



Vlaanderen
is milieu

AANMAAK VAN EEN AFSTROMINGSGEVOELIGE KAART VOOR VLAANDEREN



DOCUMENTBESCHRIJVING

Titel

Aanmaak van een afstromingsgevoelige kaart voor Vlaanderen

Samenstellers

Afdeling Operationeel Waterbeheer, VMM

Dienst Hoogwaterbeheer:

Kris Cauwenberghs, Joost Dewelde, Michael Huybrighs, Thomas Vansteenkiste

HydroScan: Tom Feyaerts, Guido Vaes

JBA Consulting: Neil Hunter

Inhoud

Dit rapport beschrijft de methodiek die gevolgd werd bij de opmaak van een gebiedsdekkende afstromingsgevoelige kaart voor Vlaanderen. Deze kaart geeft de gebieden weer die een verhoogde kans op wateroverlast vertonen ten gevolge van directe afstroming van neerslag.

Wijze van refereren

Vlaamse Milieumaatschappij (2018), Aanmaak van een afstromingsgevoelige kaart voor Vlaanderen

Vragen in verband met dit rapport

Vlaamse Milieumaatschappij

Dokter De Moorstraat 24-26

9300 Aalst

Tel: 053 72 62 10

info@vmm.be



MANAGEMENT SAMENVATTING

Huidig project heeft als doel een gebiedsdekkende kaart voor Vlaanderen met afstromingsgevoelige gebieden op te maken. Afstromingsgevoelige gebieden zijn hierbij zones die een verhoogde kans op wateroverlast vertonen ten gevolge van de directe afstroming van neerslag over het maaiveld. Het gaat hier dus om een ander type van wateroverlast dan overstromingen afkomstig van het buiten de oevers treden van waterlopen. Voor dit type overstromingen bestaan reeds overstromingskaarten (bv. de kaart met overstroombare gebieden). De kaart met afstromingsgevoelige gebieden moet dan ook gezien worden als een aanvulling op de reeds bestaande overstromingskaarten.

De methodiek die gevolgd wordt bij de opmaak van deze kaarten is deze van de directe neerslag modellering. Hierbij wordt een model opgebouwd waarbij specifieke neerslagprofielen ('hyetogrammen') worden toegepast op elke cel van een 2-dimensionaal regelmatig raster (in dit geval gebaseerd op het digitaal hoogtemodel Vlaanderen) en wordt de verdere afstroming van water over dit raster gesimuleerd. Deze methode simuleert dus afstroming van water over het maaiveld en identificeert stroompaden voor water en locaties waar water accumuleert. De eigenlijke modellering gebeurt met het softwarepakket JFlow[®], ontwikkeld door JBA Consulting.

Binnen huidig project worden afstromingsgevoelige kaarten opgemaakt voor 4 terugkeerperiodes:

- T10: bui die zich gemiddeld eenmaal om de 10 jaar voordoet
- T25: bui die zich gemiddeld eenmaal om de 25 jaar voordoet
- T100: bui die zich gemiddeld eenmaal om de 100 jaar voordoet
- T1000: bui die zich gemiddeld eenmaal om de 1000 jaar voordoet

Hierbij worden simulaties gedaan voor enerzijds het huidige klimaat (situatie 2016) en anderzijds bij gewijzigde neerslag ten gevolge van klimaatwijziging (situatie 2100).

In de methode die gehanteerd wordt, worden fenomenen zoals infiltratie in de ondergrond en afvoer van water via ondergrondse rioolstelsels niet expliciet mee gemodelleerd. Daarom dienen de neerslagprofielen die hierbij gehanteerd worden aangepast te worden om rekening te houden met deze fenomenen. De gebruikte neerslagprofielen bevatten in die zin 'oppervlakte-afstromingsintensiteiten' in plaats van neerslagintensiteiten. Aspecten die hierbij in rekening gebracht worden zijn:

- Correctie van de buien om rekening te houden met de ruimtelijke variabiliteit van de neerslag
- Correctie van de neerslag voor landelijke gebieden om bij grotere terugkeerperiodes een betere overeenkomst te krijgen van de afstromende volumes met riviermodellen en metingen
- Correctie van de neerslag voor stedelijke gebieden om vereenvoudigd rekening te houden met de aanwezigheid van een rioleringsstelsel; hierbij wordt er standaard van uitgegaan dat het rioolstelsel een bui die éénmaal om de 2 jaar valt (T2) kan afvoeren

Omdat niet alle details van het oppervlakkige afwateringssysteem vervat zijn in het gehanteerde digitale hoogtemodel (bv. duiker van een waterloop onder verhoogde spoorwegberm) worden in de hydraulische modellen waar nodig dergelijke hydraulische structuren ingevoerd.





Om maximaal gebruik te maken van de operationele kennis die in Vlaanderen aanwezig is in verband met het voorkomen van wateroverlast, werd in het kader van huidig project een specifiek webplatform opgezet. Via dit platform konden verschillende actoren die actief zijn in het riool- en waterbeheer opmerkingen geven op een voorlopige versie van de kaarten en aangeven waar bepaalde structuren toegevoegd moeten worden. Deze opmerkingen en aanvullingen werden maximaal verwerkt in de modellen om zo te komen tot de finale kaarten binnen dit project.

Het is hierbij belangrijk om te benadrukken dat de afstromingsgevoelige kaarten wateroverlast weergeven die het gevolg is van neerslagafstroming van extreme (zomer)buien. Door de aanpassingen in de hydrologische methodiek is wel getracht om dit voor de overstromingen in de waterlopen zo goed mogelijk te laten aansluiten. Toch zal vooral in de grotere en meer afwaartse waterlopen er een systematische onderschatting zijn van de overstromingsrisico's, omdat deze eerder gedreven zijn door de winterse omstandigheden (overstroming vanuit de waterloop) waarbij aanhoudende neerslag over het volledige stroomgebied tot verzadiging van de ondergrond leidt en voor grote afstromingsvolumes zorgt en waarbij doorgaans hogere afwaartse randvoorwaarden optreden. Voor deze laatste geven de overstromingskaarten opgemaakt met hydrodynamische waterloopmodellen meestal een betere benadering van de overstromingsrisico's. Het is dan ook belangrijk om deze twee types van overstromingskaarten als complementaire instrumenten te zien.



3.8	Effect van hervoeden T2 debieten	117
3.9	Effect van gecorrigeerde hervoeding ter hoogte van RWZI's	120
3.10	Effect van voorstelling van gebouwen	123
3.11	Effect van drempelwaarde bij opmaak afstromingsgevoelige kaarten	127
4	Validatie kaarten	130
4.1	Inleiding	130
4.2	Validatie aan historische wateroverlast.....	130
4.2.1	Analyse terugkeerperiode.....	130
4.2.2	Selectie gebeurtenissen	131
4.2.3	Evaluatie m.b.t. overstromingen mei / juni 2016	133
4.3	Nazicht door externe partijen	133
4.3.1	Procesverloop extern nazicht	133
4.3.2	Beschrijving webplatform	134
4.3.3	Resultaten extern nazicht	136
5	Bespreking resultaten	138
5.1	Inleiding	138
5.2	Bespreking eindproducten	138
5.3	Statistieken op basis van finale kaarten.....	143
5.4	Vergelijking met fluviale overstromingskaarten	146
6	Conclusies en Aanbevelingen	148
6.1	Samenvatting	148
6.2	Uitdagingen huidige kaartenset	148
6.3	Aanbevelingen verdere verbetering	149
7	REFERENTIES.....	150
bijlage 1	Overzicht overlegmomenten binnen VLAGG-2017 project.....	152
bijlage 2	Overzicht simulatietijden modellen	153
bijlage 3	Gebruikte omzetting van de bodemkaart	178
bijlage 4	Gebruikte omzetting van de landgebruiksk kaart	183
bijlage 5	Omzetting hydraulische structuren uit modelinformatie	185
bijlage 6	Bepaling van gedetailleerde neerslagcorrecties.....	192
bijlage 7	Analyse van aangroecurves	202
bijlage 8	Implementatie van verhoogde afvoer t.h.v. Ruien.....	206
bijlage 9	Validatie VLAGG kaarten aan recente overstromingen	212
bijlage 10	Aantal percelen gelegen in afstromingsgevoelig gebied.....	221
bijlage 11	Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied.....	224



tabel 28: Gehanteerde Manning coëfficiënten en procentuele verdeling over verschillende klassen voor enkele deelmodellen	75
tabel29: Noodzakelijke parameters in de JFlow [®] -software voor invoer van duikers	77
tabel30: Weerhouden standaardafmetingen voor duikers.....	78
tabel 32: Overzicht hydraulische structuren en aanpassingen ingevoerd in de JFlow [®] modellen	80
tabel32: Relatie tussen waterdiepte en stroomsnelheid waarbij de blauw ingekleurde combinaties in de kaart worden ingekleurd bij een hazard rating van minstens 0.555 [JBA, 2016]......	95
tabel 33: Afmetingen duikers gehanteerd bij gevoeligheidsanalyse	112
tabel 36: Aantal ha in afstromingsgevoelig gebied in functie van de overstromingsdiepte voor verschillende scenario's.....	143
tabel 37: Procentuele toename bij hogere terugkeerperiodes van de oppervlakte afstromingsgevoelig gebied in functie van de overstromingsdiepte voor verschillende scenario's.....	144
tabel 38: Procentuele toename bij klimaatwijziging van de oppervlakte afstromingsgevoelig gebied in functie van de overstromingsdiepte voor verschillende terugkeerperiodes	144
tabel 39: Aantal percelen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende scenario's	145
tabel 40: Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende scenario's.....	145
tabel42: overlegmomenten binnen VLAGG-2017	152
tabel43: Omzetting textuurklasse.	179
tabel44: Omzetting textuur in de Duinstreek.....	180
tabel45: Omzetting textuur in Landschap van de Moeren	180
tabel46: Omzetting textuur in de Oudlandpolders.	180
tabel47: Omzetting textuur in de Middellandpolders.....	181
tabel48: Omzetting textuur in IJzerestuarium.	181
tabel49: Omzetting textuur in de Nieuwlandpolders-historische polders van Oostende.	181
tabel50: Omzetting textuur in de Nieuwlandpolders-Zwin.....	181
tabel51: Predominante textuur per landbouwzones voor de omzetting van antropogene bodems.	182
tabel52: Omzettingstabel van klassen Bodembedekkingskaart naar landgebruiksklasse zoals gebruikt in JFlow [®]	184
tabel53: Hydraulische structuren aanwezig in Infoworks RS.	185
tabel54: Omzetting cirkelvormige kokers vanuit RS.	186
tabel55: Omzetting cirkelvormige kokers vanuit RS.....	186
tabel56: Omzetting kokers met volledige boogvorm vanuit RS.	187
tabel57: Omzetting kokers met boogvorm vanuit RS.	189
tabel58: Omzetting symmetrische kokers met volledige boogvorm vanuit RS.	190
tabel59: Omzetting knijpopening vanuit RS.....	190
tabel60: Omzetting bruggen vanuit RS.....	190
tabel61: Omzetting verticale schuiven vanuit RS.....	191
tabel62: Omzetting radiale schuiven vanuit RS.....	191



tabel63: Gebiedskarakteristieken (aangeleverd door VMM).....193

tabel 64: Aantal percelen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende scenario's
221

tabel 65: Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende
scenario's.....224

tabel 66: Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per gemeente voor verschillende
scenario's.....227

LIJST VAN FIGUREN

figuur1: Flow chart van het projectverloop.....17

figuur 2: Locatie pilootgebieden binnen huidige studie.....18

figuur3: Modelafbakening deelmodellen gebruikt bij de opmaak van de afstromingsgevoelige kaarten voor
Vlaanderen23

figuur4: Overzicht gehanteerde bufferafstanden per deelmodel.....24

Figuur 5: Klimaatperturbatiefactoren bij een terugkeerperiode van 1000 jaar (KU Leuven) met aanduiding van
de interpolatie voor 2016 (rode bol).....29

Figuur 6: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Beersel en deelgebieden met de globale
correctie voor een terugkeerperiode van 100 jaar.31

figuur 7: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Antwerpen en deelgebieden
(1348 = Benedenvliet) met de globale correctie voor een terugkeerperiode van 100 jaar. De veralgemeende
theoretische correctie is weergegeven in de dikke zwarte lijn, maar omdat er geen negatieve
neerslagintensiteiten kunnen worden gebruikt, zal de 'werkelijke correctie' uiteindelijk worden toegepast. ...
31

figuur8: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Beersel en deelgebieden met de globale
correctie voor een terugkeerperiode van 2 jaar.32

figuur9: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Antwerpen en deelgebieden
(1348 = Benedenvliet) met de globale correctie voor een terugkeerperiode van 2 jaar.....32

Figuur 10: vergelijking van de gedetailleerde ruimtelijke correctie met de algemene ruimtelijke correctie
voor Beersel bij terugkeerperiodes van 10 en 100 jaar.....33

Figuur 11: Extreme waarden verdeling voor de PDM afstromingsdebieten voor Beersel
bij aggregatieniveaus van 1 en 48 uur.....35

Figuur 12: Extreme waarden verdeling voor de PDM afstromingsdebieten voor Benedenvliet
bij aggregatieniveaus van 1 en 48 uur.....36

figuur13: Extreme waarden verdelingen voor JFlow[®] resultaten voor Beersel bij aggregatieniveaus van 1 uur,
1 uur met extra uitvlakking (7.5 uur) tot afwaarts (meet)punt en van 48 uur (totale simulatieduur).38

figuur14: Extreme waarden verdelingen voor JFlow[®] resultaten voor Benedenvliet bij aggregatieniveaus
van 1 uur, 1 uur met extra uitvlakking (7 uur) tot afwaarts (meet)punt en van 48 uur (totale simulatieduur). .
39

figuur15: Vergelijking afstromingsdebieten voor het globale pilootgebied Beersel (ongecorrigeerd).41

figuur16: Vergelijking afstromingsdebieten voor het globale pilootgebied Benedenvliet (ongecorrigeerd). .41

figuur17: Effect van algemene extra reductie (correctie 1, streepjeslijn) van de landelijke afstroming op de aangroei van de afstromingsdebieten i.f.v. de terugkeerperiode (Beersel globaal).45

figuur18: Effect van algemene extra reductie (correctie 1, streepjeslijn) van de landelijke afstroming op de aangroei van de afstromingsdebieten i.f.v. de terugkeerperiode (Benedenvliet globaal).46

figuur19: Effect van algemene extra reductie (correctie 1, streepjeslijn) van de landelijke afstroming op de aangroei van de afstromingsdebieten i.f.v. de terugkeerperiode (Waasland globaal).46

figuur20: Vergelijking van het specifiek debiet (in l/s/ha) enerzijds afkomstig van de PDM extreme waarden analyse en anderzijds van JFlow®47

figuur21: Correctiefactoren voor stedelijke afwatering bij een oppervlakteberging van 2 mm.49

figuur22: Finale bodemtextuurkaart gehanteerd binnen VLAGG-2017 project.56

figuur23: Finale landgebruikskaart gehanteerd binnen VLAGG-2017 project.57

figuur24: Finale kaart met hellingsgraden gehanteerd binnen VLAGG-2017 project.58

figuur25: Finale kaart met afstromingscoëfficiënten gehanteerd binnen VLAGG-2017 project.59

figuur26: Voorbeeld van gehanteerde afstromingscoëfficiënten voor een landelijk gebied.60

figuur27: Voorbeeld van gehanteerde afstromingscoëfficiënten voor een stedelijk gebied.61

figuur28: Voorbeeld van gehanteerde afstromingscoëfficiënten voor een semi-stedelijk gebied.62

figuur 29: Overzicht van gehanteerde ruwheidscoëfficiënten onder drempelwaarde van 0.1m.....74

figuur 30: Voorbeeld van gesimuleerde wateroverlast voor (links) en na (rechts) toevoeging van een structuur
76

figuur 31: Overzicht van locaties waar in de hydraulische modellen een randvoorwaarde werd toegepast, met aanduiding van de grootteorde in m TAW84

figuur32: Vergelijking tussen modelresultaten bij simulatie met verhoogd vloerpeil (links) en overstromingsvrije gebouwen (rechts) t.h.v. Centrum Sint-Genesius-Rode.....85

figuur 33: Illustratie van principe van hervoeden van afstroming via riolering87

figuur34: Vergelijking gesimuleerd en gemeten gemiddeld dagdebiet voor correctie (Rode lijn geeft 1:1 relatie weer)88

figuur35: Vergelijking gesimuleerd en gemeten gemiddeld dagdebiet na correctie (Rode lijn geeft 1:1 relatie weer).....89

figuur36: Composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar (in rood) en afgevlakt over 60 min concentratietijd voor hervoeden ter hoogte van de waterloop.89

figuur37: Aandeel van de T2 volumes in de globale volumebalans (som van oppervlaktes vermenigvuldigd met overeenkomstige afvoercoëfficiënt) voor de 3 pilootgebieden i.f.v. de terugkeerperiode.91

figuur38: Schematische illustratie gehanteerde methodiek bij samenvoegen deelmodellen tot gebiedsdekkende kaart93

figuur39: Illustratie effect van combineren modelresultaten: voor nabewerking (links) en na nabewerking (rechts).....94

figuur40: Visuele weergave naverwerking van overstromingspolygoon: (1) zones in blauw worden opgevuld, (2) zones in roze worden verwijderd, (3) gecombineerde zones met opp.> 96m² worden weerhouden95

figuur41: Visuele weergave naverwerking waarbij polygoon met waterlopen wordt 'uitgeknipt'96

figuur 42: Voorbeelden van visualisatie overstromingsdiepte op gebouwschil en binnen gebouw98

figuur43: Voorbeeld vergelijking kaart per SRM zone (kleuren) versus globaal model (zwart) (links) en watertoetskaart (rechts). Geselecteerd gebied: Afwaarts Molenbeek Beersel. Simulaties voor terugkeerperiode 100 jaar.....101

figuur44: Voorbeeld vergelijking kaart referentieklimaat 1975 (kleuren) versus klimaat 2016 (grijswaarden) (terugkeerperiode 100 jaar, middengedeelte Molenbeek Beersel).....103

figuur45: Invloed van de correcties op de neerslagvolumes t.o.v. de originele composietbuizen.105

figuur46: Invloed van de correcties op de neerslagvolumes t.o.v. de ruimtelijk gecorrigeerde composietbuizen. 105

figuur47: Vergelijking van de afstromingscorrecties voor urban a versus urban b.106

figuur48: Invloed van de correcties op de piekintensiteiten t.o.v. de originele composietbuizen106

figuur49: Invloed van de correcties op de neerslagvolumes t.o.v. de pilootstudie 2016 (voor een terugkeerperiode van 1000 jaar zijn in de pilootstudie niet de originele composietbuizen gebruikt, maar buizen die ongeveer 20% lager liggen).107

figuur50: Invloed van de correcties op de piekintensiteiten t.o.v. de pilootstudie 2016.107

figuur51: Voorbeeld vergelijking kaart met (kleuren) en zonder (grijstinten) bijkomende landelijke correctie. Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, middengedeelte Molenbeek Beersel.109

figuur52: Voorbeeld vergelijking kaart pilootgebied Waasland zonder afwaartse randvoorwaarde (vrije uitstroom op vloeipeil 0 m TAW, kleuren) en uitbreiding overstromingscontour bij opleggen van een afwaartse randvoorwaarde van 2 m TAW (zwart). Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar.111

figuur53: Verschilkaart van deelbekken 08-01 (Zuunbeek): scenario 50% vermindering t.o.v. basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging.113

figuur54: Detail van verschilkaart ter hoogte van Winnepenningstraat: scenario 50% min basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging.114

figuur55: Detail van verschilkaart ter hoogte van Gustaaf Van der Steenstraat: scenario 50% min basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging. 115

figuur56: Detail van verschilkaart ter hoogte van Mollestraat en Mottenbergstraat: scenario 50% min basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging. 116

figuur58: Voorbeeld van meer specifieke modellering van de hervoeding: zonder T2 hervoeding (gekleurde zones) versus met specifieke T2 hervoeding ter hoogte van lozingspunten (zwart): Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, Kleine Struisbeek118

figuur59: Voorbeeld van meer specifieke modellering van de hervoeding: zonder T2 hervoeding (gekleurde zones) versus met specifieke T2 hervoeding ter hoogte van lozingspunten (zwart): Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, Grote Struisbeek.....119

figuur60: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Genk (lozingspercentage: 26%)121

figuur61: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Berendrecht (lozingspercentage: 23%)121

figuur62: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Sint-Martens-Leerne (lozingspercentage: 27%)122

figuur63: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Leuven (lozingspercentage: 18%)122

figuur 64: Schematische voorstelling van model grid bij verschillende opties van gebouwenvoorstelling...124



figuur65: Vergelijking tussen modelresultaten bij simulatie met verhoogd vloerpeil (boven) en overstromingsvrije gebouwen (midden) t.h.v. Parklaan, Beersel.	125
figuur67: Vergelijking tussen modelresultaten bij simulatie met verhoogd vloerpeil (boven) en overstromingsvrije gebouwen (midden) t.h.v. Centrum Sint-Genesius-Rode.	126
figuur68: Voorbeeld vergelijking kaart met inkleuring vanaf 10 cm drempelwaarde (kleuren) en bijkomende inkleuring vanaf 5 cm (zwart). Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, middengedeelte Beersel.....	128
figuur69: Voorbeeld vergelijking kaart met inkleuring vanaf 10 cm drempelwaarde (kleuren) en bijkomende inkleuring op basis van hazard rating van 0.555 (zwart). Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, middengedeelte Beersel.....	129
figuur70: Overzicht van de maximaal voorkomende terugkeerperiodes in de verschillende deelgebieden van de 3 pilootgebieden (maximale terugkeerperiode voor buiduren tussen 15 minuten en 24 uur).	131
figuur71: Geselecteerde neerslaggebeurtenissen voor Benedenvliet.	132
figuur72: Geselecteerde neerslaggebeurtenissen voor Waasland.	132
figuur73: Geselecteerde neerslaggebeurtenissen voor Beersel.	132
figuur 74: Kaartapplicatie van review website vlagg.be.....	135
figuur 75: Detail uit gecombineerde afstromingsgevoelige kaart met afbakening van de afstromingsgevoelige gebieden voor klimaat 2016.....	139
figuur 76: Detail uit finale afstromingsgevoelige kaart met maximale overstromingsdiepte voor klimaat 2016 – T1000.....	140
figuur 77: Detail uit finale afstromingsgevoelige kaart met maximale stroomsnelheid voor klimaat 2016 – T1000.....	141
figuur 78: Detail uit finale afstromingsgevoelige kaart met maximale gevaarscore voor klimaat 2016 – T1000 142	
figuur 79: Vergelijking tussen de VLAGG2017 kaart – klimaat 2016 (links) en de kaart met overstroombare gebieden (rechts) voor de vallei van de Kesterbeek in Beersel	147
figuur 80: Vergelijking tussen de VLAGG2017 kaart – klimaat 2016 (links) en de kaart met overstroombare gebieden (rechts) voor de vallei van de Molenbeek in Beersel	147
figuur 81: Vergelijking tussen de VLAGG2017 kaart – klimaat 2016 (links) en de kaart met overstroombare gebieden (rechts) voor de vallei van de Dender in Grimminge.....	147
figuur82: Bodemkaart van Vlaanderen (Van Ranst & Sys, 2000).	178
figuur83: Weergave gebruikte landbouwzones inclusief antropogene bodems.	182
figuur84: Extract uit de Bodembedekkingskaart van Vlaanderen (bron: AIV).	183
figuur85: Berekeningswijze omzetting leiding met een volledige boogvorm.....	187
figuur86: Voorbeeld van een koker met boogvorm in Infoworks.....	188
figuur87: Voorbeeld van een symmetrische leiding In Infoworks RS.....	189
figuur88: Ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor Vlaanderen voor een aggregatieniveau van 10 minuten (Vaes et al., 2005).....	194
figuur89: Ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor Vlaanderen voor een aggregatieniveau van 360 minuten (Vaes et al., 2005).	194
figuur90: Vereenvoudigde bepaling van de rioolafstromingslengtes.	195
figuur91: Correlatie uitgestrektheid versus afstromingstijd voor Beersel.....	197
figuur92: Correlatie uitgestrektheid versus afstromingstijd voor Antwerpen.....	197

figuur93: Ruimtelijke correctiefactoren voor Beersel (T1000).....	198
figuur94: Ruimtelijke correctiefactoren voor Antwerpen (T1000).	199
figuur95: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Antwerpen.....	200
figuur96: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Antwerpen.....	200
figuur97: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Beersel.....	201
figuur98: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Antwerpen, ingezoomd.....	201
figuur99: Aangroecurve voor hellend gebied Oost- en West-Vlaanderen.....	204
figuur100: Aangroecurve voor droge Leemstreek	204
figuur101: Aangroecurve voor Zandstreek.....	205
figuur102: Aangebrachte notities op VLAGG.be door Stad Antwerpen met aanduiding van zone onder invloed van Ruien	206
figuur103: Ligging van de Ruien in Antwerpen	207
figuur104: Illustratie voor (links) en na (rechts) implementatie drainagegrid bij terugkeerperiode 100 jaar: case rond kathedraal. Donkergrijzezone geeft drainagegrid weer	209
figuur105: Illustratie voor (links) en na (rechts) implementatie drainagegrid bij terugkeerperiode 100 jaar: case Oudeleeuwenrui – Ankerrui. Donkergrijzezone geeft drainagegrid weer	209
figuur106: Impact van implementatie drainagegrid op de overstroombare oppervlakte: ruimtelijke analyse uitgevoerd enkel ter hoogte van het drainage grid	210
figuur107: gedraineerde volumes doorheen het drainage grid i.f.v. tijd.....	210
figuur108: Straatoppervlakte (paars) waarbij verhoogde drainage naar Ruien verondersteld wordt.	211



1 INLEIDING

1.1 Doelstellingen project

Huidig project (verder ook VLAGG-2017 genoemd, als acroniem voor Vlaamse AfstromingsGevoelige Gebieden) heeft als doel een gebiedsdekkende kaart voor Vlaanderen met afstromingsgevoelige gebieden op te maken.

De voorbije jaren werden in Vlaanderen ten behoeve van het hoogwaterbeheer reeds een groot aantal overstromingskaarten ontwikkeld. Vooreerst werden gebiedsdekkend de van nature overstroombare gebieden gekarteerd (NOG-kaart), dit vertrekkend van informatie uit de bodemkaart (1:20.000) over de alluviale en colluviale gronden. De kaart werd vervolgens stelselmatig aangevuld met een kartering van de recent overstroomde gebieden (ROG-kaart), waarbij de uiterste perimeter voor een aantal ernstige overstromingen sedert de jaren '90 manueel werd ingetekend op een schaal 1:5000 - 1:10.000. Parallel werden gemodelleerde overstromingskaarten (MOG-kaart) ontwikkeld langsheen de valleien van de belangrijkste (on)bevaarbare waterlopen in Vlaanderen. Deze kaarten werden in uitvoering van de overstromingsrichtlijn omgezet tot een uniform product (overstromingsgevaarkaart) die voor een 4000-tal kilometer waterloop in Vlaanderen extra karakteristieken als overstromingsdiepte en overstromingskans toont op een resolutie van 10m en tot een schaal van 1:5000.

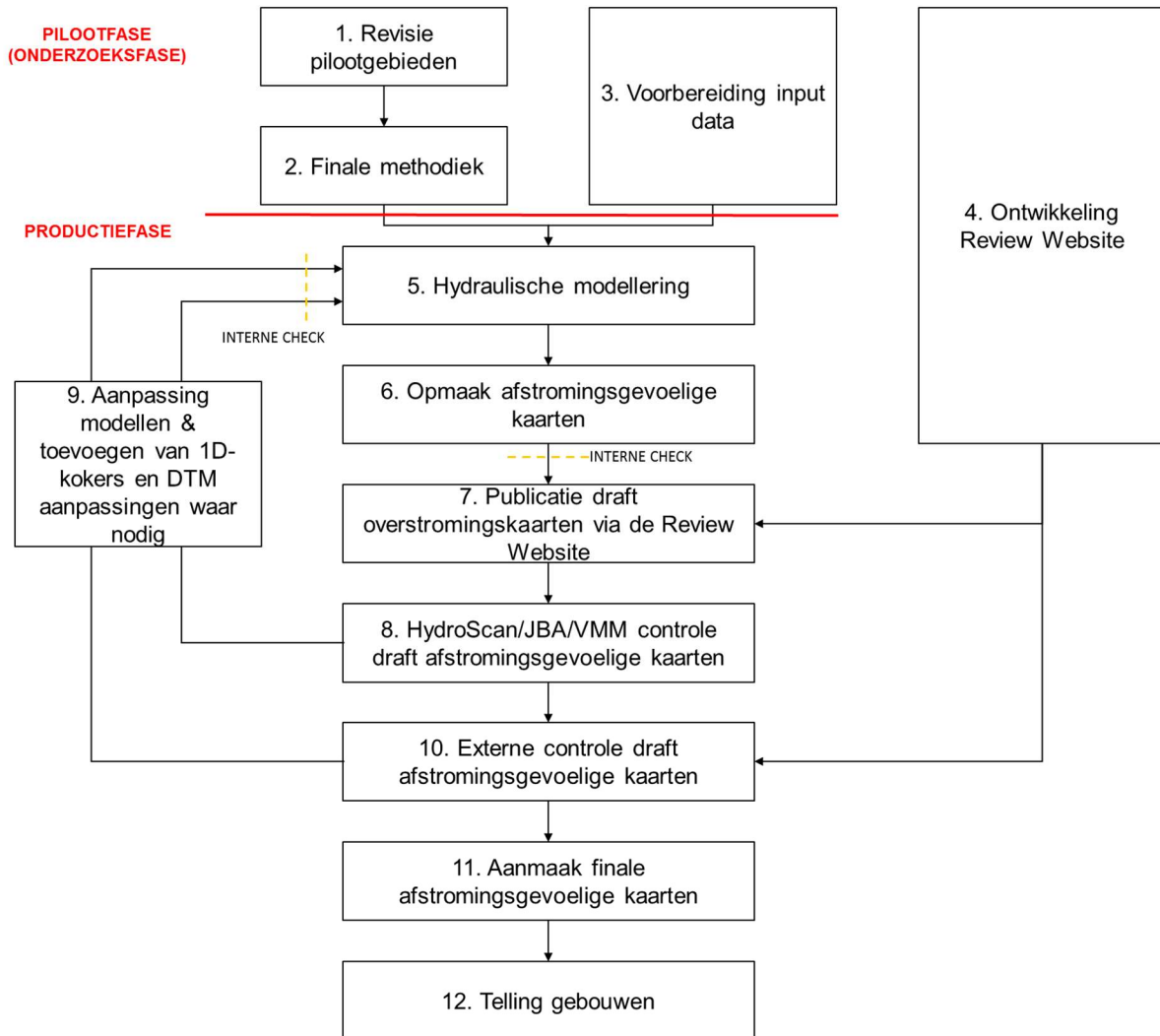
Deze huidige set aan overstromingskaarten wordt dagelijks frequent gebruikt o.a. in het kader van de watertoets advisering en de informatieplicht over de overstromingsgevoeligheid bij transacties van vastgoed. De bovenstaande kaarten werden gecombineerd tot één kaartlaag die de mogelijks overstromingsgevoelige ('licht blauwe') en effectief overstromingsgevoelige ('donker blauwe') gebieden toont. Toch zijn er een aantal beperkingen aan de huidige kaartinformatie, wat leidde tot uitvoering van huidig project:

- De uiterste overstromingsperimeter uit de NOG-kaart kon slechts op middenschalig niveau bepaald worden (1:20.000) en is derhalve beperkt bruikbaar wanneer toegepast op perceelschaal (1:2500). Specifiek voor de mogelijks overstromingsgevoelige gebieden is er dan ook nood aan een fijnschaligere kaart waarbij ook gedetailleerde informatie over de terreinhoogte via het DHM-II Vlaanderen mee in rekening wordt gebracht.
- Gebieden die met wateroverlast geconfronteerd worden, ook in urbane omgevingen, en dit ten gevolge van oppervlakkige afstroming bij extreme neerslagintensiteiten; worden nog niet weergegeven op de bestaande kaarten. Temeer omdat ook in de overstromingsrichtlijn gevraagd wordt naar dit soort informatie, is er nood aan een kaart die de afstromingsgevoelige gebieden toont.
- De informatie omtrent overstromingskansen, overstromingsdieptes en geprojecteerde klimaatinvloeden is niet gebiedsdekkend beschikbaar, maar enkel langs de belangrijkste riviervalleien.

Met voorliggende opdracht is het de bedoeling om tot een volledig gebiedsdekkende kaart te komen die de afstromingsgevoelige gebieden in Vlaanderen toont tot op een perceelschaal van 1:2000. Zowel de maximale waterdiepte, stroomsnelheid als kans van voorkomen op wateroverlast worden via de kaarten getoond. Ook de invloed van klimaatverandering op deze karakteristieken wordt onderzocht.



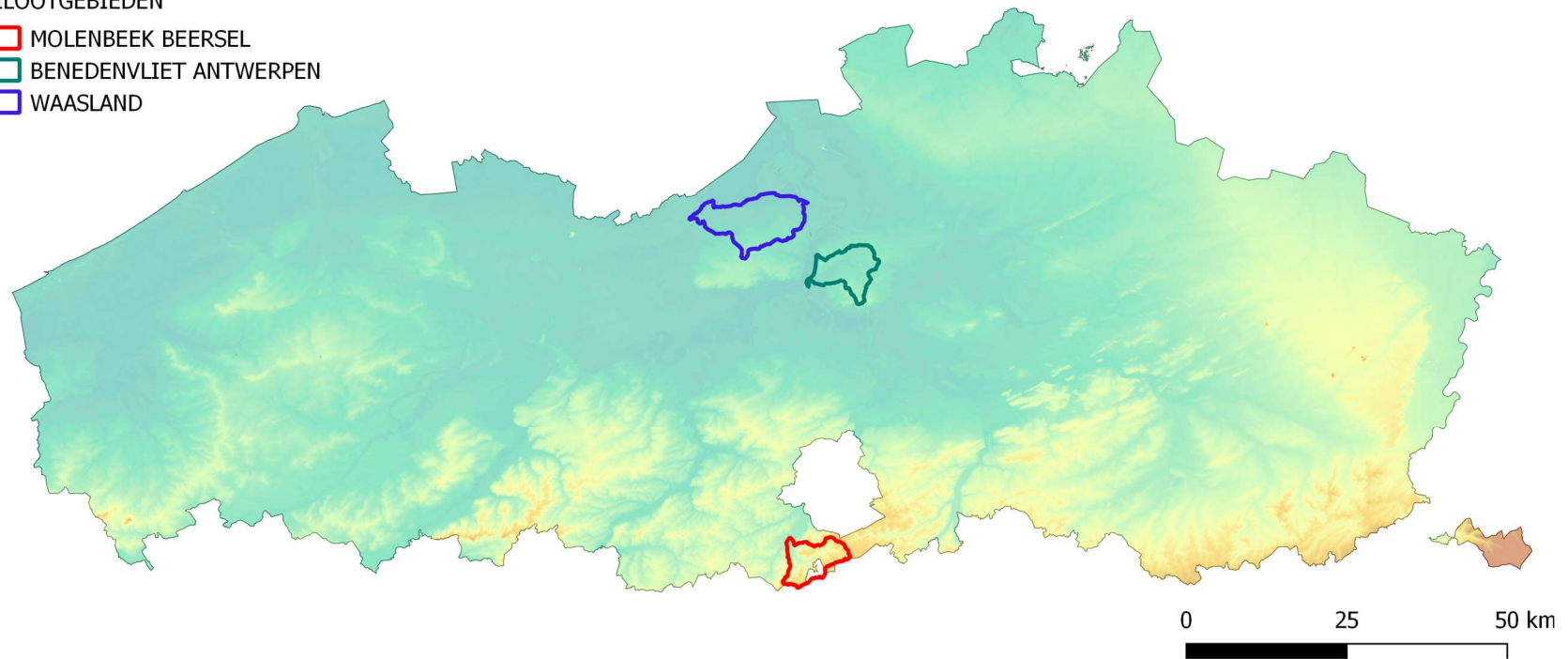
figuur1: Flow chart van het projectverloop



figuur 2: Locatie pilotgebieden binnen huidige studie

PILOOTGEBIEDEN

- MOLENBEEK BEERSEL
- BENEDENVLIET ANTWERPEN
- WAASLAND



1.4 Opbouw rapport

Dit eindrapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 beschrijft de finale methodiek die gevolgd werd bij de opmaak van de afstromingsgevoelige kaarten binnen huidig project.
- Hoofdstuk 3 geeft het resultaat weer van een aantal gevoeligheidsanalyses en methodologische testen die uitgevoerd werden om te komen tot de methodologische keuzes die gemaakt werden
- Hoofdstuk 4 beschrijft de manier waarop de afstromingsgevoelige kaarten gevalideerd werden
- Hoofdstuk 5 geeft een overzicht en bespreking van de resultaten van huidig project
- Hoofdstuk 6 ten slotte vermeldt een aantal uitdagingen die huidige kaartensets vertonen en geeft aanbevelingen naar verdere verbetering van de kaarten



2 METHODIEK

2.1 Inleiding

Binnen huidig project werd de methodiek die uitgewerkt werd in het pilootproject (2016) kritisch geëvalueerd en werden een aantal methodologische testen uitgevoerd op een aantal pilootzones alvorens een finale methodiek op te maken voor de productie van de gebiedsdekkende kaart met afstromingsgevoelige gebieden voor Vlaanderen.

In dit hoofdstuk wordt de finale methodiek beschreven die hiervoor gebruikt werd. Waar relevant worden wel een aantal resultaten uit de methodologische testen beschreven om aan te duiden wat de impact is van de finale keuze op de resultaten en deze finale keuze ook verder te motiveren.

Onderstaande §2.2 beschrijft het algemene modelleringsprincipe dat gebruikt wordt bij de opmaak van de kaarten. In §2.3 is meer uitleg terug te vinden over de software die hierbij gebruikt werd, §2.4 beschrijft de afbakening van de verschillende deelmodellen die gehanteerd werden. De gevolgde methodiek voor de hydrologische en hydraulische modellering is terug te vinden in respectievelijk §2.5 en §2.6. De naverwerking die gebeurde voor de opmaak van de eigenlijke afstromingsgevoelige kaarten is terug te vinden in §2.7. In §2.8 wordt beschreven welke methodiek gehanteerd werd voor de telling van het aantal gebouwen in afstromingsgevoelig gebied.

2.2 Algemeen principe

De afstromingsgevoelige kaarten zijn opgemaakt volgens de techniek van directe neerslag modellering ('Direct Rainfall Modelling', zie ook [Digman et al., 2008], [DEFRA, 2010], [Engineers Australia, 2012]).

Hierbij wordt een model opgebouwd waarbij specifieke neerslagprofielen ('hyetogrammen') worden toegepast op elke cel van een 2-dimensionaal regelmatig raster (in dit geval gebaseerd op het digitaal hoogtemodel Vlaanderen) en wordt de verdere afstroming van water over dit raster gesimuleerd. Deze methode simuleert dus afstroming van water over het maaiveld en identificeert stroompaden voor water en locaties waar water accumuleert. Binnen dit project wordt in de modellen gebruik gemaakt van een regelmatig raster van 2m op 2m.

In deze methode worden fenomenen zoals infiltratie in de ondergrond en afvoer van water via ondergrondse rioolstelsels niet expliciet mee gemodelleerd. Daarom dienen de neerslagprofielen die hierbij gehanteerd worden aangepast te worden om rekening te houden met deze fenomenen. De gebruikte neerslagprofielen bevatten in die zin 'oppervlakte-afstromingsintensiteiten' in plaats van neerslagintensiteiten. Dit wordt verder verduidelijkt in §2.5.



