20 %. Voor Schijn Noord is er een onderschatting van 4 % voor het gemiddeld scenario, omdat de tijdshorizon 2030 meer nadelig is dan 2100. Voor Benedenvliet is er een overschatting van de overstromingsrisico's op de Vlaamse overstromingskaarten.

Wel dient er voorzichtig te worden omgesprongen met de interpretatie van de cijfers, aangezien er heel wat onzekerheden zijn. Er zit reeds een grote onzekerheid op de neerslaginschatting voor de verschillende klimaatscenario's en tijdshorizonten, mede omdat de lokale neerslagreeksen waarop de lokale klimaatscenario's zijn gebaseerd nog relatief kort zijn t.o.v. de tijdshorizon waarvoor wordt geëxtrapoleerd.

Het simuleren van deze geperturbeerde neerslag in de bestaande hydrologische modellen vergroot de onzekerheid verder. De hydrologische modellen blazen systematisch extremen op, omdat ze niet aangepast zijn aan deze extremere situaties. Een significant deel van deze afwijking is in de analyse geëlimineerd, maar de onzekerheden blijven groot.

Het is dus vooral nodig voor het deelgebied Schijn Zuid om specifiek rekening te houden met het lokale klimaat. Daarnaast is het zinvol om voor de huidige situatie (2015) en de korte termijn planningshorizon (2030) specifieke overstromingskaarten te hanteren. Tenslotte is het belangrijk om rekening te houden met de grote verschillen tussen landelijke en stedelijke afvoer.

3. HYDRAULISCHE VERGELIJKING / OVERSTROMINGSKAARTEN

3.1 *Gebruikte modellen*

3.1.1 Waterloopmodel Schijn

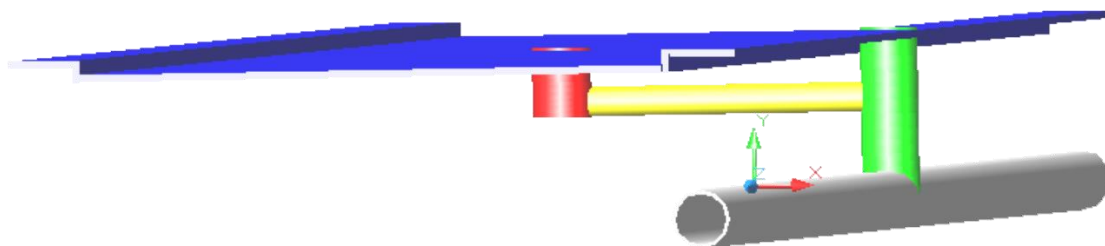
Het model van het Schijn is in hoofdzaak een waterloopmodel waarbij de afstroming hoofdzakelijk via het hydrologisch model verloopt dat dient om de landelijke vertraagde afstroming te simuleren. Een beperkt deel van de verharde oppervlakte zit vereenvoudigd in het model om de snellere rechtstreekse afstroming via riolen in rekening te brengen. 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 model vooral representatieve resultaten oplevert voor de winterse hoogwatersituaties 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, alsook in het stedelijk gebied.

3.1.2 Integraal model Benedenvliet

Een integraal model is een model waarbij zowel de riolering als de waterloop als één gekoppeld netwerk worden gesimuleerd elk met de correct gekoppelde afstromende oppervlaktes en bijbehorende afstromingskarakteristieken.

In een traditioneel rioolmodel wordt water dat uit het riool treedt, lokaal op straat geborgen en later terug in het systeem gevoerd als er capaciteit beschikbaar komt. De traditionele rioolmodellen zijn hoofdzakelijk gemaakt voor ontwerpberekeningen waarbij slechts terugkeerperioden tot 20 jaar worden beschouwd voor het huidige klimaat en waarvoor in principe geen water op straat is toegelaten. In werkelijkheid zal dit water bij extreme condities vaak afstromen over de straat. De effectieve plaats van wateroverlast komt daardoor in een standaard model niet altijd overeen met wat er wordt gesimuleerd. In een standaard model wordt vooral de oorzaak gesimuleerd (om dit op te kunnen lossen) en minder het gevolg.

In het geïntegreerd model van de Benedenvliet zijn daarom de straten op vereenvoudigde wijze ingebracht een als een bovenliggende laag waarin afstroming mogelijk is (figuur 8). 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 ondiepe, brede kanalen ingegeven en door middel van ‘kolken’ (leidingen met een beperkte diameter) verbonden met de riolering.



Figuur 8: Visualisatie van het rioolmodel met de extra statenlaag (Vaes et al., 2004).

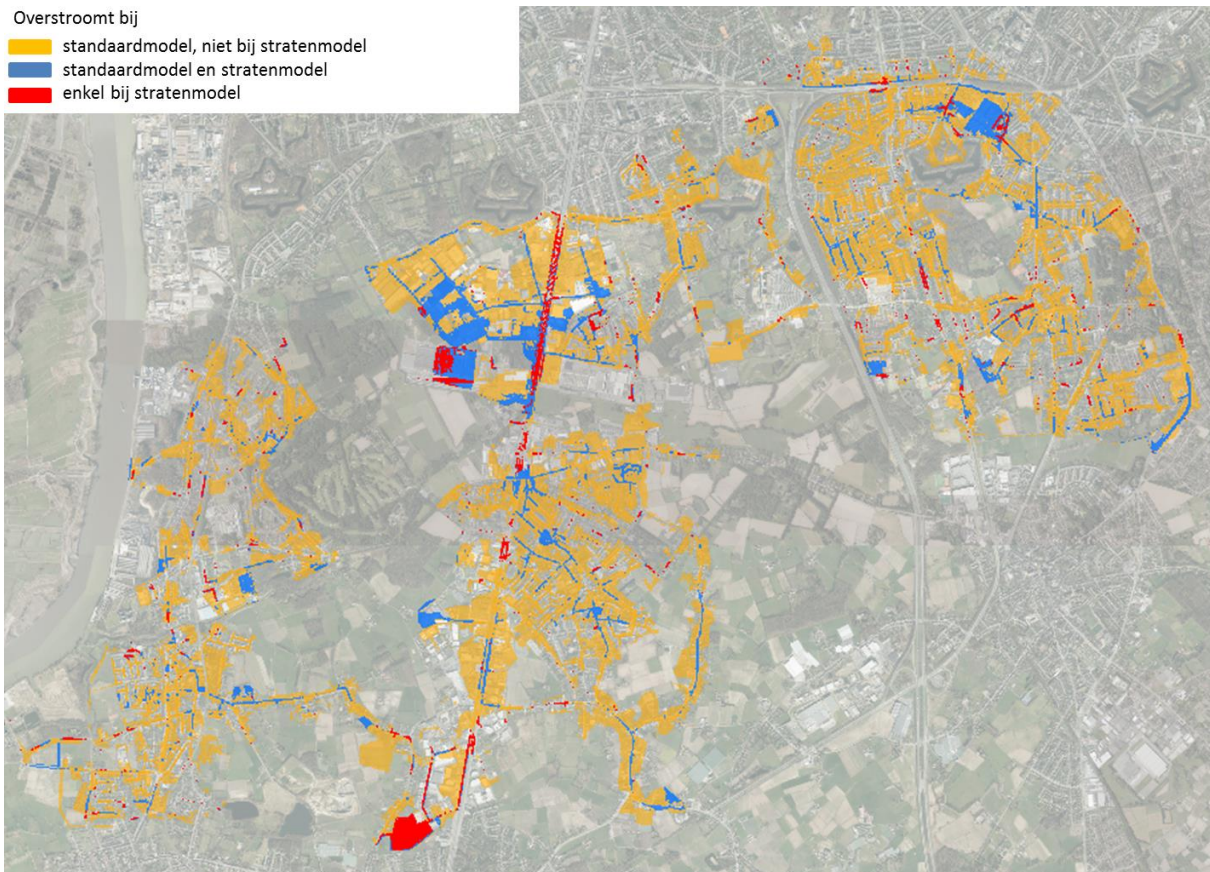
Omwillen van de interpretatie worden straatoppervlaktes slechts ingekleurd op de overstromingskaarten wanneer de waterhoogte minimum 2 cm boven het straatpeil uitstijgt. De overstroombare gebieden in het stedelijk (gerioleerd) gebied zullen gevuld worden wanneer de waterhoogte op de straat hoger is dan 8 cm en er dan verondersteld wordt dat het water over de stoep stroomt. De overstroombare gebieden langs de waterloop zullen gevuld worden wanneer de waterloop boven het oeverpeil uitkomt (zoals ook bij het waterloopmodel van het Schijn).

De overstromingen 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 met verlaagde 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 het eerste orde effect van stedelijke overstroming mee te nemen die in een standaard rioleringsmodellering niet accuraat wordt gesimuleerd bij overstromingssituaties.

In figuur 9 wordt een vergelijkend voorbeeld weergegeven van de overstromingen in het gerioleerd gebied enerzijds volgens de standaard aanpak en anderzijds met de water op straat modellering inbegrepen. Uit deze vergelijking blijkt een vrij grote overschatting van de wateroverlast bij de standaard 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 terugkeerperioden of klimaatscenario's, ook al houdt het niet altijd rekening met de lokale details m.b.t. de oppervlakteafstroming.



Figuur 9: Vergelijking van water op straat in het gerioleerd gebied van Benedenvliet met enerzijds standaard rioolmodel en anderzijds uitgebreid rioolmodel met stratenlaag (HighS scenario 2030, terugkeerperiode 100 jaar).

3.2 Overstromingskaarten

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

- Huidige situatie (2015, inschatting): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes van 5, 20 en 100 jaar
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high 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)

Deze kaarten bevatten enkel overstromingen vanuit de waterloop.

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

- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes van 5, 20 en 100 jaar
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes van 5, 20 en 100 jaar
- 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.

De overstromingskaarten zijn weergegeven in bijlag A.

3.3 Conclusies overstromingskaarten

Voor het inschatten van de overstromingsrisico's vandaag de dag wordt best niet het referentieklimaat gebruikt die representatief is voor 1975, maar de geïnterpoleerde waarde voor 2015 (voor het Schijn). Voor Benedenvliet kunnen de overstromingsrisico's vandaag de dag best worden ingeschat o.b.v. het klimaatscenario Mean 2030.

De grootste toename van overstromingsrisico's situeert zich vooral in de periode tussen 2050 en 2100. De overstromingsrisico's tot 2050 komen in grote mate reeds overeen met de huidige (2015) overstromingsrisico's.

De afwijkingen van de overstromingen t.o.v. de door de VMM opgemaakte overstromingskaarten o.b.v. het gemiddelde Vlaamse klimaat zijn relatief beperkt, maar dit verschilt wat van gebied tot gebied. De reden hiervoor is hoofdzakelijk dat de toename van de neerslagafstroming in de periode 2050 – 2100 heel wat groter is dan de klimaatverschillen tussen de Antwerpse regio en het Vlaamse gemiddelde.

De overstromingskaarten van het Schijn geven enkel de overstromingsrisico's vanuit de waterloop weer in winterse omstandigheden. Bij zomerse onweersbuien kan de interactie met de stedelijke afwatering voor hogere piekafvoeren zorgen die niet met het waterloopmodel zijn ingeschat (Vaes et al., 2009).

De overstromingskaarten voor Benedenvliet geven wel de overstromingsrisico's weer in het gerioleerde gebied, omdat hiervoor een integraal model beschikbaar is. Dit integraal model is in deze studie uitgebreid met afstroming over de straten, omdat anders de overstromingen in het gerioleerd gebied bij dergelijke extreme gebeurtenissen verkeerd worden ingeschat, zowel naar grootte toe als wat locatie betreft.

4. FALING KRITISCHE INFRASTRUCTUUR

4.1 *Methodiek*

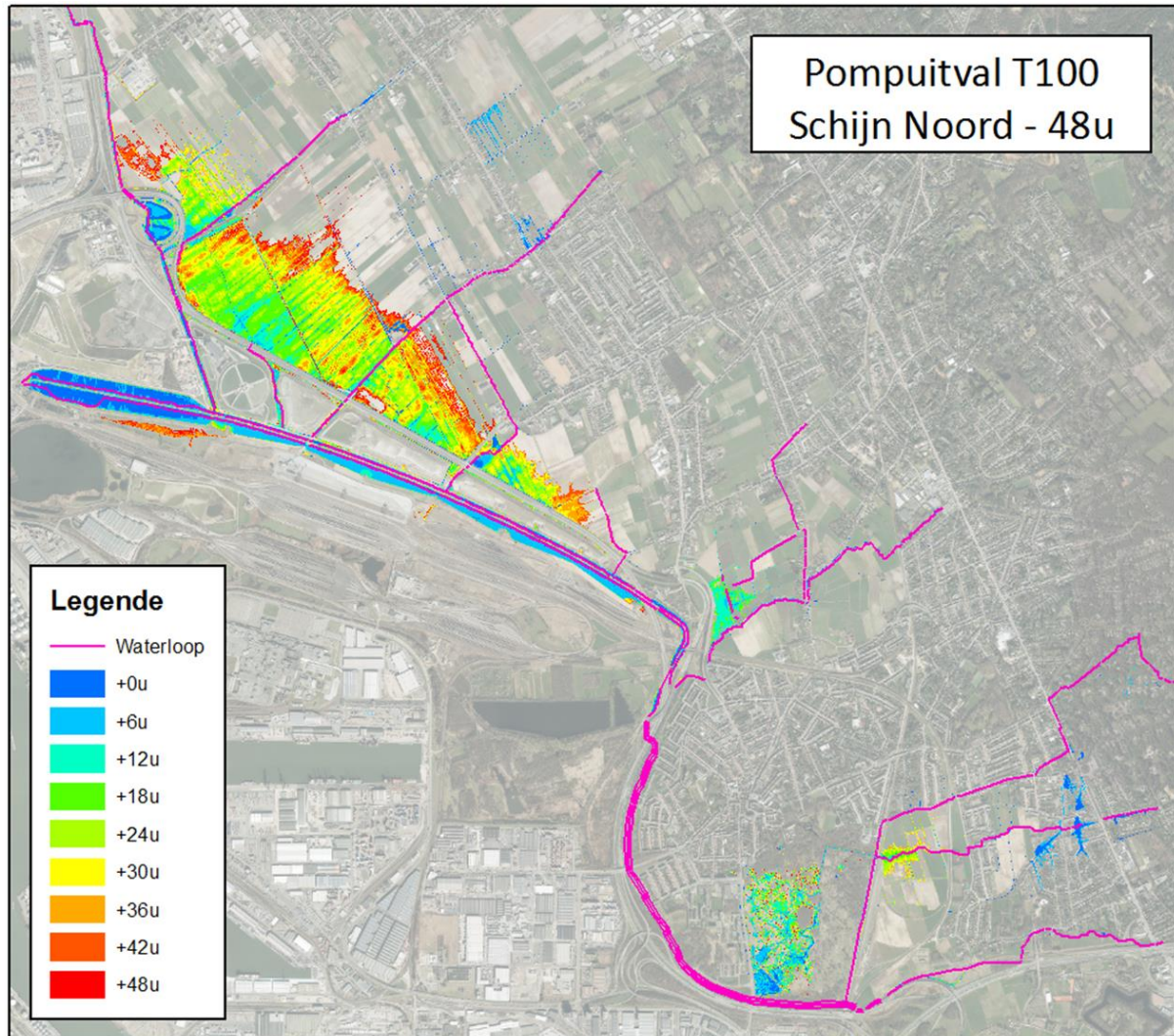
Er wordt nagegaan wat het effect is van een volledige uitval van de pompinstallaties in combinatie met een zeer extreme bui (terugkeerperiode van 100 jaar) representatief voor het huidige klimaat (2015 voor het Schijn, Mean 2030 voor Benedenvliet). Op deze manier wordt de ergst mogelijke overstroming ingeschat. De pompen worden uitgezet vóór de piek, zodanig dat over een periode van 48 uur het grootste afstromingsvolume zich aandient. Op deze manier wordt de maximale overstromingscontour gevisualiseerd. De overstromingscontouren worden weergegeven met een tussentijd van 6 uur om de uitspreiding van de overstroming in de tijd te kunnen opvolgen.