2.3 Gebruikte software

De eigenlijke modellering gebeurt met het softwarepakket JFlow[®], ontwikkeld door JBA Consulting. Dit is een tweedimensionaal model dat de afstroming bepaalt door het oplossen van de zogenaamde 'Shallow Water Equations'. JFlow[®] maakt gebruik van een regelmatig raster, uitgaande van een beschikbaar digitaal hoogtemodel, zonder de noodzaak secundaire rasters te creëren. JFlow[®] werd ontwikkeld met nadruk op een eenvoudige modelopbouw. De JFlow[®] modellen worden hierbij opgebouwd vertrekkende van bestaande databanken, wat toelaat om grote hoeveelheden data op te slaan. De software is ook specifiek ontwikkeld om in parallel te werken op verschillende Graphics Processing Units (GPUs) om het mogelijk te maken 2-dimensionale modellen van grote gebieden met een zeer grote ruimtelijke resolutie te simuleren. Bij het gebruik van traditionele Central Processing Units (CPUs) zou dit immers problemen opleveren met betrekking tot de rekestijden. De finale kaarten werden opgemaakt met behulp van JFlow[®] 9.0.0.

Voor het VLAGG-2017 project werd een specifiek IT 'ecosysteem' opgezet om deze modellen te kunnen simuleren. Dit ecosysteem maakt gebruik van een zogenaamde 'hybrid-cloud'. De GPU rekenkracht is hierbij gecentraliseerd in een intern datacentrum dat gekoppeld is met een Amazon Web Services (AWS) cloud waarop de hoog performante website gehost wordt die gebruikt werd in het kader van het project (zie ook §4.3.2). De modelleringsomgeving wordt gecontroleerd door een HTCondor workload management system wat een hoge graad van flexibiliteit toelaat door gebruik te maken van directed acyclic graph (DAG) taken die zorgen voor een efficiënte aanpak van de modelopbouw, simulatie, aansturen van prioriteiten en naverwerking. Dit systeem maakt gebruik van een aantal open-source tools, waaronder PostgreSQL voor de databankgegevens, GDAL/OGR voor de naverwerking, QGIS voor de GIS-analyses en Mapserver voor de aanmaak van WMS/WMTS lagen.

Onderstaande tabellen geven voor verschillende scenario's (bestaande uit een combinatie van een tijdhorizon/klimaat en een terugkeerperiode – zie §2.5.1) een overzicht van respectievelijk de gemiddelde, minimale en maximale rekestijd van de verschillende deelmodellen die gehanteerd worden binnen huidige studie. Hierbij dient opgemerkt te worden dat niet alle modellen op dezelfde computerinfrastructuur werden gesimuleerd. Hierdoor kunnen modellen die in principe minder reken capaciteit vergen soms een langere rekestijd hebben (omdat ze op minder krachtige computers werden uitgevoerd). Anderzijds is er ook een natuurlijke variabiliteit in de modellen waardoor hogere stroomsnelheden in een specifieke gridcel kunnen leiden tot een aanpassing naar een kleinere tijdstap en dus langere rekestijden veroorzaken.

tabel 1: Gemiddelde rekestijden van de verschillende deelmodellen voor de verschillende scenario's

Terugkeerperiode	Rekestijd model klimaat 2016	Rekestijd model klimaat 2100
10	1 dag 21 uur	2 dagen 1 uur
25	1 dag 21 uur	2 dagen 2 uur
100	2 dagen 1 uur	2 dagen 8 uur
1000	2 dagen 11 uur	2 dagen 19 uur



tabel 2: Minimum reketijden van de verschillende deelmodellen voor de verschillende scenario's

Terugkeerperiode	Reketijd model klimaat 2016	Reketijd model klimaat 2100
10	13 uur	14 uur
25	14 uur	12 uur
100	13 uur	13 uur
1000	15 uur	15 uur

tabel 3: Maximum reketijden van de verschillende deelmodellen voor de verschillende scenario's

Terugkeerperiode	Reketijd model klimaat 2016	Reketijd model klimaat 2100
10	10 dagen 11 uur	10 dagen 14 uur
25	10 dagen 19 uur	10 dagen 8 uur
100	10 dagen 11uur	10 dagen 9 uur
1000	11 dagen 0 uur	10 dagen 15 uur

Een gedetailleerd overzicht van de reketijden van de verschillende deelmodellen en scenario's is terug te vinden in bijlage 2.

2.4 Modelafbakening

Voor de gebiedsdekkende modellering van Vlaanderen zijn 102 modelgebieden afgebakend (zie figuur3). Hierbij werd vertrokken van de SRM (simplified runoff model) zones zoals aangeleverd door VMM, die verder aangepast werden in het kader van huidig project. Enerzijds werden de grenzen van deze SRM zones beperkt aangepast om een betere overeenkomst te krijgen met het digitaal hoogtemodel en minder randeffecten te krijgen (optimale waterscheidingslijnen en begrenzing t.h.v. bevaarbare waterlopen). Anderzijds werden verschillende SRM zones samengevoegd om zo goed mogelijk overeen te komen met hydrologisch onafhankelijke deelgebieden. De afbakening van de modelgebieden komt hierbij in grote lijnen overeen met deze van de bestaande afbakening van de deelbekkens in Vlaanderen.

De modelgebieden hebben een oppervlakte variërend van 30 km² tot 400 km². Het voordeel van deze grotere modelgebieden (t.o.v. de eerdere pilootstudie) is dat afstroming van opwaartse zones binnen een deelmodel doorgegeven wordt naar de afwaartse zones en hier beter rekening gehouden wordt met dit opwaartse debiet. Hierdoor zijn er ook minder afwaartse randvoorwaarden nodig.

Om ophoping van water aan de afwaartse rand van de modellen te vermijden, worden deze randen als transmissief beschouwd, waardoor afstromend water uit het modelgebied kan stromen. Aangezien de verschillende deelmodellen onafhankelijk van elkaar gemodelleerd worden, betekent dit dat water van het ene model niet doorgegeven wordt naar een stroomafwaarts model. Hierdoor kan ter hoogte van het stroomopwaarts deel van een waterloop in een bepaald model de overstroming vanuit de waterloop onderschat zijn, aangezien geen rekening gehouden wordt met het instroomdebiet van de waterloop van een stroomopwaarts gelegen modelgebied. Om dit op te vangen wordt rondom de grenzen van een

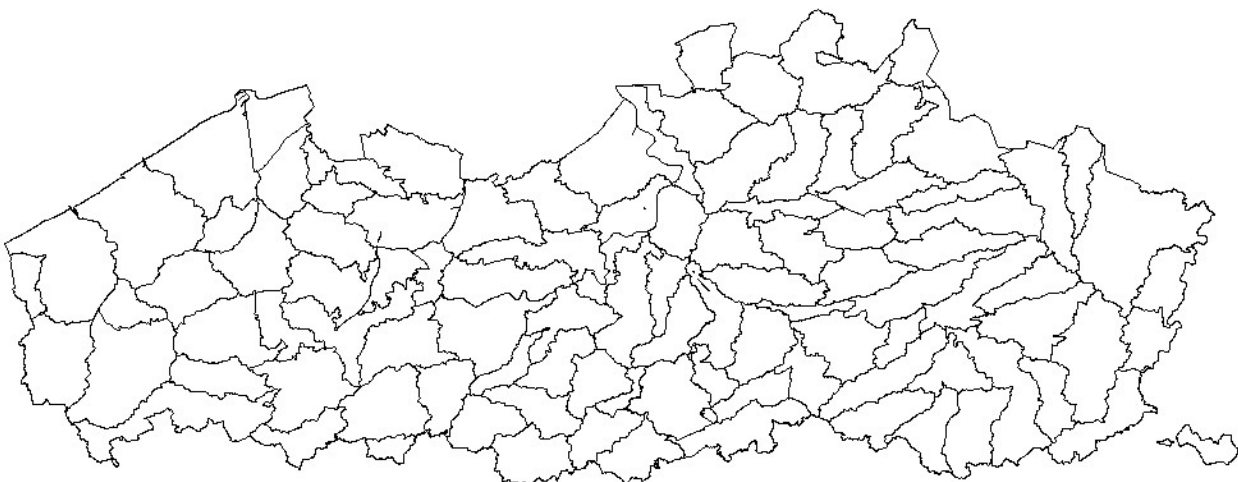
//

deelmodel telkens een buffer van respectievelijk 500 m, 1 km of 3 km gedefinieerd (afhankelijk van de noodzaak voor dat specifieke deelmodel) die mee gemodelleerd wordt met het betrokken deelmodel. Hierdoor zal het water van opwaartse gebieden al grotendeels cumuleren alvorens het het eigenlijke modelgebied instroomt, wat beter resultaten oplevert ter hoogte van het opwaarts deel van waterlopen. Onderstaande figuur4 geeft een overzicht van de bufferafstand die gebruikt werd voor de verschillende deelmodellen.

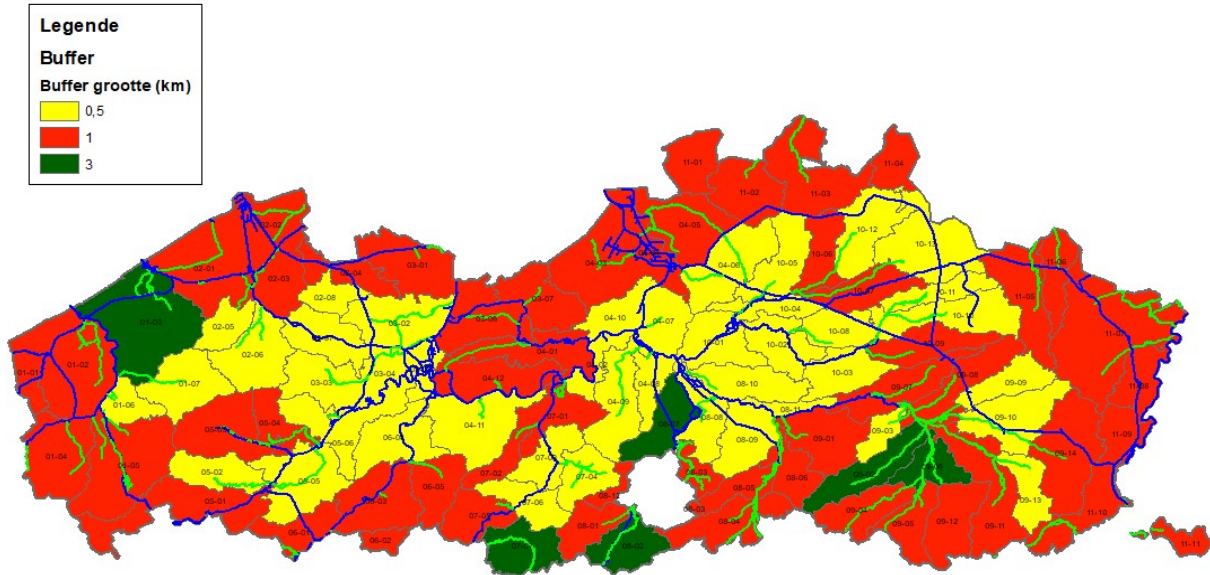
Een tabel met de interne nummering en benaming van de deelmodellen is terug te vinden in tabel4.

Opmerking: In de initiële modelafbakening werd het grondgebied van Baarle-Hertog niet opgenomen omdat hier een aantal basisgegevens ontbraken en het onmogelijk was rekening te houden met de hydrologische en hydraulische interactie met de percelen op Nederlands grondgebied. In de uiteindelijke kaarten worden hier echter wel resultaten weergegeven, waarbij voor de afstroming op Nederlands grondgebied uitgegaan werd van gemiddelde waarden (bv. voor afstromingscoëfficiënten en ruwheid).

figuur3: Modelafbakening deelmodellen gebruikt bij de opmaak van de afstromingsgevoelige kaarten voor Vlaanderen



figuur4: Overzicht gehanteerde bufferafstanden per deelmodel



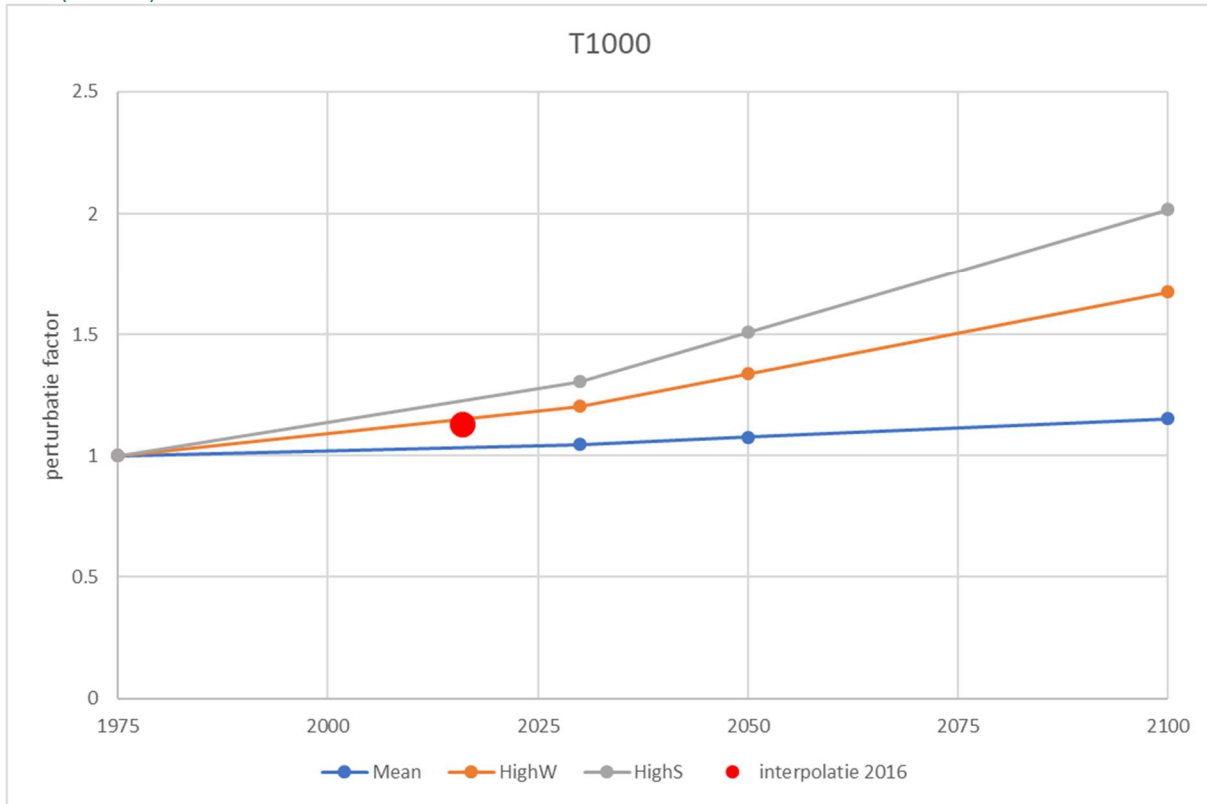
tabel4: Benaming deelmodellen gehanteerd binnen VLAGG-2017 project

ID	Naam Modelgebied	ID	Naam Modelgebied	ID	Naam Modelgebied
01-01	Bergenvaart-Ringslot	04-02	Scheldeschorren	06-05	Zwalm
01-02	Langeleed-Beverdijkvaart	04-03	Land van Waas	07-01	Vondelbeek
01-03	Gistel-Ambacht	04-04	Scheldehaven	07-02	Molenbeek Erpe-Mere
01-04	Hoppeland	04-05	Benedenschijn	07-03	Middendender
01-05	Ieper-Ambacht	04-06	Bovenschijn	07-04	Bellebeek
01-06	Blankaart	04-07	Benedenvliet	07-05	Gaverse Meersen
01-07	Handzamevallei	04-08	Zielbeek	07-06	Ninoofse Meersen
02-01	Oudlandpolder Blankenberge	04-09	Vliet	07-07	Marke
02-02	Zwinstreek	04-10	Barbierbeek	08-01	Zuunbeek
02-03	Damse Polder - Sint-Trudoledeken	04-11	De drie Molenbeken	08-02	Zenne-Molenbeek
02-04	Meetjeslandse polders	04-12	Scheldeland	08-03	Woluwe
02-05	Kerkebeek	05-01	Grensleie	08-04	Laan-Ijse
02-06	Rivierbeek	05-02	Heulebeek	08-05	Voer
02-07	Brugse Vaart	05-03	Mandel	08-06	Molenbeek-Bierbeek-Lemingsbeek-Abdijbeek
02-08	Ede	05-04	Devebeek	08-07	Zenne-Maalbeek-Aabeek
03-01	Krekenland	05-05	Gaverbeek	08-08	Barebeek-Benedendijle
03-02	Burggravenstroom	05-06	Benedenleie	08-09	Leibeek-Weesbeek-Molenbeek
03-03	Poekebeek	06-01	West-Vlaamse Scheldemeersen	08-10	Vrouwvliet
03-04	Oude Kale	06-02	Molenbeek Ronse	08-11	Laak
03-05	Gentse binnenwateren	06-03	Scheldeheuvels	08-12	Neerpedebeek-Broekbeek-Kleine Maalbeek
04-01	Ledebeek en Durme	06-04	Scheldemeersen		

ID	Naam Modelgebied
09-01	Winge-Nieuwe Motte
09-02	Velpe
09-03	Begijnebeek
09-04	Grote Gete
09-05	Kleine Gete
09-06	Beneden Gete
09-07	Winterbeek-Ossebeek
09-08	Zwarte Beek
09-09	Mangelbeek
09-10	Midden Demer
09-11	Herk
09-12	Melsterbeek
09-13	Mombeek
09-14	Boven Demer
10-01	Beneden Nete
10-02	Benedengebied Grote Nete
10-03	Middengebied Grote Nete
10-04	Benedengebied Kleine Nete
10-05	Molenbeek-Bollaak
10-06	Beneden Aa
10-07	Middengebied Kleine Nete
10-08	Wimp

ID	Naam Modelgebied
10-12	Boven Aa
10-13	Bovenlopen Kleine Nete
11-01	Kleine Aa
11-02	Weerijs
11-03	Mark
11-04	Aa-Leyloop
11-05	Dommel
11-06	Warmbeek
11-07	Noordoost-Limburg
11-08	Zanderbeek en Vrietselbeek
11-09	Kikbeek en Ziepbeek
11-10	Jeker en Heeswater
11-11	Voeren

Figuur 5: Klimaatperturbatiefactoren bij een terugkeerperiode van 1000 jaar (KU Leuven) met aanduiding van de interpolatie voor 2016 (rode bol).



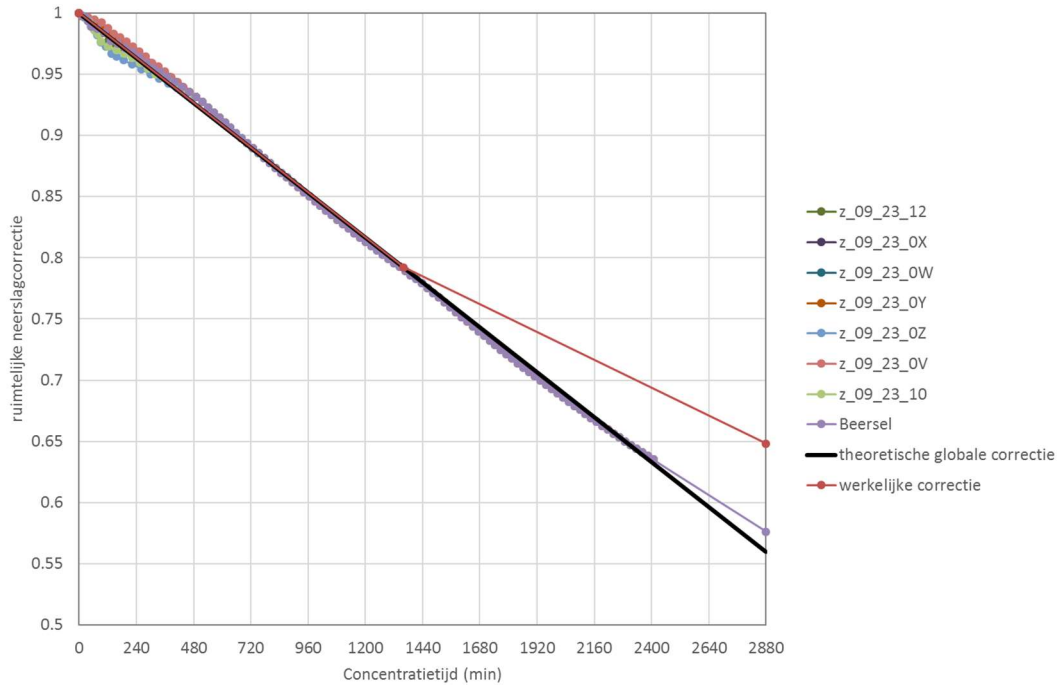
2.5.2 Ruimtelijke neerslagcorrectie

Op de standaard composietbuien wordt een correctie toegepast die het effect van de ruimtelijke spreiding van de neerslag weergeeft. Neerslag kan immers sterk van intensiteit verschillen op korte afstand, zeker voor hevige zomerse buien die in deze studie beschouwd worden. Deze correctie heeft geen effect op de piekintensiteit van de bui, maar wel op de volumes in de buien.

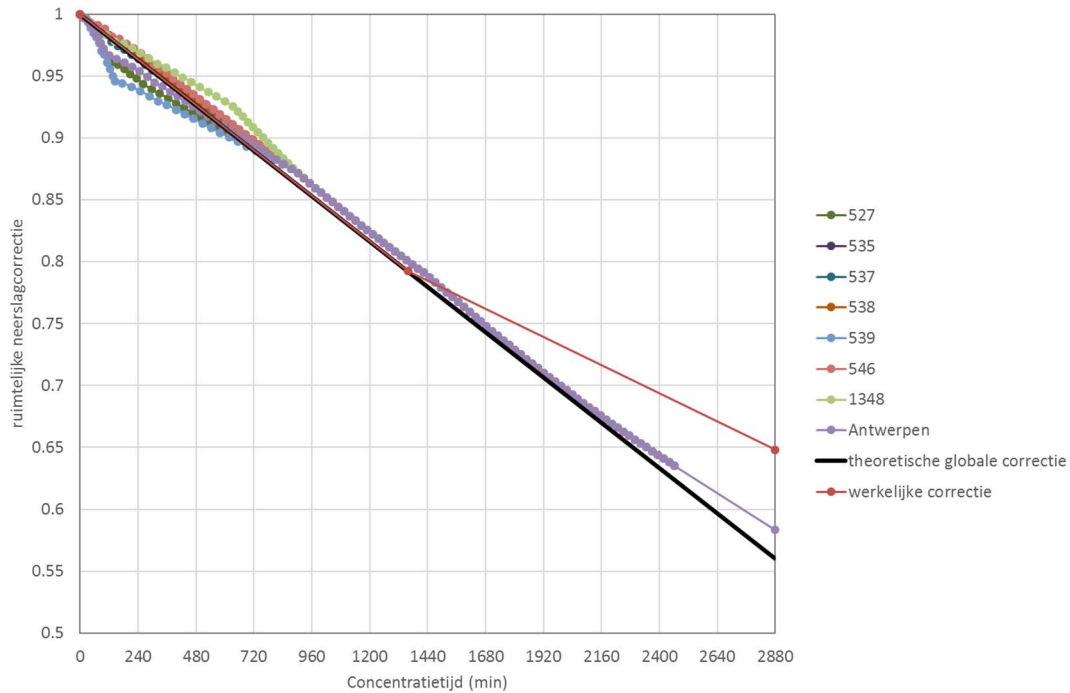
Tijdens de pilootstudie in 2016 werden door HydroScan reeds gedetailleerde ruimtelijke correcties bepaald per SRM zone (zie bijlage 6) voor de beschouwde pilootgebieden [HydroScan, 2016]. Om de ruimtelijke correctie in rekening te brengen op de buien wordt hierbij vertrokken van de ruimtelijke correctiefactoren zoals ontwikkeld door [Vaes et al., 2005], waarbij voor huidige studie de correctiefactoren in meer detail bepaald werden. Deze correctiefactoren zijn gebaseerd op een stochastische ruimtelijke neerslaggenerator voor Vlaanderen opgesteld door [Willems, 2000]. De ruimtelijke correctiefactoren zijn functie van de grootte (radius) van het gebied, de duur van de neerslag (aggregatieniveau) en de neerslagintensiteit (gemeten puntneerslagintensiteit). Via de concentratietijd van de afstroming is er een verband tussen de grootte van het gebied en de duur van de neerslag. Deze verschilt van gebied tot gebied, omdat bepaalde gebieden sneller afstromen (meer gerioleerd of steiler) dan andere gebieden. De hele variatie van kleine tot voldoende grote concentratietijden dient beschouwd te worden om zowel lokale afwatering als afwatering op de grootste beschouwde schaal te corrigeren.



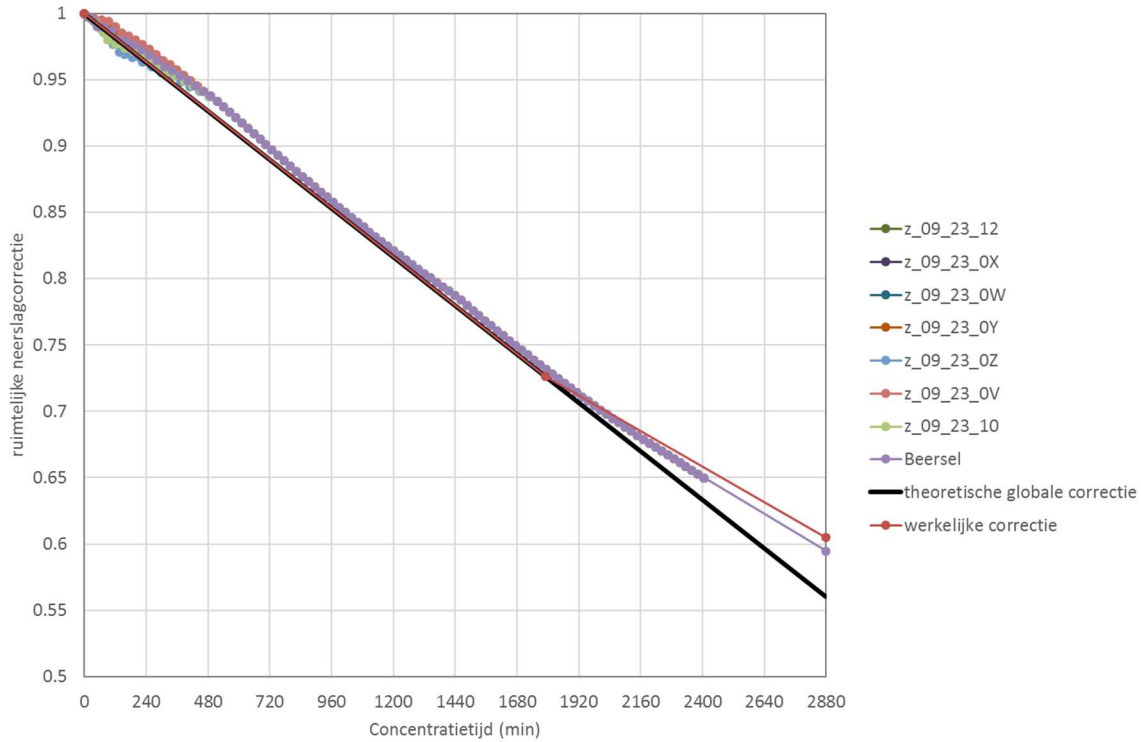
Figuur 6: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Beersel en deelgebieden met de globale correctie voor een terugkeerperiode van 100 jaar.



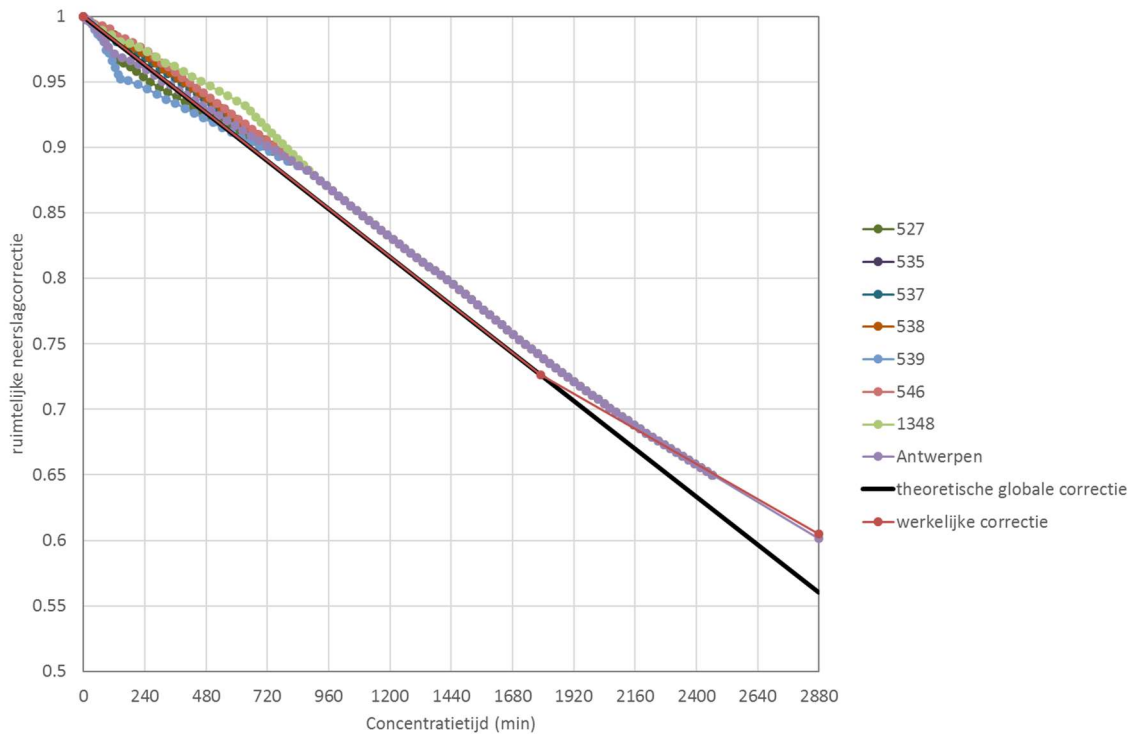
figuur 7: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Antwerpen en deelgebieden (1348 = Benedenvliet) met de globale correctie voor een terugkeerperiode van 100 jaar. De veralgemeende theoretische correctie is weergegeven in de dikke zwarte lijn, maar omdat er geen negatieve neerslagintensiteiten kunnen worden gebruikt, zal de 'werkelijke correctie' uiteindelijk worden toegepast.



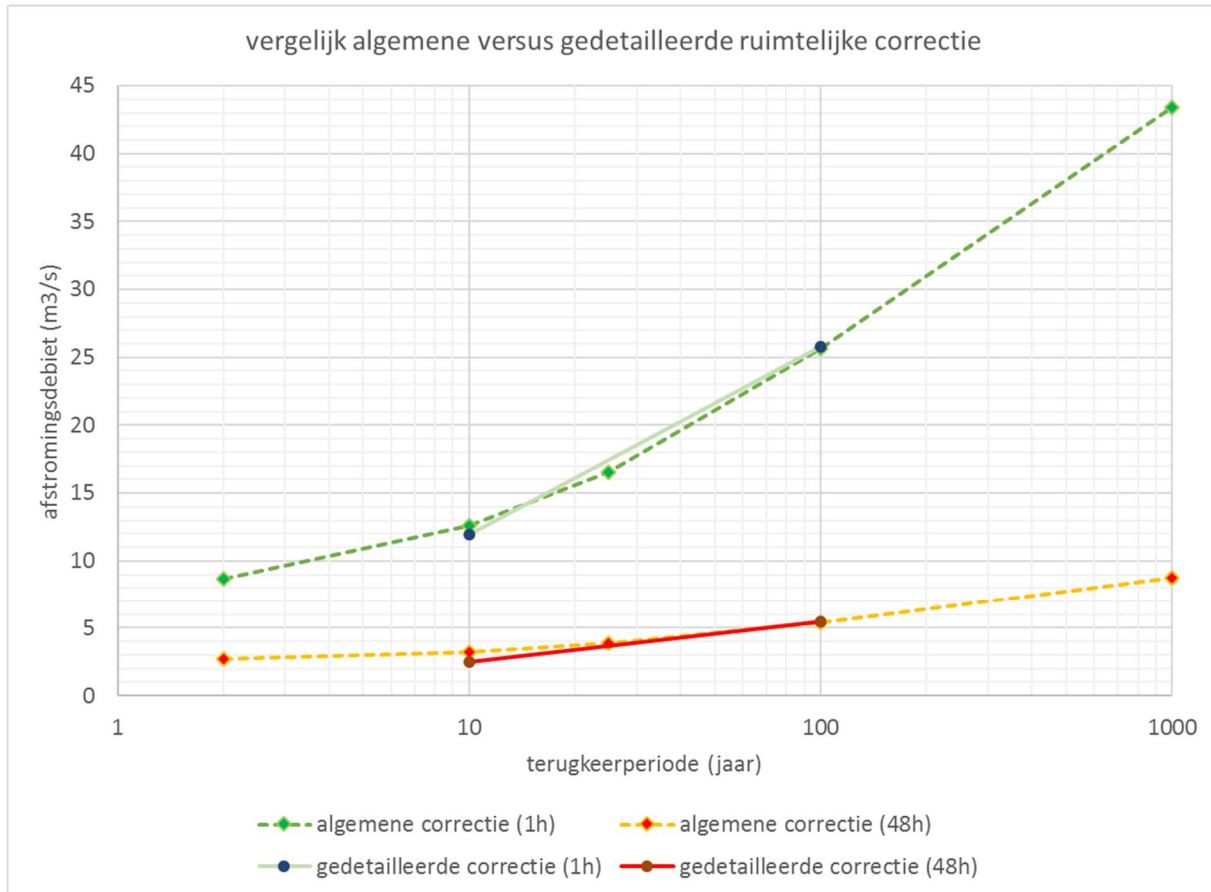
figuur8: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Beersel en deelgebieden met de globale correctie voor een terugkeerperiode van 2 jaar.



figuur9: Vergelijking van de ruimtelijke correctiefactoren voor Antwerpen en deelgebieden (1348 = Benedenvliet) met de globale correctie voor een terugkeerperiode van 2 jaar.



Figuur 10: vergelijking van de gedetailleerde ruimtelijke correctie met de algemene ruimtelijke correctie voor Beersel bij terugkeerperioden van 10 en 100 jaar.



2.5.3 Neerslagcorrectie voor landelijke afstroming

Uit een vergelijking met gekalibreerde riviermodellen en metingen in de waterlopen blijkt dat voor de afstroming van de landelijke oppervlakte een overschatting bekomen wordt van het volume met de gebruikte methodiek bij terugkeerperiodes groter dan 10 jaar. Hiervoor is een extra correctie op de gebruikte buien ingevoerd, zodat een gelijkaardig volume bekomen wordt als in de riviermodellen. Deze correctie is ingewerkt in de buien, maar geeft eigenlijk aan dat de afvoercoëfficiënt daalt bij grotere terugkeerperiodes. Dit laatste is echter moeilijker in te werken in de JFlow[®] modellen, zodat voor deze aanpak gekozen werd. Hoe groter de terugkeerperiode van de neerslag is, hoe kleiner de kans is op samenvallen met een extreme globale (voorafgaandelijke) natte periode die tot een grote verzadiging leidt en dus tot hoge afvoercoëfficiënten. Het is immers in belangrijke mate de voorafgaandelijke verzadiging die de grootte van de piekafvoer bij landelijke afstroming beïnvloedt.



2.5.3.1 Methodiek

Voor het valideren van de landelijke afstroming werden voor 2 testgebieden (Molenbeek Beersel en Benedenvliet Antwerpen) de initiële JFlow® simulatieresultaten vergeleken met de PDM afstromingsdebieten per pilootgebied (aangeleverd door VMM).

De vergelijking gebeurt enerzijds op totale volumes en anderzijds op basis van piekdebieten. Voor de vergelijking van de totale volumes worden de gesimuleerde afstromingsdebieten uit JFlow® daartoe gedurende de looptijd van de simulatie afgevangen op de waterlooplijnen van de 1^e en 2^e categorie waterlopen om zo een hydrogram te verkrijgen per terugkeerperiode dat vergelijkbaar is met de PDM afstromingsdebieten. Aangezien de JFlow® simulaties worden uitgevoerd voor 48 uren en het eenvoudig is om op het einde van de simulatie de volumebalans te controleren, wordt voor deze vergelijking een aggregatieniveau van 48 uur gebruikt.

Daarnaast wordt ook voor de piekdebieten een vergelijking gemaakt. Hiervoor wordt een aggregatieniveau van 1 uur gehanteerd.

Voor deze twee aggregatieniveaus worden de extreme waarden verdelingen vergeleken, enerzijds bekomen met JFlow® en anderzijds o.b.v. PDM.

- Het aggregatieniveau van 48 uur wordt geanalyseerd en vergeleken om de globale volumebalans te evalueren en te zien of de totale afstromingsvolumes, die hoofdzakelijk de accumulerende volumes zullen bepalen in de lagergelegen gebieden en dus in grote mate de overstromingscontouren, in orde zijn. De vergelijkingsbasis is hierbij de afstromingsdebieten van de PDM modellen.
- Het aggregatieniveau van 1 uur wordt geanalyseerd om de aangroeiverhoudingen te analyseren. De aangroeiverhoudingen zijn de verhoudingen van debieten bij verschillende terugkeerperiodes (bijvoorbeeld debiet bij T1000 gedeeld door debiet bij T100). De vergelijkingsbasis hierbij is de aangroeiverhoudingen die bepaald zijn op basis van metingen (zie bijlage 7) eerder dan de PDM piekdebieten.

2.5.3.2 Analyse PDM afstromingsgebieden

Voor de twee pilootgebieden Molenbeek/Beersel en Benedenvliet werden de extreme waarden verdelingen opgemaakt op basis van een lange reeks van PDM afstromingsdebieten gesimuleerd met de lange historische Ukkel-tijdreeks van neerslag en evapotranspiratie die voor Vlaanderen representatief is. De PDM afstromingsdebieten worden per volledig pilootgebied samengeteld, omdat de PDM modellen toch globaal zijn gekalibreerd. De gesimuleerde PDM tijdreeksen hebben een lengte van 108 jaar voor Molenbeek/Beersel en 107 jaar voor Benedenvliet. Voor het bepalen van de POT waarden (Peak Over Threshold) uit de PDM afstromingsreeks wordt een onafhankelijkheidscriterium van 12 uur voor en 12 uur na de piek gebruikt (markers in de extreme waarden figuren). Op basis van de POT waarden is voor zowel de 1 uur piekdebieten als voor het 48 uur aggregatieniveau een exponentiële extreme waarden verdeling gefit (met gewichtsfactoren gebaseerd op de UH schatter, volle lijnen in de extreme waarden grafieken in Figuur 11 en Figuur 12).

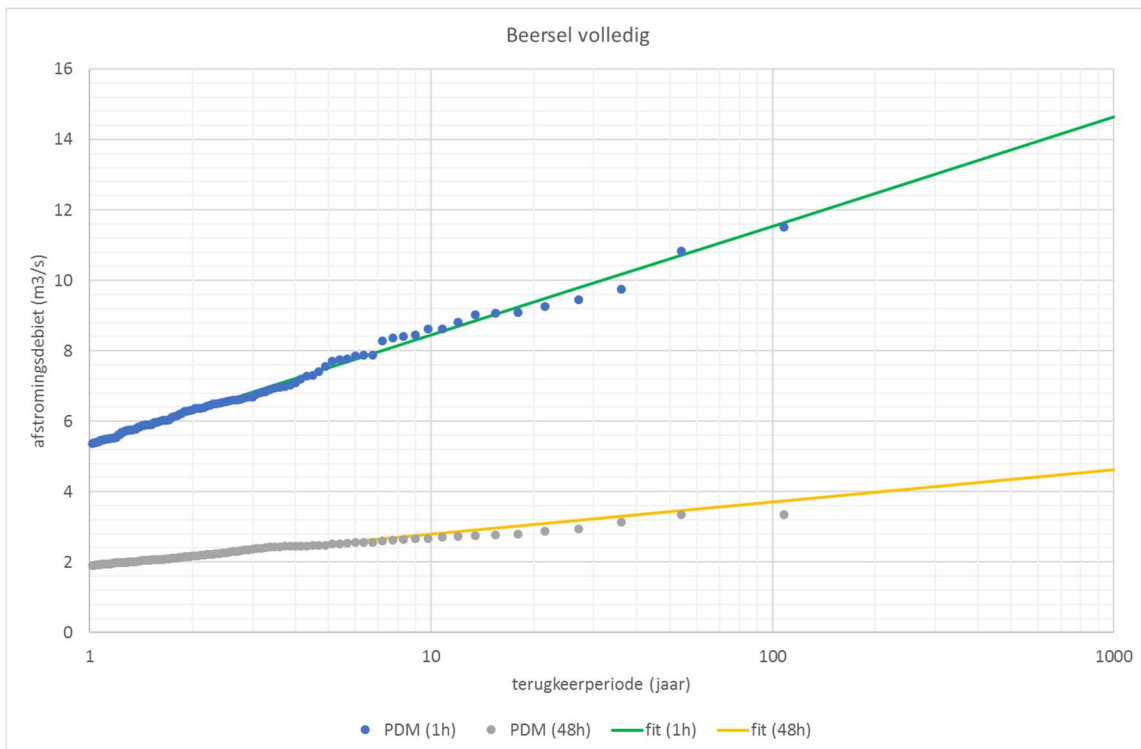
Uit deze analyse van de PDM afstromingsdebieten kunnen volgende conclusies worden getrokken:

- De aangroeiverhouding voor Beersel tussen T100 en T1000 uurdebiet is 1.27, wat lager ligt dan de aangroeiverhouding voor de composietbuizen (1.33) en ook lager dan deze vastgesteld op basis van metingen in de waterlopen (zie bijlage 7 en vergelijking in tabel12 t.e.m. tabel14)
- Benedenvliet geeft analoge waarden voor de aangroeiverhouding tussen T100 en T1000: 1.28
- De aangroeiverhouding bij de PDM modellen tussen T10 en T100 ligt iets hoger dan tussen 100 en 1000, namelijk: 1.37 voor Beersel, 1.39 voor Benedenvliet
- Het meetkundig gemiddelde (wortel uit het product van de aangroeiverhoudingen T1000/T100 en T100/T10) van de aangroeiverhoudingen tussen T10 en T1000 is dan: 1.32 voor Beersel, 1.33 voor Benedenvliet
- De totale aangroeiverhoudingen tussen T10 en T1000 zijn gelijk aan het product van de aangroeiverhoudingen T1000/T100 en T100/T10: 1.74 voor Beersel, 1.78 voor Benedenvliet

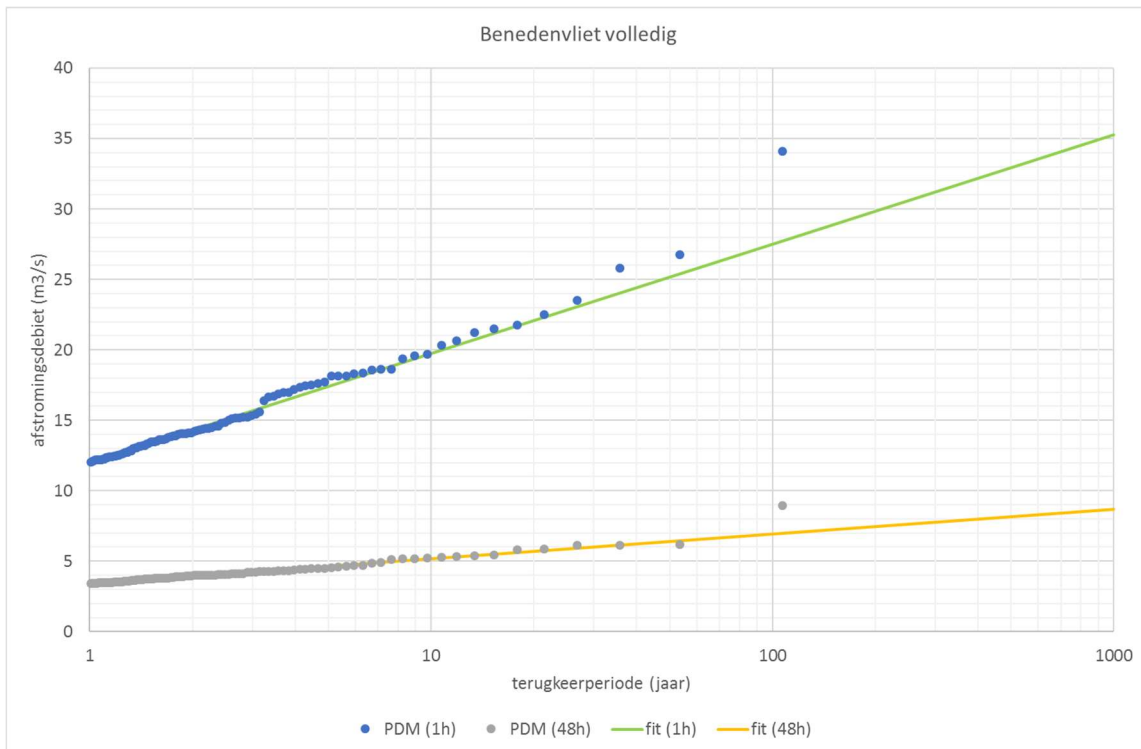
Deze PDM debieten zijn wel gesommeerde afstromingsdebieten langsheen de waterloop en geen (verder afgevlakte) debieten ter hoogte van het afwaartse (meet)punt, waardoor de vergelijking van de aangroeiverhoudingen met voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd.

De aangroeiverhoudingen van de PDM modellen zijn te laag t.o.v. de metingen. Een exponentiële extreme waarden verdeling voor de PDM afstromingsdebieten lijkt vanuit dit standpunt dus niet optimaal, maar de staart van de verdelingen geven geen significante aanleiding om hier een andere extreme waarden verdeling voor te gaan gebruiken.

Figuur 11: Extreme waarden verdeling voor de PDM afstromingsdebieten voor Beersel bij aggregatieniveaus van 1 en 48 uur.



Figuur 12: Extreme waarden verdeling voor de PDM afstromingsdebieten voor Benedenvliet bij aggregatieniveaus van 1 en 48 uur.



2.5.3.3 Analyse JFlow® simulaties

Alle JFlow® simulaties zijn uitgevoerd met:

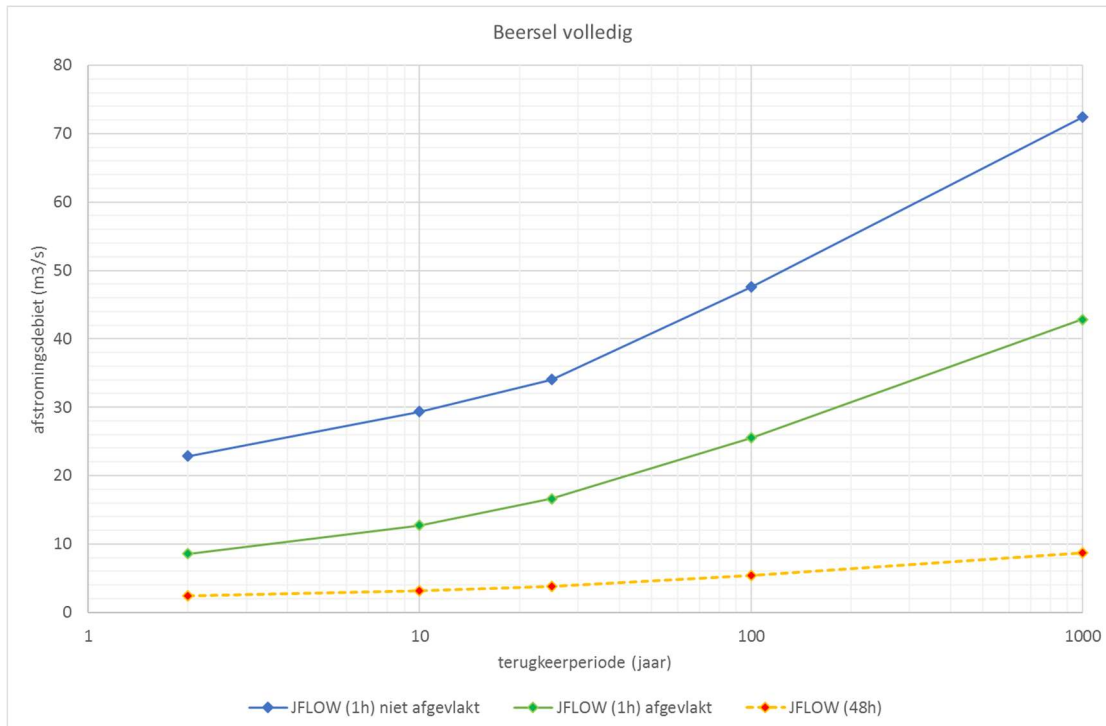
- landelijke afvoer: nieuwe afvoercoëfficiënten t.o.v. pilootstudie 2016 (beperkte aanpassingen t.o.v. de 2016 pilootstudie - zie §2.6.1)
- stedelijke afvoer (incl. verharding rond de woningen, dus urban a en urban b): gebouwen en wegenis (urban a) krijgen afvoercoëfficiënt = 1, verharding rond de woning (urban b) krijgt een afvoercoëfficiënt = 0.65 (zie §2.6.1); bijkomende verliezen t.g.v. de oppervlakte-afstroming worden toegelicht in §2.5.4.1
- T2 afgetrokken bij stedelijke afvoer: enkel voor gebouwen en wegenis (urban a), gebaseerd op de originele composietbui zonder ruimtelijke correctie: hiervoor is de riolering in principe gedimensioneerd (zie §2.5.4)
- globale ruimtelijke correctie op de buien in rekening gebracht (zie §2.5.2): deze geeft reeds een zeer belangrijke volumecorrectie tot 60% van het oorspronkelijke buivolume (ruimtelijk gecorrigeerde versus niet-ruimtelijk gecorrigeerde composietbuizen) bij de totale buiduur van 48 uur
- alle SRM zones apart gesimuleerd, maar afstroming opgeteld om globale volumebalans per pilootgebied te maken, omdat de PDM modellen ook globaal gekalibreerd zijn



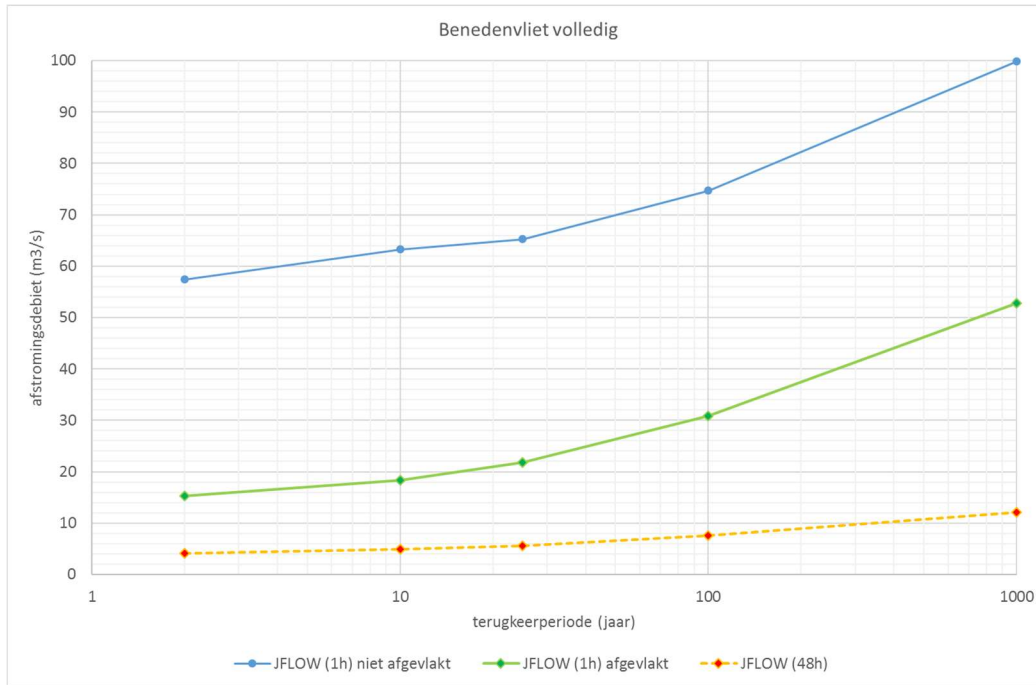
Voor de piekdebieten voor Benedenvliet liggen de niet extra afgevlakte waarden uit JFlow[®] veel hoger dan de PDM debieten, maar met de extra afvlakking tot aan het afwaartse (meet)punt liggen ze wel in de buurt (figuur14). Hierbij moet opgemerkt worden dat de manier waarop de PDM modellen zijn afgeijkt, een zeer grote invloed heeft op de vergelijking van de piekdebieten (1 uur aggregatieniveau), die dus met de nodige omzichtigheid moet gebeuren. Vandaar dat deze piekdebieten hoofdzakelijk gebruikt worden om de aangroeiverhoudingen te vergelijken waar dit veel minder een impact op heeft.

In figuur13 en figuur14 worden de JFlow[®] debieten voor 1 uur aggregatieniveau getoond enerzijds zonder bijkomende afvlakking, d.w.z. gesommeerde instroom langsheen de waterlopen en anderzijds met extra afvlakking, d.w.z. getransponeerd naar een debiet ter hoogte van het afwaartse (meet)punt. Daarnaast worden ook voor het 48 uur aggregatieniveau de JFlow[®] afstromingsdebieten getoond (afgevangen op een lijntraject langsheen de hoofdwaterlopen).

figuur13: Extreme waarden verdelingen voor JFlow[®] resultaten voor Beersel bij aggregatieniveaus van 1 uur, 1 uur met extra uitvlakking (7.5 uur) tot afwaarts (meet)punt en van 48 uur (totale simulatieduur).



figuur14: Extreme waarden verdelingen voor JFlow® resultaten voor Benedenvliet bij aggregatieniveaus van 1 uur, 1 uur met extra uitvlakking (7 uur) tot afwaarts (meet)punt en van 48 uur (totale simulatieduur).



2.5.3.4 Resultaten ongecorrigeerde landelijke afvoer

In figuur15 en figuur16 worden de extreme waarden verdelingen van de JFlow® debieten vergeleken met deze van de PDM debieten en dit voor aggregatieniveaus van 1 uur (met extra afvlakking tot aan het afwaarts punt) en 48 uur.

Volgende conclusies kunnen worden getrokken uit deze vergelijking:

- Voor de totale volumes (48 uur aggregatieniveau) liggen de JFlow® resultaten voor Beersel en Benedenvliet heel dicht in de buurt van de PDM resultaten voor de lagere terugkeerperioden.
- Voor piekdebieten (1 uur aggregatieniveau) liggen de JFlow® debieten voor Beersel veel hoger dan de PDM debieten, zelfs na afvlakking over de afstromingstijd naar het afwaartse (meet)punt. Dit kan te verklaren zijn doordat het PDM model is afgeijkt als 1 globaal landelijk lumped model, waarbij de piekafvoer van gerioleerd gebied mee als 'landelijke' afstroming wordt gemodelleerd (en niet als een aparte snellere afstroming) en de afijking is gebeurd op de afgevlakte debieten t.h.v. de meetlocatie en niet op effectieve afstroomdebieten langsheen de waterloop.
- Aangezien de totale volumes wel goed overeenkomen, zal dit verschil tussen JFlow® debieten en PDM debieten kleiner worden naarmate het aggregatieniveau stijgt.
- Voor Benedenvliet liggen zowel (afgevlakte) piekdebieten als volumes vanuit JFlow® heel dicht in de buurt van de PDM resultaten.



- Wanneer we enkel naar de landelijke afvoer van JFlow[®] kijken en deze waarden extrapoleren voor het gehele afwateringsgebied, liggen de JFlow[®] piekdebieten (als instroom t.h.v. de waterlopen) ook nog veel hoger dan de PDM afstromingsdebieten. Dit is logisch omdat JFlow[®] op elke plaats rekening wil houden met een piekeffect, terwijl PDM enkel een globaal lumped afwateringsdebiet beoogt.
- De aangroeiverhouding bij JFlow[®] tussen T100 en T1000 uurdebiet is voor Beersel 1.68, wat veel hoger ligt dan de aangroeiverhouding voor de neerslag (1.33) en ook hoger dan deze vastgesteld op basis van metingen in de waterlopen (zie bijlage 7 en vergelijking in tabel12 t.e.m. tabel14); voor Benedenvliet is dit ook zo met een aangroeiverhouding tussen T100 en T1000 uurdebiet van 1.71.

Daarenboven zullen zonder hervoeden van de T2 afstroming naar de waterloop de volumes in de waterloop bij kleine terugkeerperioden onderschat worden. In §2.6.7 wordt verder ingegaan op het hervoeden van de T2 afstroming.

De verhoudingen tussen de debieten van JFlow[®] en PDM voor een ongecorrigeerde landelijke afvoer zijn voor Beersel weergegeven in Tabel 8 en voor Benedenvliet in Tabel 9.

Het feit dat de aangroeiverhoudingen op basis van de JFlow[®] simulaties heel wat groter zijn dan wat o.b.v. de neerslag alleen kan worden verwacht, valt te verklaren doordat het afstromend volume in JFlow[®] vooral afhankelijk is van het neerslagvolume verminderd met het maximaal op het terrein stockeerbaar volume. Hoe extremer de bui is, hoe groter dan ook de relatieve afstroming zal zijn, omdat het stockeerbare volume niet evenredig stijgt. De aangroeiverhoudingen o.b.v. de metingen (bijlage 7) bevestigen dit doordat de gemeten debieten niet exponentieel toenemen zoals de neerslag, maar meer dan exponentieel. Ook voor de volumebalans op 48 uur blijkt dat de volumes bij grote terugkeerperiodes significant naar boven afwijken.

Wat de aangroeiverhoudingen betreft, kan er worden geconcludeerd dat deze in JFlow[®] significant te groot zijn t.o.v. de metingen (bijlage 7).

Tabel 8: Verhoudingen tussen de debieten van JFlow[®] en PDM voor Beersel (zonder correctie landelijke afvoer).

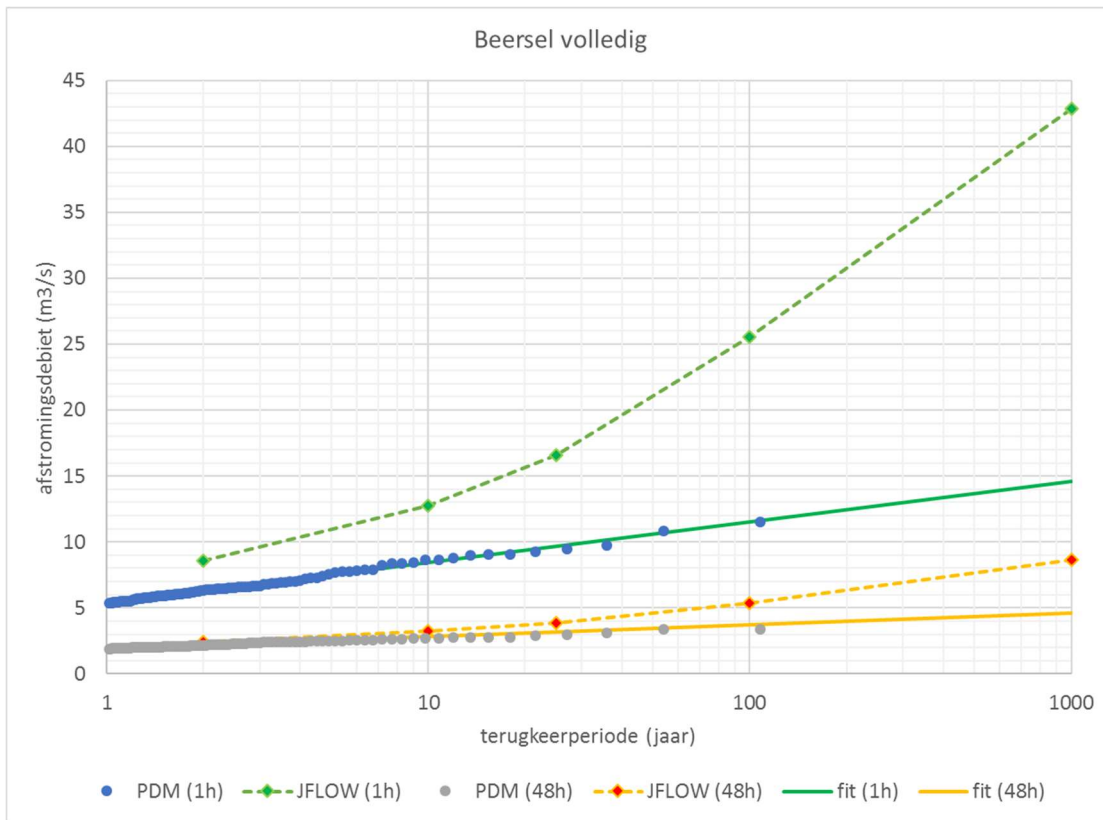
Terugkeerperiode (jaar)	JFlow [®] / PDM (1 uur)	JFlow [®] / PDM (48 uur)
2	137%	112%
10	151%	115%
25	172%	122%
100	221%	145%
1000	293%	187%

Tabel 9: Verhoudingen tussen de debieten van JFlow[®] en PDM voor Benedenvliet (zonder correctie landelijke afvoer)

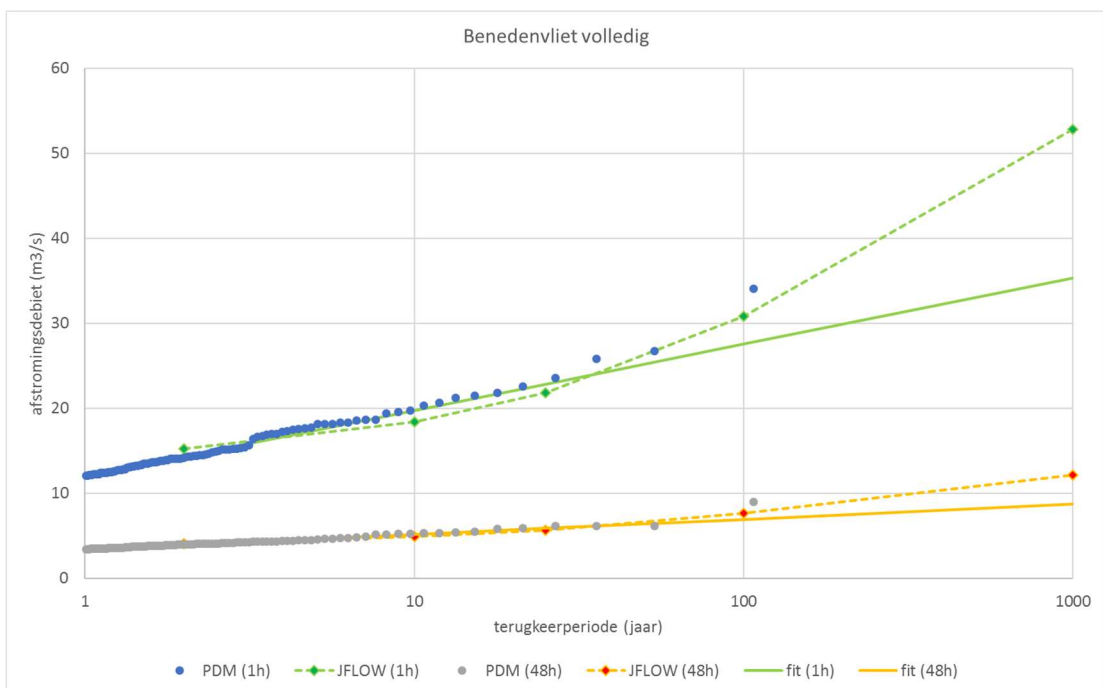
Terugkeerperiode (jaar)	JFlow [®] / PDM (1 uur)	JFlow [®] / PDM (48 uur)
2	106%	103%
10	93%	95%
25	96%	96%
100	112%	110%
1000	150%	139%



figuur15: Vergelijking afstromingsdebieten voor het globale pilotgebied Beersel (ongecorrigeerd).



figuur16: Vergelijking afstromingsdebieten voor het globale pilotgebied Benedenvliet (ongecorrigeerd).



2.5.3.5 Correctie landelijke afvoer

Om de aangroeiverhouding te beperken, kan de landelijke afstroming in JFLOW voor grotere terugkeerperioden worden verminderd. Immers de combinatie van een extreme afvoercoëfficiënt met een extreme bui leidt tot een meer extreme afstroming dan op basis van de terugkeerperiode van de bui alleen blijkt. De stedelijke afvoer met afvoercoëfficiënt reageert wel lineair met de toename van de neerslag en heeft bovendien reeds een lage aangroeiverhouding van 1.33 en wordt daarom niet aangepast.

Er wordt voorgesteld om per factor 10 dat de terugkeerperiode aangroeit een bepaalde volumevermindering uit te voeren op de landelijke afstroming voor terugkeerperiodes boven 10 jaar. Deze correcties zijn voor Beersel en Benedenvliet bepaald, zodat de gemiddelde aangroei tussen 10 en 1000 jaar overeenkomt met de aangroecurves gebaseerd op de metingen (tabel10).

tabel10: Nodige reducties (tot ...%) op de landelijke afstroming om de aangroecurves te herleiden tot de gemeten waarden.

Terugkeerperiode (jaar)	Nodige landelijk volume Beersel correctie	Nodige landelijk volume Benedenvliet correctie
10	100%	100%
25	92%	82%
100	81%	65%
1000	68%	48%

De waarden in tabel10 zijn de percentages tot dewelke de afvoer wordt gelimiteerd. De hele composietbui, na ruimtelijke correctie, wordt met dit percentage vermenigvuldigd. Aangezien de aangroeiverhoudingen ook voor de kleine aggregatieniveaus te groot zijn, is een correctie voor alle aggregatieniveaus nodig. Daarom worden de correcties uniform op de hele bui toegepast, dus ook op de piekafstroming.

Op deze manier vermindert de aangroeiverhouding bij uurlijkse debieten tussen T1000 en T100 naar wat in de lijn ligt van de metingen (zie bijlage 7).

Voor Benedenvliet is de nodige correctie groter om de juiste aangroeiverhouding te krijgen, maar omwille van de onzekerheid op de vergelijking bij piekdebieten, lijkt het niet aangewezen om de correctie te sterk door te drijven. De correctie wordt best eerder minimaal gehouden om geen onderschatting van de overstromingen bij grote terugkeerperiodes te maken. Het is wel duidelijk dat bovenop de ruimtelijke correcties zeker ook een significante extra correctie van de landelijke afstromingsvolumes nodig is.



In tabel11 worden twee sets van algemene correcties voorgesteld. De vermenigvuldigingsfactoren zijn toe te passen per 10-delig logaritme van de terugkeerperiode, vandaar dat de correctie tussen T10 en T1000 ongeveer gelijk is aan het kwadraat van de correctie tussen T10 en T100. De tweede set is de uiterste correctie die kan worden doorgevoerd: verder corrigeren is niet aan te raden, want dan zouden de piekneerslagintensiteiten (buiduur van 10 min) dalen i.f.v. stijgende terugkeerperiode. Deze maximale correctie waarbij voor terugkeerperiodes vanaf 10 jaar de piekintensiteit (10 min duur) stagneert en enkel het buivolume voor langere duren nog toeneemt met de terugkeerperiode, betekent dat de lokale (piek)afstroming in zeer grote mate wordt bepaald door de toestand van de ondergrond en bijna niet door de bui zelf.

tabel11: Twee verschillende sets van algemene correcties die zijn uitgetest.

Terugkeerperiode (jaar)	Algemene correctie 1 op landelijke afstroming	Algemene correctie 2 op landelijke afstroming
10	100%	100%
25	90%	87%
100	80%	73%
1000	65%	57%

Een overzicht en vergelijking van de verschillende aangroeverhoudingen voor Beersel is weergegeven in tabel12. De verhoudingen tussen de debieten van JFlow® en PDM voor Beersel na algemene correctie 1 zijn weergegeven in tabel15.

Een overzicht en vergelijking van de verschillende aangroeverhoudingen voor Benedenvliet is weergegeven in tabel13. De verhoudingen tussen de debieten van JFlow® en PDM voor Benedenvliet na algemene correctie 1 zijn weergegeven in tabel16.

Een overzicht en vergelijking van de verschillende aangroeverhoudingen voor Waasland is weergegeven in tabel14.

tabel12: Overzicht aangroeverhoudingen Beersel.

Verhouding terugkeerperiodes	JFLOW			Metingen	PDM
	Ongecorrigeerd	Extra landelijke correctie 1	Extra landelijke correctie 2		
100/10	2.00	1.65	1.53	1.52	1.37
1000/100	1.68	1.45	1.43		1.27
gemiddeld	1.83	1.55	1.48		1.32

tabel13: Overzicht aangroeiverhoudingen Benedenvliet.

Verhouding terugkeerperiodes	JFLOW			Metingen	PDM
	Ongecorrigeerd	Extra landelijke correctie 1	Extra landelijke correctie 2		
100/10	1.68	1.61	1.47	1.48	1.39
1000/100	1.71	1.58	1.52		1.28
gemiddeld	1.69	1.60	1.50		1.33

tabel14: Overzicht aangroeiverhoudingen Waasland.

Verhouding terugkeerperiodes	JFLOW			Metingen	PDM
	Ongecorrigeerd	Extra landelijke correctie 1	Extra landelijke correctie 2		
100/10	1.71	1.47	1.39	1.52	niet beschikbaar
1000/100	1.75	1.48	1.44		
gemiddeld	1.73	1.47	1.42		

Bij deze vergelijking van de aangroeiverhoudingen moet wel worden opgemerkt dat bij deze berekening van de afstroming geen rekening werd gehouden met de specifieke afvlakking ten gevolge van de (gehinderde) hydraulica in de waterloop. Er is enkel rekening gehouden met de intrinsieke (hydrologische) afvlakking over de concentratietijd die rekening houdt met het uitmiddelen omwille van de ruimtelijke bijdragen die niet gelijktijdig toekomen. Er kan worden aangenomen dat deze afvlakking groter zal zijn bij stijgende terugkeerperiode omwille van meer overstroming in de vallei en belangrijkere invloed van bottlenecks. In die zin is het logisch dat de gemeten aangroeiverhoudingen vaak nog iets lager liggen dan wat hier louter op basis van hydrologische berekeningen is gekomen.

Uiteindelijk blijkt uit de vergelijking van het effect van deze twee correcties in de 3 pilootgebieden en de resterende onzekerheden die niet in deze analyse vervat zitten, dat best de kleinste van de twee correcties wordt behouden om gemiddeld een correctie in de juiste grootteorde te doen, maar zeker geen overcorrectie te doen. Deze conclusie is mee onderbouwd door de verschillende correcties te simuleren in JFLOW® en de overeenkomstige afstromingsgevoelige kaarten historisch te verifiëren.

tabel15: Verhoudingen tussen de debieten van JFlow® en PDM voor Beersel na algemene correctie 1.

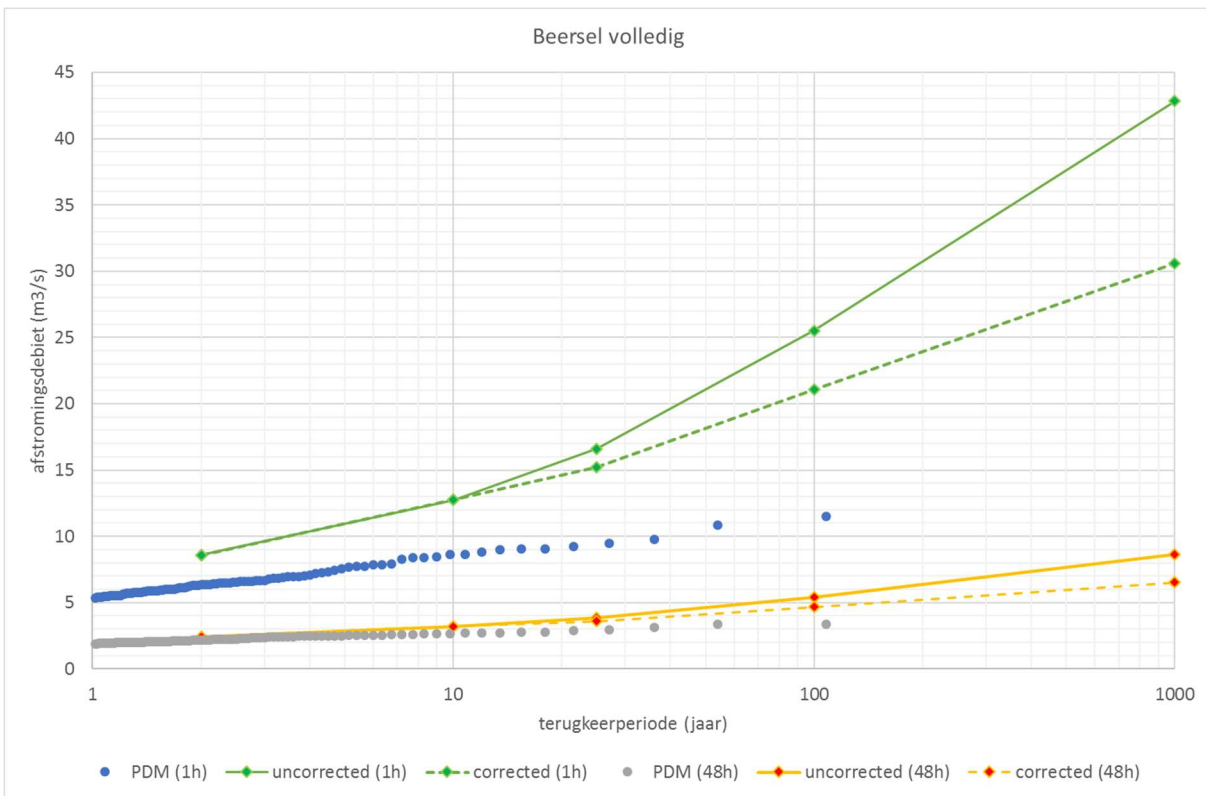
Terugkeerperiode (jaar)	JFlow® / PDM (1 uur)	JFlow® / PDM (48 uur)
2	137%	112%
10	151%	115%
25	157%	114%
100	182%	126%
1000	209%	141%

tabel16: Verhoudingen tussen de debieten van JFLOW en PDM voor Benedenvliet na algemene correctie 1.

Terugkeerperiode (jaar)	JFlow® / PDM (1 uur)	JFlow® / PDM (48 uur)
2	106%	103%
10	93%	95%
25	97%	97%
100	108%	109%
1000	133%	130%

In figuur17 en figuur18 wordt voor respectievelijk Beersel en Benedenvliet het effect van deze bijkomende algemene volumecorrectie getoond op de extreme waarden verdelingen na simulatie in JFlow® (correctie 1). Voor Waasland wordt het effect getoond in figuur19.

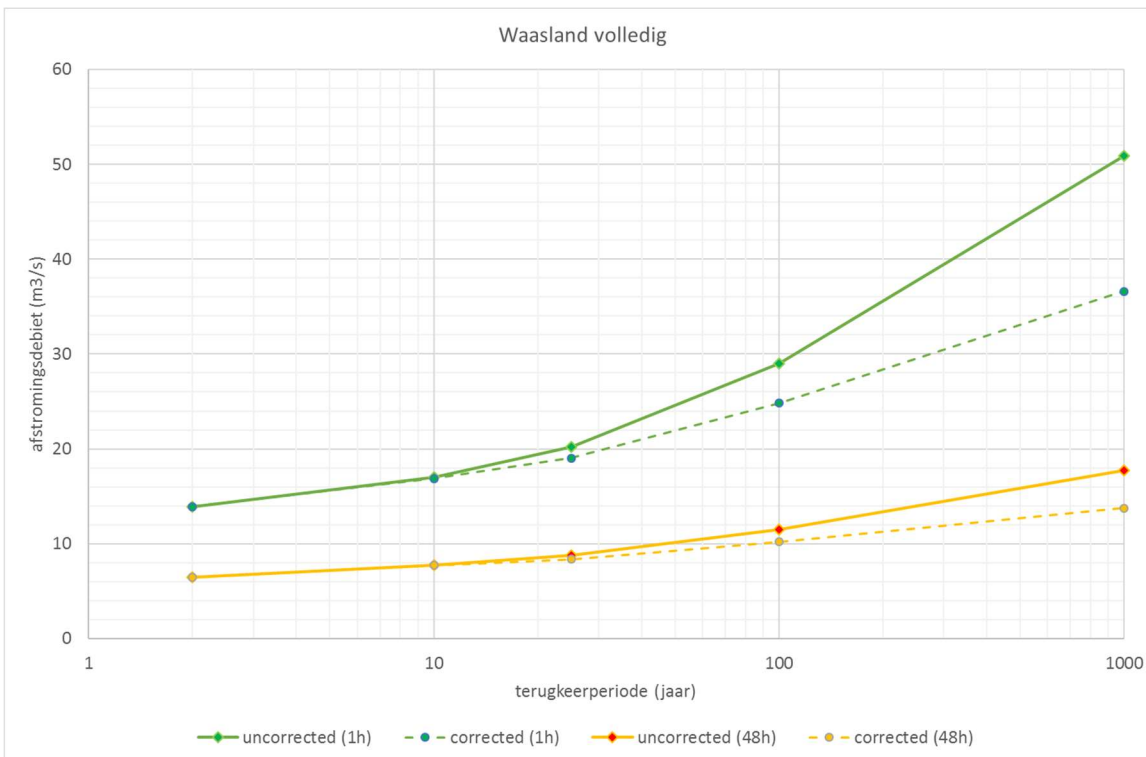
figuur17: Effect van algemene extra reductie (correctie 1, streepjeslijn) van de landelijke afstroming op de aangroei van de afstromingsdebieten i.f.v. de terugkeerperiode (Beersel globaal).



figuur18: Effect van algemene extra reductie (correctie 1, streepjeslijn) van de landelijke afstroming op de aangroei van de afstromingsdebieten i.f.v. de terugkeerperiode (Benedenvliet globaal).



figuur19: Effect van algemene extra reductie (correctie 1, streepjeslijn) van de landelijke afstroming op de aangroei van de afstromingsdebieten i.f.v. de terugkeerperiode (Waasland globaal).