De simulaties met pompuitval zijn voor het Benedenschijn, het Groot Schijn en het Klein Schijn apart uitgevoerd. Hierbij zijn telkens alle pompen aanwezig in het gebied uitgezet. Bij deze waterlopen is er geen gravitaire uitstroom meer aanwezig. Bij deze overstromingskaarten moet opgemerkt worden dat de overstromingen in het gerioleerd gebied niet noodzakelijk goed overeenkomen met de realiteit, omdat er enkel een waterloopmodel beschikbaar is. Wellicht zijn deze overstromingen in het gerioleerd gebied onderschat op de overstromingskaarten.

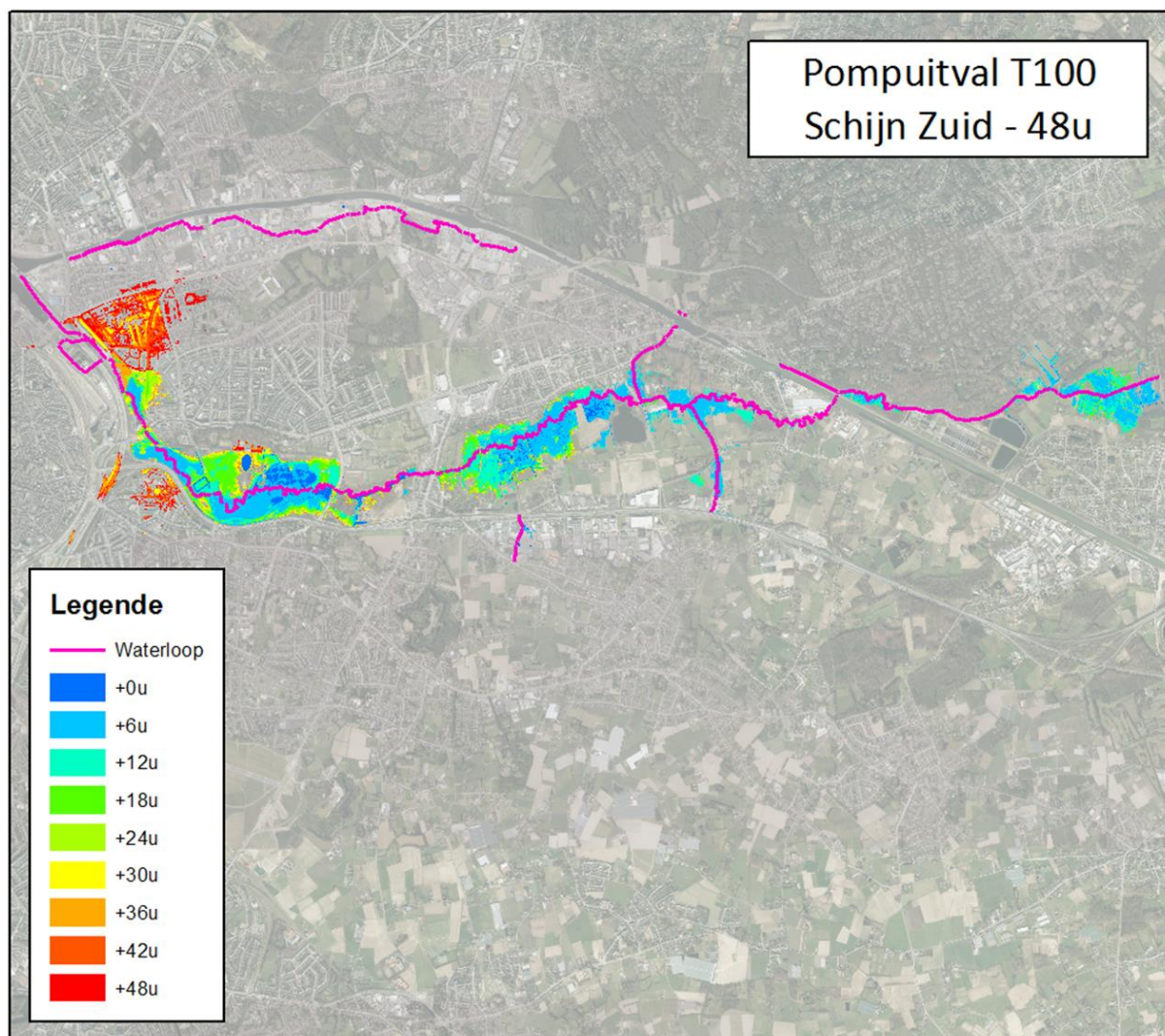
Voor Benedenvliet is er een gravitaire koker en een pompgemaal bij de uitstroom naar de Schelde. De rooster op de gravitaire uitlaat is echter al enkele keren geblokkeerd geraakt. De simulaties zijn daarom uitgevoerd met pompuitval en een volledig verstopte koker om zo de uiterste overstromingscontouren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

4.2 Overstromingskaarten

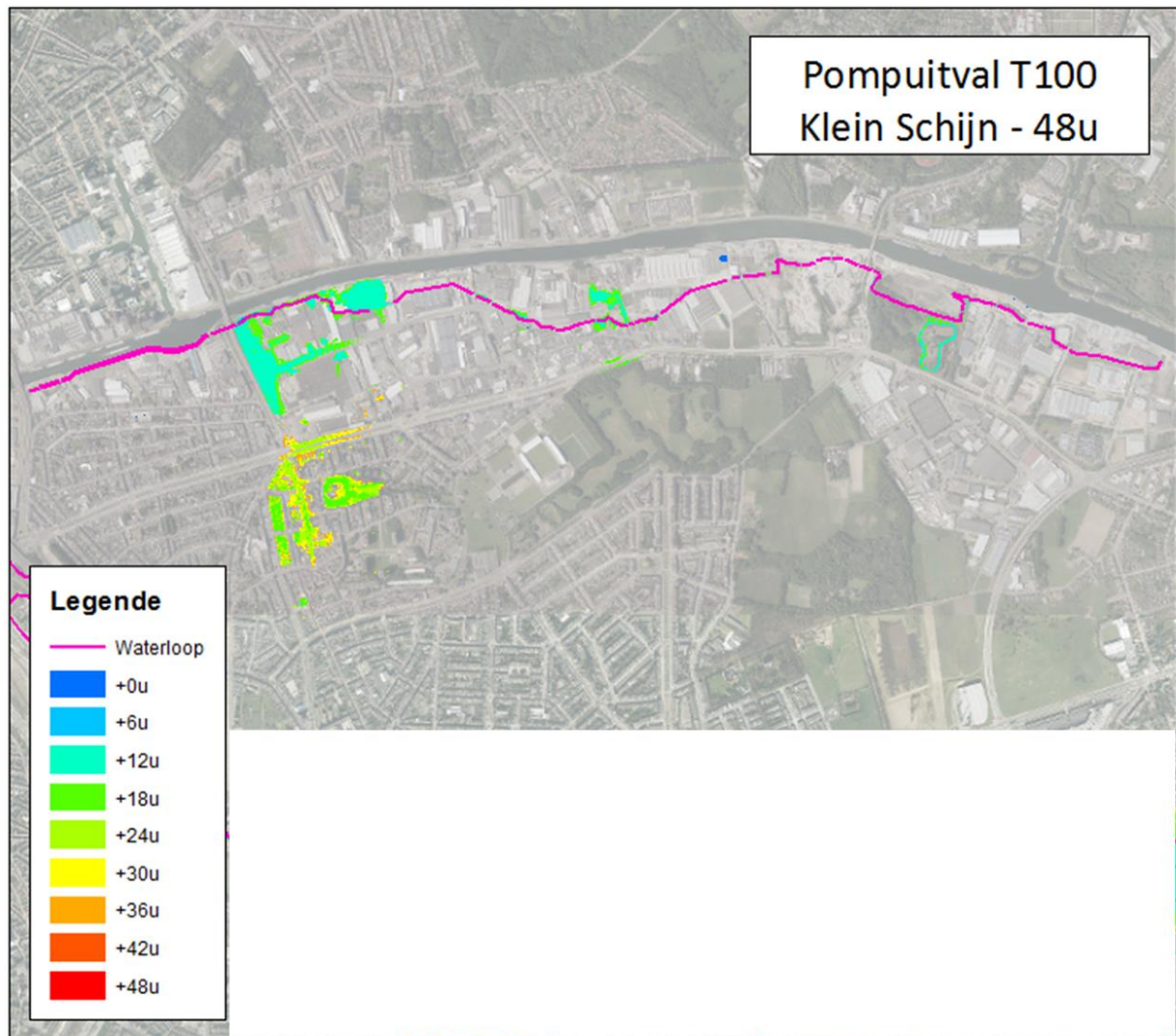
4.2.1 Benedenschijn (Schijn Noord)



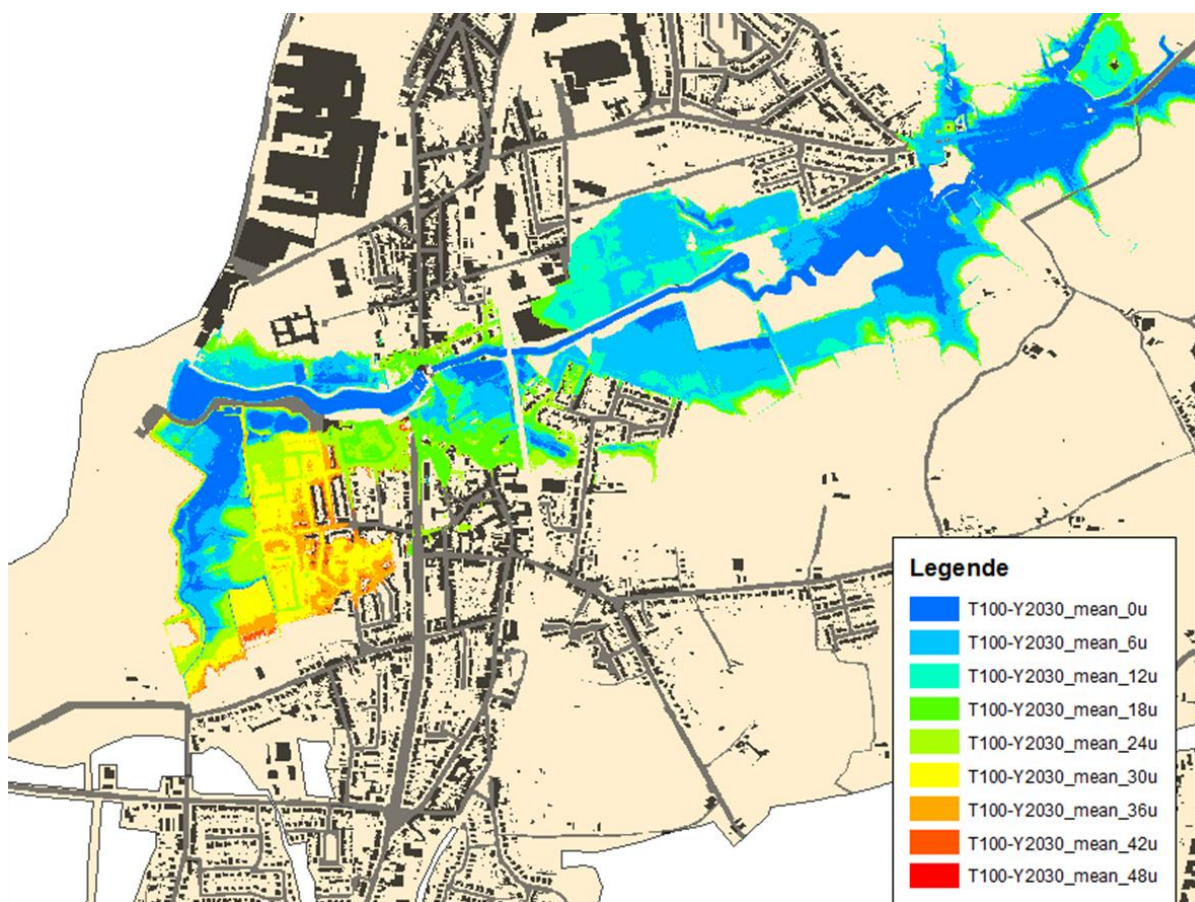
4.2.2 Groot Schijn (Schijn Zuid)



4.2.3 Klein Schijn (Schijn Zuid)



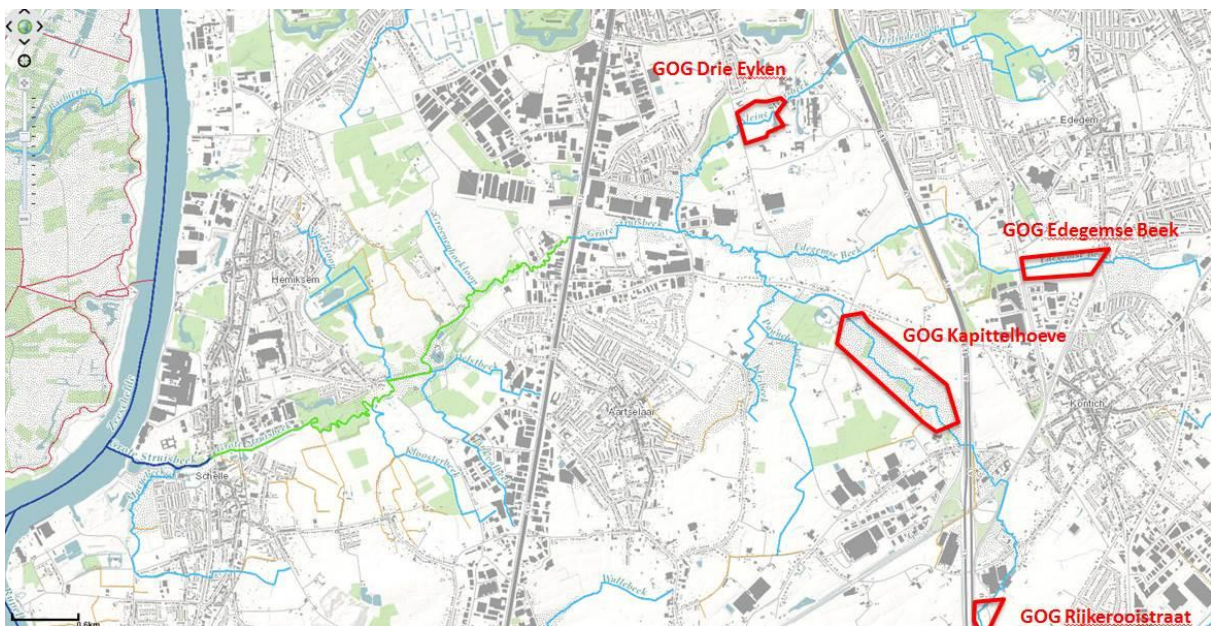
4.2.4 Benedenvliet



5. BUFFERMAATREGELEN BENEDENVLIET

5.1 Beschouwde bufferscenario's

In deze studie zijn de effecten van klimaatverandering op vier gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG) gesimuleerd. In figuur 10 is de situering weergegeven van de GOG's die bestudeerd zijn. Ten opzichte van de ORBP-analyse (VMM, 2014) is er één nieuw gebied gedefinieerd (GOG Drie Eyken). Tevens zijn drie GOG's uit de ORBP-analyse (Doornstraat, Dijkstraat, Atlas Copco) niet verder onderzocht, omdat dit kleine gebieden zijn die reeds regelmatig overstromen en waar weinig bijkomende buffering is uit te halen door optimalisatie. Enerzijds zijn deze 4 GOG's en hun impact apart bekeken en anderzijds ook de combinatie van de 4 samen en dit voor extreme gebeurtenissen variërend van de huidige klimaatomstandigheden tot het High klimaatscenario voor 2100 met een terugkeerperiode van 100 jaar.