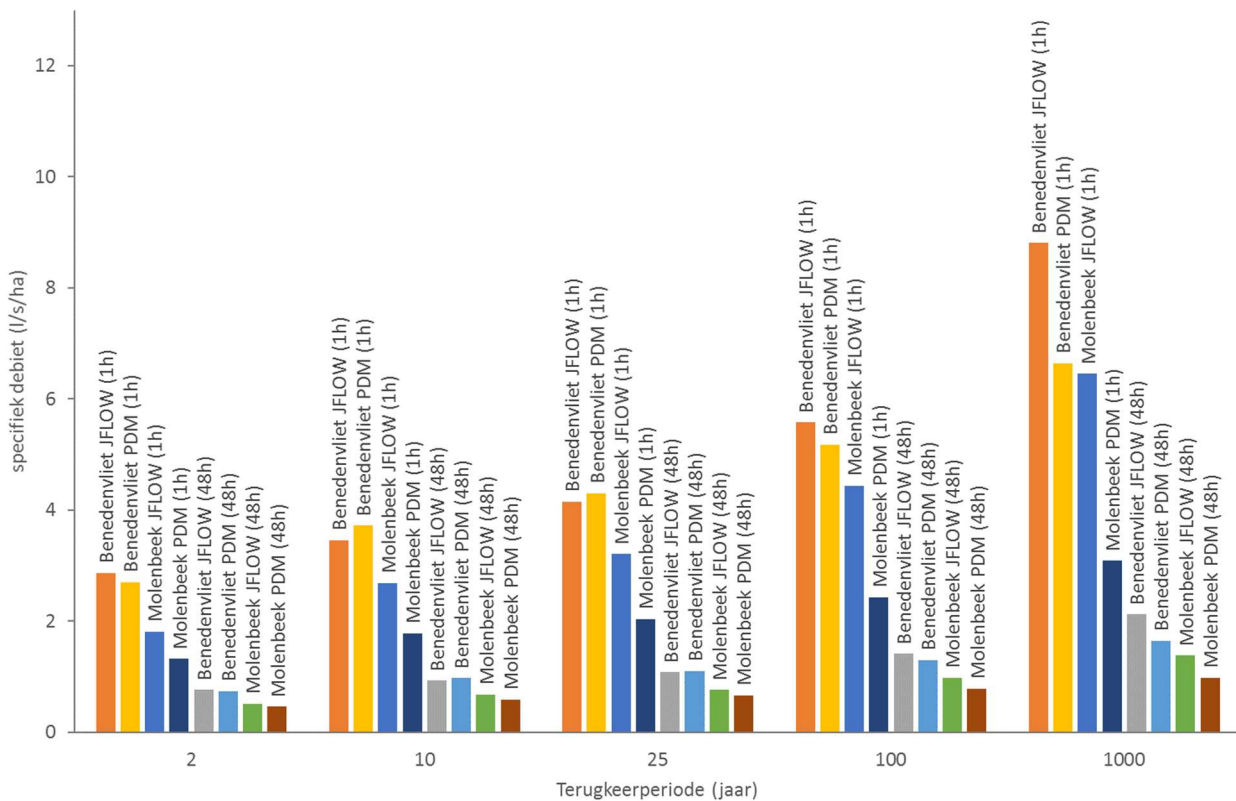


2.5.3.6 Relatieve afwateringsdebieten

Wanneer we de relatieve afwateringsdebieten vergelijken voor de twee gebieden (zie figuur20), zien we een significant relatief verschil tussen de PDM afstromingsdebieten (Benedenvliet groter dan Molenbeek Beersel). Benedenvliet is wel meer verstedelijkt, maar langs de andere kant ook vlakker en zandiger dan Beersel. De PDM afstromingsdebieten komen voor beide modellen uit een Infoworks RS model waarin de invloed van de verstedelijking deels mee in het lumped landelijk afstromingsmodel kan vervat zitten. Dit toont extra aan dat de vergelijking tussen JFlow® en PDM debieten, zeker voor piekwaarden, met de nodige voorzichtigheid moet worden benaderd en dat de manier waarop de PDM modellen zijn afgeijkt waarschijnlijk een grote rol speelt bij deze vergelijking.

De specifieke debieten voor Benedenvliet zijn ook bepaald op basis van metingen: voor een terugkeerperiode van 2 jaar is dit ongeveer 1.5 l/s/ha en voor 10 jaar ongeveer 1.9 l/s/ha. Dit is ongeveer een factor 2 kleiner dan de JFlow® en PDM afstromingsdebieten (figuur20), maar aangezien dit zowel voor de PDM als voor JFlow® geldt en er in het afwaartse stuk van de Benedenvliet veel opstuwing is, wordt deze extra afvlakking aan de beperkte lozingscapaciteit en de resulterende opstuwing toegewezen.

figuur20: Vergelijking van het specifiek debiet (in l/s/ha) enerzijds afkomstig van de PDM extreme waarden analyse en anderzijds van JFlow®.



2.5.4 Neerslagcorrectie voor stedelijke afstroming

Voor de stedelijke afvoer worden de verharde oppervlaktes in detail bepaald op basis van de bodembedekkingskaart (zie §2.6.1) en wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten verharding:

- Type Urban A: Dit zijn gebouwen en wegenis of andere verharde openbare infrastructuur
- Type Urban B: Dit zijn andere (private) verhardingen zoals opritten en terrassen

Specifiek voor deze stedelijke afstroming worden een aantal correcties doorgevoerd in de neerslagprofielen die toegepast worden op deze oppervlakken:

- Voor de afstroming van verharde oppervlakken wordt rekening gehouden met een verlies van 2mm oppervlakteberging in plassen etc. (in combinatie met een afvoercoëfficiënt = 1). In de buien voor stedelijke gebieden wordt een correctiefactor ingewerkt die rekening houdt met het feit dat afstromingscoëfficiënten niet lineair zijn i.f.v. de terugkeerperiode; dit wordt verduidelijkt in §2.5.4.1.
- De neerslagprofielen voor stedelijke gebieden worden verminderd met een standaard composietbui met terugkeerperiode 2 jaar om rekening te houden met de afvoer via een ondergronds rioolstelsel; dit wordt verduidelijkt in §2.5.4.2.

2.5.4.1 Correctie voor niet-lineariteit afstroming

Bij rioolberekeningen wordt meestal gebruik gemaakt van vaste afvoercoëfficiënten (90% in de nieuwe Code van goede praktijk), waarbij wordt verondersteld dat 10% van de neerslag niet afstroomt, maar ter plaatse blijft en verdamp. Dit lineair verliesmodel geeft echter een overschatting van de verliezen bij grote terugkeerperiodes.

Daarom werd de impact op de afvoercoëfficiënten voor de stedelijke gebieden herzien overeenkomstig de vaststellingen uit de 'Toelichting bij de Code van goede praktijk voor het ontwerp van rioleringsystemen' [Vaes et al., 2004], maar enkel beschikbaar voor terugkeerperiodes van 2, 5, 10 en 20 jaar.

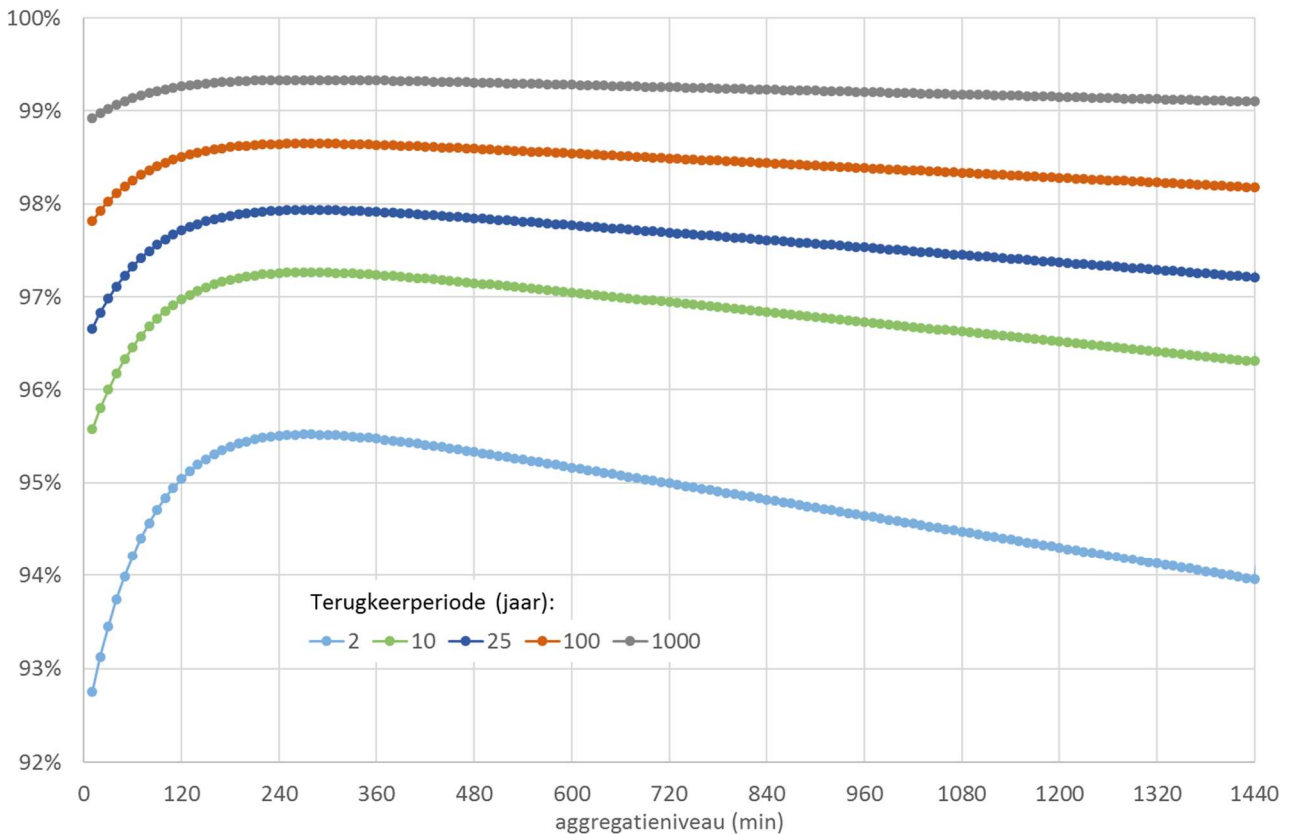
Deze relatie in functie van het aggregatieniveau kan eenvoudig worden ingewerkt in de buien om in JFlow® te simuleren, zodat niet met een vaste afvoercoëfficiënt moet worden gerekend. Voor terugkeerperiodes van 25, 100 en 1000 jaar werden deze relaties bijkomend berekend (zie figuur21).

Gezien de onzekerheid op de bepaling van de verschillende types verharding en hun bijdrage, alsook de grootteorde van de correcties die nodig zijn bij hogere terugkeerperiodes voor de landelijke afstroming (zie §2.5.3), zal het invoeren van extra afvoercoëfficiënten voor stedelijke afvoer verschillend van 100% niet veel verschil opleveren. In tabel 17 is weergegeven wat de invloed is op het totale volume van de bui die op de verharde oppervlakte valt. Globaal is het verschil nog kleiner, omdat de afstroming van de onverharde oppervlakte ook een rol speelt. Uit de simulaties met JFlow® blijkt een maximaal verschil van ongeveer 1% t.g.v. het inwerken van deze stedelijke afvoercoëfficiënten.



Toch is het methodologisch het meest correct om dit in te werken in de buien voor afwatering van de verharde oppervlakte en werd deze correctie daarom weerhouden. Deze correctie is ingewerkt in de composietbuien voor zowel urban a als urban b. Deze correctie is niet ingewerkt in de afvoercoëfficiënten omdat deze afhankelijk is van de terugkeerperiode (in tegenstelling tot de vaste afvoercoëfficiënten die bij rioldimensionering worden gebruikt, welke voor elke terugkeerperiode hetzelfde zijn).

figuur21: Correctiefactoren voor stedelijke afwatering bij een oppervlakteberging van 2 mm.



tabel17: Afvoerpercentages bij afstroming van verharde oppervlaktes bij aangepaste afvoercoëfficiënten

Terugkeerperiode (jaar)	2	10	25	100	1000
Aandeel volume gecorrigeerd t.o.v. ongecorrigeerd	94.2%	96.5%	97.4%	98.4%	99.2%

2.5.4.2 Correctie voor afvoer via rioolstelsel



In de hydraulische modellen is de aanwezigheid van een ondergronds afvoerstelsel (rioolstelsel) niet expliciet in rekening gebracht. Om rekening te houden met het feit dat in stedelijk gebied een deel van de neerslag afgevoerd zal worden via dit rioolstelsel (en dus niet oppervlakkig zal afstromen), wordt de neerslag die toegepast wordt op verharde oppervlakte hier verminderd met een bepaalde hoeveelheid water die in het rioolstelsel verdwijnt.

Het verminderen van de neerslaghoeveelheid ter hoogte van verharde zones gebeurt door van de neerslagreeks die toegepast wordt op verharde zones een standaard composietbui met terugkeerperiode 2 jaar (T2) af te trekken. Het criterium T2 werd gekozen omdat dit gemiddeld gezien het best overeenkomt met de dimensionering van historische rioolstelsels in Vlaanderen. Hierbij werd ervoor gekozen deze vermindering enkel toe te passen op verharding van het Type A (wegenis en gebouwen) aangezien andere verharding (opritten, terrassen) meestal niet meegerekend werden bij de dimensionering van het rioolstelsel.

Het verminderen van de buien met een T2 bui is uiteraard een vereenvoudiging van de werkelijke afvoer via de riolering. Lokaal kunnen rioolstelsels gedimensioneerd zijn om grotere buien af te voeren (het huidig ontwerpcriterium ligt bv. op een bui met terugkeerperiode 20 jaar) of kan een rioolstelsel ontbreken. De voorspelling van wateroverlast ter hoogte van sterk verstedelijkt gebied kan lokaal dus afwijken van de werkelijke situatie. Hoe extremer de bui is, hoe minder echter dit effect een rol zal spelen.

Als testcase hoe een verhoogde afvoer via het ondergrondse afwateringsstelsel kan geïmplementeerd worden, werd voor de Ruien in Antwerpen (stelsel van ingebuisde historische afvoergrachten die geïntegreerd werden in het rioolstelsel) lokaal een verhoogde afvoercapaciteit geïmplementeerd in de JFlow[®] modellen. De werkwijze die hierbij gevolgd werd, wordt beschreven in bijlage 8.

Om er rekening mee te houden dat neerslag die afgevoerd wordt via het rioleringsstelsel via dit stelsel ook afgevoerd wordt naar de afwaartse waterlopen, wordt de hoeveelheid neerslag die omwille van dit effect wordt afgetrokken van de neerslagprofielen opnieuw geïntroduceerd in de modellen ter hoogte van de afwaartse waterloop. Dit wordt meer in detail beschreven in §2.6.7.



2.6 Hydraulische modellering

2.6.1 Algemeen principe

De hydraulische modellering van de afstroming gebeurt aan de hand van een 2-dimensionale hydraulische modellering in JFlow[®]. Hierbij worden neerslagprofielen die ruimtelijk en in tijd variëren als randvoorwaarde toegepast op een tweedimensionaal regelmatig raster dat gebaseerd is op een gedetailleerd digitaal hoogtemodel. Ter hoogte van elke rastercel wordt dit neerslagprofiel aangepast overeenkomstig de afstromingscoëfficiënt (zie §2.6.2) die aan die cel werd toegekend (reductie van de neerslagintensiteit overeenkomstig deze coëfficiënt). Het netto volume dat resteert wordt daarna over het grid ‘getransporteerd’ overeenkomstig de ‘Shallow Water Equations’. Terwijl de richting van deze afstroming bepaald wordt door het digitaal hoogtemodel (dat bv. ook de aanwezigheid van gebouwen bevat – zie §2.6.6), worden wrijvingseffecten ten gevolge van de ruwheid van het terrein en andere 3-dimensionale fenomenen (bv. turbulentie) ingerekend door aan elke cel een ruwheidscoëfficiënt toe te kennen (zie §2.6.3). Deze ruwheidscoëfficiënt zal dan bepalen hoe snel water kan afstromen van de ene rastercel naar de andere.

2.6.2 Afstromingscoëfficiënten

De afstroming van water over het maaiveld wordt gesimuleerd door gebruik te maken van het Digitaal Hoogtemodel (DHM) Vlaanderen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het DHMV-II (bron: Agentschap Informatie Vlaanderen), dat een resolutie heeft van 1m op 1m. Dit hoogtemodel is gebiedsdekkend voor Vlaanderen en over de lands- en gewestgrenzen heen bevat het alle oppervlakte gelegen binnen de te modelleren afstromingsgebieden. Om de rekentijden van de modellen te beperken wordt dit DHM omgezet naar een raster met resolutie van 2m op 2m door middel van bilineaire interpolatie in ArcGIS. Hierbij wordt de waarde voor de 2m cel bepaald op basis van een gewogen gemiddelde van de 4 dichtstbijzijnde 1m cellen uit het originele raster.

De oppervlakkige afstroming van water over dit raster wordt daarna bepaald aan de hand van afstromingscoëfficiënten. Hierbij wordt per rastercel van 2m op 2m een afstromingscoëfficiënt bepaald, waarbij rekening gehouden wordt met de bodemtextuurklasse, het landgebruik en de hellingsgraad. Een overzichtkaart van deze drie parameters zoals gehanteerd in de modellen is terug te vinden in respectievelijk figuur22, figuur23 en figuur24.

De afvoercoëfficiënt wordt hierbij telkens bepaald op basis van een matrix waarbij voor elke combinatie van landgebruik, bodemtextuurklasse en hellingsgraad een afvoercoëfficiënt gedefinieerd werd. Deze matrix is terug te vinden in tabel19 (de in deze tabel gehanteerde Engelstalige benamingen zijn de klassen zoals ze gebruikt worden in JFlow[®] - de omzetting van de Vlaamse datasets naar deze klassen is uitvoerig beschreven in bijlage 3 en bijlage 4). Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen 2 types verharding, die elk een aparte afstromingscoëfficiënt krijgen:

- Type Urban A: Dit omvat de landgebruiksklassen ‘gebouwen’, ‘autowegen’, ‘spoorwegen’, ‘water’ en ‘gras/struiken/bodem die wegenis of wateroppervlakken overlappen’. Dit type landgebruik wordt verondersteld volledig aangesloten te zijn op de lokale riolering. Voor deze oppervlaktes zal de afstroming van water via de riolering dan ook vereenvoudigd in rekening gebracht worden (zie §2.5.4).



- Type Urban B: Dit omvat de klasse ‘overig afgedekt’ uit de bodembedekkingskaart en bestaat uit andere verharde oppervlakte zoals opritten en terrassen die (historisch) niet standaard bij rioolontwerpen in rekening wordt gebracht. Een deel van deze verharde oppervlakte zal afstromen naar de riolering en een deel naar het omliggend niet-verhard gebied. Om die reden wordt voor deze oppervlakte de afvoer via de riolering niet expliciet in rekening gebracht, maar wordt wel een gemiddelde afvoercoëfficiënt gebruikt tussen 1.0 (voor verhard) en 0.3 (gemiddelde landelijke afvoercoëfficiënt), dus 0.65

Om de beschikbare datalagen bruikbaar te maken voor deze indeling waren echter wel een aantal omzettingen noodzakelijk:

- De Belgische Bodemkaart werd voor heel Vlaanderen omgezet naar de standaard textuurklassen zoals deze gebruikt werden in de pilootstudie van 2016. Deze zijn terug te vinden in onderstaande tabel20. Hierbij werden verschillende omzettingen gebruikt voor de Belgische Bodemkaart en de specifieke bodemkaart die bestaat voor de Kuststreek. De details van deze omzetting zijn terug te vinden in bijlage 3.

De bodems die als ‘antropogeen’ zijn geclassificeerd in de Belgische Bodemkaart zijn voor deze studie opnieuw geclassificeerd volgens de landbouwzone waarin deze voorkomen. Op deze manier wordt een correctere inschatting bekomen van de afstroming. In het pilootproject van 2016 werd immers een hoge afvoercoëfficiënt toegekend aan alle antropogene bodems, terwijl binnen deze zones ook gebieden met lagere afvoer (zoals tuinen en groenzones) aanwezig zijn. Door de herclassificatie wordt de afvoercoëfficiënt sterker beïnvloed door het landgebruik ten opzichte van de pilootstudie uit 2016. De gebruikte methodiek wordt eveneens besproken in bijlage 3. De finale bodemtextuurkaart gebruikt binnen deze studie is weergegeven in onderstaande figuur22.

- Voor de bepaling van het landgebruik werd gebruik gemaakt van de Bodembedekkingskaart (bron: Agentschap Informatie Vlaanderen) met een resolutie van 1 m. Deze kaart dateert van 2012 en bevat 14 landgebruiksklassen. Ook deze werden omgezet naar 7 landgebruiksklassen die gebruikt worden in de JFlow® modellen en terug te vinden zijn in tabel21. De details van de omzetting die hierbij gehanteerd werd zijn terug te vinden in bijlage 4. Een overzichtskaart met landgebruiksklassen die finaal gehanteerd werden binnen huidig project is terug te vinden in figuur23.
- De helling is binnen deze studie afgeleid op basis van het DHM Vlaanderen-II, waarbij er eerst geaggregeerd werd tot een resolutie van 20 m. Dit is gedaan om de ruis in de gegevens te reduceren en een betere weergave te verkrijgen van de onderliggende helling. Na de berekening is een classificatie uitgevoerd en is de data hersampeld tot een resolutie van 2 m. Een overzichtskaart met hellingsgraden die finaal gehanteerd werden binnen huidig project is terug te vinden in figuur24.

Een overzichtskaart met de afstromingskaarten die finaal gehanteerd werden binnen huidig project is terug te vinden in figuur25.

In figuur26 tot figuur28 wordt ter illustratie een detaillering gegeven voor een landelijk, stedelijk en semi-urbaan gebied.

In tabel 24 tot tabel 26 wordt als voorbeeld een gedetailleerd overzicht gegeven van de verdeling van de afstromingscoëfficiënten over de verschillende klassen voor een aantal deelmodellen. Onderstaande tabel



geeft de totale oppervlakte aan stedelijk en landelijk gebied en de gemiddelde afstromingscoëfficiënt in het volledige deelbekken voor deze voorbeeldmodellen.

tabel 18: Oppervlakte stedelijk en landelijk gebied en gemiddelde afstromingscoëfficiënt voor enkele deelmodellen

Deelmodel	Opp. Stedelijk gebied (km ²)	Opp. Landelijk gebied (km ²)	Gemiddelde afstromingscoëfficiënt
Benedenvliet	39.11	64.09	0.43
Zwalm	13.78	97.67	0.41
Beersel	23.90	85.19	0.39
Melsterbeek	16.37	123.14	0.41
Kleine Nete	19.53	98.85	0.42



tabel19: Afvoercoëfficiënt in functie van landgebruik, bodemtype en helling zoals gehanteerd binnen huidige studie (Engelstalige termen verwijzen naar benaming in JFlow®)

	helling	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Clay Loam	Clay Loam	Silty Clay Loam	Sandy Clay	Silty Clay	Clay
Bos (Forest)	< 0.5	0,03	0,07	0,1	0,13	0,17	0,2	0,23	0,27	0,3	0,33	0,37	0,37
	0.5 - 5	0,07	0,11	0,14	0,17	0,21	0,24	0,27	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44
	5-10	0,13	0,17	0,2	0,23	0,27	0,3	0,33	0,37	0,4	0,43	0,47	0,5
	> 10	0,25	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55	0,59	0,62
Permanent grasland (Grass-Permanent)	< 0.5	0,13	0,17	0,2	0,23	0,27	0,3	0,33	0,37	0,4	0,43	0,47	0,5
	0.5 - 5	0,17	0,21	0,24	0,27	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54
	5-10	0,23	0,27	0,3	0,33	0,37	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,57	0,6
	> 10	0,35	0,39	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55	0,59	0,62	0,65	0,69	0,72
Grasteelt (Grass - Crop)	< 0.5	0,18	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45	0,48	0,52	0,55
	0.5 - 5	0,22	0,26	0,29	0,32	0,36	0,39	0,42	0,46	0,49	0,52	0,56	0,59
	5-10	0,28	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45	0,48	0,52	0,55	0,58	0,62	0,65
	> 10	0,4	0,44	0,47	0,5	0,54	0,57	0,6	0,64	0,67	0,7	0,74	0,77
Akker Crop	< 0.5	0,23	0,27	0,3	0,33	0,37	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,57	0,6
	0.5 - 5	0,27	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57	0,61	0,64
	5-10	0,33	0,37	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,57	0,6	0,63	0,67	0,7
	> 10	0,45	0,49	0,52	0,55	0,59	0,62	0,65	0,69	0,72	0,75	0,79	0,82
Braakliggend Bare	< 0.5	0,33	0,37	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,57	0,6	0,63	0,67	0,7
	0.5 - 5	0,37	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
	5-10	0,43	0,47	0,5	0,53	0,57	0,6	0,63	0,67	0,7	0,73	0,77	0,8
	> 10	0,55	0,59	0,62	0,65	0,69	0,72	0,75	0,79	0,82	0,85	0,89	0,92
'Urban-a'	alle hellingen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
'Urban-b'	alle hellingen	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

tabel20: Gebruikte bodemtextuurklassen binnen JFlow®

Nr.	Benaming in JFlow®	Omschrijving
1	Sand	Zand
2	Loamy Sand	Leemachtig zand
3	Sandy Loam	Zandleem
4	Loam	Leem
5	Silt Loam	Siltachtige leem
6	Silt	Siltachtig
7	Sandy Clay Loam	Zandige kleileem
8	Clay Loam	Kleileem
9	Silty Clay Loam	Siltachtige kleileem
10	Sandy Clay	Zandleem
11	Silty Clay	Siltachtige klei
12	Clay	Klei

tabel21: Landgebruiksklassen zoals gebruikt in JFlow®

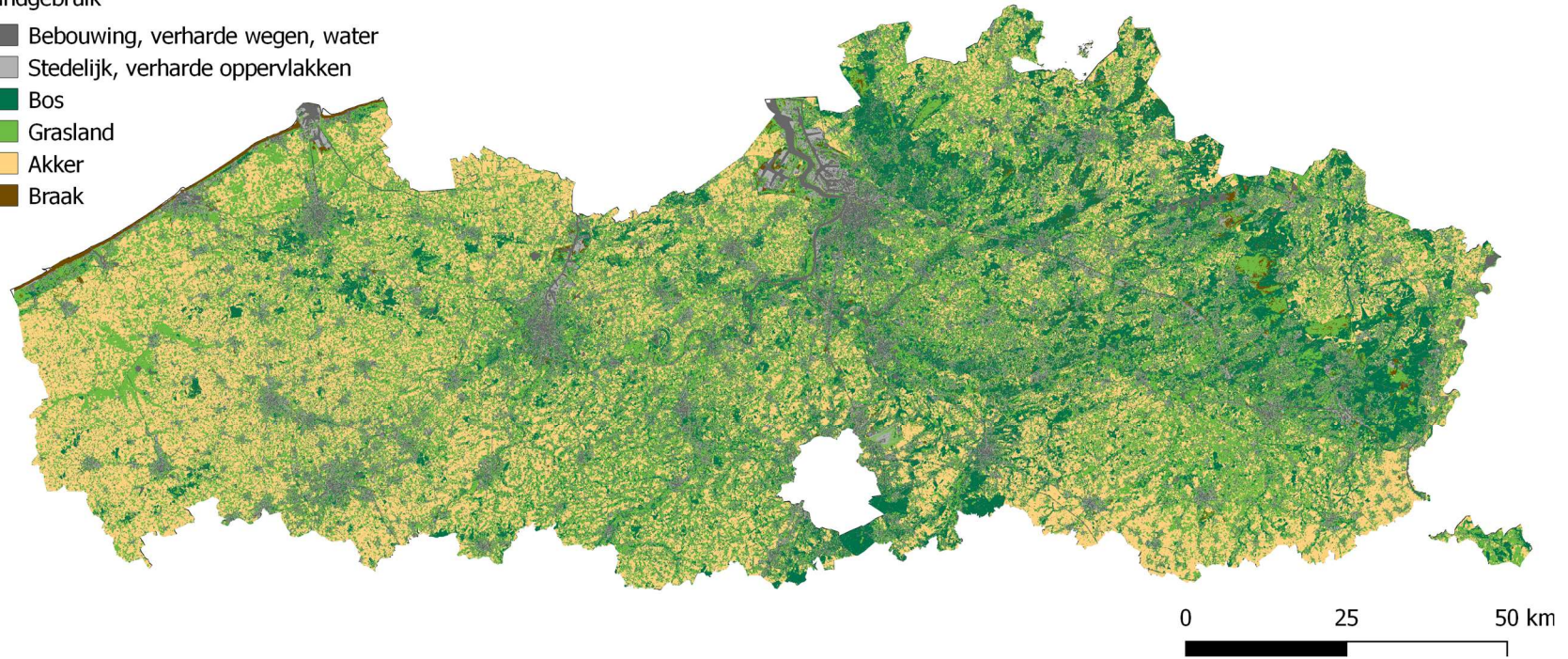
Nr.	Benaming	Omschrijving
1	Forest	Bos
2	Grass permanent	Permanent grassland
3	Grass - crop	Grasteelt
4	Crop	Gewassen
5	Bare	braakliggend
6	Urban-a	Gebouwen (residentieel en industrieel), wegenis, spoorwegen, luchthavens, wateroppervlakken
7	Urban-b	Parkeerplaatsen, opritten, grote verhardingen

////////////////////////////////////

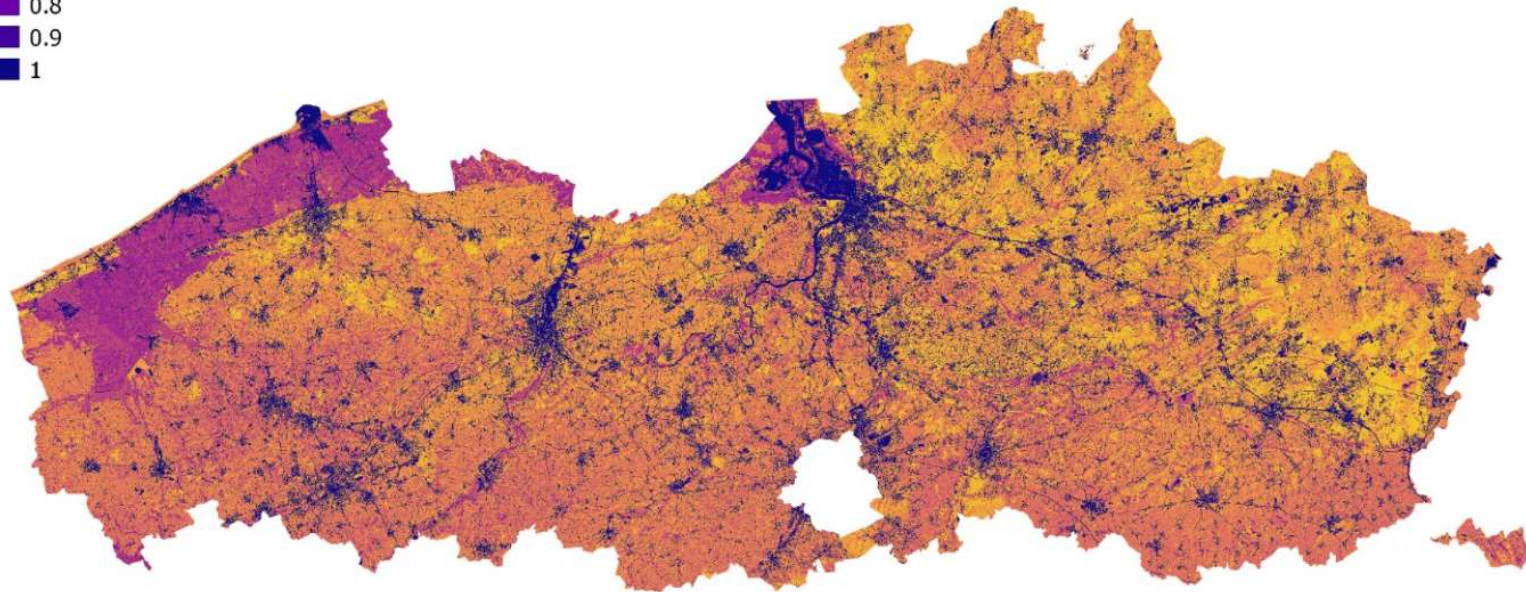
figuur23: Finale landgebruikkaart gehanteerd binnen VLAGG-2017 project.

Landgebruik

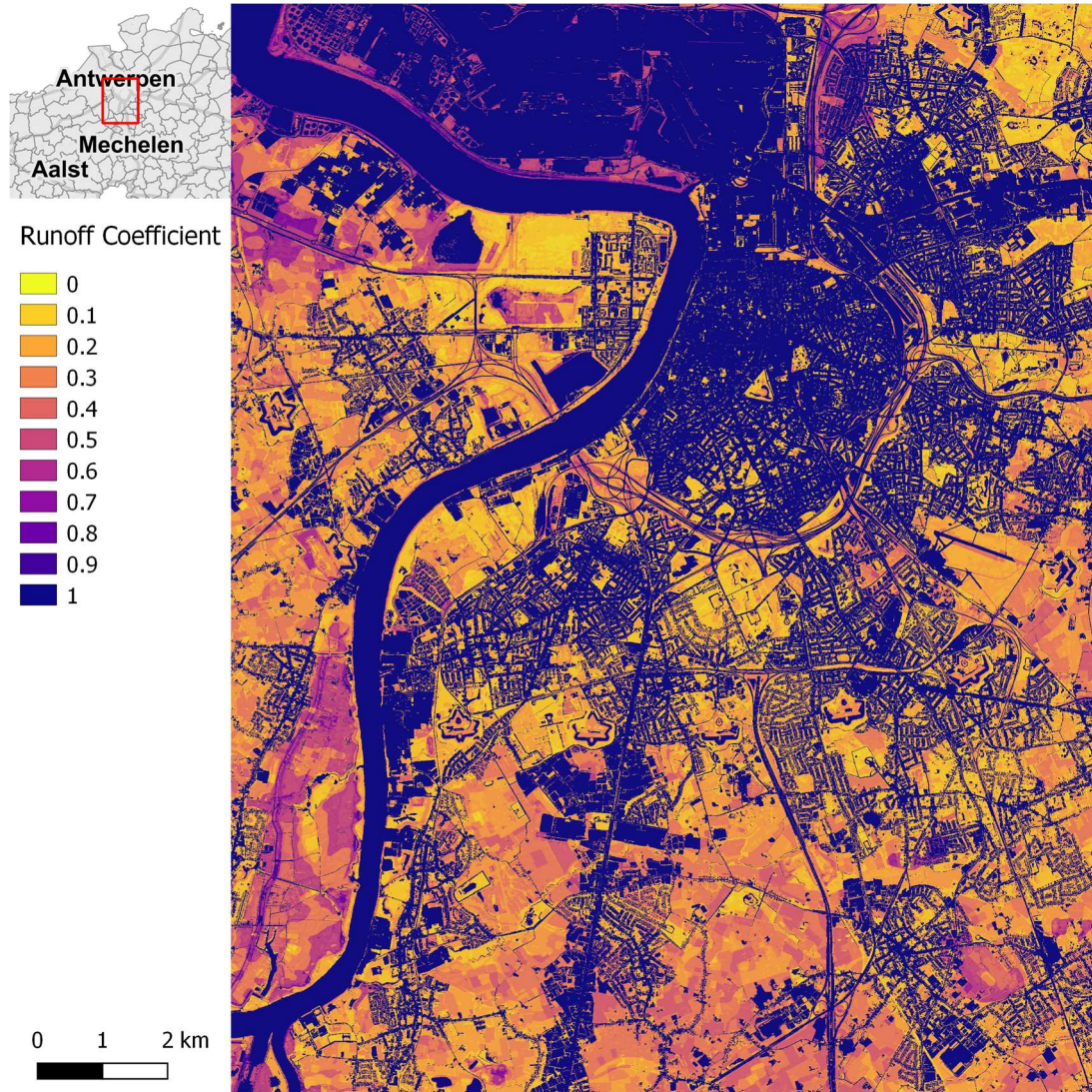
- Bebouwing, verharde wegen, water
- Stedelijk, verharde oppervlakken
- Bos
- Grasland
- Akker
- Braak



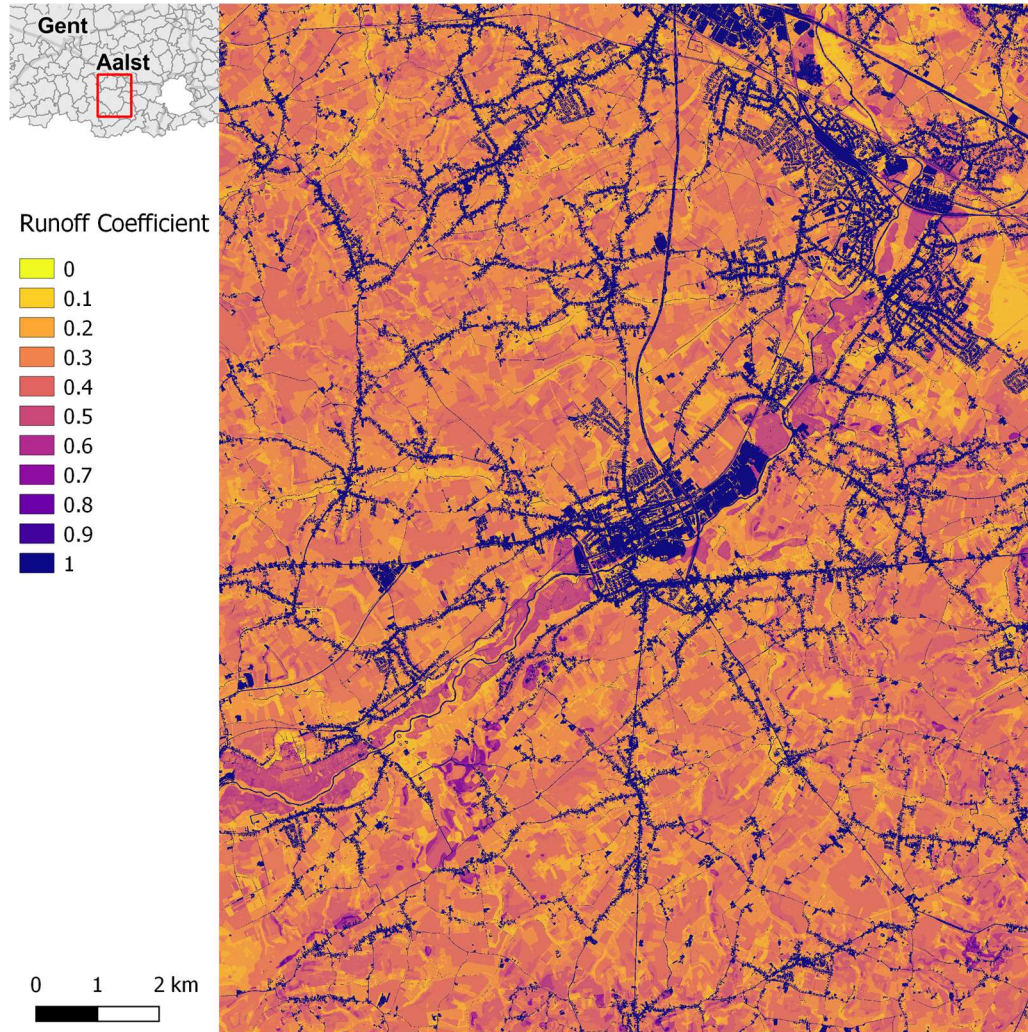
figuur25: Finale kaart met afstromingscoëfficiënten gehanteerd binnen VLAGG-2017 project.



figuur27: Voorbeeld van gehanteerde afstromingscoëfficiënten voor een stedelijk gebied.



figuur28: Voorbeeld van gehanteerde afstromingscoëfficiënten voor een semi-stedelijk gebied.



tabel 22: gehanteerde afstromingscoëfficiënten en procentuele verdeling over verschillende klassen voor deelmodel Benedenvliet (Engelstalige termen verwijzen naar benaming in JFlow®)

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Clay Loam	Clay Loam	Silty Clay Loam	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Bos (Forest)	<0.5	0.03 (0%)	0.07 (1.15%)	0.1 (0.19%)	0.13 (0%)	0.17 (0%)	0.2 (0.39%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.37 (0.09%)	20.01%
	0.5-5	0.07 (0%)	0.11 (10.14%)	0.14 (1.51%)	0.17 (0%)	0.21 (0%)	0.24 (3.37%)	0.27 (0%)	0.31 (0%)	0.34 (0%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.09%)	
	5-10	0.13 (0%)	0.17 (1.28%)	0.2 (0.18%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0.09%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.02%)	
	>10.0	0.25 (0%)	0.29 (1.35%)	0.32 (0.09%)	0.35 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0.06%)	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0.01%)	
Permanent grasland (Grass Permanent)	<0.5	0.13 (0%)	0.17 (1.94%)	0.2 (0.58%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (1.25%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.1%)	32.53%
	0.5-5	0.17 (0%)	0.21 (14.2%)	0.24 (3.05%)	0.27 (0%)	0.31 (0%)	0.34 (9.22%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0.23%)	
	5-10	0.23 (0%)	0.27 (0.9%)	0.3 (0.11%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0.14%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.05%)	
	>10.0	0.35 (0%)	0.39 (0.65%)	0.42 (0.02%)	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0.07%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0.02%)	
Grasteelt (Grass – Crop)	<0.5	0.18 (0%)	0.22 (0%)	0.25 (0%)	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.00%
	0.5-5	0.22 (0%)	0.26 (0%)	0.29 (0%)	0.32 (0%)	0.36 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.46 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.56 (0%)	0.59 (0%)	
	5-10	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.58 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	
	>10.0	0.4 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.74 (0%)	0.77 (0%)	
Akker (Crop)	<0.5	0.23 (0%)	0.27 (0.16%)	0.3 (0.28%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0.49%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.01%)	7.18%
	0.5-5	0.27 (0%)	0.31 (1.32%)	0.34 (1.18%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (3.7%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0.02%)	
	5-10	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.02%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	
	>10.0	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)	
Braakliggend (Bare)	<0.5	0.33 (0%)	0.37 (0.15%)	0.4 (0.04%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.05%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	2.38%
	0.5-5	0.37 (0%)	0.41 (1.08%)	0.44 (0.26%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0.36%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.71 (0%)	0.74 (0.01%)	
	5-10	0.43 (0%)	0.47 (0.14%)	0.5 (0.01%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.04%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.73 (0%)	0.77 (0%)	0.8 (0%)	
	>10.0	0.55 (0%)	0.59 (0.15%)	0.62 (0.01%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0.08%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)	0.85 (0%)	0.89 (0%)	0.92 (0%)	

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Clay Loam	Clay Loam	Silty Clay Loam	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Urban - a	<0.5	1.0 (0%)	1.0 (3.73%)	1.0 (0.25%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.77%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.03%)	26.26%
	0.5-5	1.0 (0%)	1.0 (15.47%)	1.0 (1.25%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (2.79%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.1%)	
	5-10	1.0 (0%)	1.0 (0.93%)	1.0 (0.1%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.11%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.01%)	
	>10.0	1.0 (0%)	1.0 (0.57%)	1.0 (0.06%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.08%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.01%)	
Urban - b	<0.5	0.65 (0%)	0.65 (1.48%)	0.65 (0.14%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.33%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	11.63%
	0.5-5	0.65 (0%)	0.65 (6.82%)	0.65 (0.7%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (1.67%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.04%)	
	5-10	0.65 (0%)	0.65 (0.3%)	0.65 (0.02%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.02%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
	>10.0	0.65 (0%)	0.65 (0.11%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
TOTAAL		0%	64.02%	10.03%	0%	0%	25.1%	0%	0%	0%	0%	0%	0.84%	

tabel 23: gehanteerde afstromingscoëfficiënten en procentuele verdeling over verschillende klassen voor deelmodel Zwalm (Engelstalige termen verwijzen naar benaming in JFlow®)

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Loam	Clay	Clay Loam	Silty Loam	Clay	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Bos (Forest)	<0.5	0.03 (0%)	0.07 (0%)	0.1 (0.04%)	0.13 (0.14%)	0.17 (0%)	0.2 (0%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.37 (0.07%)			11.63%
	0.5-5	0.07 (0%)	0.11 (0.01%)	0.14 (1.45%)	0.17 (2.83%)	0.21 (0%)	0.24 (0%)	0.27 (0%)	0.31 (0%)	0.34 (0%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.35%)			
	5-10	0.13 (0%)	0.17 (0.09%)	0.2 (1.27%)	0.23 (2.21%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.22%)			
	>10.0	0.25 (0%)	0.29 (0.14%)	0.32 (1.12%)	0.35 (1.38%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0.31%)			
Permanent grasland (Grass Permanent)	<0.5	0.13 (0%)	0.17 (0%)	0.2 (0.13%)	0.23 (0.36%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.12%)			37.68%
	0.5-5	0.17 (0%)	0.21 (0.01%)	0.24 (4.97%)	0.27 (13.15%)	0.31 (0%)	0.34 (0.02%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0.59%)			
	5-10	0.23 (0%)	0.27 (0.11%)	0.3 (3.48%)	0.33 (9.71%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.42%)			
	>10.0	0.35 (0%)	0.39 (0.09%)	0.42 (1.51%)	0.45 (2.73%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0.28%)			
Grasteelt (Grass – Crop)	<0.5	0.18 (0%)	0.22 (0%)	0.25 (0%)	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.58 (0%)	0.62 (0%)	0.00%
	0.5-5	0.22 (0%)	0.26 (0%)	0.29 (0%)	0.32 (0%)	0.36 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.46 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.56 (0%)	0.59 (0%)			
	5-10	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.58 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)			
Akker (Crop)	<0.5	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0.38%)	0.33 (0.37%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.03%)			36.60%
	0.5-5	0.27 (0%)	0.31 (0.01%)	0.34 (4.39%)	0.37 (18.33%)	0.41 (0%)	0.44 (0.04%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0.14%)			
	5-10	0.33 (0%)	0.37 (0.01%)	0.4 (0.89%)	0.43 (11.0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0.12%)			
Braakliggend (Bare)	<0.5	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0.01%)	0.43 (0.03%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)			1.63%
	0.5-5	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.25%)	0.47 (0.69%)	0.51 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.71 (0%)	0.74 (0.02%)			
	5-10	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.17%)	0.53 (0.34%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.73 (0%)	0.77 (0%)	0.8 (0.01%)			
	>10.0	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0.05%)	0.65 (0.05%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)	0.85 (0%)	0.89 (0%)	0.92 (0.01%)			

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Loam	Clay	Clay Loam	Silty Loam	Clay	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Urban - a	<0.5	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.07%)	1.0 (0.05%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.01%)	7.86%
	0.5-5	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (3.14%)	1.0 (2.18%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.05%)	
	5-10	1.0 (0%)	1.0 (0.01%)	1.0 (1.11%)	1.0 (0.88%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.04%)	
	>10.0	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.2%)	1.0 (0.1%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.02%)	
Urban - b	<0.5	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.03%)	0.65 (0.02%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	4.46%
	0.5-5	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (1.71%)	0.65 (1.28%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.02%)	
	5-10	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.71%)	0.65 (0.5%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.02%)	
	>10.0	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.1%)	0.65 (0.06%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.01%)	
TOTAAL		0%	0.47%	27.31%	69.12%	0%	0.06%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2.47%	

tabel 24: gehanteerde afstromingscoëfficiënten en procentuele verdeling over verschillende klassen voor deelmodel Molenbeek (Engelstalige termen verwijzen naar benaming in JFlow®)

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Clay Loam	Clay Loam	Silty Loam	Clay	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Bos (Forest)	<0.5	0.03 (0%)	0.07 (0%)	0.1 (0.08%)	0.13 (0.2%)	0.17 (0%)	0.2 (0%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.37 (0.09%)		24.68%
	0.5-5	0.07 (0%)	0.11 (0.68%)	0.14 (2.45%)	0.17 (5.12%)	0.21 (0%)	0.24 (0%)	0.27 (0%)	0.31 (0%)	0.34 (0%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.22%)		
	5-10	0.13 (0%)	0.17 (0.95%)	0.2 (2.71%)	0.23 (3.96%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.08%)		
	>10.0	0.25 (0%)	0.29 (1.33%)	0.32 (3.23%)	0.35 (3.5%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0.08%)		
Permanent grasland (Grass Permanent)	<0.5	0.13 (0%)	0.17 (0%)	0.2 (0.11%)	0.23 (0.29%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.26%)		27.84%
	0.5-5	0.17 (0%)	0.21 (0.24%)	0.24 (3.33%)	0.27 (9.74%)	0.31 (0%)	0.34 (0%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0.44%)		
	5-10	0.23 (0%)	0.27 (0.43%)	0.3 (2.71%)	0.33 (6.15%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.04%)		
	>10.0	0.35 (0%)	0.39 (0.34%)	0.42 (1.68%)	0.45 (2.06%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0.02%)		
Grasteelt (Grass - Crop)	<0.5	0.18 (0%)	0.22 (0%)	0.25 (0%)	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)		0%
	0.5-5	0.22 (0%)	0.26 (0%)	0.29 (0%)	0.32 (0%)	0.36 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.46 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.56 (0%)	0.59 (0%)		
	5-10	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.58 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)		
	>10.0	0.4 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.74 (0%)	0.77 (0%)		
Akker (Crop)	<0.5	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0.03%)	0.33 (0.23%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.06%)		19.79%
	0.5-5	0.27 (0%)	0.31 (0.02%)	0.34 (0.48%)	0.37 (12.09%)	0.41 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0.03%)		
	5-10	0.33 (0%)	0.37 (0.07%)	0.4 (0.49%)	0.43 (5.43%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0.02%)		
	>10.0	0.45 (0%)	0.49 (0.02%)	0.52 (0.18%)	0.55 (0.64%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)		
Braakliggend (Bare)	<0.5	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0.01%)	0.43 (0.01%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)		1.90%
	0.5-5	0.37 (0%)	0.41 (0.02%)	0.44 (0.33%)	0.47 (0.61%)	0.51 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.71 (0%)	0.74 (0.02%)		
	5-10	0.43 (0%)	0.47 (0.03%)	0.5 (0.23%)	0.53 (0.37%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.73 (0%)	0.77 (0%)	0.8 (0%)		
	>10.0	0.55 (0%)	0.59 (0.03%)	0.62 (0.12%)	0.65 (0.12%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)	0.85 (0%)	0.89 (0%)	0.92 (0%)		

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Clay Loam	Clay Loam	Silty Loam	Clay	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Urban - a	<0.5	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.32%)	1.0 (0.17%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.06%)	14.12%
	0.5-5	1.0 (0%)	1.0 (0.12%)	1.0 (4.52%)	1.0 (3.73%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.22%)	
	5-10	1.0 (0%)	1.0 (0.17%)	1.0 (1.79%)	1.0 (1.62%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.04%)	
	>10.0	1.0 (0%)	1.0 (0.13%)	1.0 (0.74%)	1.0 (0.48%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.01%)	
Urban - b	<0.5	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.15%)	0.65 (0.08%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.04%)	6.69%
	0.5-5	0.65 (0%)	0.65 (0.06%)	0.65 (1.94%)	0.65 (2.15%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.14%)	
	5-10	0.65 (0%)	0.65 (0.1%)	0.65 (0.72%)	0.65 (0.82%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
	>10.0	0.65 (0%)	0.65 (0.06%)	0.65 (0.24%)	0.65 (0.19%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
TOTAAL		0%	4.8%	28.59%	47.67%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.87%	

tabel 25: gehanteerde afstromingscoëfficiënten en procentuele verdeling over verschillende klassen voor deelmodel Melsterbeek (Engelstalige termen verwijzen naar benaming in JFlow®)

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Loam	Clay Loam	Silty Clay Loam	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Bos (Forest)	<0.5	0.03 (0%)	0.07 (0%)	0.1 (0.03%)	0.13 (0.37%)	0.17 (0%)	0.2 (0%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.37 (0.07%)	7.57%
	0.5-5	0.07 (0%)	0.11 (0.01%)	0.14 (0.78%)	0.17 (4.67%)	0.21 (0%)	0.24 (0.04%)	0.27 (0%)	0.31 (0%)	0.34 (0%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.29%)	
	5-10	0.13 (0%)	0.17 (0.01%)	0.2 (0.05%)	0.23 (0.86%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.02%)	
	>10.0	0.25 (0%)	0.29 (0.01%)	0.32 (0.02%)	0.35 (0.33%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0.01%)	
Permanent grasland (Grass Permanent)	<0.5	0.13 (0%)	0.17 (0%)	0.2 (0.17%)	0.23 (1.84%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.03%)	38.49%
	0.5-5	0.17 (0%)	0.21 (0.03%)	0.24 (3.02%)	0.27 (28.7%)	0.31 (0%)	0.34 (0.1%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0.27%)	
	5-10	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0.13%)	0.33 (3.63%)	0.37 (0%)	0.4 (0.01%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.1%)	
	>10.0	0.35 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0.02%)	0.45 (0.41%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0.03%)	
Grasteelt (Grass – Crop)	<0.5	0.18 (0%)	0.22 (0%)	0.25 (0%)	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0%
	0.5-5	0.22 (0%)	0.26 (0%)	0.29 (0%)	0.32 (0%)	0.36 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.46 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.56 (0%)	0.59 (0%)	
	5-10	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.58 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	
Akker (Crop)	<0.5	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0.07%)	0.33 (1.29%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	40.01%
	0.5-5	0.27 (0%)	0.31 (0.01%)	0.34 (1.2%)	0.37 (32.59%)	0.41 (0%)	0.44 (0.01%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0.12%)	
	5-10	0.33 (0%)	0.37 (0.01%)	0.4 (0.09%)	0.43 (4.34%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0.09%)	
Braakliggend (Bare)	<0.5	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0.17%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0.02%)	2.16%
	0.5-5	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0.01%)	0.43 (0.12%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	
	5-10	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.11%)	0.47 (1.65%)	0.51 (0%)	0.54 (0.01%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.71 (0%)	0.74 (0.01%)	
	>10.0	0.43 (0%)	0.47 (0.01%)	0.5 (0.19%)	0.53 (0.19%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.73 (0%)	0.77 (0%)	0.8 (0.01%)	
	>10.0	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0.04%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)	0.85 (0%)	0.89 (0%)	0.92 (0%)	

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Clay	Clay Loam	Silty Clay	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Urban - a	<0.5	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.04%)	1.0 (0.35%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	7.13%
	0.5-5	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.73%)	1.0 (5.0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.01%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.03%)	
	5-10	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.04%)	1.0 (0.75%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.01%)	
	>10.0	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.03%)	1.0 (0.14%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	
Urban - b	<0.5	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.03%)	0.65 (0.24%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	4.60%
	0.5-5	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.47%)	0.65 (3.34%)	0.65 (0%)	0.65 (0.01%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.01%)	
	5-10	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.02%)	0.65 (0.44%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
	>10.0	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.04%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
TOTAAL		0%	0.08%	7.071%	91.5%	0%	0.19%	0%	0%	0%	0%	0%	1.12%	

tabel 26: gehanteerde afstromingscoëfficiënten en procentuele verdeling over verschillende klassen voor deelmodel Kleine Nete (Engelstalige termen verwijzen naar benaming in JFlow®)

Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Loam	Clay	Clay Loam	Silty Loam	Clay	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL	
Bos	<0.5	0.03 (0%)	0.07 (5.31%)	0.1 (0.01%)	0.13 (0%)	0.17 (0%)	0.2 (0.13%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.37 (0.22%)			28.66%	
	(Forest)	0.5-5	0.07 (0%)	0.11 (20.54%)	0.14 (0.01%)	0.17 (0%)	0.21 (0%)	0.24 (0.46%)	0.27 (0%)	0.31 (0%)	0.34 (0%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.17%)			
		5-10	0.13 (0%)	0.17 (1.3%)	0.2 (0%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0.01%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)			
	>10.0	0.25 (0%)	0.29 (0.5%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)				
Permanent grasland	<0.5	0.13 (0%)	0.17 (10.62%)	0.2 (0.04%)	0.23 (0%)	0.27 (0%)	0.3 (0.39%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.11%)			32.35%	
	(Grass – Permanent)	0.5-5	0.17 (0%)	0.21 (19.79%)	0.24 (0.04%)	0.27 (0%)	0.31 (0%)	0.34 (0.84%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0.1%)			
		5-10	0.23 (0%)	0.27 (0.3%)	0.3 (0%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0.01%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)			
	>10.0	0.35 (0%)	0.39 (0.11%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)				
Grasteelt	<0.5	0.18 (0%)	0.22 (0%)	0.25 (0%)	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)			0%	
	(Grass – Crop)	0.5-5	0.22 (0%)	0.26 (0%)	0.29 (0%)	0.32 (0%)	0.36 (0%)	0.39 (0%)	0.42 (0%)	0.46 (0%)	0.49 (0%)	0.52 (0%)	0.56 (0%)	0.59 (0%)			
		5-10	0.28 (0%)	0.32 (0%)	0.35 (0%)	0.38 (0%)	0.42 (0%)	0.45 (0%)	0.48 (0%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.58 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)			
	>10.0	0.4 (0%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.74 (0%)	0.77 (0%)				
Akker	<0.5	0.23 (0%)	0.27 (8.47%)	0.3 (0.01%)	0.33 (0%)	0.37 (0%)	0.4 (0.16%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0.03%)			19.06%	
	(Crop)	0.5-5	0.27 (0%)	0.31 (10.11%)	0.34 (0.01%)	0.37 (0%)	0.41 (0%)	0.44 (0.19%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0.02%)			
		5-10	0.33 (0%)	0.37 (0.05%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)			
	>10.0	0.45 (0%)	0.49 (0.01%)	0.52 (0%)	0.55 (0%)	0.59 (0%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)				
Braakliggend	<0.5	0.33 (0%)	0.37 (0.51%)	0.4 (0%)	0.43 (0%)	0.47 (0%)	0.5 (0.01%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0.01%)			3.11%	
	(Bare)	0.5-5	0.37 (0%)	0.41 (2.18%)	0.44 (0%)	0.47 (0%)	0.51 (0%)	0.54 (0.06%)	0.57 (0%)	0.61 (0%)	0.64 (0%)	0.67 (0%)	0.71 (0%)	0.74 (0.02%)			
		5-10	0.43 (0%)	0.47 (0.2%)	0.5 (0%)	0.53 (0%)	0.57 (0%)	0.6 (0%)	0.63 (0%)	0.67 (0%)	0.7 (0%)	0.73 (0%)	0.77 (0%)	0.8 (0%)			
	>10.0	0.55 (0%)	0.59 (0.12%)	0.62 (0%)	0.65 (0%)	0.69 (0%)	0.72 (0%)	0.75 (0%)	0.79 (0%)	0.82 (0%)	0.85 (0%)	0.89 (0%)	0.92 (0%)				

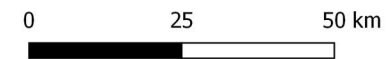
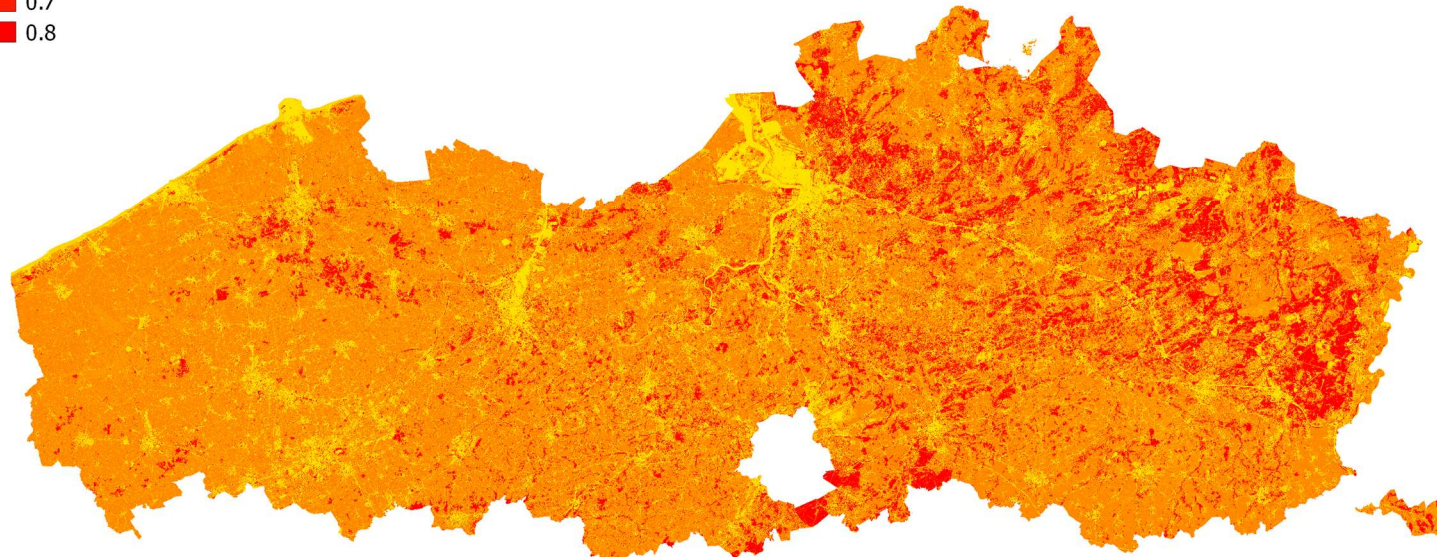
Landgebruik	Helling (%)	Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Silt	Sandy Loam	Clay	Clay Loam	Silty Loam	Clay	Sandy Clay	Silty Clay	Clay	TOTAAL
Urban - a	<0.5	1.0 (0%)	1.0 (2.03%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.02%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.17%)	10.19%
	0.5-5	1.0 (0%)	1.0 (7.36%)	1.0 (0.01%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.2%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0.05%)	
	5-10	1.0 (0%)	1.0 (0.28%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	
	>10.0	1.0 (0%)	1.0 (0.07%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	1.0 (0%)	
Urban - b	<0.5	0.65 (0%)	0.65 (1.36%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.02%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	6.60%
	0.5-5	0.65 (0%)	0.65 (4.9%)	0.65 (0.01%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.12%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0.01%)	
	5-10	0.65 (0%)	0.65 (0.12%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
	>10.0	0.65 (0%)	0.65 (0.06%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	0.65 (0%)	
TOTAAL		0%	96.3%	0.14%	0%	0%	2.43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.91%	

figuur 29: Overzicht van gehanteerde ruwheidscoëfficiënten onder drempelwaarde van 0.1m

Ruwheidscoëfficiënt

Manning's n waarden

-  0.0
-  0.1
-  0.2
-  0.3
-  0.4
-  0.5
-  0.6
-  0.7
-  0.8



tabel 28: Gehanteerde Manning coëfficiënten en procentuele verdeling over verschillende klassen voor enkele deelmodellen

Landgebruik	Manning Coefficient bij d < 0.1m	Manning Coefficient bij d ≥ 0.1m	Oppervlakte in Vlaanderen (km ²)	Oppervlakte in Beersel (km ²)	Oppervlakte in Benedenvliet (km ²)	Oppervlakte in Zwalm (km ²)	Oppervlakte in Kleine Nete (km ²)	Oppervlakte in Meslterbeek (km ²)
Standaard (Gewogen gemiddelde Vlaanderen)	0.378	0.042	64.34 (0.47%)	0.50 (0.46%)	0.88 (0.85%)	0.40 (0.36%)	0.77 (0.66%)	0.30 (0.22%)
Bos	0.8	0.08	2312.75 (16.98%)	28.34 (25.98%)	20.66 (20.02%)	13.00 (11.67%)	33.38 (28.68%)	10.58 (7.58%)
Grasland	0.3	0.03	4721.69 (34.66%)	31.96 (29.29%)	33.56 (32.52%)	42.03 (37.72%)	37.66 (32.36%)	53.73 (38.52%)
Akker	0.35	0.035	3914.96 (28.74%)	22.69 (20.80%)	7.42 (7.19%)	40.81 (36.62%)	22.19 (19.07%)	55.82 (40.01%)
Bebouwing, verharde wegen, water	0.05	0.03	2056.37 (15.10%)	22.46 (20.59%)	37.05 (35.90%)	13.22 (11.86%)	17.79 (15.28%)	15.92 (11.41%)
Braak	0.1	0.03	306.71 (2.25%)	2.20 (2.02%)	2.45 (2.37%)	1.83 (1.64%)	3.62 (3.11%)	3.00 (2.15%)
Stedelijk, verharde oppervlakken	0.05	0.03	245.10 (1.80%)	0.95 (0.87%)	1.18 (1.14%)	0.15 (0.13%)	0.98 (0.84%)	0.15 (0.11%)

- Pompstations: transporteren water van een opwaarts punt naar een afwaarts punt, waarbij het debiet dat afstroomt naar deze cel wordt doorgevoerd tot een specifieke waarde (overeenkomstig de maximale pompcapaciteit van het pompstation) wordt bereikt
- Bufferbekkens: de bekkens zelf zijn in principe vervat in het DTM; in het model kunnen echter bijkomende regelstructuren ingegeven worden onder de vorm van een debietlimiterende opening (bv. knijpleiding) of een laterale dijk (DTM aanpassing)

tabel29: Noodzakelijke parameters in de JFlow®-software voor invoer van duikers

Naam dataveld in JFLOW	Beschrijving	Eenheid	Mogelijke waarden
Type	Vorm van doorstroomopening	-	gravitair/ debietsgelimiteerd
Mannings_n	Ruwheidscoëfficiënt	-	
inlet_invert_elevation	Opwaarts instroomniveau	m TAW	
outlet_invert_elevation	Afwaarts uitstroomniveau	m TAW	
height	Hoogte van doorstroomopening	m	
width	Breedte van doorstroomopening	m	
length	Lengte van structuur	m	

De informatie over de hydraulische structuren werd betrokken uit verschillende gegevensbronnen:

- Door de VMM werden alle hydraulische structuren die opgenomen zijn in een bij VMM gekend hydraulisch model (zowel RS-modellen als ICM-modellen) geëxporteerd. Voor elk van de structuren zijn op basis van deze export de dimensies (breedte, hoogte, lengte), in/uitstroomniveau en ruwheid omgezet naar één centrale geografische database. Voor structuren met een onregelmatige vorm werd de doorstroomoppervlakte berekend en werd vervolgens een rechthoek bepaald met equivalente oppervlakte. Indien er geen specifieke Manning-coëfficiënt toegekend is in het hydraulisch model, wordt een standaardwaarde van $0,013 \text{ s/m}^{1/3}$ gebruikt. Overlaten worden niet ingegeven in de basismodellen; schuiven worden standaard open verondersteld. Voor schuiven en knijpopeningen wordt een standaardlengte van 1m verondersteld. Een gedetailleerde beschrijving van de gevolgde procedure voor elke structuur is terug te vinden in bijlage 5.
- Op basis van detailgegevens over pompstations en regelstructuren ter hoogte van bufferbekkens die aangeleverd werden door de verschillende hydrologen bij de VMM is één centrale geodatabase opgebouwd met relevante informatie. Het inlaatpunt, lozingspunt en capaciteit zijn de verplichte datavelden in deze database. De capaciteit die modelmatig gebruikt zal worden is de totaalcapaciteit van het betrokken pompstation. Specifieke sturing op basis van peilen of waterhoogtes is niet in beschouwing genomen.
- Bijkomende informatie over hydraulische structuren werd aangeleverd door een groot aantal externe partijen tijdens de externe review van de kaarten. Dit wordt toegelicht in §4.3.

Hydraulische structuren hebben vaak een complexe sturing (bv. afhankelijkheid van het waterpeil op andere locaties in het watersysteem). Deze sturing kan niet ingevoerd worden in dit type modellen. Daarom wordt steeds de meest waarschijnlijke situatie bij hoogwaterafvoer ingevoerd.



Indien informatie beschikbaar is over de werkelijke afmetingen van de structuren wordt deze gebruikt in de modellen. Indien deze informatie niet beschikbaar is, wordt toch een structuur ingegeven (om doorstroming van water in de modellen te verzekeren), maar wordt gebruik gemaakt van een aantal standaardafmetingen. Voor duikers worden standaardwaarden voor breedte en hoogte gehanteerd in functie van de categorie van de waterloop waarop deze structuren zich bevinden. Deze standaardwaarden werden bepaald aan de hand van een statistische analyse per categorie waterloop van de afmetingen van hydraulische structuren waar deze gegevens wel beschikbaar zijn, nl. uit de databank met aangeleverde hydraulische structuren uit de VMM modellen (zie hierboven). Van deze gegevens werd per categorie een gemiddelde waarde bepaald van de hoogte en de breedte van de aanwezige structuren.

De standaardwaarden die gehanteerd werden binnen het VLAGG-2017 project zijn terug te vinden in onderstaande tabel 30. In §3.7 is een analyse terug te vinden van de gevoeligheid van de resultaten aan deze afmetingen, waaruit blijkt dat zelfs bij een reductie van deze afmetingen met 50% de impact op de resultaten beperkt is. Ter vergelijking zijn in deze tabel ook de afmetingen aangeduid die gebruikt werden in de pilootstudie van 2016, die destijds bepaald werden op basis van de gemiddelde breedte en hoogte (per categorie) van een beperkte set gegevens. Hierbij kan opgemerkt worden dat de verschillen tussen beide beperkt zijn. De grootste aanpassing betreft een daling van breedte bij de bevaarbare waterlopen van 10 m naar 8 m. Deze waterlopen worden in principe niet expliciet gesimuleerd in de JFlow® modellen, maar behandeld als afwaartse randvoorwaarden met opgelegde waterhoogtes.

tabel30: Weerhouden standaardafmetingen voor duikers.

Categorie waterloop	Hoogte (m)		Breedte (m)	
	Piloot 2016	VLAGG-2017	Piloot 2016	VLAGG-2017
Cat 0	5	5	10	8
Cat1	2	2.5	4	4
Cat 2	1	1.5	2	2
Cat 3	1	1	1	1.5
Andere	0.6	1	0.6	1

In JFlow® worden alle duikers als een rechthoekige dwarsdoorsnede verondersteld, met 90° wanden aan de inlaat en uitlaat. Stroming doorheen de structuren wordt berekend aan de hand van Manning wrijvingsverliezen en zonder rekening te houden met opstuwing. Dit verschilt van klassieke 1D hydraulische modellen (bv. InfoWorks ICM), die de invoer van verschillende types en vormen van duikers toelaten en in de berekeningsformules ook rekening houden met opstuwingeffecten. Uit eerdere testen blijkt dat voor het beoogde type simulaties deze aanpak goede resultaten oplevert; de grootste afwijkingen worden waargenomen ter hoogte van duikers waar een vereenvoudigde berekening op basis van Manning wrijvingsverliezen minder aangewezen is, zoals bv. bij duikers met grote lengte.

De duikers worden modelmatig bepaald door de locatie van de inlaat en de uitlaat, die vastleggen waar water uit het model onttrokken wordt en waar het weer geïntroduceerd wordt en waaruit ook de helling van de duiker bepaald wordt.

De duikers in de modellen transporteren enkel een bepaald debiet van de inlaatlocatie naar de uitlaatlocatie. Het aanwezige buffervolume in de duiker zelf wordt niet in rekening gebracht in de modellen. Voor lange of



brede duikers kan het daarom beter zijn te werken met een DTM-edit (waarbij het volume in de edit wel in rekening gebracht wordt).

Het aantal structuren per deelmodel dat uiteindelijk werd ingevoerd in de JFlow[®] modellen is terug te vinden in tabel 31. Naast de eigenlijke hydraulische structuren (leidingen, pompstations, structuren aan bufferbekkens) worden hierbij ook aanpassingen aan het digitaal hoogtemodel vermeld. Dit gaat over (kunstmatige) aanpassingen i.f.v. de hydraulische simulaties, waarbij nog een onderscheid wordt gemaakt tussen:

- Polygonen: omtrek waarbinnen het DTM wordt aangepast naar een nieuw hoogtepeil; dit gaat bv. om recente ophogingen of uitgravingen (bv. bouwputten) die nog niet aanwezig zijn in het meest recente DTM
- Lijnobjecten: lijnvormige elementen die bv. omwille van de resolutie van het DTM niet volledig naar voren komen in de hydraulische modellen (bv. smal dijklichaam)



Deelbekken	Aantal duikers	Aantal pompstations	Aantal lineaire DTM aanpassingen	Aantal polygon DTM aanpassingen
05-05	660	1	0	16
05-06	569	2	0	28
06-01	495	0	0	6
06-02	130	0	0	2
06-03	742	3	6	7
06-04	612	0	3	19
06-05	332	0	0	3
07-01	595	2	0	24
07-02	221	0	0	8
07-03	280	0	0	4
07-04	254	1	0	7
07-05	384	3	2	10
07-06	273	0	0	0
07-07	556	0	4	24
08-01	238	0	1	5
08-02	402	0	11	37
08-03	107	1	4	8
08-04	185	0	1	13
08-05	167	1	6	44
08-06	256	0	5	51
08-07	694	2	5	46
08-08	276	1	3	27
08-09	296	0	2	12
08-10	474	1	2	10
08-11	117	0	0	3
08-12	137	0	2	12
09-01	331	0	2	11
09-02	570	0	5	35
09-03	107	0	0	6
09-04	235	0	0	14
09-05	240	0	0	28
09-06	569	0	2	41
09-07	482	0	0	18
09-08	360	0	5	34
09-09	133	0	0	11
09-10	320	1	0	34
09-11	571	0	18	41
09-12	506	0	0	27
09-13	192	0	0	4

Deelbekken	Aantal duikers	Aantal pompstations	Aantal lineaire DTM aanpassingen	Aantal polygon DTM aanpassingen
09-14	511	0	1	10
10-01	348	12	0	4
10-02	307	1	0	4
10-03	251	0	0	5
10-04	274	1	0	8
10-05	674	0	0	16
10-06	390	0	0	18
10-07	500	3	0	35
10-08	179	0	0	7
10-09	308	0	0	6
10-10	301	0	0	16
10-11	213	1	0	19
10-12	452	3	1	16
10-13	351	0	0	12
11-01	317	0	1	0
11-02	796	0	13	5
11-03	901	1	25	19
11-04	273	0	0	1
11-05	386	0	0	18
11-06	383	0	0	10
11-07	619	0	2	7
11-08	134	0	0	7
11-09	76	0	0	1
11-10	244	0	5	28
11-11	80	0	0	13
TOTAAL VLAANDEREN	43610	173	219	2078

////////////////////////////////////

2.6.5 Randvoorwaarden

In de JFlow[®] modellen wordt ter hoogte van de getijdegevoelige rivieren een vaste randvoorwaarde opgelegd om het afwaarts waterpeil in rekening te brengen. Ter hoogte van brede waterlopen die niet expliciet worden gesimuleerd (zoals de Schelde), geeft het gebruik van het originele DTM immers een onregelmatig beeld (ruis op de opgemeten hoogtepellen). Vandaar dat voor een goede visualisatie over de contouren van deze brede waterlopen binnen de contour van de waterloop het DTM werd aangepast om een meer afgevlakt peil te verkrijgen dat dan werd ingewerkt in het DTM dat binnen de hydraulische modellen gehanteerd wordt.

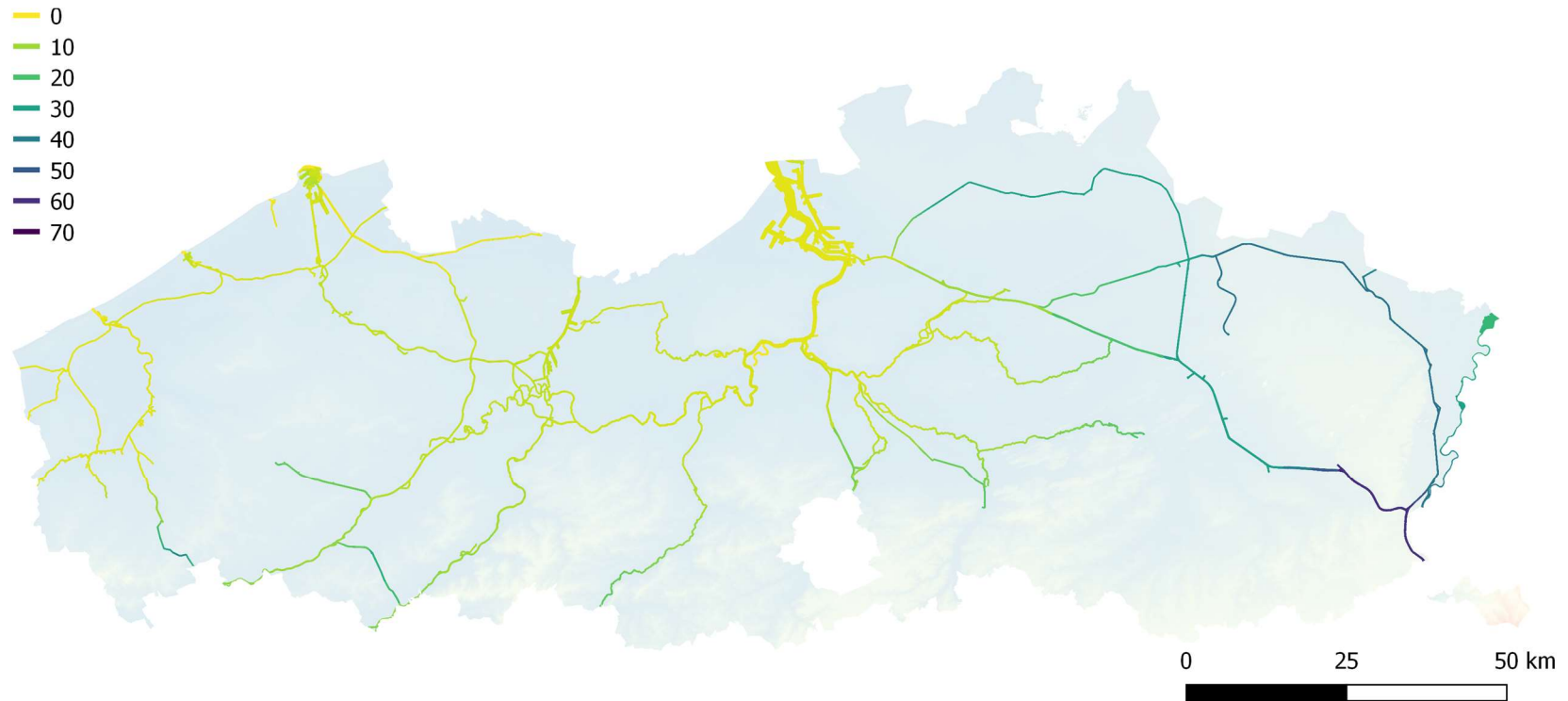
De methodiek die hierbij gebruikt wordt, is een interpolatie tussen de beschikbare waterpeilen (modelresultaten) op locaties waar een modelknoop beschikbaar is. Dit is noodzakelijk gezien het gehanteerde grid in de JFlow[®] modellen (en ook het onderliggende DTM) een veel grotere resolutie heeft dan de output uit de hydraulische modellen. Aangezien de opgestelde modellen de pluviale overstromingen (directe afstroming over het oppervlak) in kaart brengen en niet in de eerste plaats de fluviale overstromingen (overstromingen vanuit de waterloop), wordt hierbij geen dynamische of hoge afwaartse randvoorwaarde opgelegd, maar wel een basispeil. Hiervoor wordt een tijgemiddeld peil gebruikt dat éénmaal per jaar voorkomt (T1). Deze gegevens werden ter beschikking gesteld door het Waterbouwkundig Laboratorium op basis van hun waterloopmodellen.