Figuur 10: Overzichtskartaal van de GOG locaties in het modelgebied van de Benedenvliet.

5.2 Conclusies bufferscenario's

Naar effect toe hebben de kleinere GOG's (Edegemsebeek, Rijeroostraat en Drie Eyken) hoofdzakelijk een lokaal effect; verder naar afwaarts is hun effect bijna niet meer waar te nemen, zeker bij de meer extreme klimaatscenario's. Het grootste en ook meest centraal gelegen GOG, Kapittelhoeve, heeft een meer globaal effect. Dit is logisch aangezien naarmate dat de buffering groter is, het effect groter is, maar ook naarmate het meer afwaarts gelegen is, het effect zich op een groter aandeel van de afstroming voordoet.

Wanneer de simulatie van het meest extreme klimaatscenario High (winter) 2100 T100 wordt geëvalueerd, kan worden vastgesteld dat vooral de combinatie van de 4 GOG's een significant effect heeft. Een belangrijk knelpunt blijft echter de doorvoer onder de A12: hier wordt een grote opstuwung veroorzaakt, die groter is dan het omgekeerde effect van de opwaartse GOG's. Dit komt niet enkel door de beperkte capaciteit van de doorsteek onder de A12, maar ook door de (te hoge) hoogteligging van deze doorsteek. Een evenwichtige overstromingsbeheersing kan enkel gebeuren wanneer de lokale bottlenecks (zoals de doorsteek onder de A12, maar ook de inbuizing net afwaarts van de samenvloeiing Kleine Struisbeek – Benedenvliet) worden weggewerkt. Dit zijn locaties die als knijp functioneren zoals de GOG's, maar dan ongecontroleerd, niet geoptimaliseerd en zonder noodoverloop. Indien de doorvoercapaciteit ter hoogte van de A12 wordt vergroot, dient wel nagegaan te worden wat het effect ervan is op de afwaartse overstromingsrisico's. Eventueel dient er een bijkomend overstromingsgebied te worden ontwikkeld afwaarts van de A12.

Bij het optimaliseren van de GOG's moet een adaptieve debietcontrole worden toegepast in functie van de klimaatontwikkeling. Het afgeknepen doorvoerdebiet wordt zodanig bepaald dat de overloop maar in zeer extreme situaties in werking treedt (hier een terugkeerperiode van 100 jaar) om op die manier de buffering maximaal te benutten wanneer deze het meest nodig is. Aangezien de afstromingsdebieten toenemen met de klimaatverandering, betekent dit dat de optimale doorvoer ook groter is op lange termijn (tenzij het beschikbare buffervolume ook vergroot wordt). Gezien de onzekerheden op de lange termijn klimaatveranderingen, is het wel raadzaam om tussentijdse evaluaties uit te voeren en de optimalisatie op basis hiervan opnieuw te evalueren. Bij de aanleg wordt er daarom best geopteerd om de doorvoeropeningen te ontdubbelen op basis van het korte termijn optimum waarbij initieel één van de twee openingen open staat en de andere is afgesloten. De tweede opening kan gebruikt worden om in specifieke gevallen gecontroleerd sneller te lozen en om op lange termijn de doorvoer te vergroten.

Het inrichten van de GOG's vermindert de overstromingsrisico's afwaarts, maar kan lokaal opwaarts nieuwe overstromingsrisico's doen ontstaan door de opstuwung. Het kan daarom nodig zijn om lokaal flankerende beschermingsmaatregelen te nemen opwaarts van de nieuw structuren om lokaal gebouwen te beschermen die gelegen zijn binnen de contour van het hoogst verwachte waterpeil in de GOG vermeerderd met een veiligheidsmarge.

Op basis van de simulaties blijkt dat de invloed van de GOG's op de wateroverlast in het gerioleerd gebied beperkt is. Wateroverlast in het gerioleerd gebied is bij dergelijke extreme neerslag- en klimaatcondities hoofdzakelijk afhankelijk van de lokale afstromingssituatie. Op plaatsen waar er zich door hoge waterstand in de waterloop significante terugstroming in het rioolstelsel voordoet, worden best terugslagkleppen geplaatst.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Overzicht

In deze studie is een analyse gemaakt van de impact van de wijzigende klimaatpatronen op de overstromingsrisico's in de Antwerpse regio, meer bepaald in het gebied van het Schijn en de Benedenvliet.

De aanbevelingen m.b.t. het omgaan met de (stijgende) overstromingsrisico's kunnen gecategoriseerd worden onder 3 thema's:

- **Protectie (Resistance):** weerstand opbouwen tegen overstromingen door structurele maatregelen te nemen die overstromingen tot een bepaald niveau voorkomen
- **Preventie (Resilience):** minimaliseren van de impact (door structurele maatregelen) van overstromingen wanneer ze zich voordoen
- **Paraatheid (Readiness):** wanneer een extreme gebeurtenis zich voordoet, zorgen dat men dit ziet aankomen, er klaar voor staat en weet wat te doen (tijdelijke maatregelen, noodmaatregelen)

Dit omvat meer specifieke aanbevelingen m.b.t.:

- Overstromingsbeheersing langsheen waterlopen
- Overstromingsbeheersing in gerioleerd gebied
- Bronmaatregelen in verstedelijkt gebied
- Optimalisatie sponswerking landelijke afstroming
- Studiewerk omtrent klimaatanalyse en (integrale) modellering
- Uitbouwen meetnet en Decision Support System
- Specifieke aanbevelingen in het gebied van het Schijn
- Specifieke aanbevelingen in het gebied van de Benedenvliet

De aanbevelingen zijn geen menukaart waar een beperkte keuze uit kan worden gemaakt. Om de klimaateffecten en overstromingsproblematiek effectief aan te pakken en op te volgen is een ruime combinatie van deze maatregelen nodig.

6.2 *Overstromingsbeheersing natuurlijk watersysteem*

6.2.1 Maatregelen langsheen de waterloop

- Maximaal open ruimte langsheen waterlopen vrij houden voor stelselmatige uitbreiding van gecontroleerde buffering en dit i.f.v. eventuele bijsturing i.k.v. toekomstige noden en betere inschattingen. Hoe meer afwaarts een buffering kan worden ingepland, hoe groter het bufferend effect kan zijn.
- Optimalisatie van afknijpdebieten bij buffervoorzieningen i.f.v. klimaatwijziging: probeer het overlopen van buffervoorzieningen te beperken tot extreme terugkeerperioden (bijvoorbeeld eens in 100 jaar), zodat de buffering optimaal benut blijft wanneer ze echt nodig is. Laat meer door om de buffering optimaal te houden, wanneer door de klimaatimpact er zich hogere opwaartse afstroming voordoet.
- Combineer het uitbouwen van buffering langsheen de waterloop met het verbeteren van de doorvoercapaciteit om de buffering optimaal te kunnen blijven benutten. Zorg voor een evenwicht tussen buffering en afvoer en let hierbij op de lokale knelpunten met een grote opstuwning over een korte afstand.
- Dergelijke lokale knelpunten m.b.t. doorvoer en overstromingsrisico's kunnen worden weggewerkt door lokale ingrepen: ofwel doorvoer verbeteren ofwel lokaal beschermen tegen te hoge waterpeilen. De winst die gehaald wordt uit het weghalen van een lokaal knelpunt is een winst voor een groot deel van de opwaartse waterloop. Voorzie wel een evaluatie van de impact op het afwaartse systeem.
- Voorzie voldoen maatregelen om overstromingsrisico's door operationele problemen (onder andere pomputval en blokkage) te beperken, zoals bijvoorbeeld een gravitaire bypass, regelmatig onderhoud en controle van kritische infrastructuur, een noodaggregaat bij pompstations, een mobiele pomp in standby, alarmeringen, ...

6.2.2 Optimalisatie sponswerking landelijke afstroming

Optimaliseer de sponswerking van de natuurlijke omgeving. Eens het water in de waterloop is en daar een piekdebiet genereert, is er minder controleerbaarheid. De onverzadigde zone (bovenste bodemlaag boven het grondwater) van de natuurlijke omgeving moet maximaal ingezet worden als buffering, zowel in landelijke als in meer stedelijke omgeving. Dit betekent ook dat er moet worden opgelet dat de buffering in de onverzadigde zone ook maximaal beschikbaar is wanneer deze echt nodig is en de onverzadigde zone dus ook voldoende kan afwateren wanneer er geen hoog water in de afwaartse waterlopen is. Zeker in een verstedelijkte omgeving waar het natuurlijke grachtensysteem vaak verdwenen is, kan de optimale beschikbaarheid van de onverzadigde zone een probleem zijn. Maar ook in landelijke gebieden die een beperkte basisafwatering hebben, kan dit relevant zijn. Het is niet altijd eenvoudig om een evenwicht te vinden tussen verdroging en overstromingsrisico's.

6.3 Overstromingsbeheersing gerioleerd gebied

6.3.1 Verbetering stedelijke afwatering

- Voer ‘wat als’ simulaties uit met rioolmodellen voor extreme condities (groter dan huidige ontwerpbuien met terugkeerperiode van 20 jaar) en klimaatwijzigingen, niet om alles groter te dimensioneren, maar om te weten waar er problemen ontstaan en hoe omvangrijk ze zijn.
- In rioolmodellen dient de afstroming over de straat (vereenvoudigd) te worden ingewerkt om de overstromingsrisico's bij dergelijke extreme gebeurtenissen min of meer correct in te kunnen schatten. De huidige standaard rioolmodellen zijn niet betrouwbaar wanneer er teveel water op straat komt.
- Verbeter op het terrein de lokale afwatering in laaggelegen en kritieke punten en let op de afwateringsdetails bij nieuwe wegenisontwerpen of inrichting van openbare ruimtes: kanaliseer het water op straat, zodat water op straat geen of minimale schade geeft; let op detaillering t.h.v. lager gelegen percelen; verbeter de rioolafvoer in de lager gelegen punten, zodat hier geen overtollig water accumuleert; ...
- Beperk de interacties tussen waterloop en riolering (vermijd terugstroming van waterlopen in riolen) door het optimaliseren van overstortdrempels, voorzien van terugslagkleppen, plaatsen van pompen, ...
- Los lokale problemen op van ondergedimensioneerde riolen die zich nu al voordoen, soms bij reeds frequente buien, door het weghalen van lokale knelpunten (grote opstuwings op korte afstand), het lokaal verbeteren van de doorvoer en/of het introduceren van opwaartse buffering met vertraagde afvoer.

6.3.2 Bronmaatregelen in verstedelijkt gebied

Bronmaatregelen zijn lokale maatregelen van buffering van piekafwatering van verharde oppervlakte. Het louter scheiden van regenwater en afvalwater met een even snelle afvoer van het regenwater naar een afwaartse waterloop zonder buffering is geen meer duurzaam systeem dan een gemengde riolering.

- Implementeer zoveel mogelijk bronmaatregelen met als doel om de lokale natuurlijke afwatering zo goed mogelijk te benaderen.
- Gebruik maximaal de sponswerking van de natuurlijke omgeving (doorlatende verharding, wadi's, grachten, ...). Voorzie plaats voor bovengrondse afvoer en bovengrondse buffering van afstromend regenwater: dit is meer controleerbaar en onderhoudbaar en geeft maximaal tegengewicht aan lokale verdroging.
- Evalueer ook wat er aan piekafvoer gegenereerd wordt bij bronmaatregelen wanneer ze vol zijn en overlopen (d.w.z. evaluatie voor buien extremer dan de huidige ontwerpcriteria en voor klimaatwijzigingen).
- Kanaliseer en plan de afvoer wanneer bronmaatregelen overlopen. Voorzie een globaal regenwaterafvoerplan waarbij er geen hiaten in de afstromingstracés zitten en maak een gebiedsdekkende risico-inschatting voor extreme afvoer en klimaatwijziging.

- Ontwerp bronmaatregelen zodat ze ook op lange termijn blijven functioneren en onderhoudbaar zijn; preferentieel via lokale bovengrondse regenwaterafvoer, want rechtstreekse voeding van ondergrondse buffering met vervuild regenwater levert op termijn buffervoorzieningen op die niet meer (efficiënt) werken.

Concrete voorbeelden van detaillering afwatering en bronmaatregelen zijn reeds voorgesteld in het rapport van de KU Leuven (Willems et al., 2015).

6.4 *Studiewerk m.b.t. klimaatanalyse en modellering*

6.4.1 Bijsturing omwille van onzekerheden

- Volg de evolutie van het klimaat op en zorg voor een regelmatige update van de klimaatvoorspellingen om zo de onzekerheden naar de toekomst toe te verminderen en meer efficiënte maatregelen te kunnen nemen. Voorzie op regelmatige termijn (bijvoorbeeld om de 10 jaar) een update van de voorspelde afvoerhydrogrammen om op basis daarvan de planning en maatregelen bij te kunnen sturen.
- Voorzie een meer realistische inschatting van afvoerhydrogrammen met minder onzekerheid via een betere hydrologische modellering. Enerzijds door de snelle stedelijke afwatering en de tragere landelijke afstroming niet als één gemiddelde te berekenen en anderzijds door hydrologische modellen te gebruiken die ook correct om kunnen gaan met de grote (toekomstige) extremen waarvoor de huidige modellen niet zijn gekalibreerd.
- Wees voorzichtig met interpretaties van overstromingen: de overstromingskaarten zijn maar zo nauwkeurig als de achterliggende informatie. Hou dus rekening met de onzekerheden bij het beschouwen van lokale overstromingsrisico's.
- Houd voor toekomstige scenario's rekening met stedelijke evoluties (dit is niet in rekening gebracht in de huidige studie). Enerzijds zal er meer verstedelijking zijn, maar anderzijds zullen bij nieuwe ontwikkelingen ook steeds meer bronmaatregelen worden uitgewerkt die dit compenseren.
- Houd rekening met de ruimtelijke spreiding van de neerslag, zeker bij extreme zomerbuien.

6.4.2 Integrale modellering

- Koppel riool- en waterloopmodellen en simuleer ze integraal, want zeker in een stedelijke omgeving kunnen de interacties groot zijn; de koppeling moet niet enkel hydraulisch zijn, maar ook hydrologisch; d.w.z. afstroming van verharde oppervlakte mag niet via hydrologische modellen voor landelijke afvoer worden gesimuleerd. In bepaalde deelgebieden van het Schijn loopt de verhardingsgraad op tot 40%, wat tot veel hogere (kortstondige) piekafvoeren leidt dan met het huidige model kan worden gesimuleerd.

- Maak een onderscheid tussen overstromingsrisico's en -problemen veroorzaakt enerzijds door extreme zomerse onweersbuien die een korte hevige impact hebben en dit vooral in het meer verstedelijkt gebied en anderzijds de meer langdurige extreme winterse afstromingscondities die een meer langdurige impact hebben en dit vooral langsheen (grotere) waterlopen. Dit onderscheid moet ertoe leiden dat de juiste verwachtingen worden gecreëerd bij de toekomstige maatregelen.
- Uitval van pompen op de waterlopen kunnen een meer negatief effect hebben op de overstromingen in gerioleerd gebied dan met een waterloopmodel alleen wordt gesimuleerd; de evaluatie met een integraal model (zoals voor Benedenvliet) kan hier een oplossing voor bieden.

6.5 *Wees voorbereid*

6.5.1 Uitbouwen meetnet

Waarom meten en wat doen met deze metingen? Metingen zijn belangrijk om te weten wat de situatie juist is, maar ook om te kunnen anticiperen op kritieke situaties.

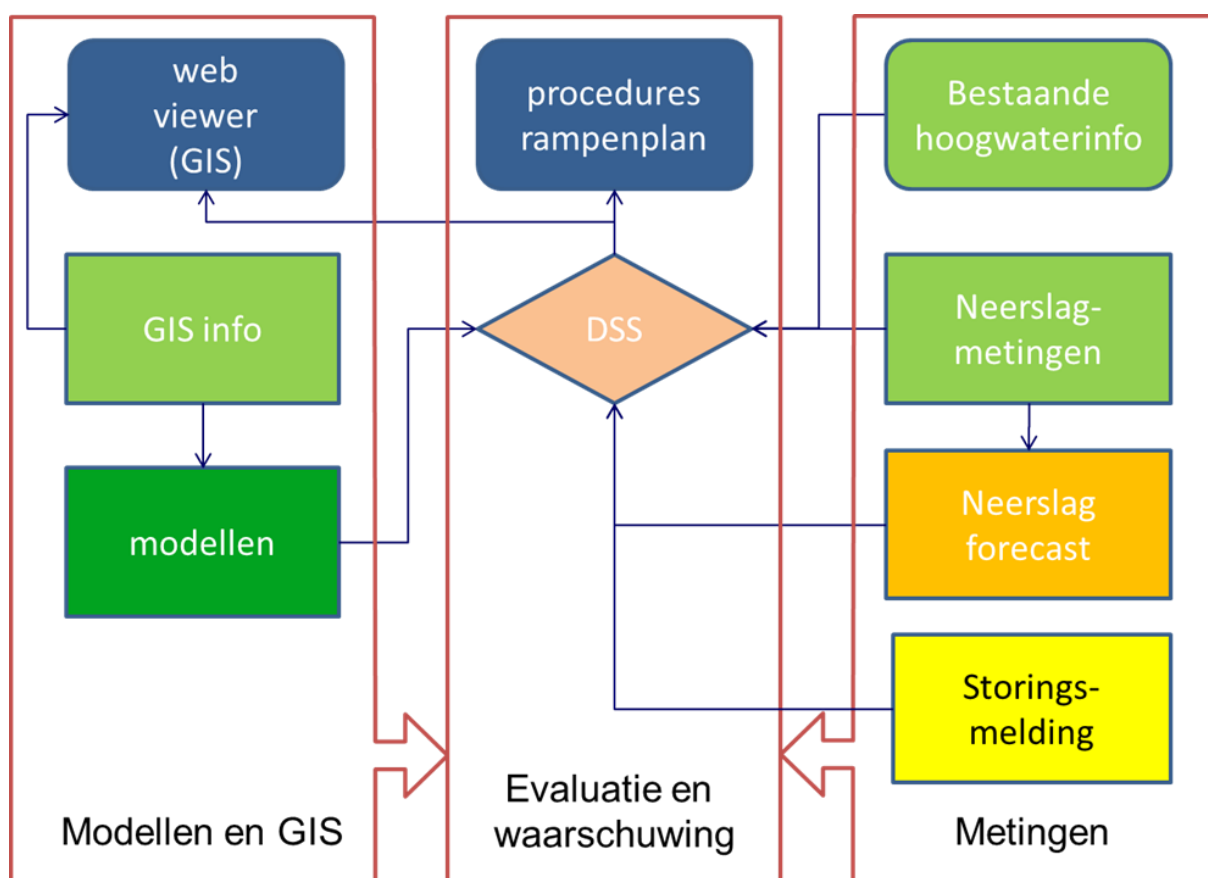
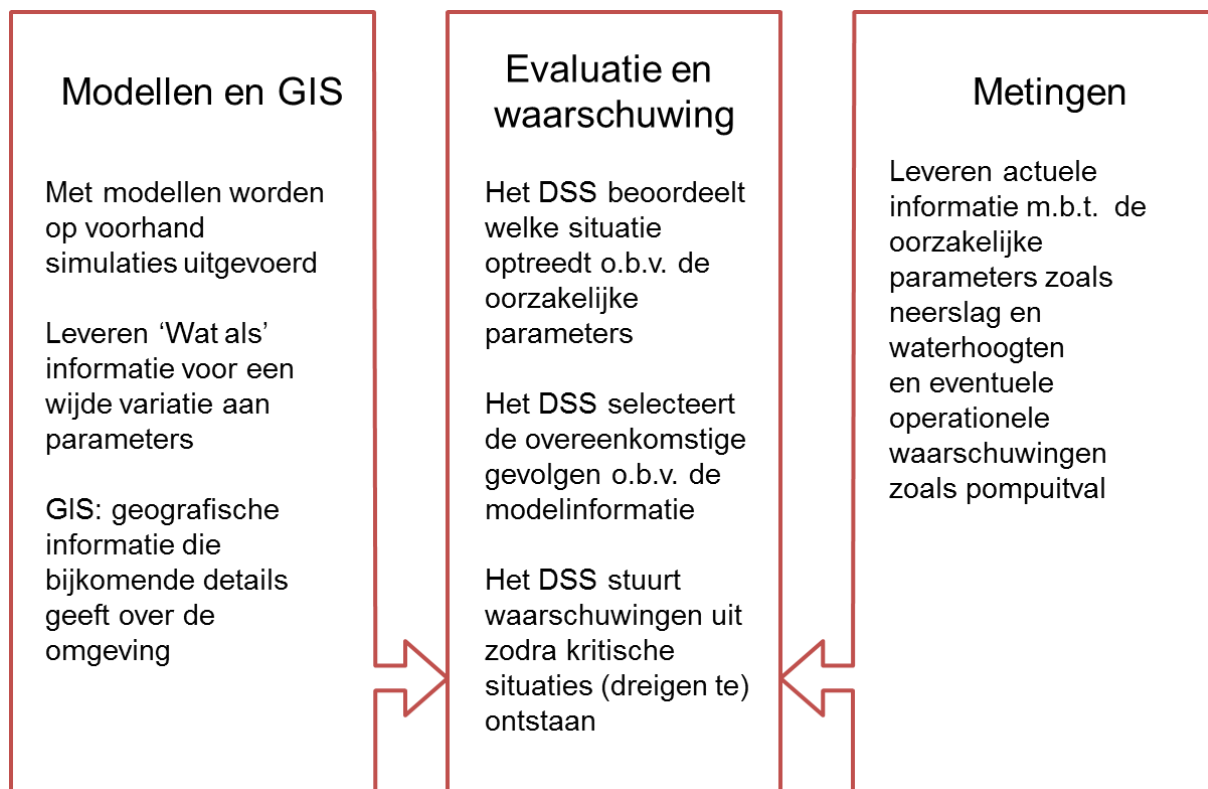
- Identificeer kritische infrastructuur, zoals pompen en roosters en bemeet hun werking; voorzie alarmeringen die aangeven wanneer er een afwijkende werking wordt vastgesteld.
- Meet factoren die wijzen op toekomstige overstromingen, zoals neerslag, waterpeilen en/of verzamel informatie van andere instanties hierover in real time.

6.5.2 Decision Support System

Een beslissingsondersteunend systeem (DSS = Decision Support System) is een computersysteem dat informatie centraliseert omtrent mogelijke kritieke situaties, deze analyseert en opvolgt en de nodige waarschuwingen genereert als kritische situaties dreigen te ontstaan.

- Breng metingen van kritische parameters en alarmen samen in een DSS.
- Ook resultaten van studies (bijvoorbeeld overstromingsmodellering) en historische waarnemingen (flood levels, verstoppingen, ...) horen thuis in het DSS.
- Een DSS bevat ook best alle achtergrondinformatie om situaties te kunnen beoordelen in een geografische en visuele omgeving.

In onderstaande schema's wordt weergegeven wat een DSS omvat en hoe het functioneert.



© HydroScan, 2012

6.5.3 De ruimtelijke relevantie van extreme zomerneerslag

Extreme neerslag is de drijvende kracht achter het ontwerp van afwateringssystemen. 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 rioleringsstelsel wordt gedimensioneerd om op elke plaats geen overstroming te hebben eens in gemiddeld T jaar, heeft dit als gevolg dat binnen een groot 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 de Vlaamse situatie is voldoende nauwkeurige informatie beschikbaar over de neerslagvariatie in ruimte en tijd via de ruimtelijke neerslaggenerator van de KU Leuven (Willems, 2000). Op basis van deze ruimtelijke neerslaggenerator is een inschatting gemaakt van het voorkomen van extreme buien in functie van de grootte van het gebied (Vaes, 2007).

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

- Schijn Noord: doorsnede gebied ongeveer 14 km
 - Ongeveer 7 keren in 100 jaar of om de 14 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 100 jaar.
 - Ongeveer 4 keer in 10 jaar of om de 2.5 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 10 jaar.
- Schijn Zuid: doorsnede gebied ongeveer 13 km
 - Ongeveer 6 keren in 100 jaar of om de 17 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 100 jaar.
 - Ongeveer 3 keer in 10 jaar of om de 3 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 10 jaar.
- Benedenvliet: doorsnede gebied ongeveer 8 km
 - Ongeveer 3 keren in 100 jaar of om de 33 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 100 jaar.
 - Ongeveer 2 keer in 10 jaar of om de 5 jaar komt er ergens in dit afwateringsgebied een bui voor met een terugkeerperiode van 10 jaar.

6.6 Specifieke aanbevelingen

6.6.1 Het Schijn

- Onderzoek het effect van gravitaire doorvoer parallel met de huidige pompgemalen ter vermindering van de overstromingsrisico's bij pomputval, het vergroten van de doorvoer bij piekafvoer en het verminderen van de energie nodig voor het verpompen.
- Voorzie real time monitoring en alarmering op kritische infrastructuur (hoofdzakelijk pompstations) met bijbehorende noodprocedures.
- Creëer een integraal model voor waterlopen en riolering voor dit sterk verstedelijkt gebied, omdat via de huidige hydrologische modellering de kortstondige piekafvoer onderschat wordt, zeker bij korte hevige zomerse onweersbuien en hierdoor de overstromingsrisico's in de verstedelijkte deelgebieden onderschat worden.
- Gebruik de in deze studie aangemaakte overstromingskaarten om in te zoomen op lokale overstromingssituaties langsheen de waterloop en waar nodig lokaal te beschermen tegen overstroming i.f.v. tijdshorizon van de klimaatwijziging. Voor het Schijn zijn deze kaarten niet representatief voor overstromingen die niet vanuit de waterloop komen.

6.6.2 De Benedenvliet

- Verwezenlijk de 4 bestudeerde GOG's. Gezien de reeds gevorderde klimaatverandering en de huidige overstromingsproblematiek is hun effect en noodzaak nu al relevant.
 - Zorg voor deze GOG's voor een aanpasbare stuw- en doorvoerconstructies die een bijsturing mogelijk maakt i.f.v. de tijdshorizon van de klimaatwijziging.
 - Gebruik de in deze studie aangemaakte overstromingskaarten om in te zoomen op lokale overstromingssituaties langsheen de waterloop en waar nodig lokaal te beschermen tegen overstroming i.f.v. de uit te bouwen stuwconstructies.
- Gebruik de in deze studie aangemaakte overstromingskaarten om in te zoomen op lokale riooloverstromingen. Gebruik het integrale model om oplossingen uit te testen voor deze lokale problemen en voor eventuele problemen van riool-rivier interacties.
- Verbeter de doorstroming van de waterlopen door het wegwerken van lokale knelpunten, maar evalueer ook of er hierdoor geen bijkomende overstromingsrisico's afwaarts ontstaan.
- Garandeer maximaal de pompwerking en voorkom verstoppingen van de gravitaire doorvoer (rooster). Voorzie een real time monitoring van deze kritische infrastructuur ter hoogte van de monding in de Schelde en een alarmering met de nodige noodprocedures.

REFERENTIES

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

HydroScan (2016b). Impact van wijzigende neerslagpatronen op lokale waterlopen; deel 2: Overstromingskaarten. April 2016.

HydroScan (2016c). Impact van wijzigende neerslagpatronen op lokale waterlopen; deel 3: Gecontroleerde overstromingsgebieden Benedenvliet. Mei 2016.

Ntegeka V., Baguis P., Roulin E. & Willems P. (2014). Developing tailored climate change scenario's for hydrological impact assessment. *Journal of Hydrology*, vol. 508.

Tabari H., Taye M.T. & Willems P. (2015). Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen; appendix 2: nieuwe modelprojecties voor Ukkel o.b.v. globale klimaatmodellen (CMIP5). KU Leuven i.o.v. VMM en MIRA. MIRA/2015/03.