Doordat grotere modelgebieden gesimuleerd worden (op deelbekeniveau) en niet per SRM zone blijft het effect van deze randvoorwaarde relatief beperkt in uitgestrektheid. Dit neemt niet weg dat in de lager gelegen en afwaartse delen van de waterlopen er een significante onderschatting kan zijn van de overstromingscontouren ten gevolge van het niet in rekening brengen van het opstuwend effect bij hoogwater. De belangrijkste reden om dit ook niet samen in 1 model te simuleren is dat de hoge afwaartse randvoorwaarde en de hoge opwaartse piekdebieten niet gecorreleerd zijn, maar afhankelijk kunnen zijn van verschillende hydrologische omstandigheden (en van het getij). De opgemaakte modellen simuleren vooral de piekafstroming bij zomerse onweersbuien. Voor gebieden die meer onderhevig zijn aan winterse overstromingen (grotere waterlopen) ten gevolge van langdurige verzadiging van de ondergrond in combinatie met minder extreme buien, zullen de in deze studie bepaalde afstromingsgevoelige kaarten dan ook een onderschatting geven en dienen de overstromingskaarten o.b.v. de waterloopmodellen te worden gehanteerd.

In figuur 31 is een overzicht terug te vinden van de locaties waar in de modellen een afwaartse randvoorwaarde werd toegepast.



figuur 31: Overzicht van locaties waar in de hydraulische modellen een randvoorwaarde werd toegepast, met aanduiding van de grootteorde van het opgelegde waterpeil in m TAW



2.6.6 Voorstelling gebouwen

Om een correcte weergave te krijgen van het complexe stromingspatroon van afstromend water omheen gebouwen is het noodzakelijk om een gridresolutie te gebruiken van 2m of minder.

In de hydraulische modellen dient daarbij een keuze gemaakt te worden hoe de aanwezigheid van gebouwen gemodelleerd wordt. Hiervoor bestaan 2 mogelijkheden:

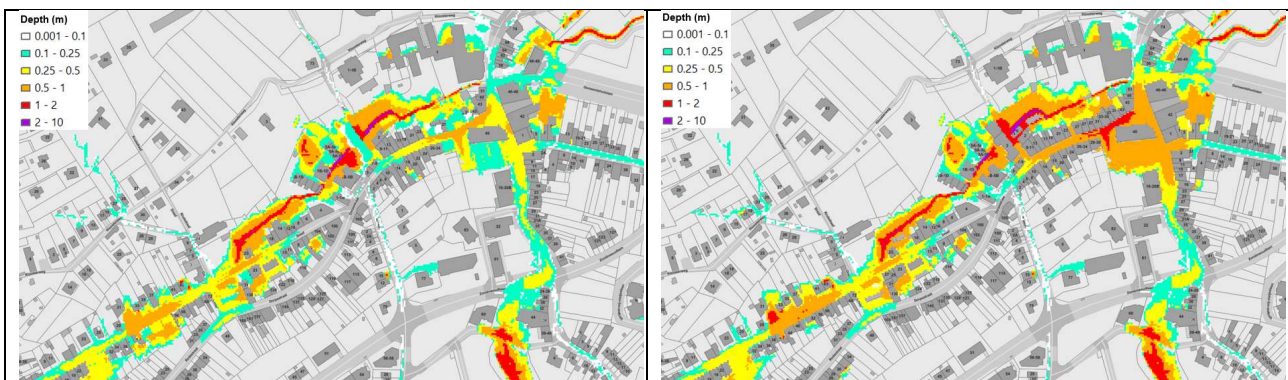
- Overstromingsvrij ('unfloodable'): hierbij kan geen water door de gebouwen stromen en vormen de gebouwen dan ook een barrière voor afstromend water
- Verhoogd vloerpeil ('stubby buildings'): hierbij kan water vanaf een te specifieke waterhoogte (bv. 30 cm) die overeenkomt met het drempelpeil van de woning door de woning stromen (eventueel met een verhoogde wrijvingscoëfficiënt)

Het verschil tussen beide werkwijzen is in detail beschreven in §3.10.

Bij de doorrekening van de modellen binnen huidig project worden gebouwen als overstromingsvrij gesimuleerd (water kan niet door de gebouwen stromen) door deze kunstmatig te verhogen tot een hoogte van 10m. Hierdoor zal water in de modellen dus steeds rond de gebouwen stromen. Uit verschillende methodologische testen ([JBA, 2016], [Engineers Australia, 2012], §3.10) blijkt dat deze voorstelling de meest nadelige situatie weergeeft en in de meeste situaties lokaal ook de meest accurate resultaten oplevert.

Nadeel van deze werkwijze is wel dat op specifieke plaatsen (vaak een aaneengesloten rij huizen onderaan een helling) de woningen een (te) sterke barrière kunnen vormen voor afstromend water, met als gevolg dat het water onrealistisch accumuleert aan de stroomopwaartse zijde met als gevolg te hoge waterpeilen opwaarts de gebouwen en te lage waterpeilen afwaarts de gebouwen. Een voorbeeld hiervan is terug te vinden in figuur32. Deze specifieke situaties kunnen opgelost worden door specifieke modelaanpassingen door te voeren (invoeren leiding onder gebouwen of lokale opening tussen gebouwen creëren).

figuur32: Vergelijking tussen modelresultaten bij simulatie met verhoogd vloerpeil (links) en overstromingsvrije gebouwen (rechts) t.h.v. Centrum Sint-Genesius-Rode.



2.6.7 Hervoeden van afstroming via riolering



Zoals beschreven in §2.5.4 wordt de hoeveelheid neerslag die van de neerslagprofielen wordt afgetrokken (T2 composietbui) omwille van de afvoer via het rioolstelsel opnieuw geïntroduceerd ter hoogte van de afwaartse waterloop waarin dit rioolstelsels loost.

Hierbij wordt het volume dat afgetrokken wordt van het neerslagprofiel opnieuw geïntroduceerd in de JFlow[®] modellen ter hoogte van gekende lozingspunten op waterlopen. Uit een aantal testen bleek dat het toepassen van een uniforme hervoeding langsheen het tracé van waterlopen van 1^e en 2^e categorie een ongewenst effect op de resultaten had en dat een hervoeding nodig is op de locaties waar er ook een grote concentratie van stedelijke afwatering is, zelfs tot de detailgraad van effectieve lozingspunten. Uniform hervoeden verhoogt immers ook de overstromingen in landelijke gebieden en opwaartse waterlopen, terwijl ter hoogte van de lozingspunten en stedelijke zones er te weinig effect is, omdat er niet voldoende geconcentreerd wordt hervoed. Dit werd nagegaan door vergelijking van de JFLOW[®] resultaten met en zonder hervoeding te vergelijken met de overstromingskaarten van het integrale ICM model van de Benedenvliet.

Daarom werd beslist de hervoeding van de T2 volumes in de modellen in te werken ter hoogte van de effectieve lozingspunten op de waterlopen. Deze worden bepaald op basis van de gebiedsdekkende laag van rioollozingspunten uit de AWIS databank van VMM. Per lozingspunt wordt hierbij een Thiessenpolygoon bepaald en wordt bekeken hoeveel verharding aanwezig is binnen deze polygoon. Hierbij wordt enkel verharding van het type Urban a (gebouwen en wegenis) beschouwd, aangezien enkel voor deze oppervlaktes de T2 composietbui in mindering gebracht wordt. Ter hoogte van elk lozingspunt wordt de hoeveelheid neerslag van de T2 composietbui afstromend van de 'Urban a' oppervlakte binnen de polygoon dan hervoed ter hoogte van het betrokken lozingspunt, waarbij volgende verdeling gehanteerd wordt:

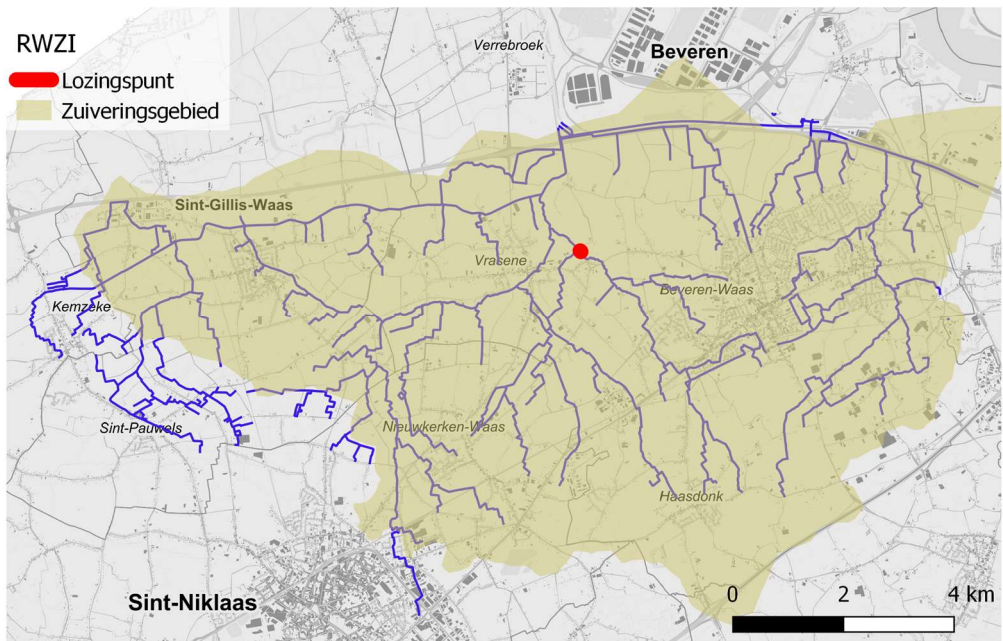
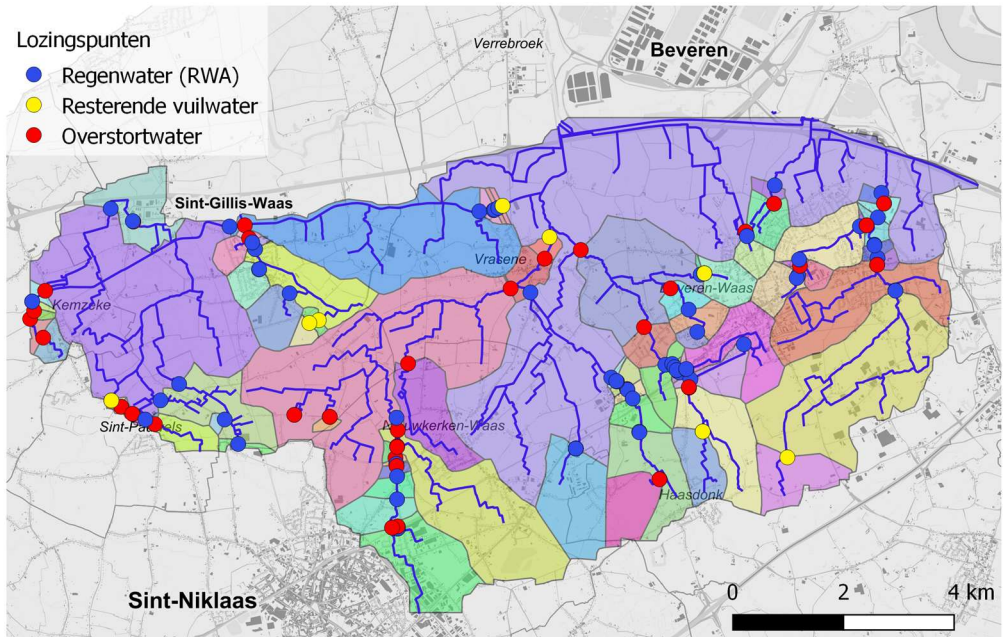
- RWA uitlaat: hervoeden gebeurt voor 100% t.h.v. het lozingspunt voor de afgebakende Thiessenpolygoon horend bij deze uitlaat
- Resterende vuilwater lozing: hervoeden gebeurt voor 100% t.h.v. het lozingspunt voor de afgebakende Thiessenpolygoon horend bij deze uitlaat
- Overstort op gemengd systeem: hervoeden gebeurt voor 50% t.h.v. het lozingspunt voor de afgebakende Thiessenpolygoon horend bij deze uitlaat
- RWZI effluent lozingspunten: binnen elke zuiveringszone wordt de resterende 50% van gemengde systemen t.h.v. de RWZI hervoed, echter gecorrigeerd op basis van beschikbare metingen (zie hieronder)

Dit gaat dus uit van de veronderstelling dat voor gemengde rioolssystemen de helft van het water dat afstroomt via het rioolstelsel de RWZI zal bereiken en de helft meer stroomopwaarts geloosd wordt via overstorten.

Dit principe wordt geïllustreerd in figuur 33. Hierin worden voor een voorbeeldgebied de verschillende types lozingspunten en het hiermee verbonden afstroomgebied (Thiessen polygoon) gevisualiseerd. Deze voor de RWZI wordt in een aparte figuur weergegeven omdat deze overlapt met de andere afstroomgebiedjes.

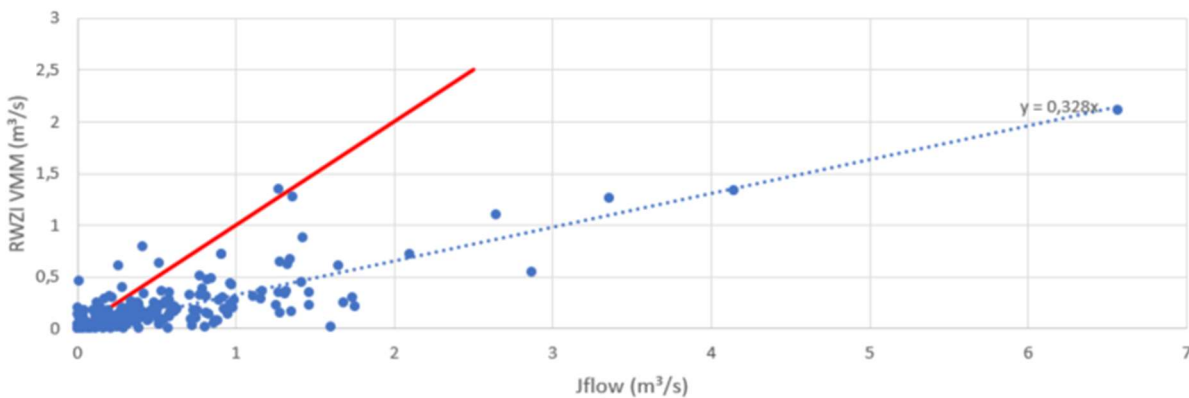


figuur 33: Illustratie van principe van hervoeden van afstroming via riolering



Uit een vergelijking van enerzijds de debieten die hervoed worden ter hoogte van de RWZI's wanneer 50% van de afstroming in rekening gebracht wordt en anderzijds de daggemiddelde piekdebieten zoals effectief gemeten door VMM (voor de stations waar een meting beschikbaar is), blijkt dat deze aanname in veel gevallen te ver afwijkt van de werkelijke lozing en leidt tot overschattingen van de overstromingscontouren net afwaarts bepaalde RWZI's. In figuur34 worden de gesimuleerde daggemiddelde piekdebieten (o.b.v. T2 refeed, 288 RWZI's met beschikbare gegevens) vergeleken met het gemeten 90 percentiel (pieklozingsdebiet van de RWZI dat maar in 10% van de gevallen wordt overschreden). Hieruit blijkt dat de gesimuleerde piekdebieten gemiddeld ca. een factor drie hoger liggen.

figuur34: Vergelijking gesimuleerd en gemeten gemiddeld dagdebiet voor correctie (Rode lijn geeft 1:1 relatie weer)

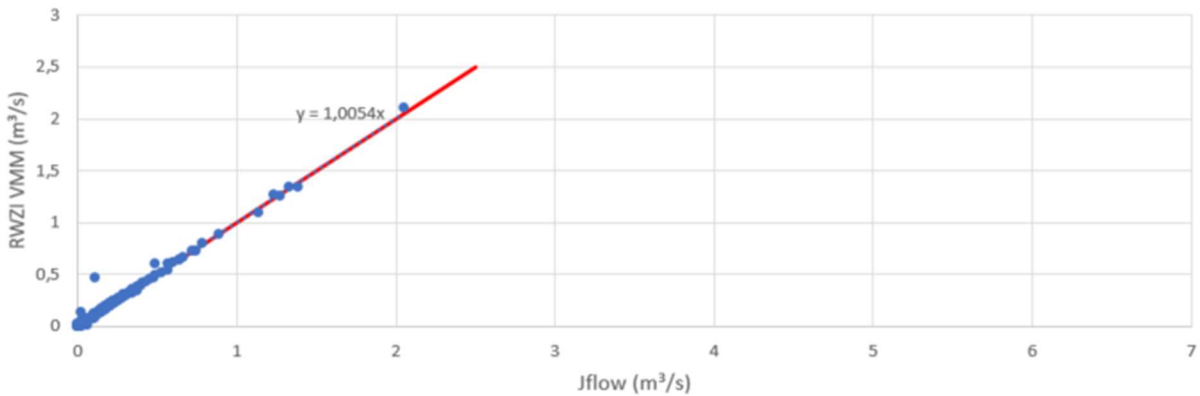


Daarom werd per zuiveringsgebied een correctie toegepast, waarbij gebruik gemaakt werd van nieuwe afstromingscoëfficiënten die overeenkomen met de gemeten 90 percentiel waarde (zie figuur35). Hierbij werd wel steeds een minimale waarde van 1% en maximaal van 50% (cf. initiële aanname dat maximaal de helft van het piekdebiet via de RWZI wordt geloosd en de rest via opwaartse lozings of overstorten) gehanteerd. Voor RWZI's waarvoor geen meetgegevens beschikbaar waren of waar er onduidelijkheid was over de relatie tussen meting en lozingspunt werd een standaard correctie uitgevoerd overeenkomstig de regressie uit figuur34.

Het effect van deze correctie op de resultaten wordt verder geïllustreerd in §3.9. Hierbij dient wel in acht genomen te worden dat er bij deze correctie niet langer rekening gehouden is met de totale volumebalans van de volledige T2 hervoeding (het totale debiet dat gevoed wordt via de overstorten en de RWZI komt niet langer overeen met het totale debiet dat onttrokken wordt aan de modellen via de T2 correctie op de neerslag). Globaal gaat er een tiental % van het totale T2 hervoedingsdebiet verloren, maar hierop kan per zuiveringsgebied nog een spreiding zitten.

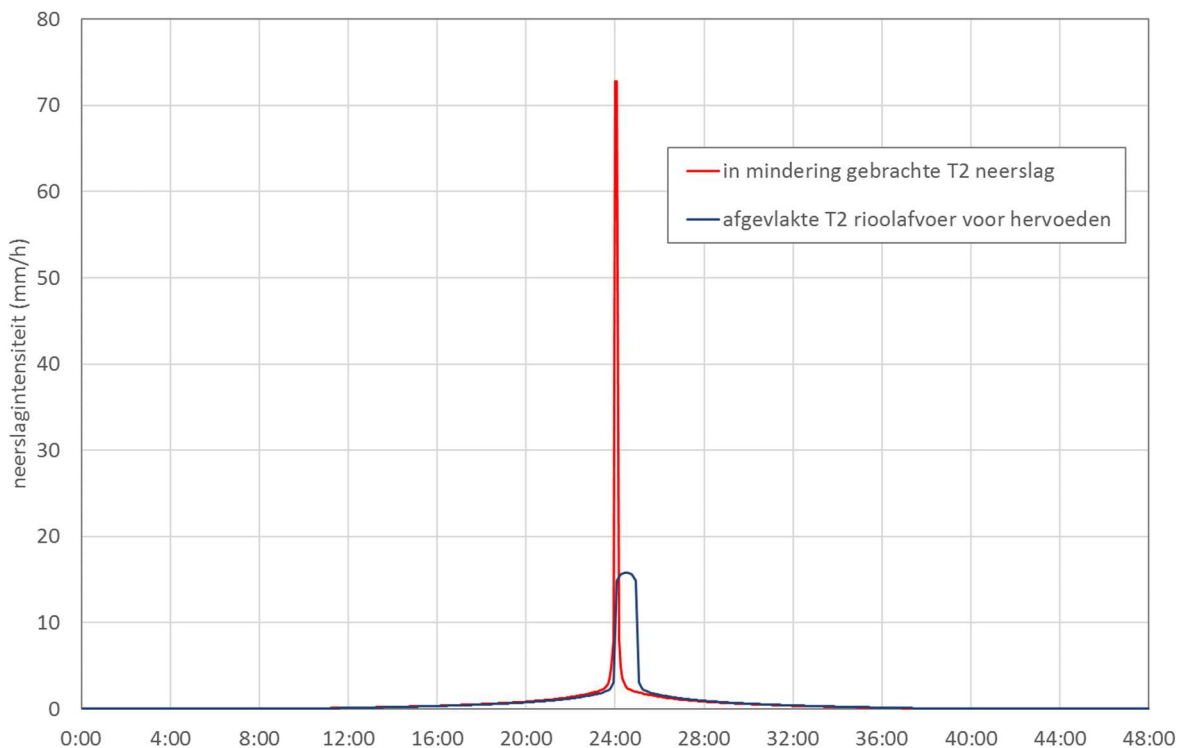


figuur35: Vergelijking gesimuleerd en gemeten gemiddeld dagdebiet na correctie (Rode lijn geeft 1:1 relatie weer)



De afstromende volumes worden ter hoogte van deze lozingspunten opnieuw geïntroduceerd in de JFlow® modellen door middel van een instroomhydrogram. Hierbij wordt op de oorspronkelijke T2 composietbui een extra afvlakking (uitmiddeling) over 60 minuten toegepast voor de opwaartse uitlaten (zie figuur36) en over 120 minuten voor de RWZI effluent lozingen. Dicht bij elkaar liggende lozingspunten (minder dan 200 m tussenafstand) worden samengenomen in 1 instroomhydrogram.

figuur36: Composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar (in rood) en afgevlakt over 60 min concentratietijd voor hervoeden ter hoogte van de waterloop.

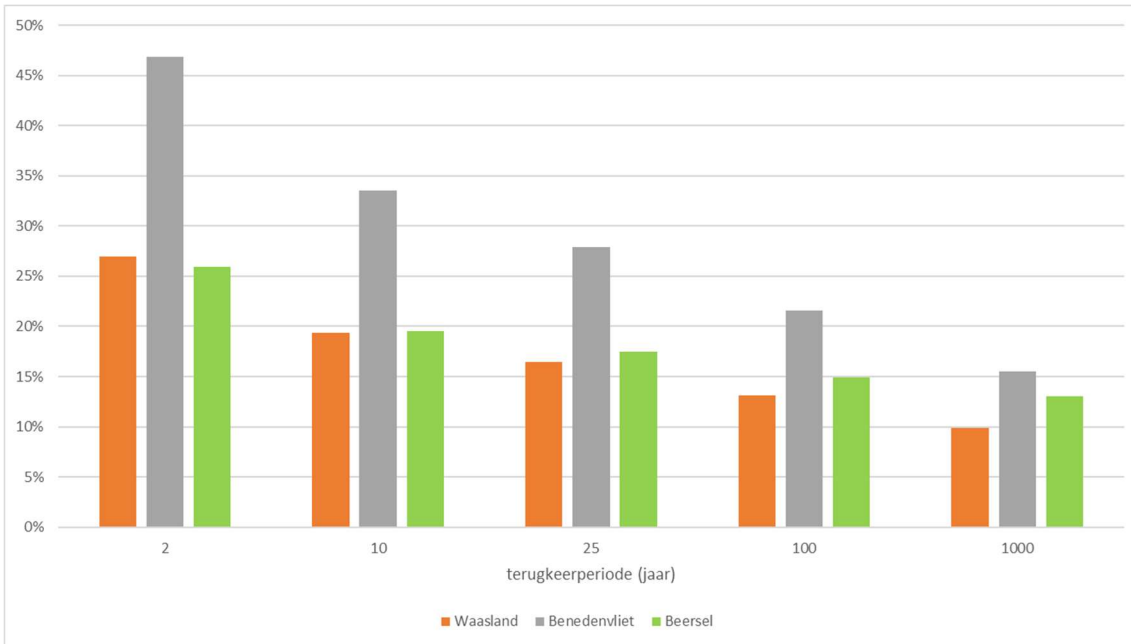


Zonder hervoeden van de T2 afstroming naar de waterloop zullen de volumes in de waterloop vooral bij kleine terugkeerperioden onderschat worden. Het hervoeden van de T2 afstroming heeft echter enkel effect op de overstromingen langsheen de waterlopen (fluviaal) en niet op deze opwaarts in het gebied (pluviaal). Bovendien verkleint het effect bij grotere terugkeerperiodes (figuur37). Voor kleinere waterlopen met grote stedelijke afvoer kan dit hervoeden wel een lokaal significant effect hebben (bv. Mandel te Roeselare). Hierbij moet wel gezegd worden dat overstorten van gemengde riolen en uitwateringen van RWA riolen in de praktijk vooral een zeer grote invloed zullen hebben bij nog grotere terugkeerperiodes (groter dan de T2 die hervoed wordt) en dat alle stedelijke afvoer boven T2 ook zonder hervoeding wordt ingerekend in de JFlow® simulaties via de oppervlakte-afstroming. Bovendien is in JFlow® het bodempeil van de waterloop gebaseerd op het DTM en dus op basis van een bepaald aanwezig waterpeil in de waterloop tijdens de opmeting. In die zin is de doorstroomsectie van de waterlopen in JFlow® al enigszins beperkt t.o.v. de realiteit en kan het volledig herinvoeren van alle instroom in de waterloop een overschatting geven van de opstuwings t.g.v. deze 'bodemverhoging'. Het toch niet hervoeden van de T2 kan een manier zijn om deze 'bodemverhoging' te compenseren. Het weglaten van de hervoeding zou dan betekenen dat er wordt verondersteld dat de basiswaterhoogte in de waterlopen die in het DTM vervat zit, ongeveer overeenkomt met het waterpeil bij een afstroming gelijk aan het aandeel van de T2 rioolafstroming. Globaal gezien komt de waterhoogte die in het DTM vervat zit, overeen met veel lagere terugkeerperiodes dan T2. Bovendien is dit T2 hervoedingsaandeel een debiet dat heel wat frequenter dan eens om de 2 jaar voorkomt in de waterloop, omdat bij de globale afstroming de som van de landelijke en stedelijke afstroming moet worden beschouwd (zie ook figuur37). De frequentie hangt echter af van de verhouding stedelijk versus landelijk gebied en ligt voor de globale afstromingsvolumes van Beersel en Benedenvliet respectievelijk rond 10 tot 2 keer per jaar. In figuur37 is te zien dat het T2 hervoedingsaandeel bij meer stedelijke gebieden (Benedenvliet) vrij groot is tot bijna 50% bij een terugkeerperiode van 2 jaar, wat betekent dat ongeveer (bijna) de helft van de afstroming van urban a oppervlakte komt. Voor minder verstedelijkte gebieden (Beersel en Waasland) is dit veel minder. Bij stijgende terugkeerperiodes zal er meer oppervlakte-afstroming zijn en zal het aandeel van de T2 hervoeding dalen t.o.v. het globale afstromingsvolume.

Eventueel kan nog overwogen worden om ter compensatie van het feit dat in het DTM niet de volledige doorstroomsectie beschikbaar is, maar een deel van de hervoeding door te voeren. Bovendien zal in een rioolstelsel een bui tot een frequentie van 7 keer per jaar niet lokaal overstorten, maar doorgevoerd worden naar de (afwaartse) RWZI. Dit volume van een f7 bui is ongeveer de helft van deze van een T2 bui.



figuur37: Aandeel van de T2 volumes in de globale volumebalans (som van oppervlaktes vermenigvuldigd met overeenkomstige afvoercoëfficiënt) voor de 3 pilotgebieden i.f.v. de terugkeerperiode.



Uit de vergelijking van de kaarten met en zonder hervoeden van de T2 riolafstroming, blijkt dat dit weinig effect heeft op de uitgestrektheid van de significante afwaartse overstromingsgebieden. Lokaal krijgen we wel verschil, vooral op de opwaartse segmenten van de waterloop, omdat hier in het model soms grote 'riooldebiëten' worden geloosd op kleine waterlopen, ook al is dit in de praktijk niet steeds op die locatie (zie verder in §3.8). De schematisering van de rioolozingen speelt dus een zeer belangrijke rol om het effect van het hervoeden correct weer te geven. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het zinvol is de locaties van de rioolozingen meer gedetailleerd in kaart te brengen. Het vereenvoudigd hervoeden (via Thiessen polygoon) opwaarts van de meest opwaartse rioolozing kan in sommige gevallen immers leiden tot significant verkeerde inschattingen van de overstromingen langsheen kleine waterlopen. Een beter resultaat kan eventueel nog bekomen worden wanneer het afstroomgebied per lozingspunt nog meer in detail wordt afgebakend op basis van informatie over de layout van het opwaartse rioolstelsel.



2.7 Aanmaak afstromingsgevoelige kaarten

Op basis van de modelresultaten worden per scenario (combinatie van een tijdshorizont en een terugkeerperiode) zones aangeduid van afstromingsgevoelige gebieden. Hierbij worden eerst de resultaten per deelmodel (zie §2.4) samengevoegd tot een gebiedsdekkende dataset voor Vlaanderen en worden daarna de afstromingsgevoelige gebieden bepaald door rekening te houden met bepaalde drempelwaarden. Dit wordt hieronder beschreven.

2.7.1 Samenvoegen deelmodellen

Zoals beschreven in §2.4 worden de verschillende deelmodellen gesimuleerd met een bepaalde buffer rondom de modelgrenzen om beter rekening te houden met de accumulatie van afstromend water uit opwaartse zones die zich buiten de eigenlijke modelgrenzen bevinden. Hierbij wordt standaard een buffer gebruikt van 500 m rond elk deelbekken zodat er reeds in beperkte mate oppervlakkige afstroming gegenereerd wordt aan de randen, maar in sommige gevallen blijkt deze bufferafstand niet te volstaan om een correcte weergave te verkrijgen van de overstromingscontouren langsheen de stroomopwaartse secties van waterlopen. Er wordt vastgesteld dat de afstromingsgevoelige kaarten beter overeenkomen met de werkelijkheid wanneer in het stroomopwaarts gelegen deelmodel de afwaartse buffer ruimer genomen wordt. Daarom werd gebruik gemaakt van een variabele bufferafstand, zoals beschreven in §2.4.

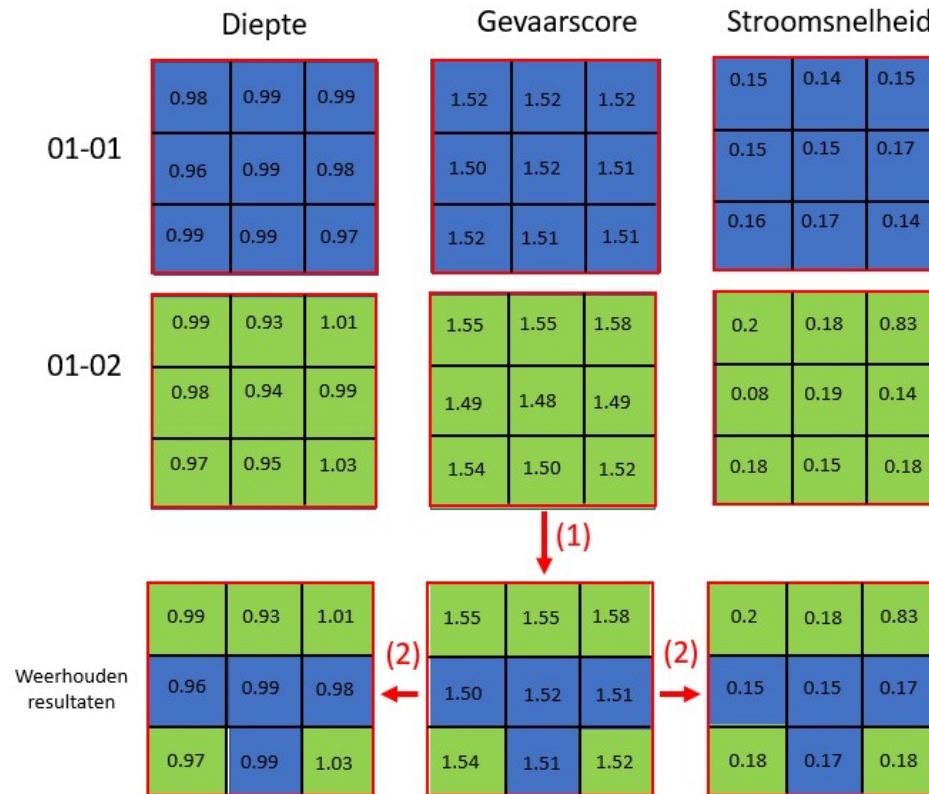
Bij de opmaak van de finale gebiedsdekkende kaarten dient de informatie van de verschillende deelmodellen gecombineerd te worden op locaties waar deze elkaar overlappen. Hierbij werd volgende methodiek toegepast ('mosaicking' methodiek), die schematisch geïllustreerd wordt in figuur38:

- Voor de overlappende gebieden is voor elke pixel gekeken in welk deelbekken het grootste gevaar ('hazard rating') wordt waargenomen¹
- De waarden voor snelheid en diepte voor elke pixel worden overgenomen uit het model met de hoogste gevaarwaarde.

In figuur39 wordt een voorbeeld gegeven van het effect van deze bewerking. Op de figuur zonder nabewerking is te zien dat ten noorden van de deelmodelgrens (zwarte lijn op de figuren) zeer lage overstromingsdieptes gesimuleerd worden omdat in dat deelmodel nauwelijks accumulatie van water plaatsvindt op deze locatie. De figuur rechts toont dat wanneer een nabewerking toegepast wordt, grotere overstromingsdieptes gesimuleerd worden, omdat het water van het zuidelijke deelmodel verder accumuleert in de buffer van dit deelmodel en deze overstromingscontouren bij het samenvoegen van de deelmodellen overgenomen worden ten noorden van de modelgrens.

¹ De hazard rating wordt in elke grid cell bij elke tijdstap berekend met de formule Diepte x (Snelheid + 0.5) + Restfactor, waarbij de Restfactor = 0.5 indien de Diepte <= 0.25m en de restfactor = 1 indien de diepte > 0.25m. : zie [DEFRA/Environmental Agency, 2006].

figuur38: Schematische illustratie gehanteerde methodiek bij samenvoegen deelmodellen tot gebiedsdekkende kaart

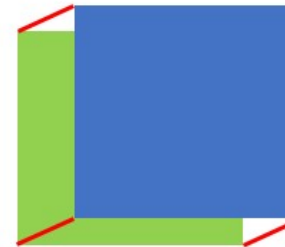


Mosaicking methodiek bij opmaak gebiedsdekkende kaarten

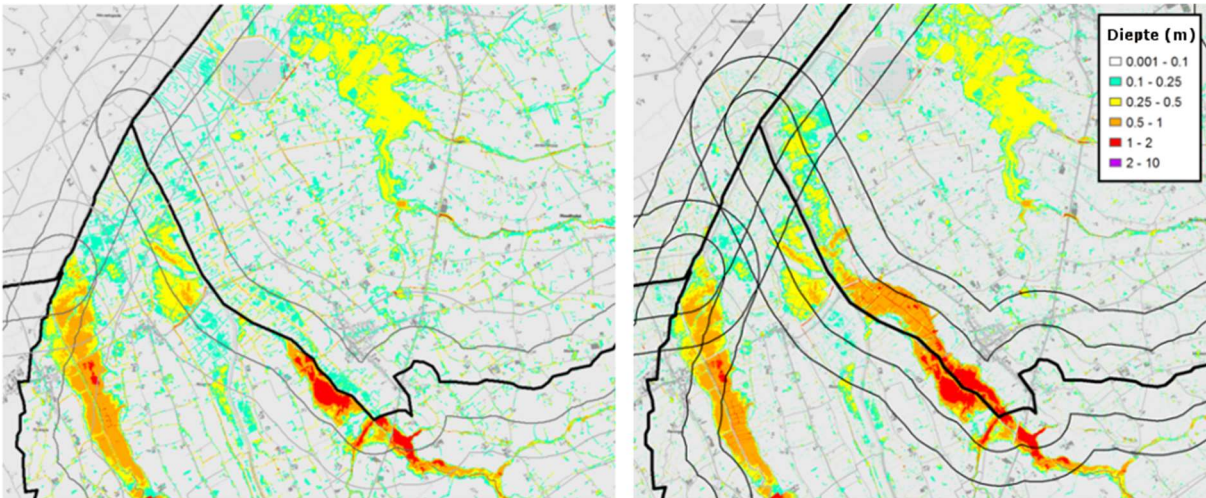
De illustratie beschrijft een voorbeeld waar 9 gridcellen van deelmodel 01-01 en deelmodel 01-02 elkaar overlappen.

De waarden van de Gevaarscore grid worden vergeleken en voor elke rastercel wordt de maximale waarde van beide deelmodellen overgenomen. De waarden van maximale diepte en maximale stroomsnelheid worden vervolgens overgenomen uit het corresponderende deelmodel.

Dit betekent dus dat voor elke rastercel de waarden van gevaarscore, maximale diepte en maximale stroomsnelheid steeds afkomstig zijn uit hetzelfde deelmodel.



figuur39: Illustratie effect van combineren modelresultaten: voor nabewerking (links) en na nabewerking (rechts)



2.7.2 Afbakening afstromingsgevoelige gebieden

Aangezien de JFlow® simulaties directe afstroming simuleren en in het model water afstroomt over het volledige modelgrid, zou het weergeven van alle waterhoogtes hoger dan nul een volledige inkleuring van de kaarten geven. Een deel van de afstroming dient dus niet als ‘overstroming’ gecatalogeerd te worden, maar als inzameling van het water. Bovendien zal pas vanaf een bepaalde waterhoogte er ook effectief een overlast worden gecreëerd. Om dit onderscheid te kunnen vertalen van de simulaties naar de afstromingsgevoelige kaarten, wordt een drempelwaarde gebruikt om te beslissen welke grid cellen als ‘nat’ en welke als ‘droog’ gecatalogeerd worden en dus vanaf wanneer de grid cel ook effectief wordt ingekleurd als overstroomd.

Om te bepalen of een bepaalde locatie zich al dan niet in afstromingsgevoelig gebied bevindt, wordt bij de opmaak van de uiteindelijke kaarten gekeken naar de combinatie van de gesimuleerde waterdiepte en afstromingssnelheid. Waterdieptes van 10 cm en meer worden steeds ingekleurd als afstromingsgevoelig, bij waterdieptes boven de 5 cm gebeurt dit enkel indien de snelheid groter is dan 0,5 m/s (zogenaamde hazard rating van 0.55 en meer). De reden hiervoor is dat bij een hoge stroomsnelheid ook lagere waterdieptes al een risico kunnen opleveren. De combinaties van stroomsnelheid en waterhoogte waarbij een locatie (pixel van het 2m × 2m grid) ingekleurd wordt als afstromingsgevoelig, wordt weergegeven in tabel32.



tabel32: Relatie tussen waterdiepte en stroomsnelheid waarbij de blauw ingekleurde combinaties in de kaart worden ingekleurd bij een hazard rating van minstens 0.555 [JBA, 2016].