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.

Willems P., De Niel J. & Tabari H. (2015). Modellering en beleidsaanbevelingen ten aanzien van neerslag in Antwerpen. KU Leuven i.o.v. Stad Antwerpen, september 2015.

BIJLAGE A: VERGELIJKING OVERSTROMINGSKAARTEN

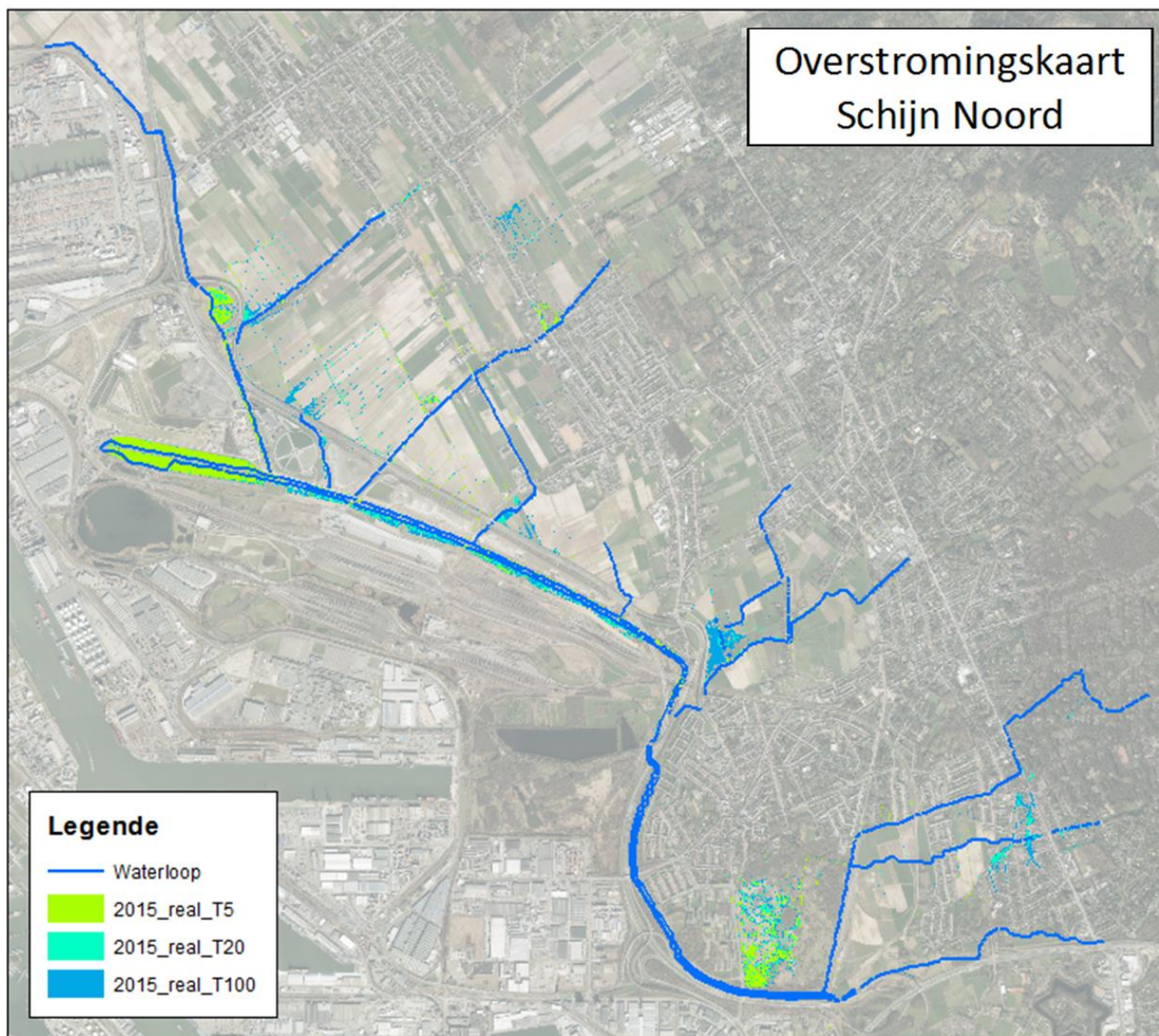
A.1 Schijn Noord (Benedenschijn)

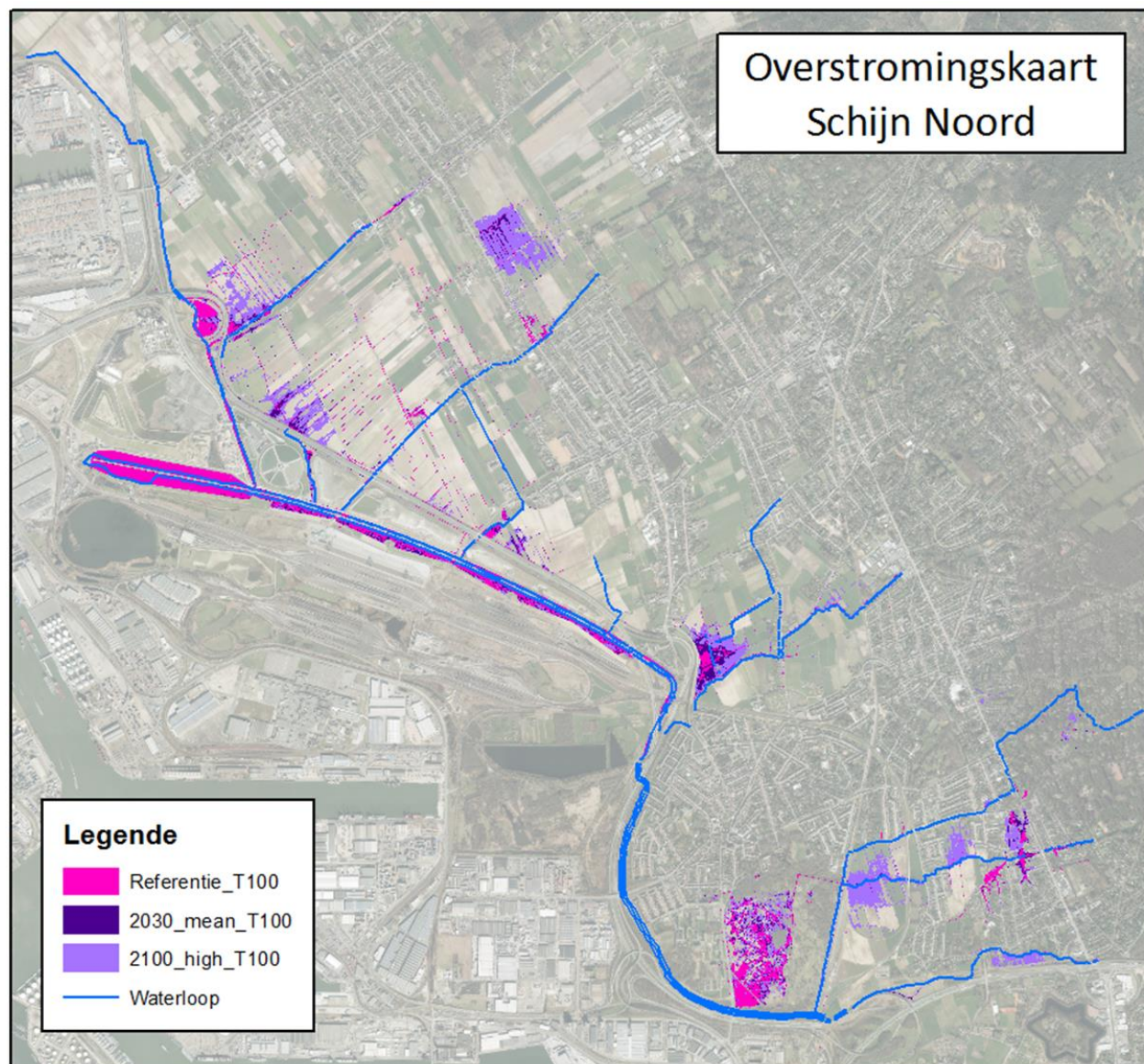
Voor Schijn Noord worden vergelijkende overstromingskaarten weergegeven voor volgende sets van klimaatsimulaties:

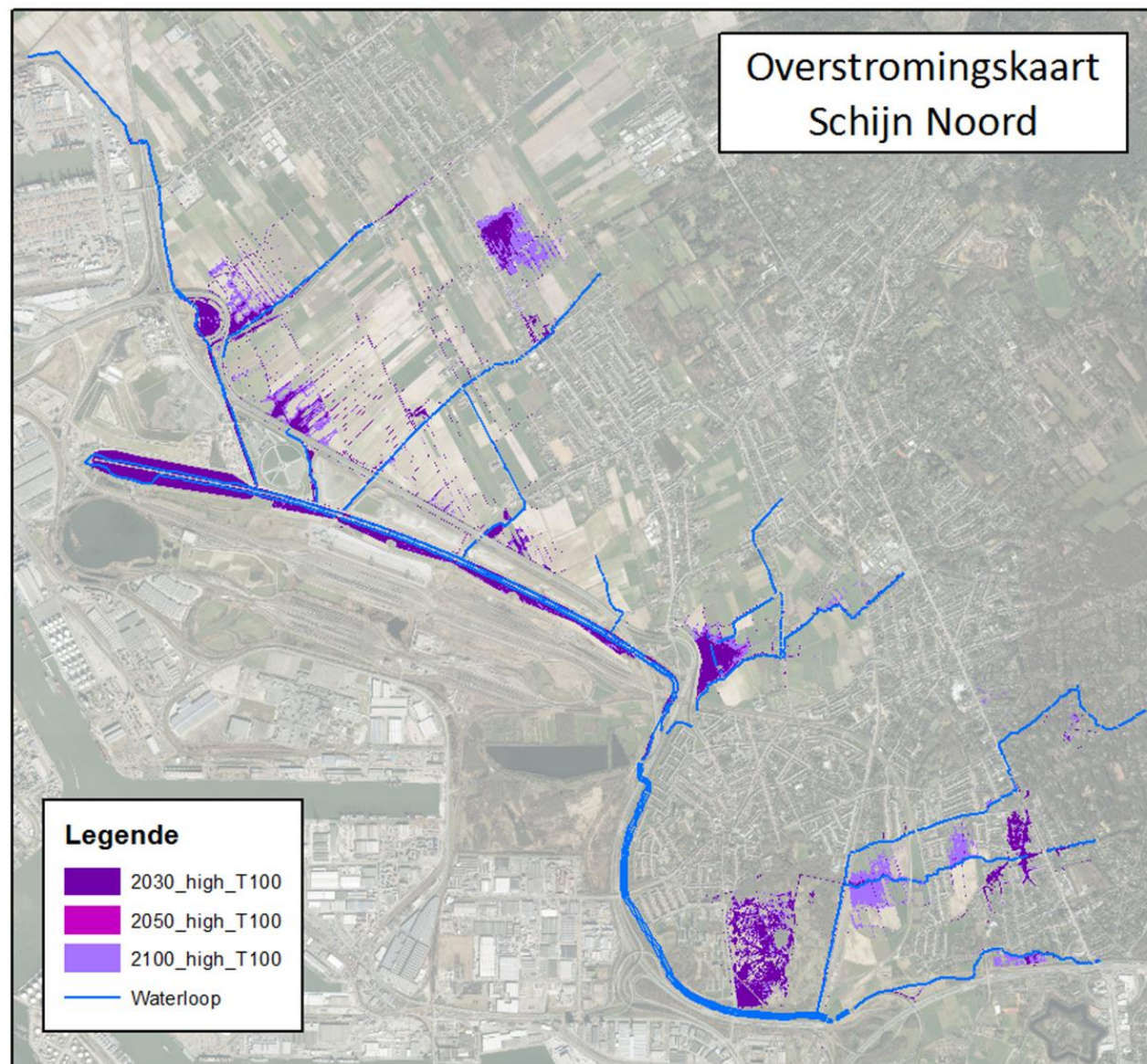
- Huidige situatie (2015, inschatting): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario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

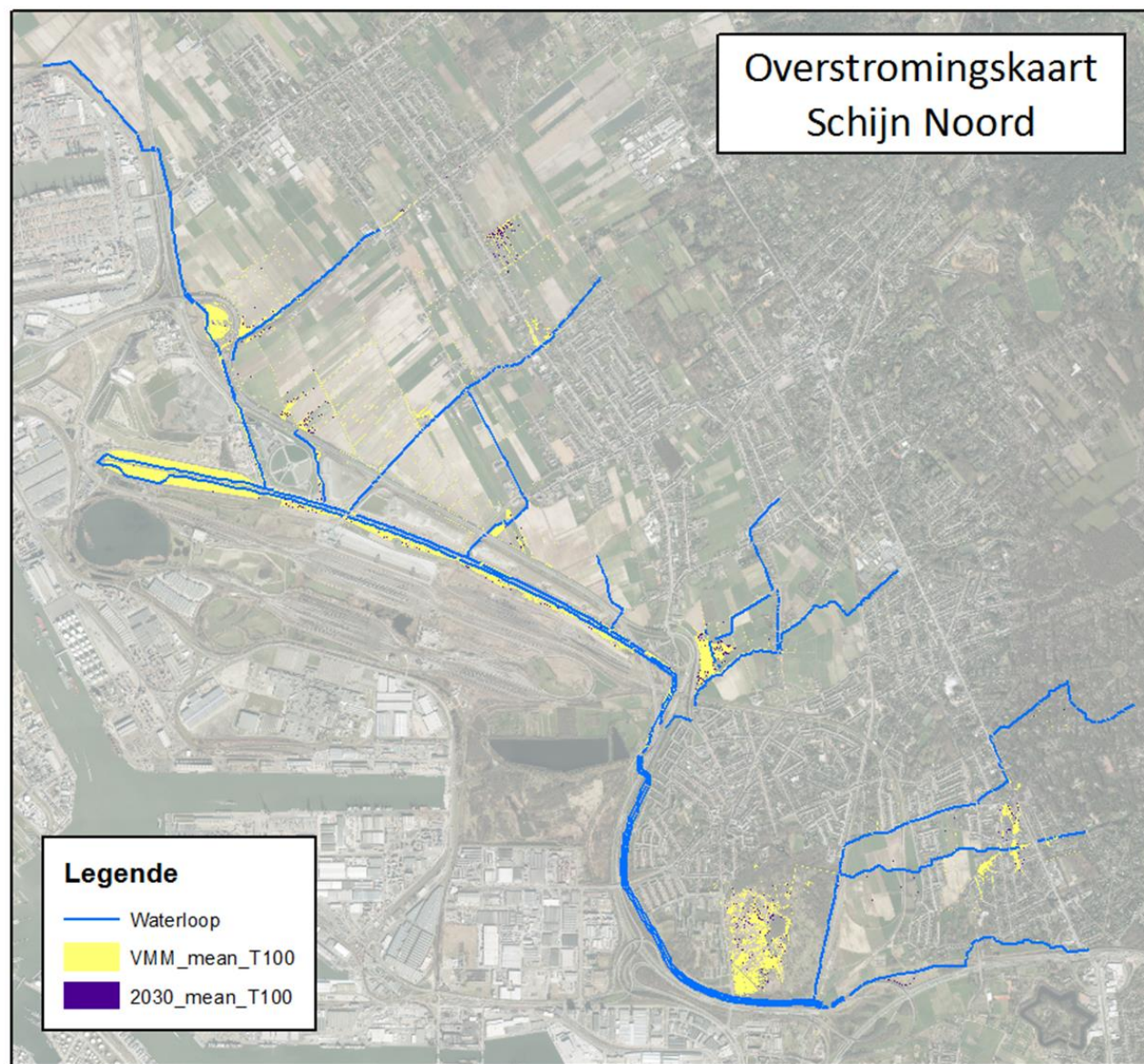
Daarnaast wordt er een vergelijking getoond met overstromingskaarten VMM klimaatscenario's voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Hierbij wordt vergeleken met het overeenkomstige lokale klimaatscenario.