Hazard Rating		waterhoogte (m)								
		0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.50	0.75	1.00	2.00
stroom- snelheid (m/s)	0.05	0.528	0.555	0.610	0.638	1.165	1.275	1.413	1.550	2.100
	0.10	0.530	0.560	0.620	0.650	1.180	1.300	1.450	1.600	2.200
	0.20	0.535	0.570	0.640	0.675	1.210	1.350	1.525	1.700	2.400
	0.25	0.538	0.575	0.650	0.688	1.225	1.375	1.563	1.750	2.500
	0.30	0.540	0.580	0.660	0.700	1.240	1.400	1.600	1.800	2.600
	0.50	0.550	0.600	0.700	0.750	1.300	1.500	1.750	2.000	3.000
	0.75	0.563	0.625	0.750	0.813	1.375	1.625	1.938	2.250	3.500
	1.00	0.575	0.650	0.800	0.875	1.450	1.750	2.125	2.500	4.000
	2.00	0.625	0.750	1.000	1.125	1.750	2.250	2.875	3.500	6.000

Hierna gebeurt nog een naverwerking van de kaarten waarbij kleine anomalieën verwijderd worden. Deze naverwerking is identiek aan degene die werd toegepast in de pilootstudie van 2016 [JBA, 2016] – zie figuur40:

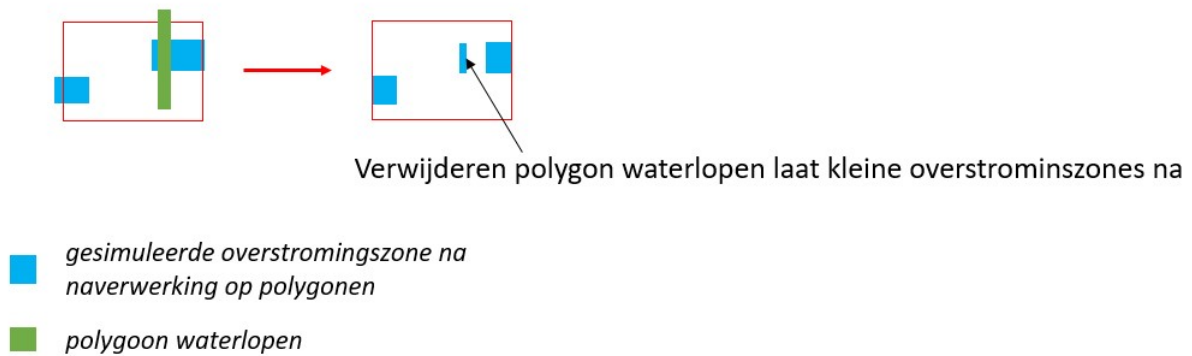
1. Opvullen van eilandjes < 48 m²
2. Verwijderen van losse groepjes pixels < 96 m²
3. Weerhouden van kleinere polygonen die samen zones vormen van > 96 m²

Finaal worden ter hoogte van de polygoon met waterlopen waarbinnen een afwaartse randvoorwaarde werd toegepast (zie figuur 31) de resultaten nog verwijderd om inconsistenties te vermijden. Hierdoor kan het in sommige gevallen lijken dat bepaalde kleine polygonen of losse pixels niet verwijderd werden, terwijl het hier eigenlijk gaat om delen van polygonen die deels verwijderd werden omwille van deze bewerking. Dit wordt schematisch weergegeven in figuur41.

figuur40: Visuele weergave naverwerking van overstromingspolygonen: (1) zones in blauw worden opgevuld, (2) zones in roze worden verwijderd, (3) gecombineerde zones met opp.> 96m² worden weerhouden



figuur41: Visuele weergave naverwerking waarbij polygoon met waterlopen wordt 'uitgeknipt'



2.7.3 Voorstelling overstromingsdiepte gebouwen

Omdat gebouwen als overstromingsvrij gemodelleerd worden (zie §2.6.6) worden deze in de modelresultaten ook steeds weergegeven als niet-overstroomd. Bij de verdere verwerking kunnen deze een inkleuring krijgen in functie van de gesimuleerde overstromingsdiepte, waarbij dan gekeken wordt naar de waterhoogte rondom het gebouw.

Aangezien het moeilijk is om een eenduidige methodiek vast te leggen om weer te geven of een gebouw in een bepaald scenario overstroomd wordt of niet (dit hangt bv. af van de drempelhoogte van het specifieke gebouw), werd beslist de gebouwen momenteel geen specifieke inkleuring te geven, maar per gebouw de nodige parameters te exporteren uit de modellen om een specifieke analyse per gebouw mogelijk te maken. Deze parameters zijn:

- Gemiddelde waterdiepte op gebouwomtrek
- Maximale waterdiepte op gebouwomtrek
- Gemiddeld waterpeil op gebouwomtrek
- Maximaal waterpeil op gebouwomtrek

Om de gemiddelde en maximale waterdiepte op de gebouwomtrek te bepalen wordt aan de hand van ArcGIS (zonal statistics) een buffer van 2m omheen de gebouwpolygoon beschouwd en wordt uit de modelresultaten van de rastercellen die snijden met deze buffer de maximale en gemiddelde waarde bepaald. Hierbij wordt als gemiddelde waarde het gemiddelde van alle rastercellen die als 'overstroomd' gecatalogeerd worden beschouwd. In sommige gevallen (bv. wanneer er slechts 1 rastercel op de gebouwomtrek als 'overstroomd' werd gecatalogeerd kan het gemiddelde gelijk zijn aan het maximum (dit is bv. het geval in onderstaand voorbeeld van de Jan Baptist Wautersstraat).



Per hoofdgebouw worden deze parameters ter beschikking gesteld in de GIS-bestanden. Deze kunnen dan gebruikt worden voor verdere analyse en rapportering. In onderstaande figuur 42 wordt voor een aantal woningen waarvoor het drempelpeil van de woning gekend is (huisnummers werden omwille van privacy redenen verwijderd) een voorstelling gegeven van de gesimuleerde overstromingspeilen ter hoogte van het gebouw. Deze grafieken bevatten volgende informatie:

- op de linkse y-as is het gesimuleerde overstromingspeil in m TAW aangeduid
- op de rechtse y-as is de gesimuleerde overstromingsdiepte in het gebouw aangeduid; hierbij werd het verschil genomen tussen het gesimuleerde overstromingspeil en het drempelpeil van de woning. Er wordt rekening gehouden met het laagste peil waardoor water de woning kan binnenstromen, maar niet met eventueel lagergelegen ruimtes (hogere waterdiepte in bv. een ondergrondse kelder).

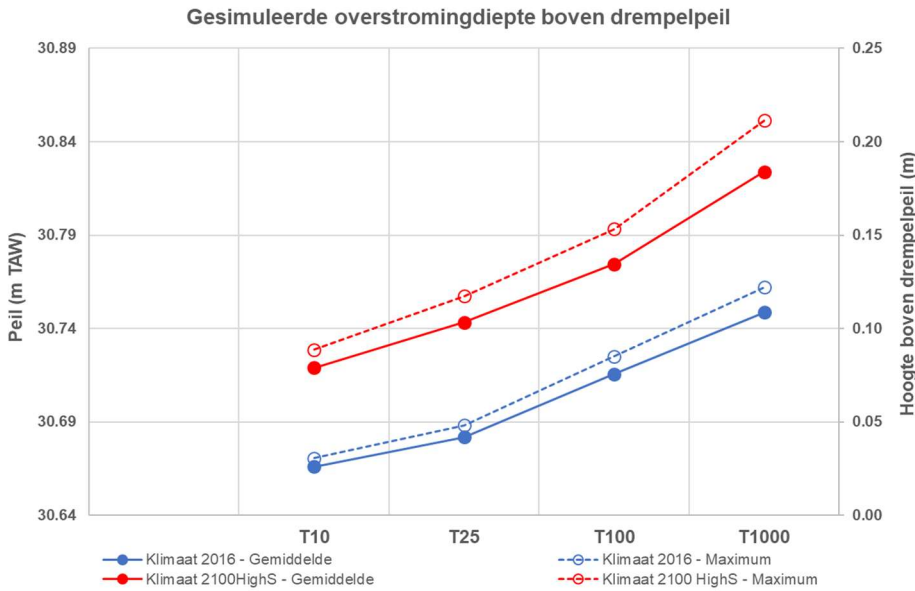
2.8 Gebouwentelling

Op basis van de finale kaart met afstromingsgevoelige gebieden wordt een telling uitgevoerd van het aantal gebouwen dat geaffecteerd wordt door dit type wateroverlast. Hiertoe wordt vertrokken van de gebouwenlaag (gbg hoofdgebouw) uit het GRB. Rond elke gebouwenpolygoon wordt hierbij een buffer van 2m ingevoerd. Een gebouw wordt dan als 'overstroomd' verondersteld van zodra één of meer pixels die samenvallen met deze buffer in de finale kaarten ingekleurd zijn als afstromingsgevoelig.

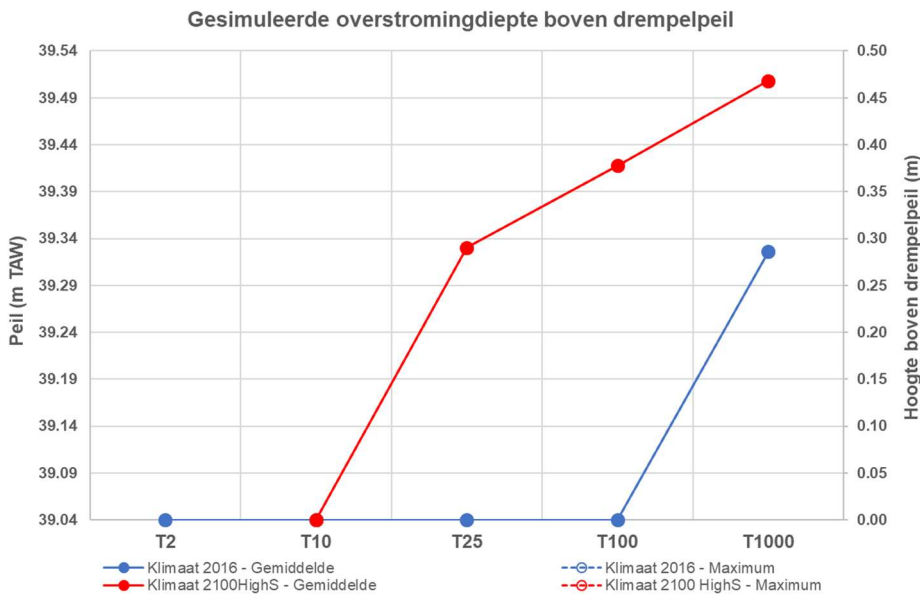


figuur 42: Voorbeelden van visualisatie overstromingsdiepte op gebouwschil en binnen gebouw

Rispenstraat, Sint-Pieters-Leeuw

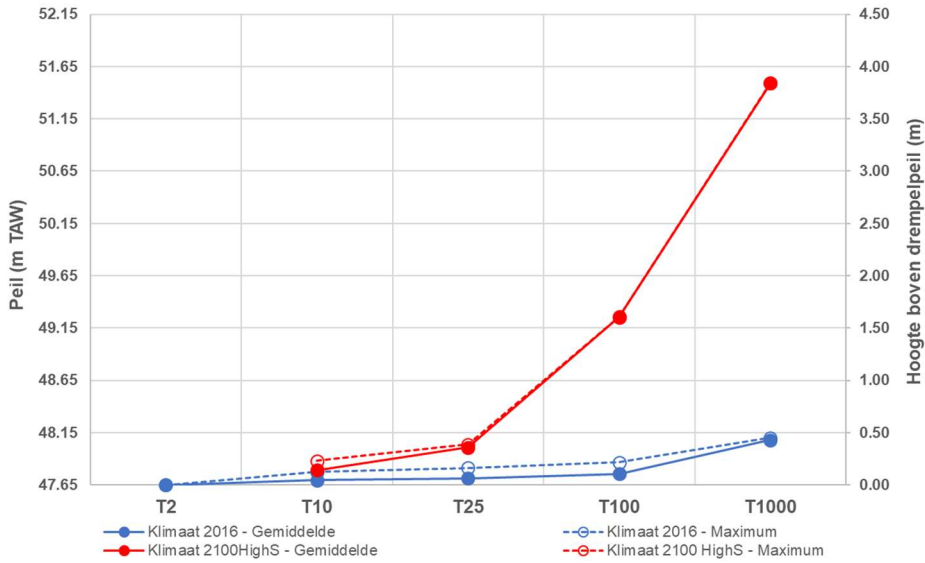


Jan Baptist Wautersstraat, Sint-Pieters-Leeuw



Zevenbronnenstraat, Beersel

Gesimuleerde overstromingsdiepte boven drempelpeil



3 GEVOELIGHEIDSANALYSE

3.1 Inleiding

Bij de uitvoering van het project werd de impact van een aantal methodologische keuzes op de resultaten onderzocht, wat vaak leidde tot de finale keuze van de methodiek die gehanteerd wordt bij de opmaak van de gebiedsdekkende kaarten. Op de volgende bladzijden zijn de resultaten van deze analyse voor een aantal methodologische aspecten terug te vinden. In een eerste paragraaf wordt nog een overzicht gegeven van de testen die al in het pilootproject van 2016 gebeurden.

3.2 Samenvatting gevoeligheidsanalyses voorstudies

In het pilootproject van 2016 [JBA, 216] werden reeds een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd die geleid hebben tot methodologische keuzes die binnen huidig project niet meer in vraag gesteld worden. Deze worden hieronder kort opgesomd – in zoverre ze niet herhaald werden in huidig project (en dan beschreven worden in de hierna volgende paragrafen).

- De gevoeligheid aan de afvoercapaciteit van het rioolstelsel dat vereenvoudigd in rekening gebracht wordt door de overeenkomstige composietbui af te trekken van het neerslagprofiel werd nagegaan. Hierbij werd het verschil bekeken tussen simulaties waar een T2 bui in mindering gebracht wordt (huidige methodiek) en simulaties waar een T5 bui in mindering gebracht wordt. Hieruit blijkt dat inrekenen van een T5 bui leidt tot een beperkte afname van zowel overstromingsomvang als -diepte bij elke terugkeerperiode en dat dit verschil kleiner wordt naarmate de terugkeerperiode toeneemt. De verschillen zijn ook groter in sterk verstedelijkte gebieden dan in landelijke gebieden. Toetsing van de resultaten van beide scenario's voor Antwerpen aan historisch vastgestelde wateroverlast leidde tot de conclusie dat het in mindering brengen van een T2 bui resultaten oplevert die nauwer aansluiten met de werkelijke situatie.
- Het effect van de ingerekende hydraulische ruwheid op de modelresultaten werd nagegaan. Hierbij werd een vergelijking gemaakt tussen een variant waarbij de ruimtelijk variabele ruwheid in functie van het landgebruik (zoals weergegeven in tabel 27) al dan niet gevarieerd werd in functie van de waterdiepte. Hierbij worden in een groter percentage van de overstromde gebieden lagere overstromingsdieptes gesimuleerd (30% meer overstromingen vallen in de range van 0.001m – 0.10 m overstromingsdiepte terwijl in minder gebieden een overstromingsdiepte van meer dan 0.10m voorspeld wordt). Uit een vergelijking van de resultaten met geobserveerde wateroverlast bleek de variant met een diepte-afhankelijke ruwheid in de valleigebieden betere resultaten op te leveren (in de variant zonder diepte-afhankelijkheid wordt de stroming hier te sterk belemmerd door de hoge ruwheid met te sterke fluviale overstromingen tot gevolg). . In een gelijkaardige studie voor Engeland en Wales (Updated Flood Map for Surface Water – uFMfSW project) werden dezelfde conclusies getrokken. Deze aanpak wordt ook ondersteund door de eerdere conceptuele studie van [Engineers Australia, 2012].

3.3 Effect van grote deelmodellen

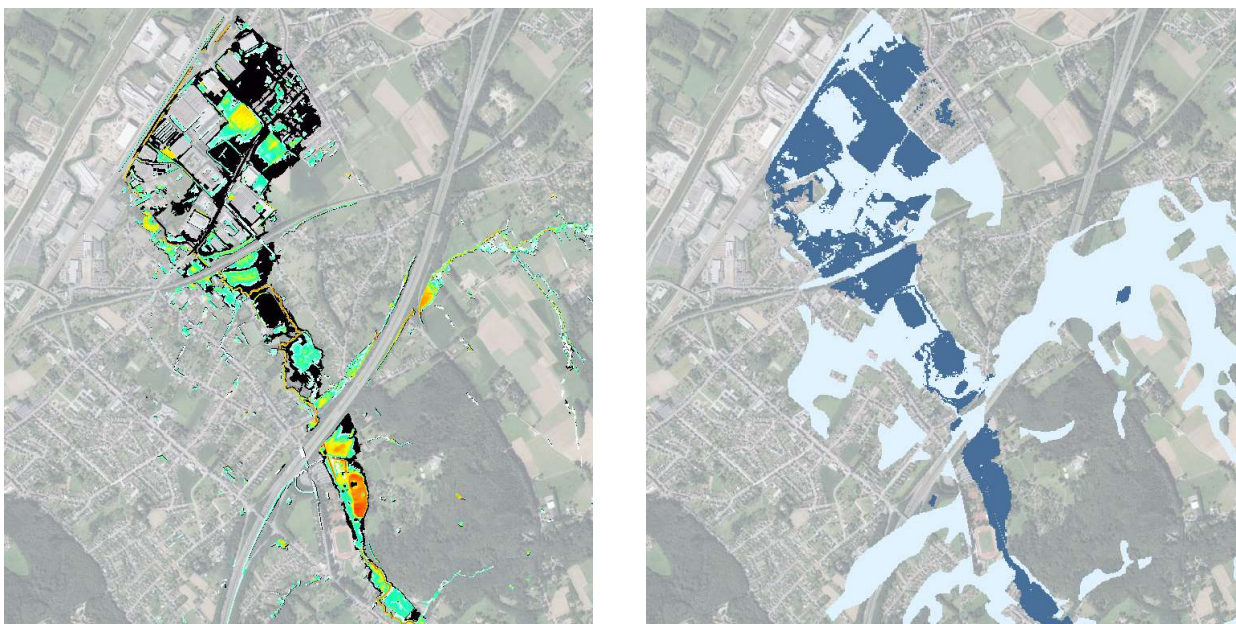
Simulaties werden uitgevoerd om te kijken welk effect resulteert uit het vergroten van de modelomvang van de hydraulische deelmodellen. Hiertoe werd voor de pilotgebieden van Beersel en Benedenvliet een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de simulaties van deelmodellen per SRM zone enerzijds en de resultaten van een model waarin de verschillende SRM zones van het pilotgebied gegroepeerd werden tot één model (zoals uiteindelijk ook gebruikt bij de finale simulaties). Bij een gegroepeerd model wordt het transport van afstromend water van de ene SRM zone naar de andere correcter weergegeven, waardoor ook de resultaten ter hoogte van de waterloopassen meer realistisch zijn voor de afwaartse SRM zones.

Uit een visuele vergelijking van de modelresultaten van enerzijds de afzonderlijke modellen op SRM basis en anderzijds het gecombineerde model voor het volledige afstromingsgebied, lijken de resultaten met het gecombineerde model inderdaad dichter aan te sluiten bij de bestaande overstromingskaarten (voorbeeld in figuur43 voor het afwaartse deel van pilotgebied Beersel). Dit is – zoals te verwachten is – vooral het geval in de meest stroomafwaarts gelegen SRM zones.

Op basis van deze vergelijking werd beslist de hydraulische modellen niet langer op te splitsen per SRM zone, maar deze SRM zones te combineren tot grotere modellen. Bij deze afbakening van de deelmodellen wordt hierbij nog steeds vertrokken van de afbakening van de SRM zones (die de beste overeenkomst vertoont met de hydrologische grenzen), maar deze zones werden samengevoegd tot grotere gehelen. Door het kleinere aantal modellen kunnen de simulaties ook efficiënter ingepland worden.

De 1347 SRM-zones werden om deze redenen uiteindelijk geaggregeerd tot 102 modeleenheden. Op het niveau van deze deelmodellen wordt geen water modelmatig getransporteerd van het ene deelmodel naar het andere.

figuur43: Voorbeeld vergelijking kaart per SRM zone (kleuren) versus globaal model (zwart) (links) en watertoetskaart (rechts). Geselecteerd gebied: Afwaarts Molenbeek Beersel. Simulaties voor terugkeerperiode 100 jaar



3.4 Effect van correctie voor klimaat 2016

In het pilootproject van 2016 werd nog gerekend met de standaard composietbuien die representatief zijn voor het klimaat van 1975 en niet van het huidige klimaat. In figuur44 wordt een voorbeeld gegeven van de impact van de aanpassing van de standaard composietbuien overeenkomstig het huidige klimaat (2016), waarbij volgende simulaties worden vergeleken:

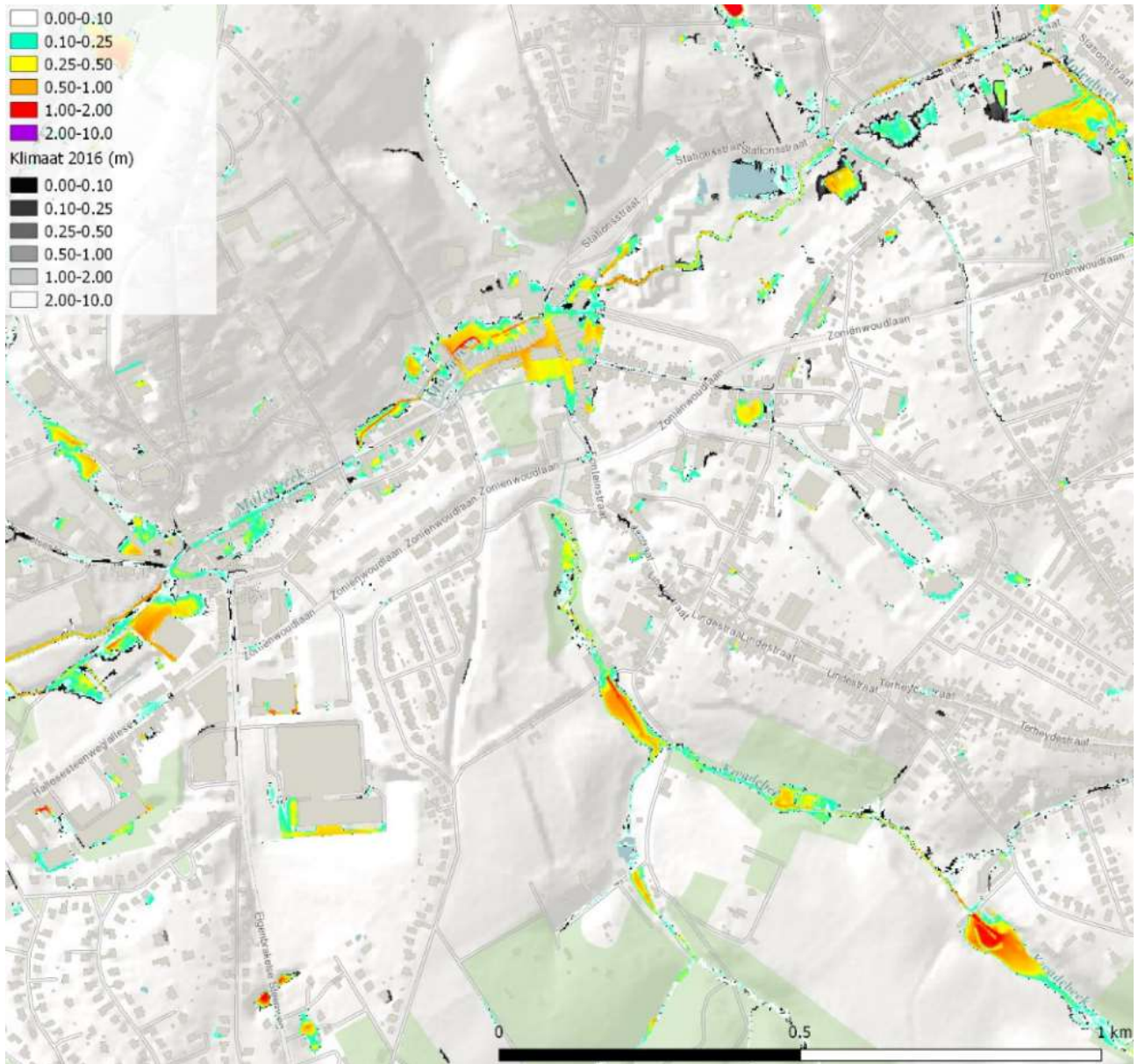
- Enerzijds in kleur: de waterdieptes bekomen met het referentieklimaat 1975
- Anderzijds in zwart: de bijkomende overstromingscontouren bekomen met de klimaatinschatting voor 2016 (zie §2.5.1)

Wanneer de specifieke klimaatinschatting voor 2016 wordt ingebracht, zijn de overstromingscontouren iets groter. Het is logisch dat als overstromingscontouren worden vergeleken met recent waargenomen overstromingen, dat de klimaatinschatting voor 2016 een betere vergelijkingsbasis is dan de referentiebuien.

In de modellen werd dan ook gerekend met de gecorrigeerde buien die representatief zijn voor het klimaat 2016.



figuur44: Voorbeeld vergelijking kaart referentieklimaat 1975 (kleuren) versus klimaat 2016 (grijswaarden) (terugkeerperiode 100 jaar, middengedeelte Molenbeek Beersel).



3.5 Effect van hydrologische correcties

In §2.5 is een beschrijving terug te vinden van de methodiek die gebruikt werd m.b.t. de hydrologische input van de modellen. De impact van de keuzes die hierbij gemaakt werden is hieronder beschreven.

3.5.1 Impact op buien en afwatering per afvoertype

In figuur45 t.e.m. figuur50 wordt de invloed weergegeven van de verschillende correcties op de composietbuien, zowel naar impact op buivolume als op piekintensiteit. Op de ruimtelijke neerslagcorrectie na zijn deze effecten aanpassingen van de afvoercoëfficiënten die in de composietbuien zelf zijn ingewerkt.

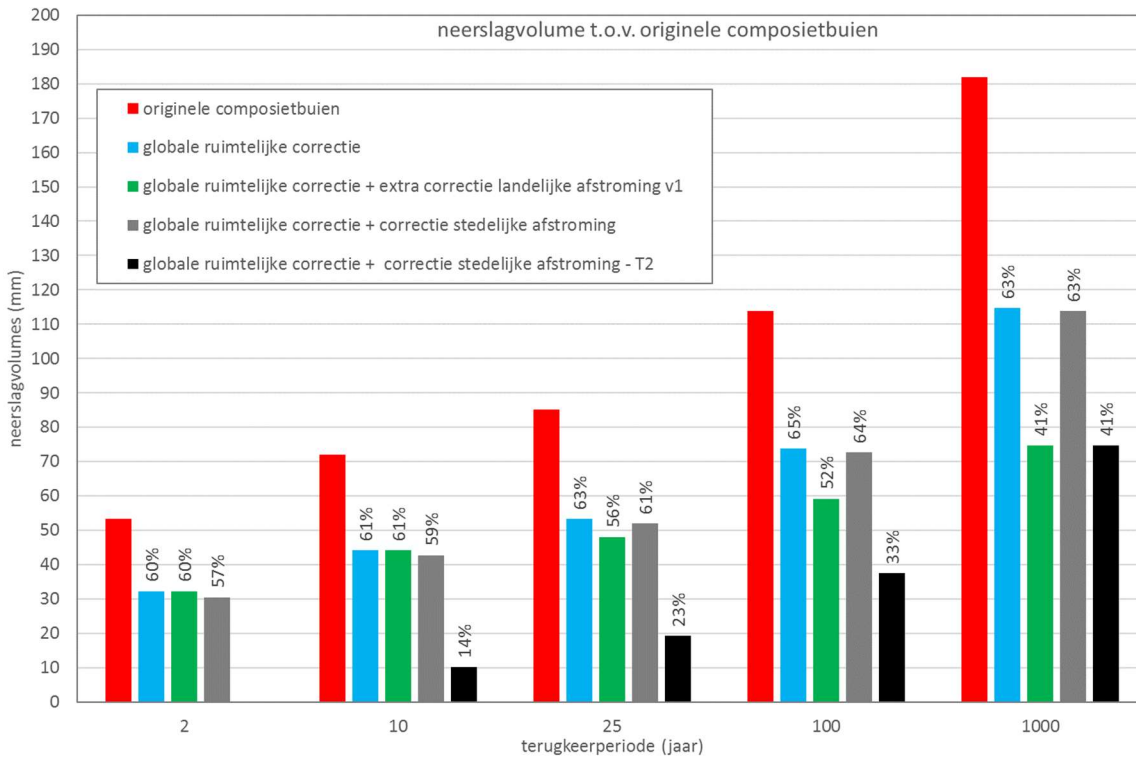
Volgende data wordt getoond in deze figuren:

- Originele composietbuien: composietbuien uit de Code van goede praktijk zonder ruimtelijke correctie
- Globale ruimtelijke correctie: composietbuien met de globale ruimtelijke correctie (zie §2.5.2)
- Globale ruimtelijke correctie + correctie stedelijke afstroming: composietbuien met globale ruimtelijke correctie (zie §2.5.2) en ingewerkte verliezen van niet-lineair afvoermodel voor verharde oppervlakte (zie §2.5.4.1)
- Globale ruimtelijke correctie + extra correctie landelijke afstroming v1 (voor terugkeerperiodes > 10 jaar): composietbuien met globale ruimtelijke correctie (zie §2.5.2) en extra correctie landelijke afvoercoëfficiënten (zie §2.5.3)
- Globale ruimtelijke correctie + correctie stedelijke afstroming – T2: composietbuien met globale ruimtelijke correctie (zie §2.5.2) en ingewerkte verliezen van niet-lineair afvoermodel voor verharde oppervlakte (zie §2.5.4.1) waarvan de T2 composietbui (zonder ruimtelijke correctie) van is afgetrokken (zie §2.5.4.2)
- Globale ruimtelijke correctie + correctie stedelijke afstroming + reductie 0.65 urban b: composietbuien met globale ruimtelijke correctie (zie §2.5.2) en ingewerkte verliezen van niet-lineair afvoermodel voor verharde oppervlakte (zie §2.5.4.1) en vermenigvuldigd met een afvoercoëfficiënt van 0.65 voor de urban b verharde oppervlakte

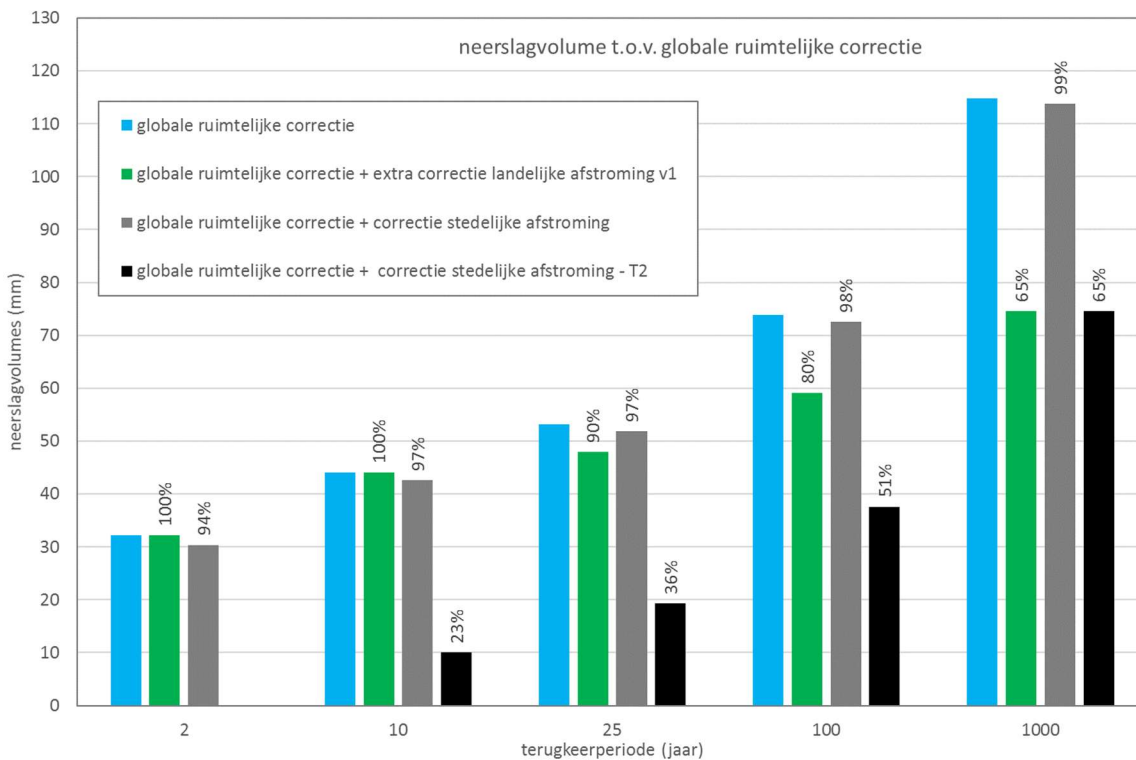
Bij de vergelijking met de pilootstudie 2016 (figuur49 en figuur50) moet worden opgemerkt dat de bui met een terugkeerperiode van 1000 jaar in de pilootstudie niet de standaard composietbui was, maar een bui die ongeveer 20% kleiner was.



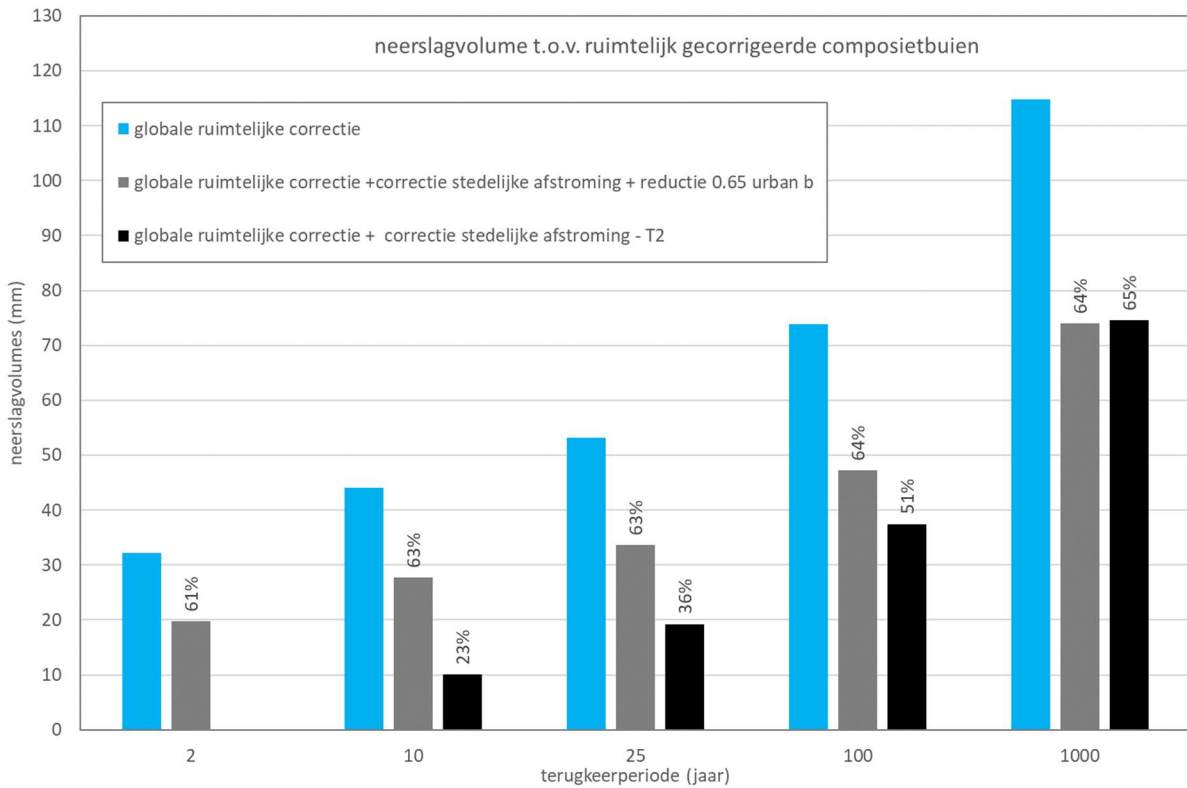
figuur45: Invloed van de correcties op de neerslagvolumes t.o.v. de originele composietbuien.



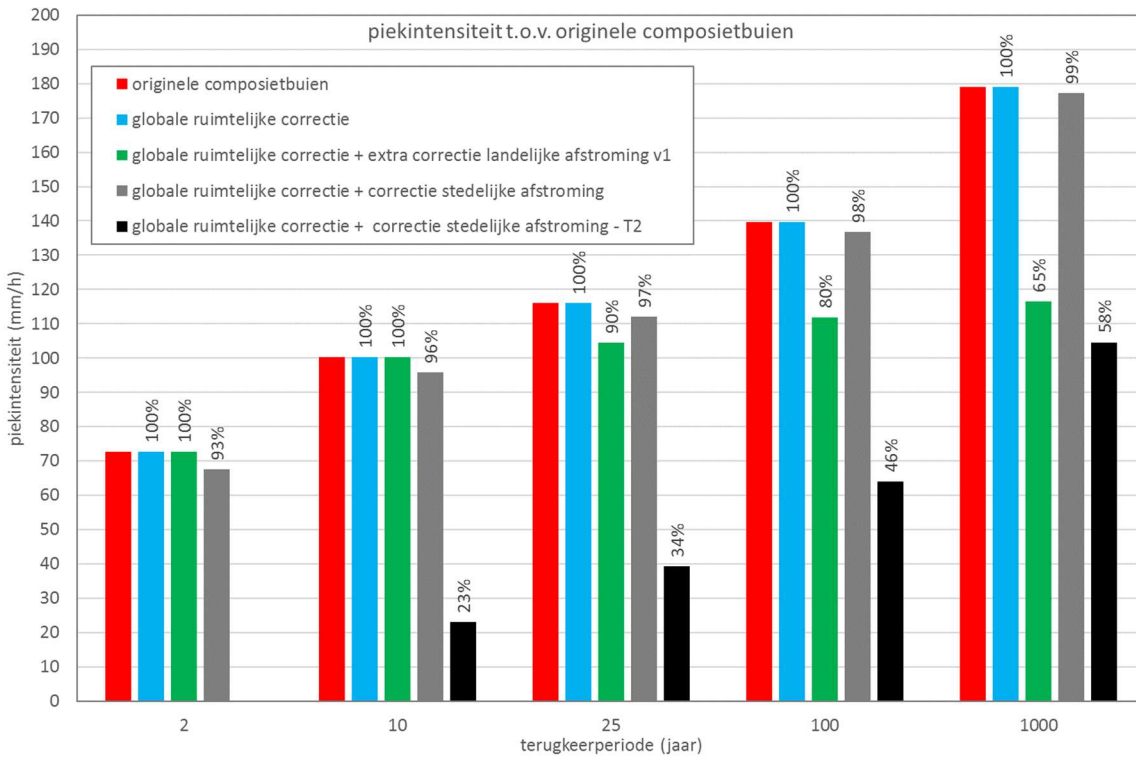
figuur46: Invloed van de correcties op de neerslagvolumes t.o.v. de ruimtelijk gecorrigeerde composietbuien.