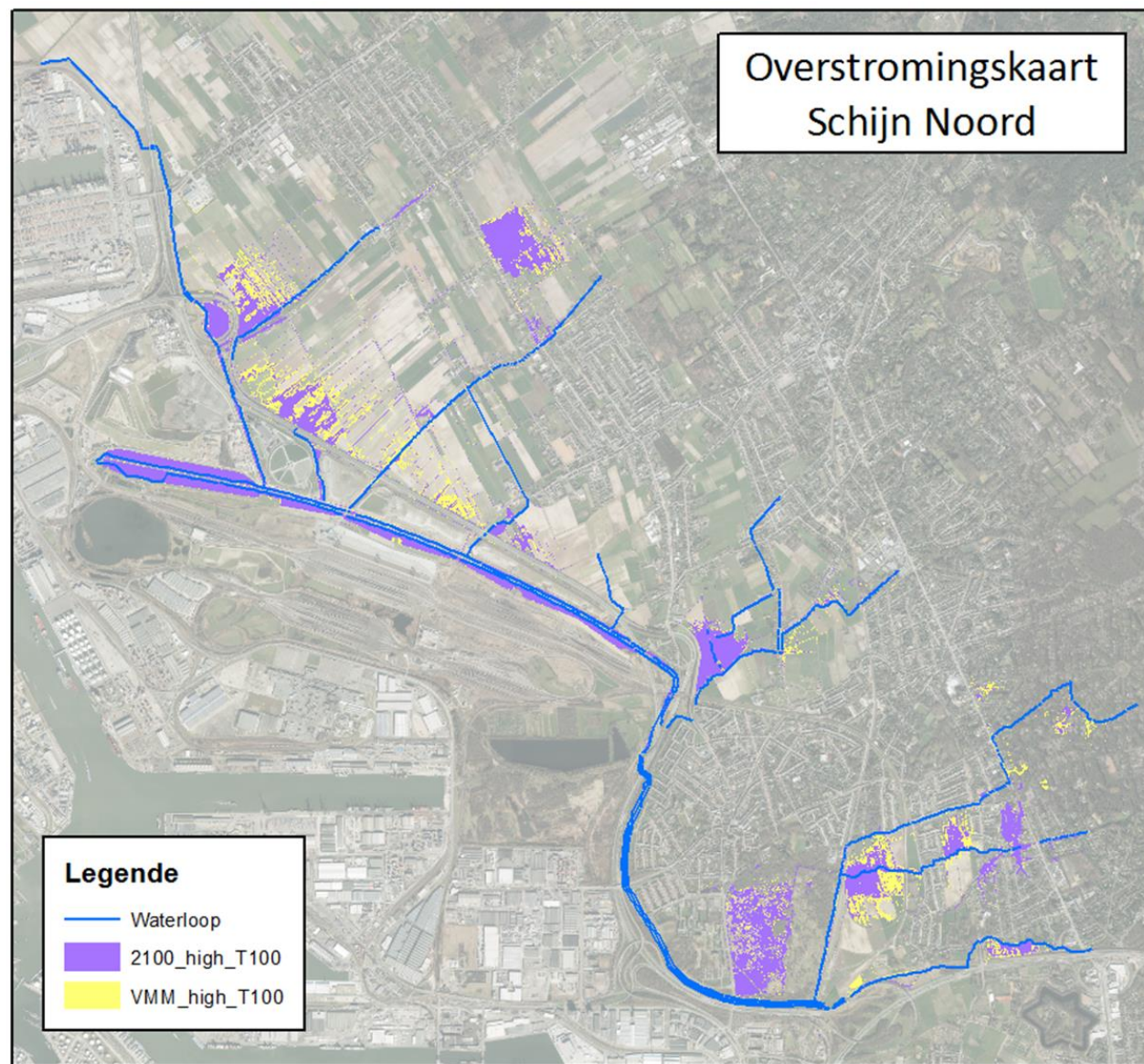
- meest extreme mean klimaatscenario: lokaal mean klimaatscenario 2030 versus VMM mCC (2100)
- meest extreme high klimaatscenario: high (winter) klimaatscenario 2100 versus VMM hCC (2100)











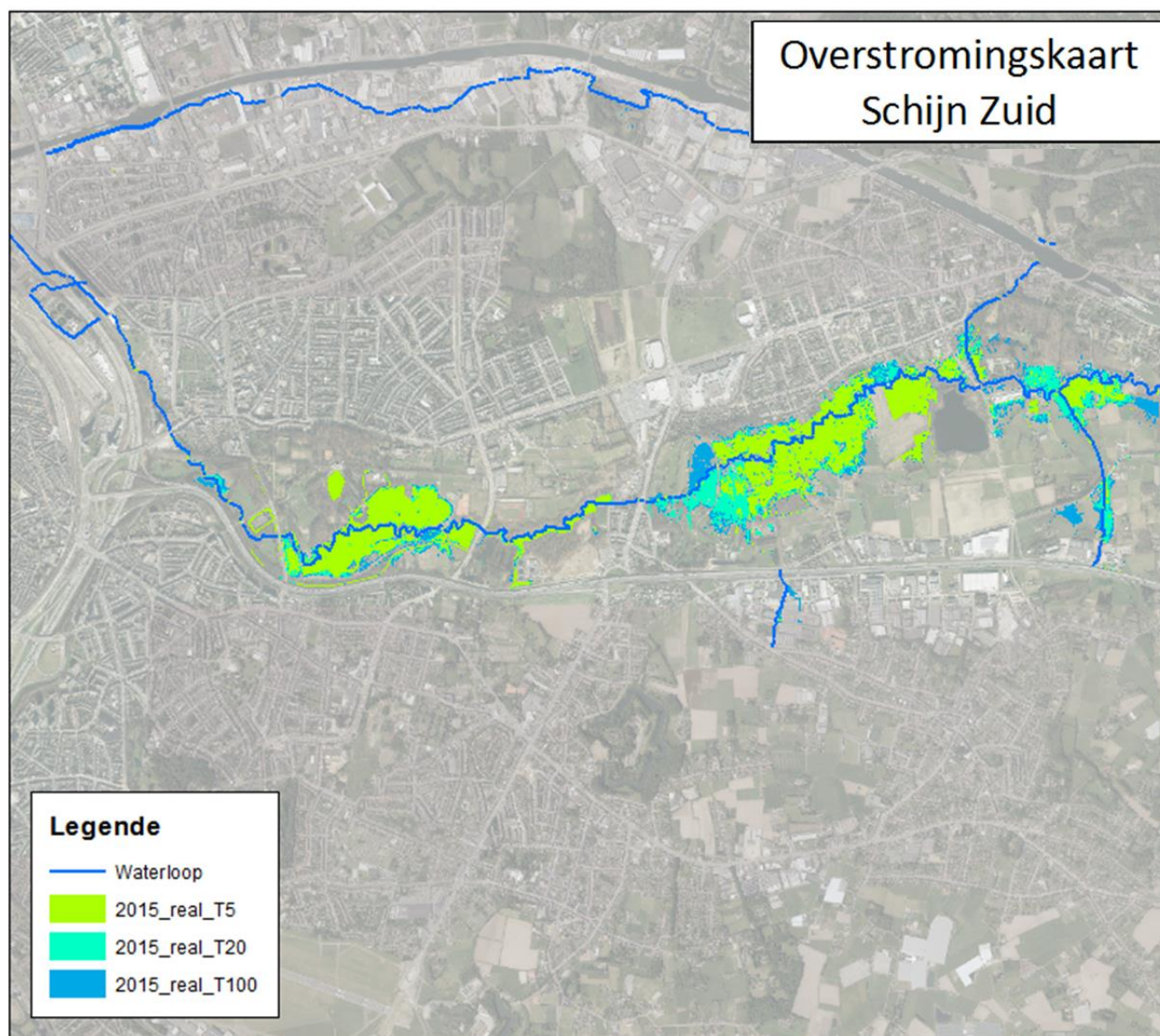
A.2 Schijn Zuid (Groot en Klein Schijn)

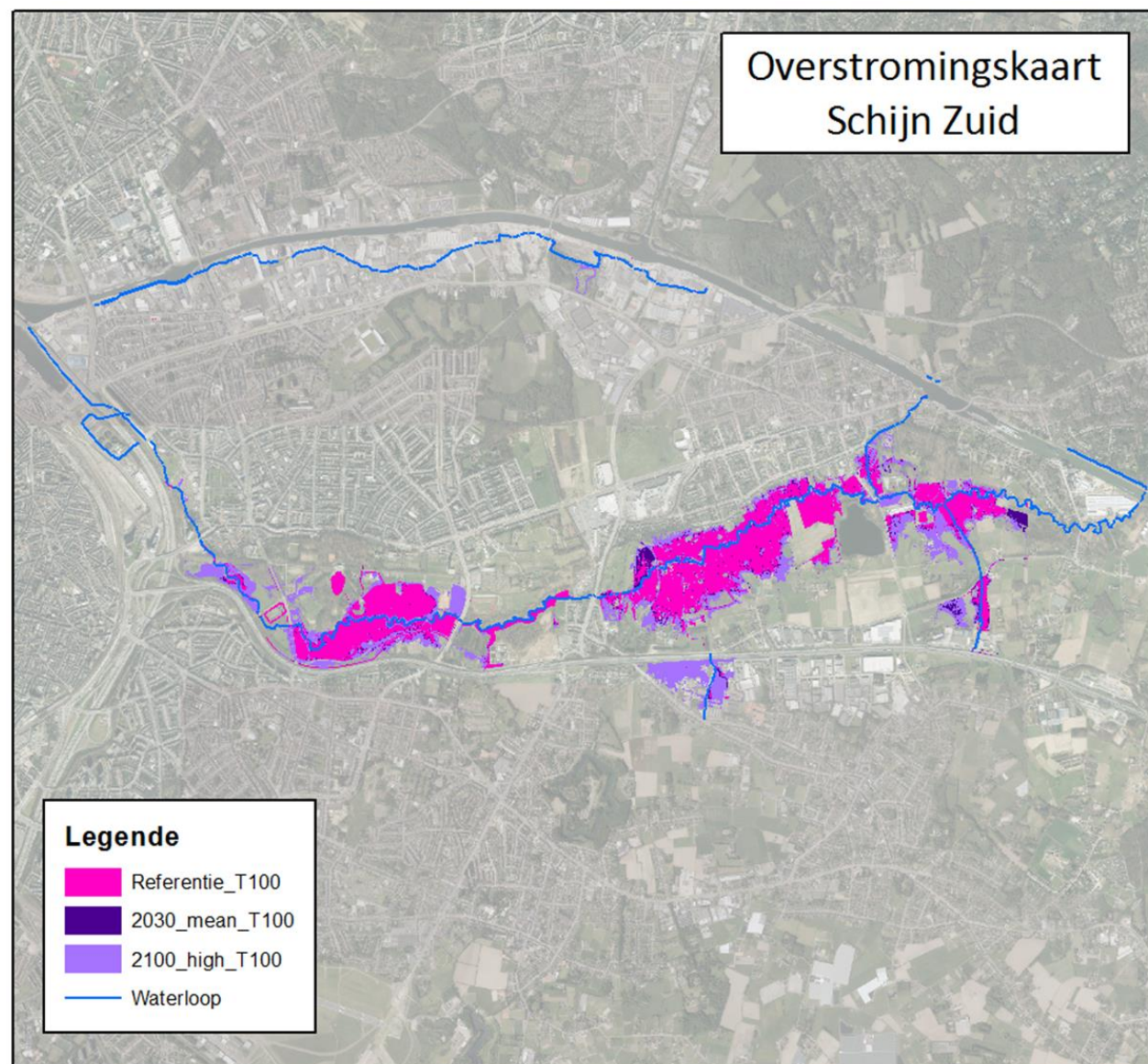
Voor Schijn Zuid (inclusief Klein Schijn) worden vergelijkende overstromingskaarten weergegeven voor volgende sets van klimaatsimulaties:

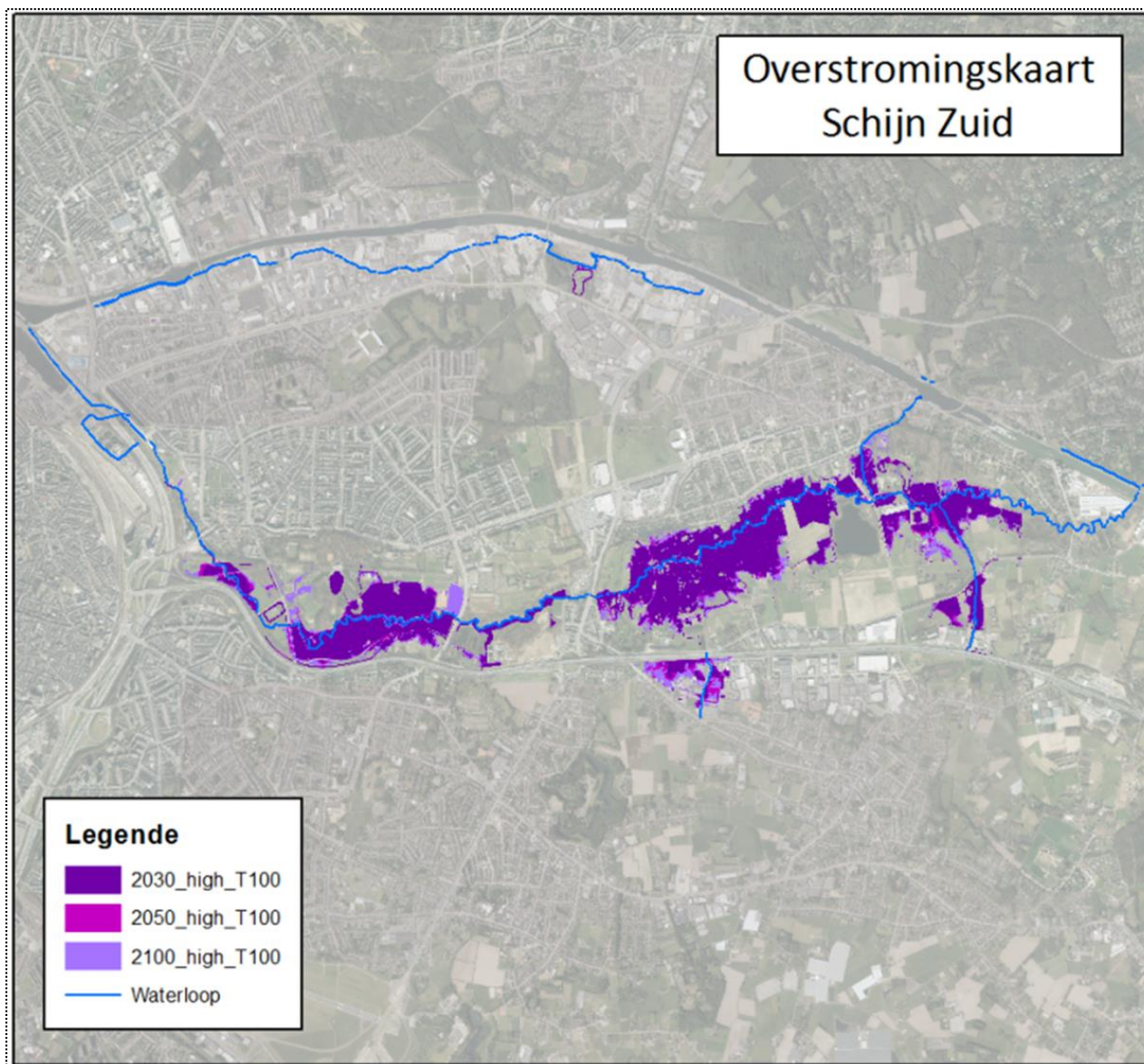
- Huidige situatie (2015, inschatting): vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode van 100 jaar: referentie 1975, mean klimaatscenario voor 2030, high klimaatscenario voor 2100
- High (winter) klimaatscenario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

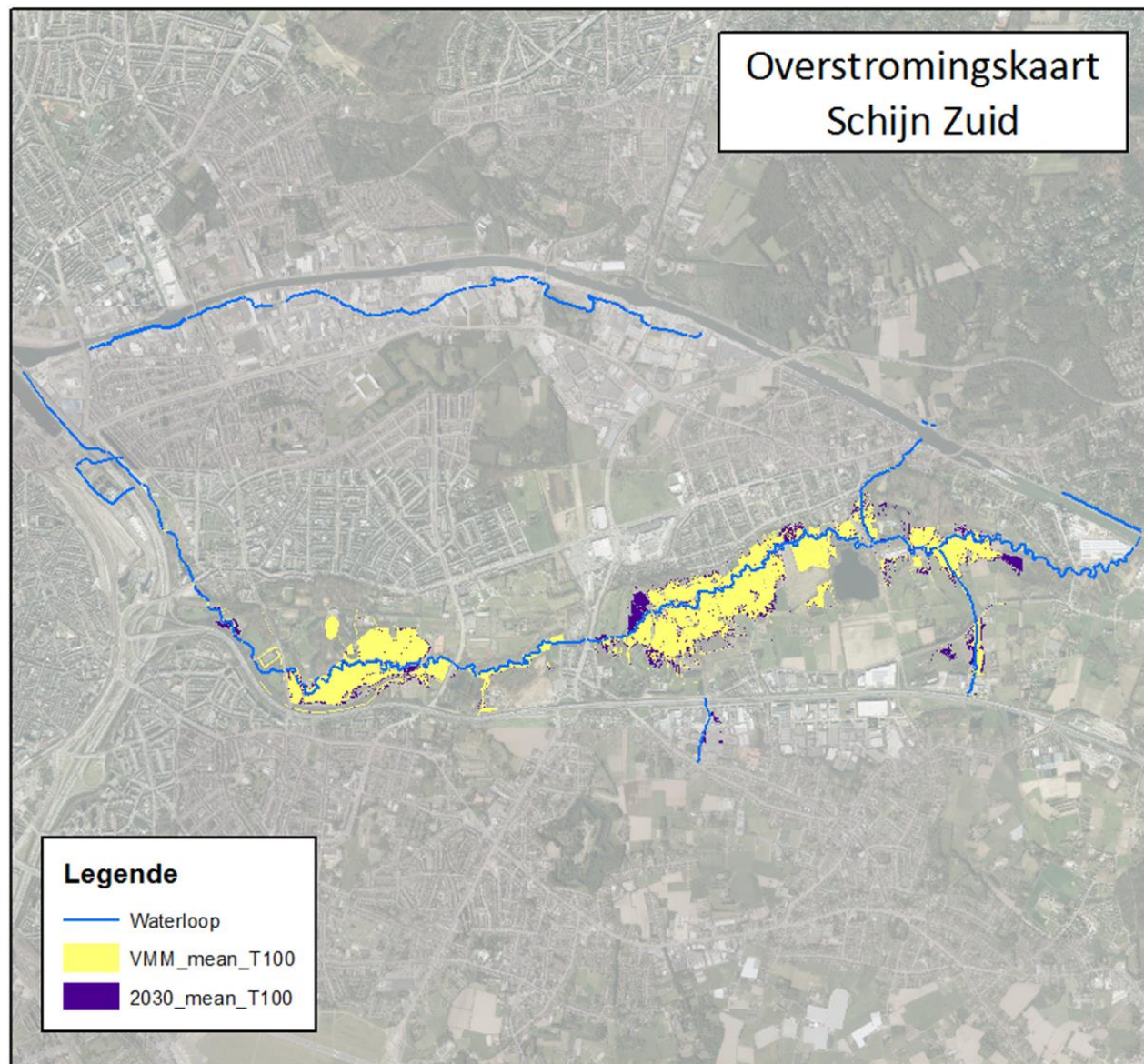
Daarnaast wordt er een vergelijking getoond met overstromingskaarten VMM klimaatscenario's voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Hierbij wordt vergeleken met het overeenkomstige lokale klimaatscenario.

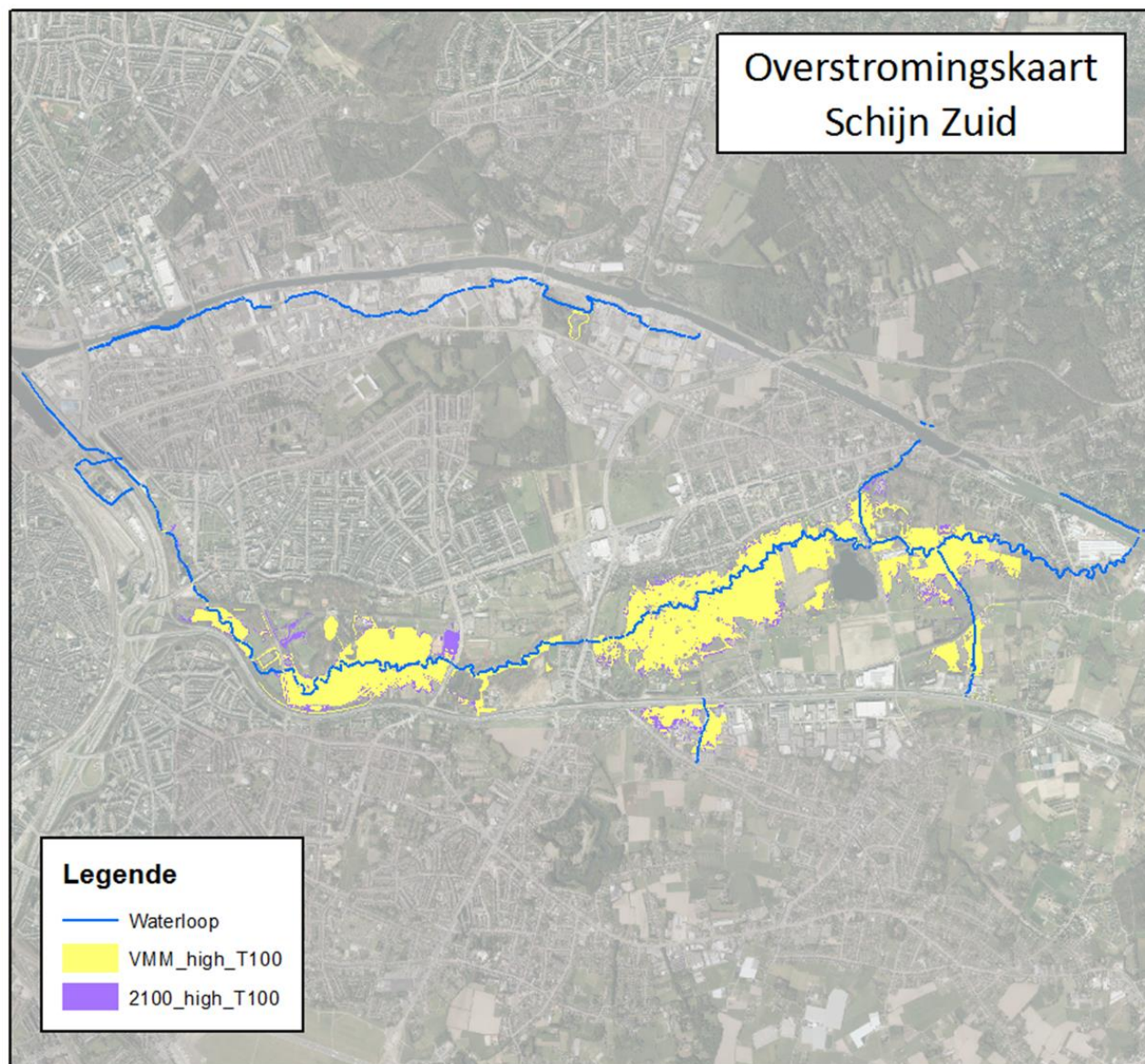
- meest extreme mean klimaatscenario: lokaal mean klimaatscenario 2030 versus VMM mCC (2100)
- meest extreme high klimaatscenario: high (winter) klimaatscenario 2100 versus VMM hCC (2100)









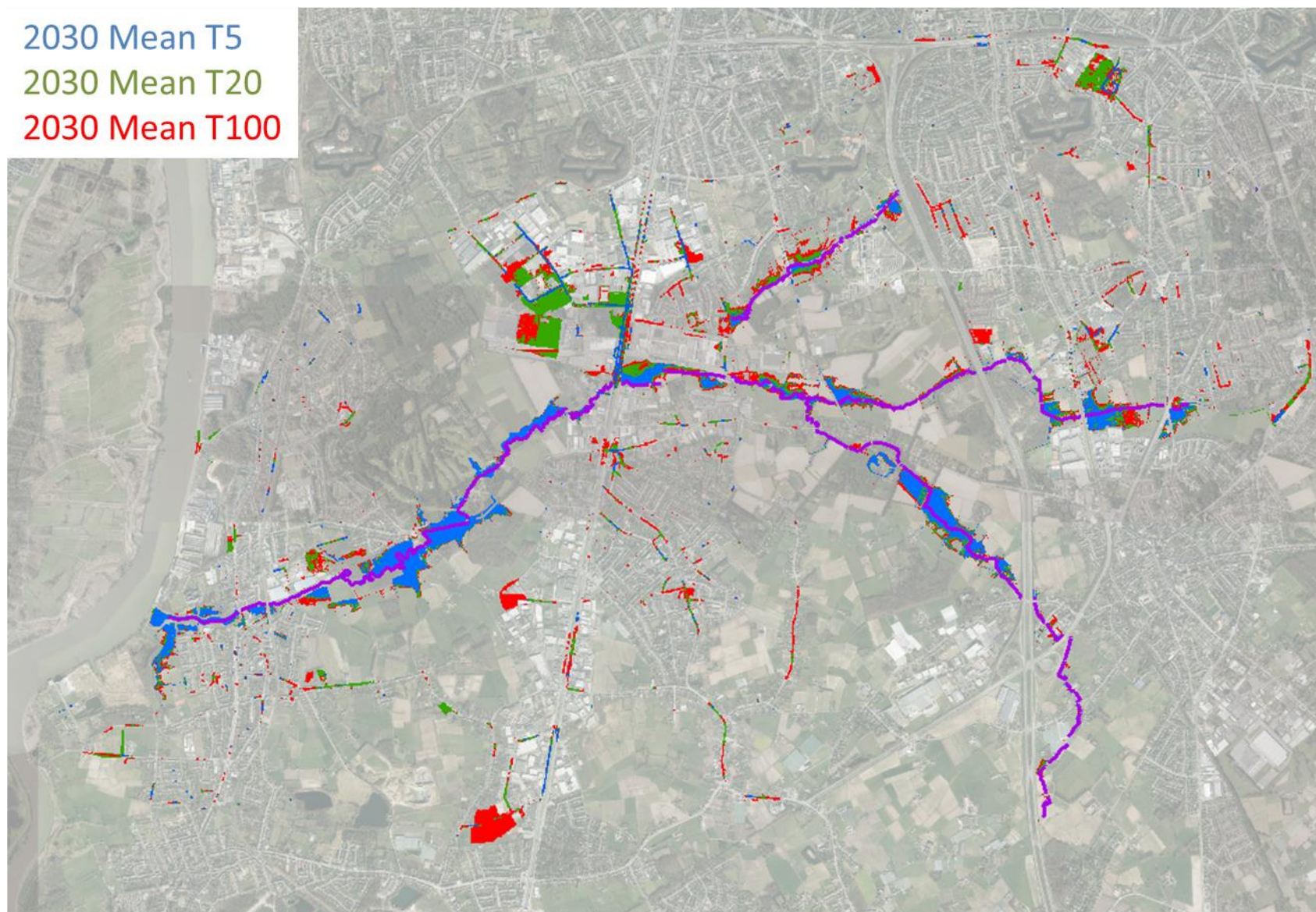


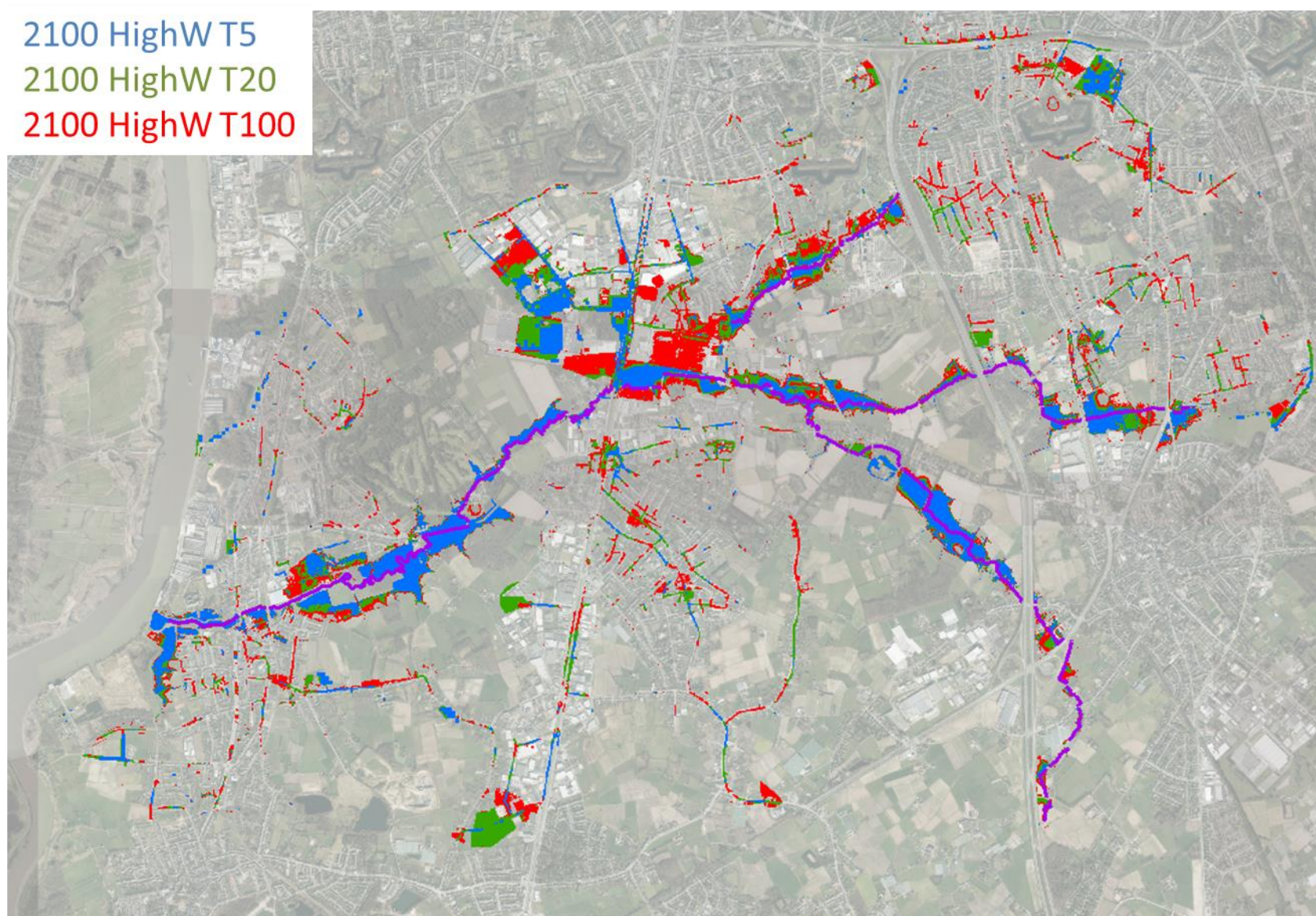
A.3 Benedenvliet

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

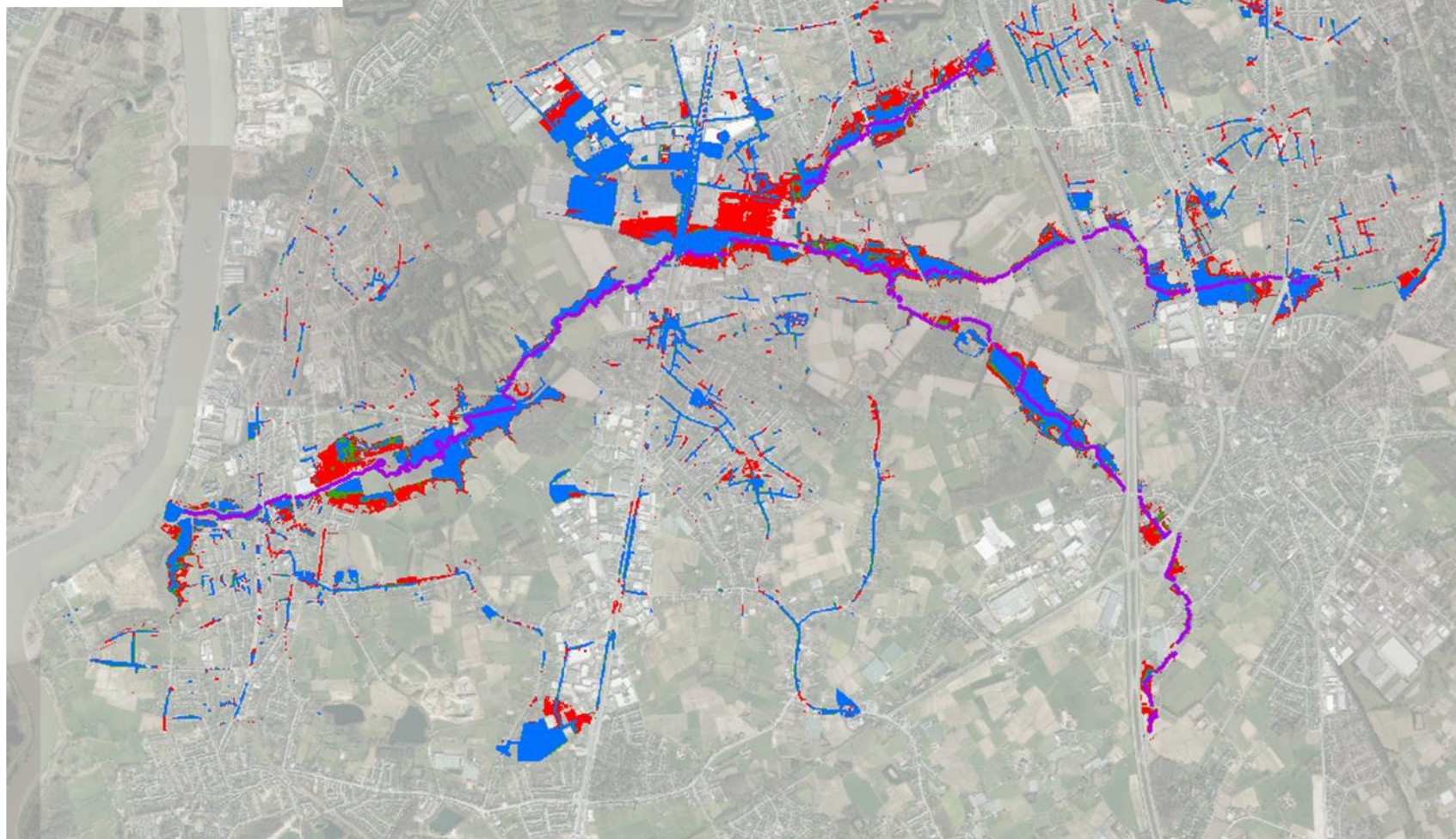
- Mean klimaatscenario voor tijdshorizon 2030: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- High (winter) klimaatscenario voor tijdshorizon 2100: vergelijking voor verschillende terugkeerperiodes T5, T20, T100
- Verschillende extremen in klimaatvariatie voor eenzelfde terugkeerperiode 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

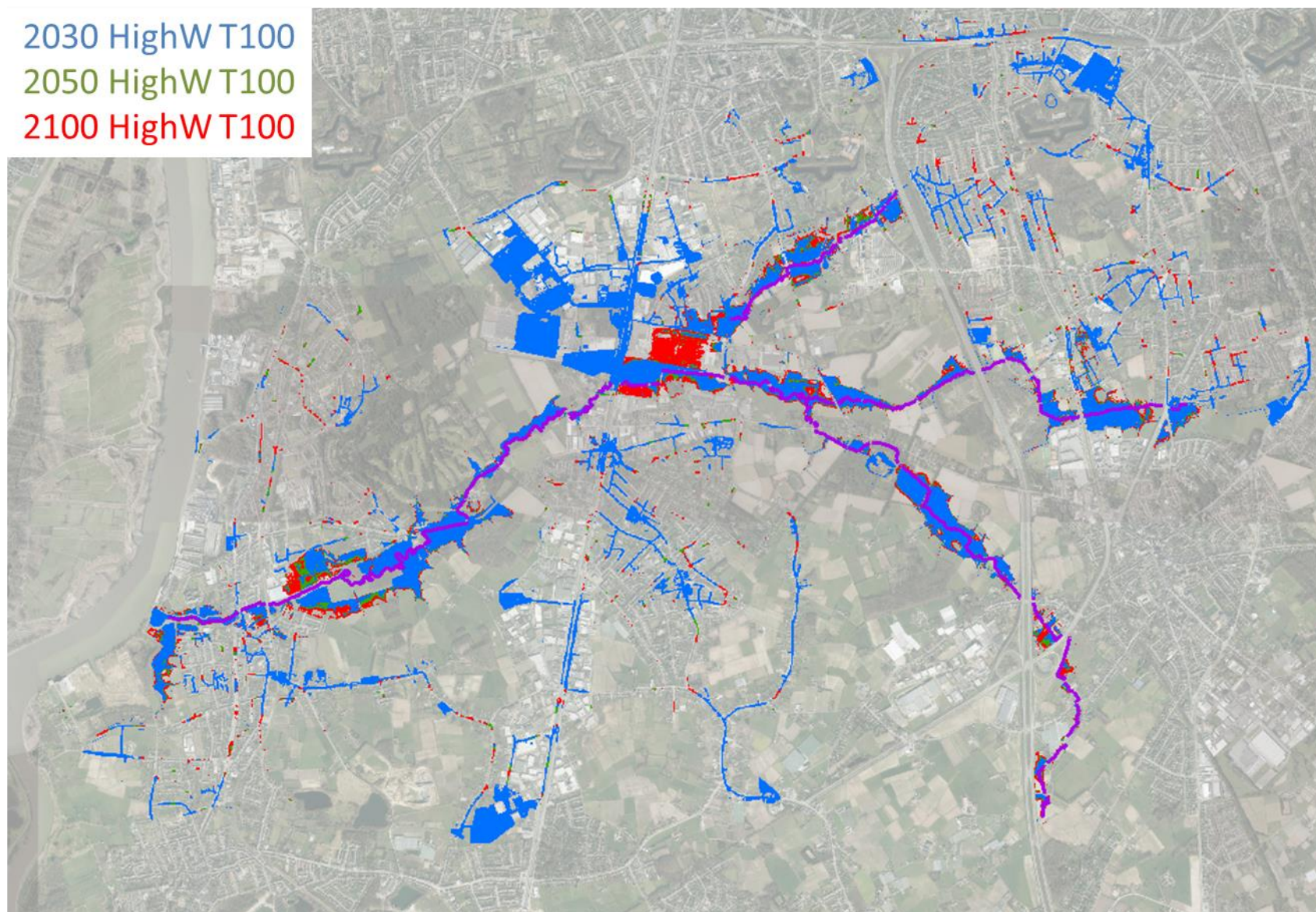
Deze kaarten omvatten zowel de overstromingen vanuit de waterloop als de overstromingen vanuit de riolering.

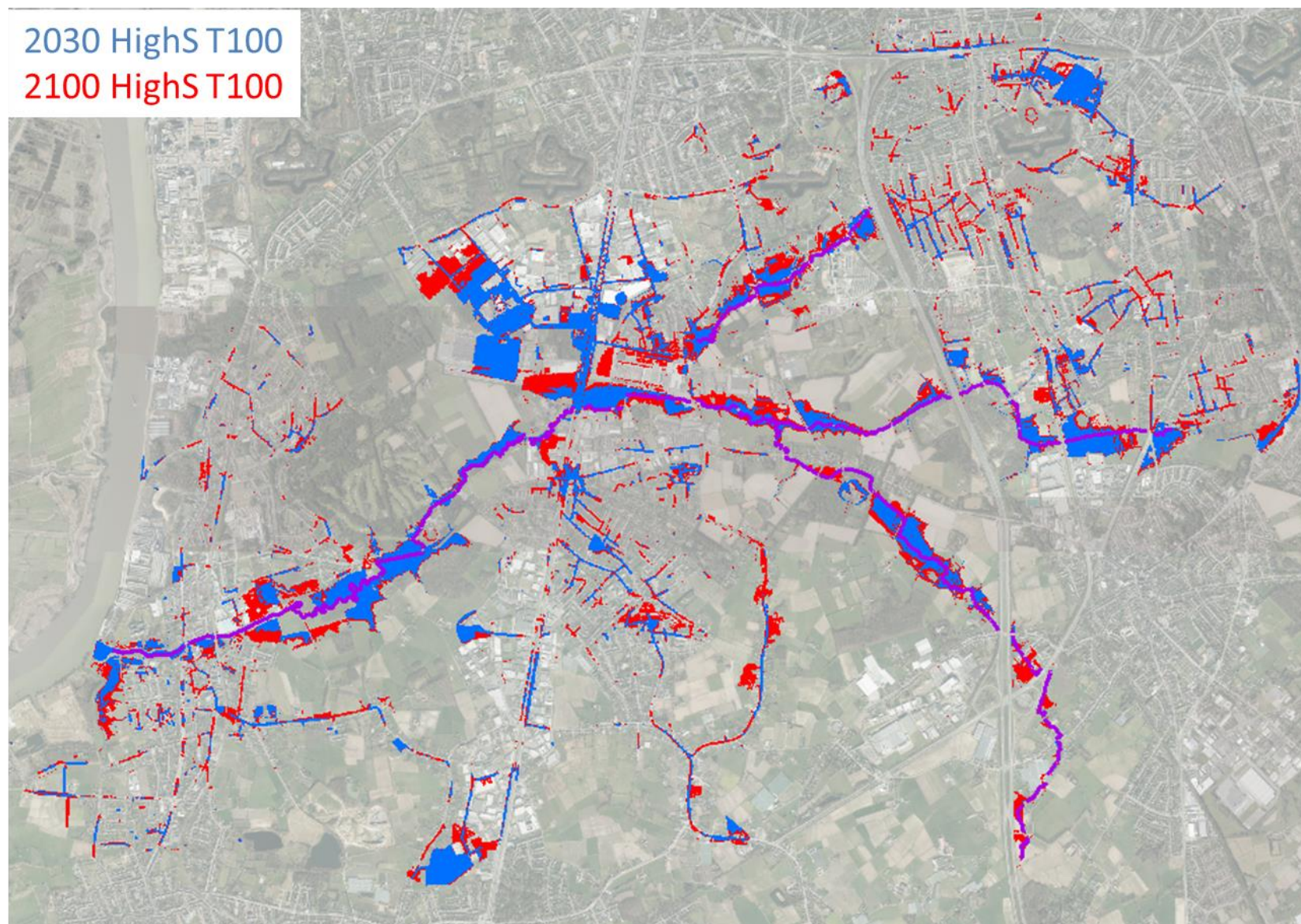




Referentie T100
2030 Mean T100
2100 HighW T100









SYNTHESE RAPPORT

IMPACT VAN
WIJZIGENDE NEERSLAGPATRONEN
OP LOKALE WATERLOPEN

IN OPDRACHT VAN
STAD ANTWERPEN