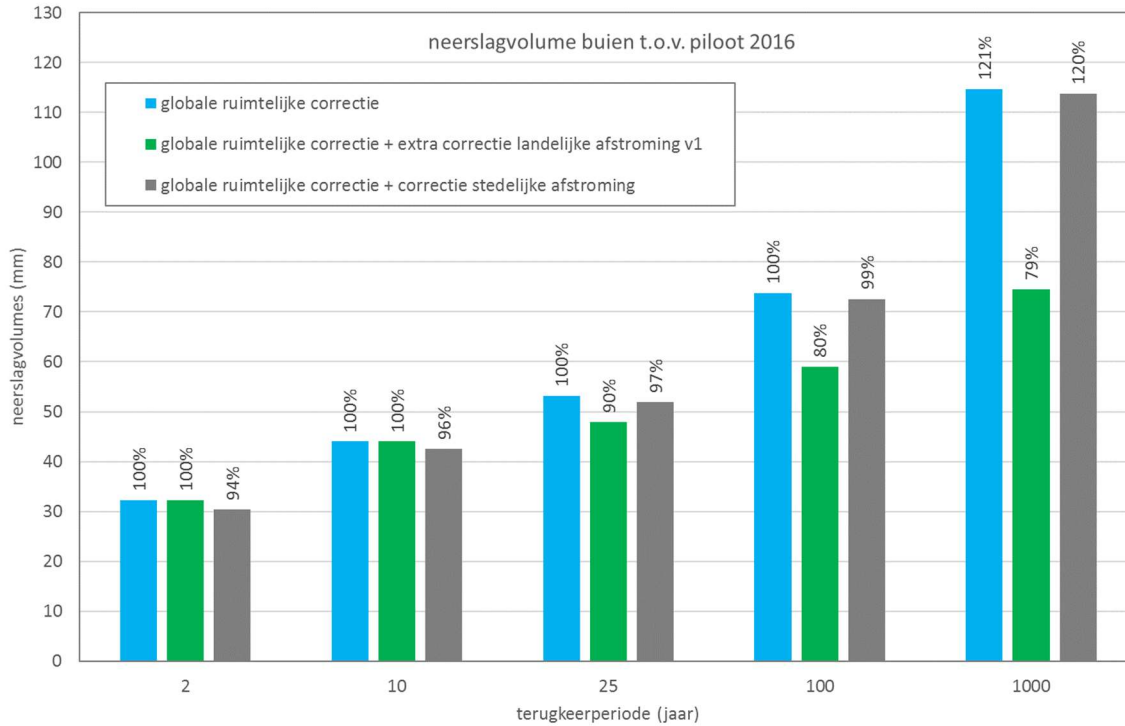
figuur47: Vergelijking van de afstromingscorrecties voor urban a versus urban b.



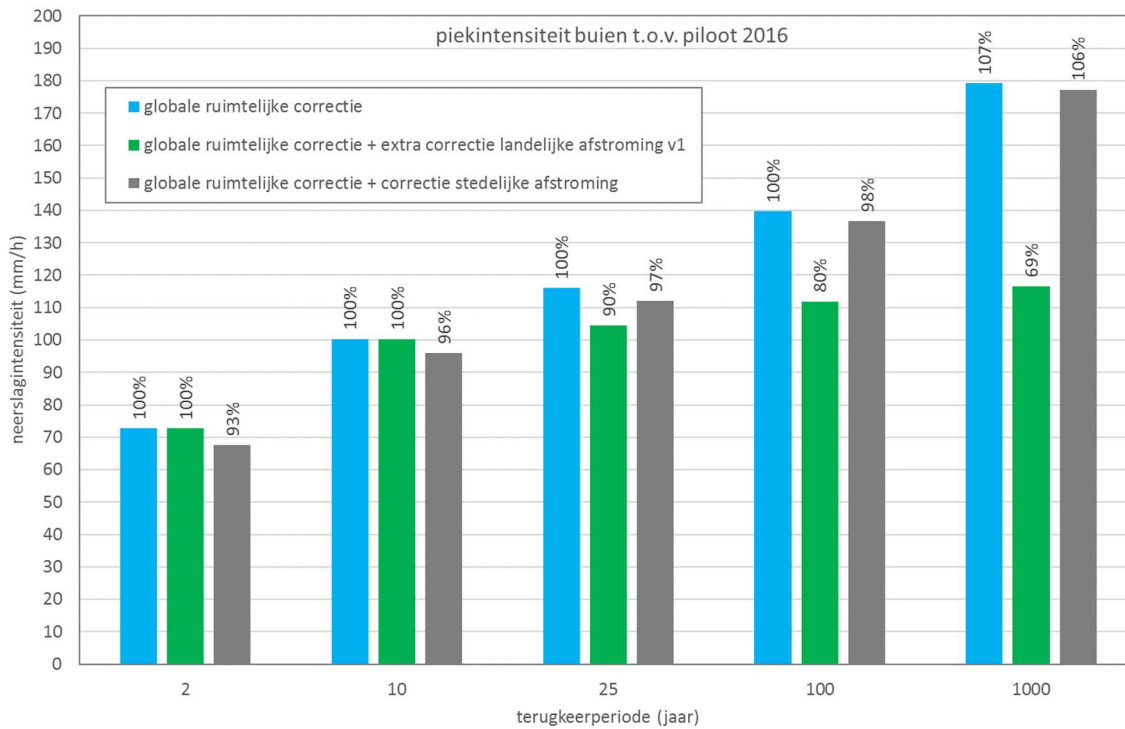
figuur48: Invloed van de correcties op de piekintensiteiten t.o.v. de originele composietbuien



figuur49: Invloed van de correcties op de neerslagvolumes t.o.v. de pilotstudie 2016 (voor een terugkeerperiode van 1000 jaar zijn in de pilotstudie niet de originele composietbuizen gebruikt, maar buizen die ongeveer 20% lager liggen).



figuur50: Invloed van de correcties op de piekintensiteiten t.o.v. de pilotstudie 2016.



3.5.2 Effect op afstromingsgevoelige kaarten

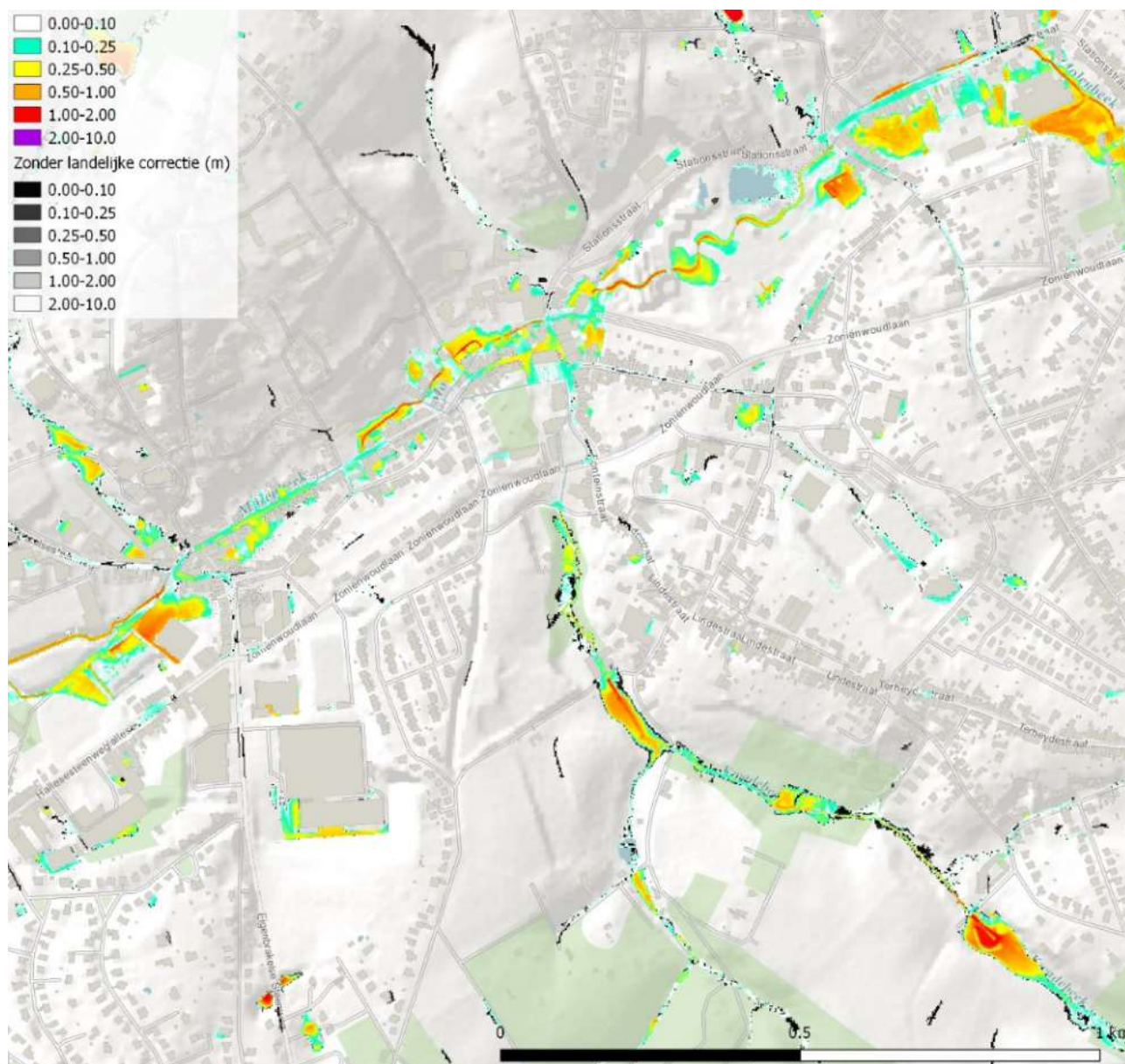
In figuur 51 wordt een voorbeeld gegeven van de impact van de bijkomende landelijke correctie waarbij volgende simulaties worden vergeleken:

- Enerzijds in kleur: de waterdieptes bekomen met de in dit project gehanteerde landelijke correctie
- Anderzijds in zwart: de bijkomende overstromingscontouren indien er geen landelijke correctie wordt uitgevoerd

Wanneer de bijkomende landelijke correctie niet in rekening wordt gebracht, zijn er meer inkleuringen langs de kleinere waterlopen van 2^e en 3^e categorie. De perceptie van de werkelijke wateroverlast komt eerder overeen met de simulaties met bijkomende landelijke correctie. Het effect in de valleien van de grotere waterlopen is eerder beperkt.



figuur51: Voorbeeld vergelijking kaart met (kleuren) en zonder (grijstinten) bijkomende landelijke correctie. Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, middengedeelte Molenbeek Beersel.



//

3.6 Effect van afwaartse randvoorwaarde

Zoals beschreven in §2.6.5 worden op bepaalde locaties in de hydraulische modellen afwaartse randvoorwaarden vastgelegd aan de hand van vaste afwaartse peilen die ingewerkt worden in het gehanteerde DTM. Het effect hiervan op de modelresultaten wordt hieronder geïllustreerd.

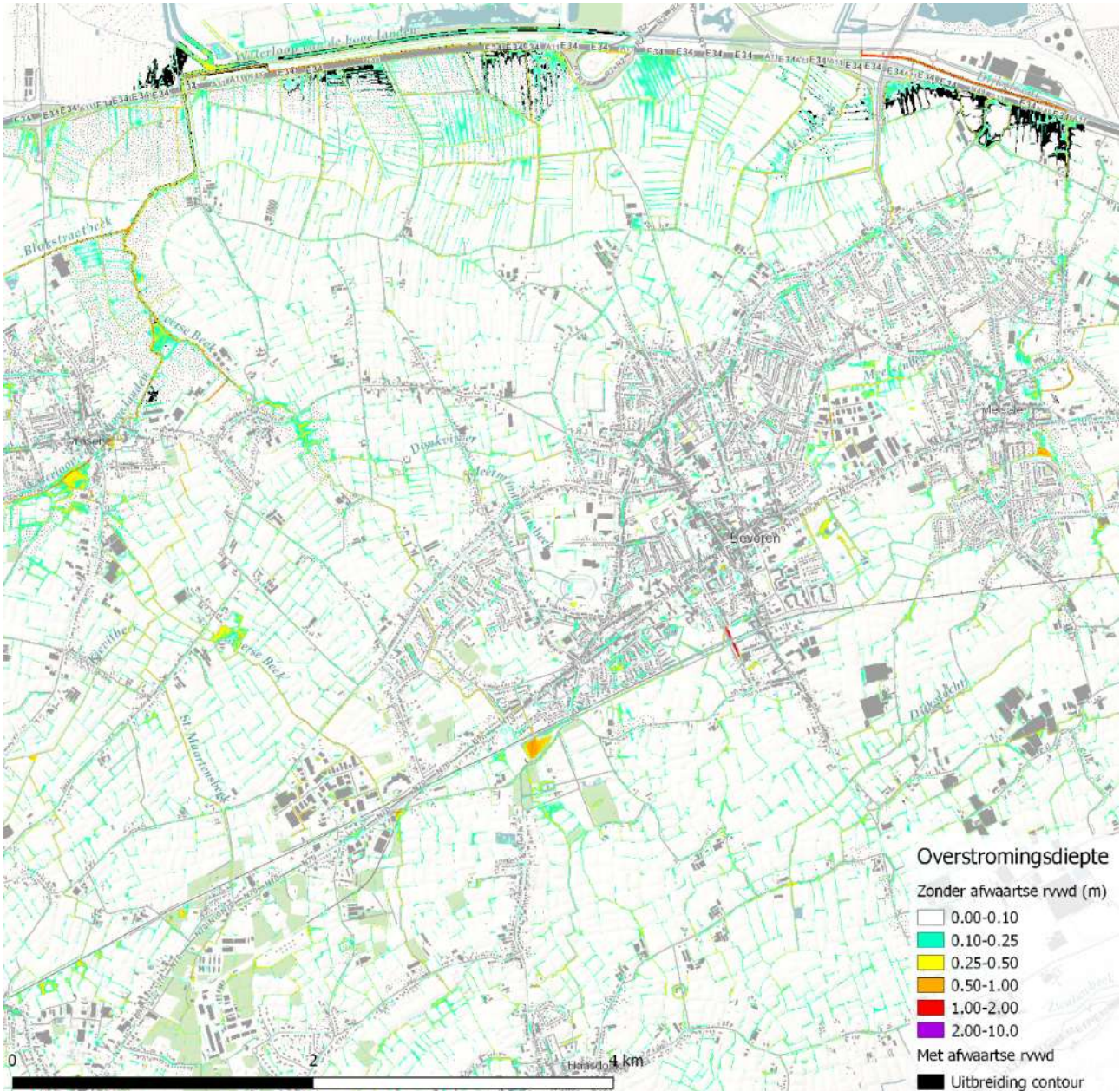
In figuur52 wordt een voorbeeld gegeven van de impact van de afwaartse randvoorwaarde op het pilotgebied Waasland, waarbij volgende simulaties worden vergeleken:

- Enerzijds in kleur: de waterdieptes bekomen met vrije uitstroming (op vloeipeil 0 m TAW)
- Anderzijds in zwart: de bijkomende overstromingscontouren bekomen met een opgelegd afwaarts waterpeil van 2 m TAW

Hieruit blijkt dat bij het invoeren van een afwaartse randvoorwaarde de overstromingscontouren in vooral de afwaartse delen van het modelgebied (noordelijk deel van het modelgebied) toenemen ten gevolge van opstuwung van water. In meer opwaartse gebieden is er geen effect te merken. Aangezien de afstromingsgevoelige gebieden hierdoor een betere overeenkomst vertonen met de bestaande overstromingskaarten (die weliswaar vooral overstromingen vanuit de rivier weergeven) werd beslist op een aantal relevante locaties (getijderivieren en langsheen de kust) een afwaartse randvoorwaarde in te voegen.



figuur52: Voorbeeld vergelijking kaart pilotgebied Waasland zonder afwaartse randvoorwaarde (vrije uitstroom op vloeipeil 0 m TAW, kleuren) en uitbreiding overstromingscontour bij opleggen van een afwaartse randvoorwaarde van 2 m TAW (zwart). Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar.



3.7 Effect van afmetingen duikers

Bij de opmaak van de VLAGG-kaarten zijn waar mogelijk de werkelijke afmetingen van de duikers gebruikt (o.a. op basis van informatie uit RS modellen van VMM en input door alle betrokken partijen via de review website). Voor de ingegeven duikers waarbij geen info beschikbaar is omtrent de afmetingen, zijn standaard afmetingen per categorie gebruikt (zie §2.6.4). Deze werden afgeleid op basis van de export van alle RS modellen binnen de VMM waarbij elke structuur gelinkt werd aan de categorie waterloop (VHA, versie 1 jan 2017) waarop deze voorkomt. Vervolgens is per categorie een gemiddelde bepaald voor de hoogte en de breedte, waarvan de resultaten zijn weergegeven in tabel30, p73.

Voor specifieke duikers kunnen de werkelijke afmetingen uiteraard afwijken van deze standaard afmetingen. Daarom werd de gevoeligheid van de gebruikte afmetingen nagegaan voor de waterlopen van tweede en derde categorie. De gevoeligheidsanalyse werd uitgevoerd voor het deelbekken Zuunbeek (08-01). Binnen dit deelbekken zijn er 120 duikers van categorie 2 en 3 waarbij de standaard afmetingen werden toegepast bij de opmaak van de kaarten.

Bij de gevoeligheidsanalyse werd de breedte en hoogte met 50 % verminderd t.o.v. de initiële aanname. De gehanteerde afmetingen in deze gevoeligheidsanalyse zijn terug te vinden in tabel 33. De gevoeligheid wordt geanalyseerd bij een terugkeerperiode van 100 jaar en klimaat 2016.

De impact op het volledige deelbekken bij een reductie van de afmetingen met 50% wordt weergegeven in figuur53, waarbij hogere peilen worden waargenomen opwaarts van structuren en een lichte daling in de hoofdwaterlopen afwaarts van structuren.

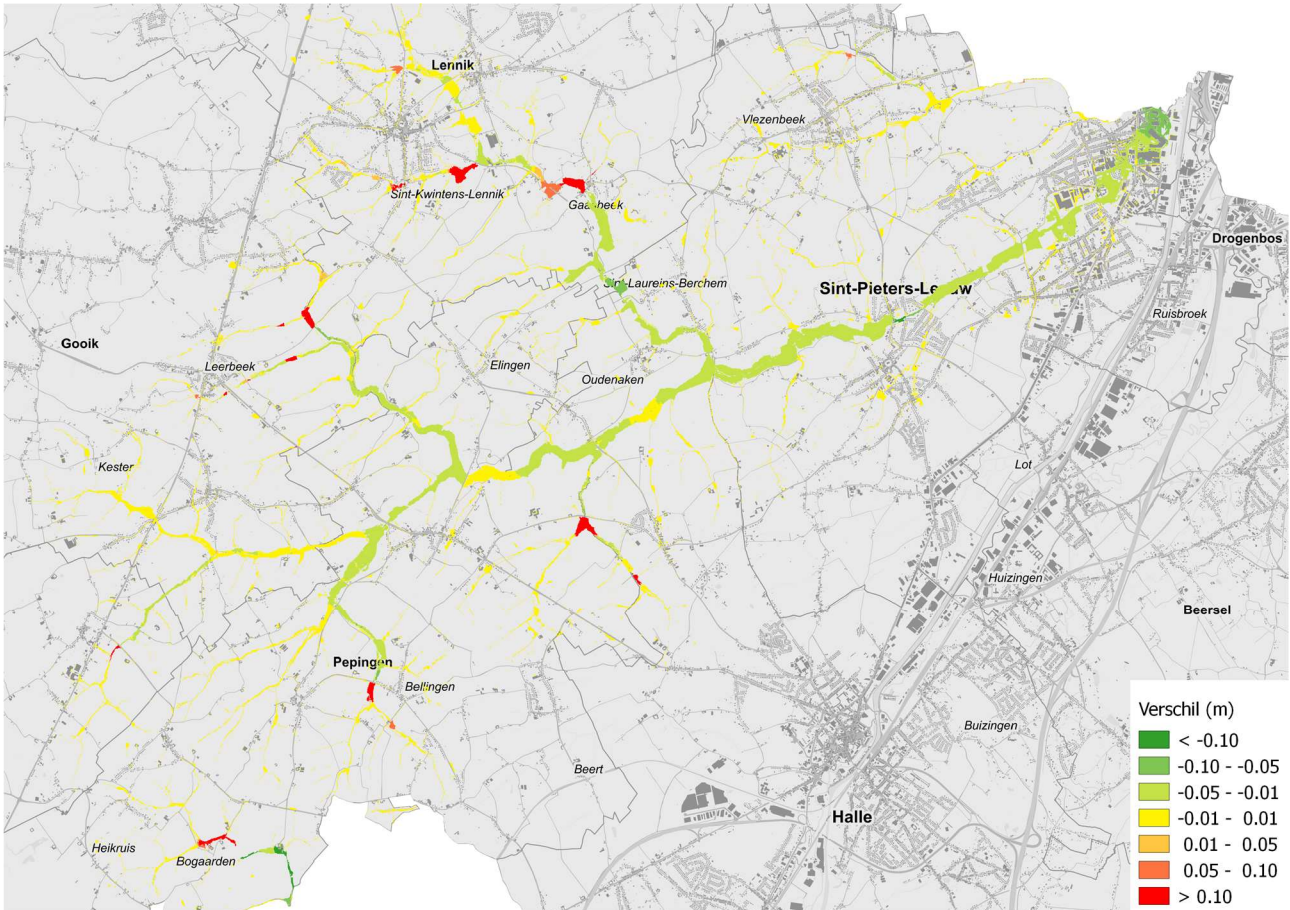
In figuur54 tot figuur56 wordt de impact van verschillende scenario's in detail weergegeven voor een aantal specifieke locaties. De locatie en normale stromingsrichting van de duiker is hierop aangeduid met een blauwe pijl. Het betreft hier voornamelijk een lichte uitbreiding van de contour opwaarts van de structuur, maar waarbij slechts een minimale impact afwaarts wordt waargenomen.

tabel 33: Afmetingen duikers gehanteerd bij gevoeligheidsanalyse

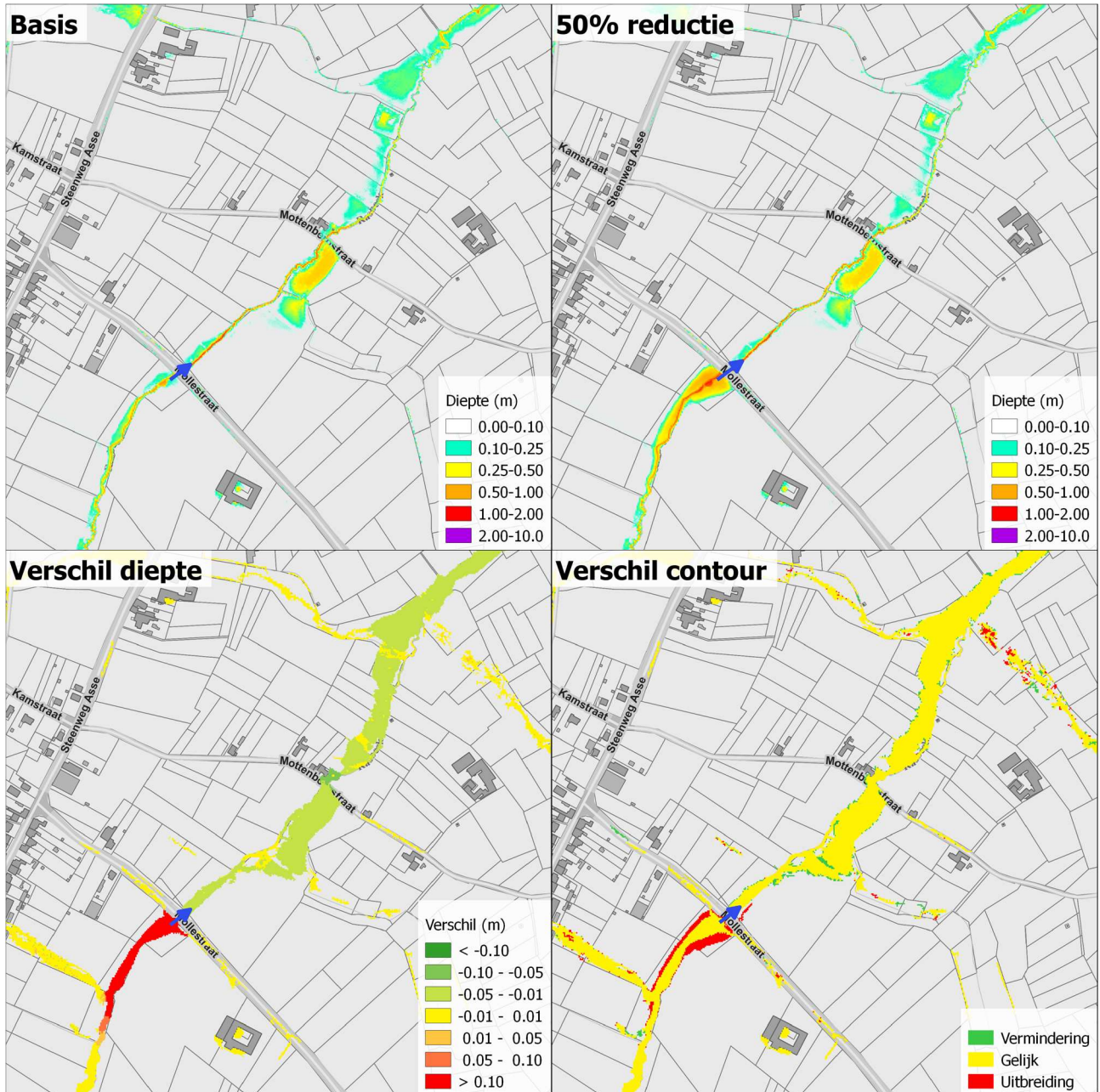
Categorie waterloop	Oorspronkelijke afmetingen		Afmetingen bij 50% reductie	
	Breedte (m)	Hoogte (m)	Breedte (m)	Hoogte (m)
Cat. 0	8	5	8	5
Cat. 1	4	2.5	4	2.5
Cat. 2	2	1.5	1	0.75
Cat. 3	1.5	1	0.75	0.5
andere	1	1	1	1



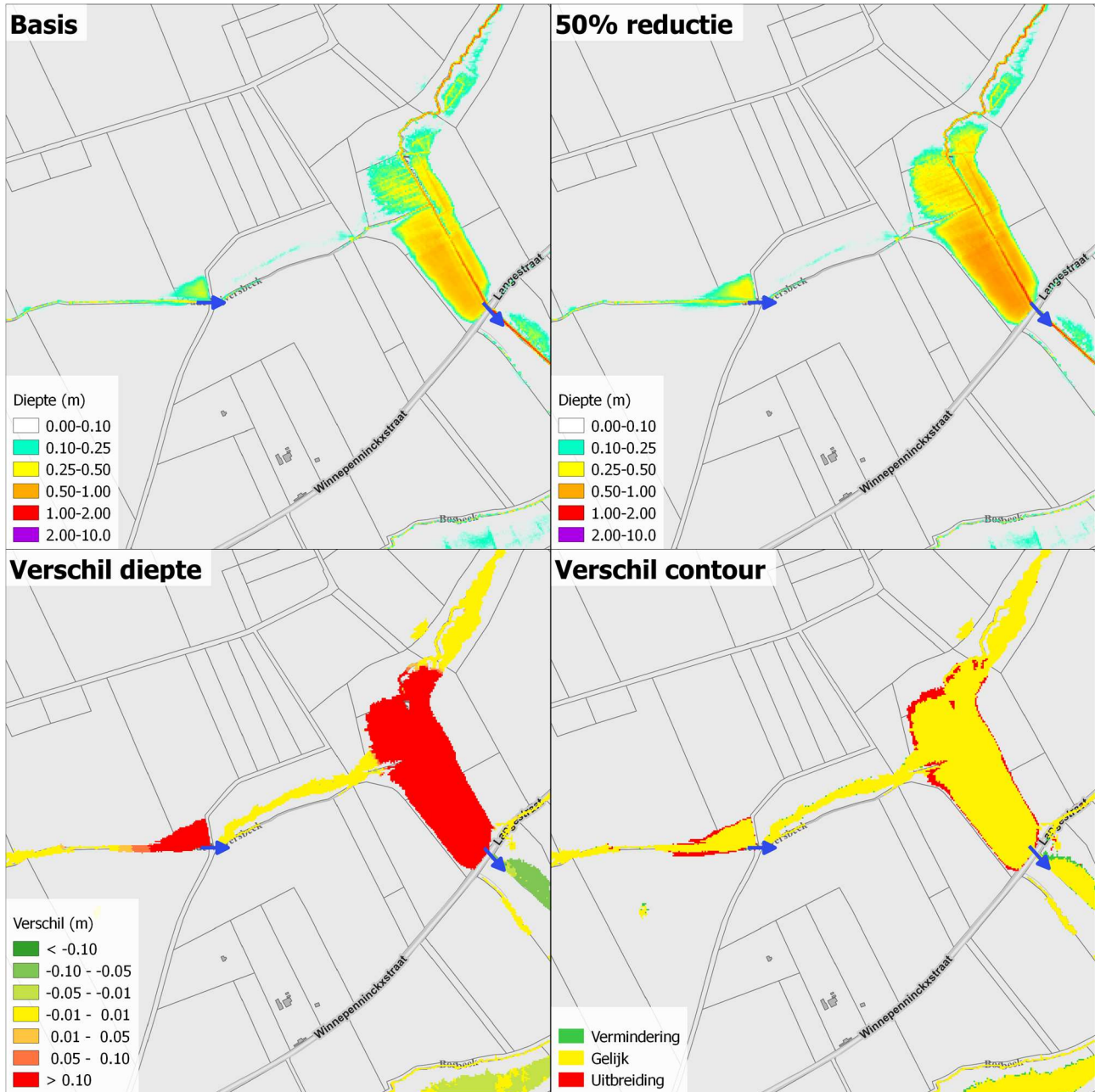
figuur53: Verschilkaart van deelbekken 08-01 (Zuunbeek): scenario 50% vermindering t.o.v. basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging.



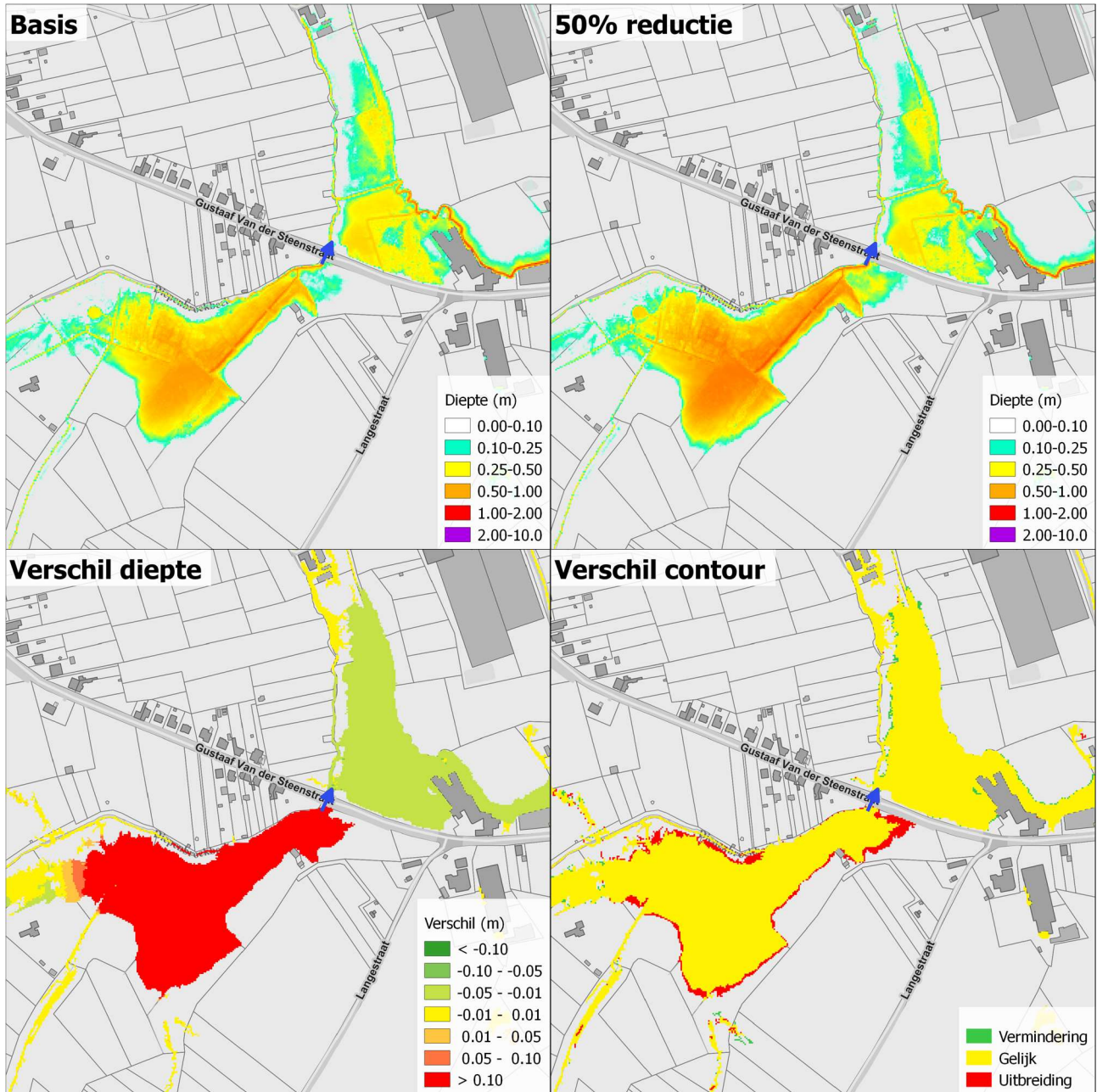
figuur54: Detail van verschilkaart ter hoogte van Winnepenninckxstraat: scenario 50% min basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging.



figuur55: Detail van verschilkaart ter hoogte van Gustaaf Van der Steenstraat: scenario 50% min basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging.



figuur56: Detail van verschilkaart ter hoogte van Mollestraat en Mottenbergstraat: scenario 50% min basis scenario. Rode kleur wijst op verhoging t.o.v. het basisscenario, groene kleuren wijzen op een verlaging.



Uit een vergelijking van de modelresultaten met en zonder aanpassing van de dimensies blijkt dus dat er – zelfs bij een reductie van de afmetingen met 50% - slechts een relatief beperkte impact wordt waargenomen op de omvang van de overstromingscontour. Opwaarts van een structuur worden er wel grotere waterdieptes gesimuleerd. Het effect op de waterdieptes afwaarts van de structuren is eerder beperkt.

Op basis van deze analyse wordt besloten dat de impact van het gebruik van standaard afmetingen voor duikers op 2^e en 3^e categorie waterlopen op de kaarten eerder beperkt is en dat dit dus een goed alternatief vormt voor structuren waar de werkelijke afmetingen niet gekend zijn.

3.8 Effect van hervoeden T2 debieten

Zoals vermeld in §2.6.7 wordt het volume van de neerslag die in mindering gebracht wordt ter hoogte van stedelijk gebied omwille van de afvoer via het rioolstelsel (T2 composietbui) in de hydraulische modellen hervoed ter hoogte van de lozingspunten in waterlopen. Het effect hiervan wordt hieronder beschreven.

In figuur57 wordt een voorbeeld gegeven van de impact van het hervoeden van de T2 debieten die voor de urban a oppervlakte in mindering zijn gebracht, waarbij volgende simulaties worden vergeleken:

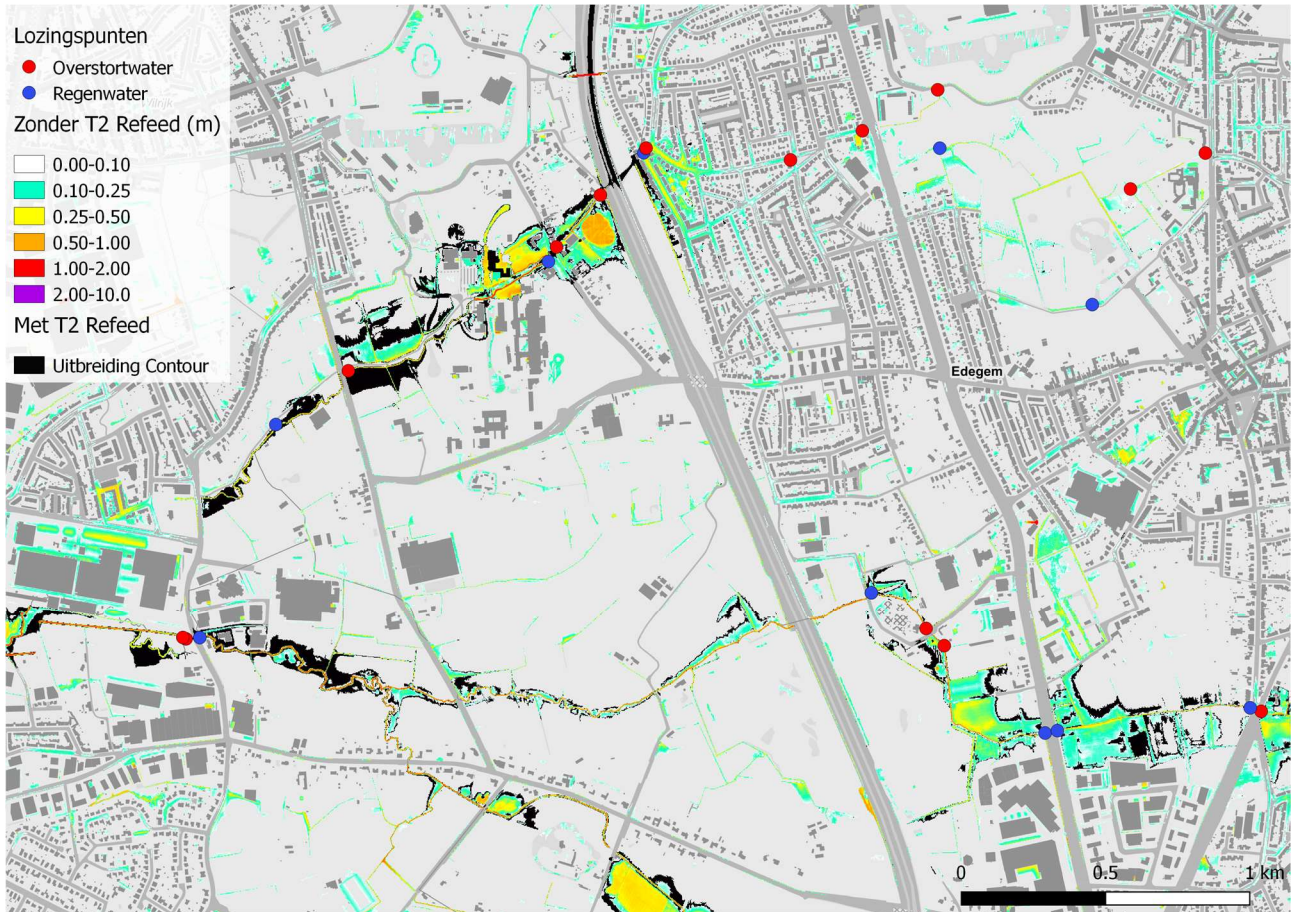
- Enerzijds in kleur: de waterdieptes bekomen zonder hervoeden
- Anderzijds in zwart: de bijkomende overstromingscontouren indien er wel wordt hervoed ter hoogte van de lozingspunten

Hieruit kan worden geconcludeerd dat het hervoeden ter hoogte van specifieke lozingspunten een wezenlijk lokaal effect kan hebben op de overstromingscontouren langsheen de ontvangende waterloop.

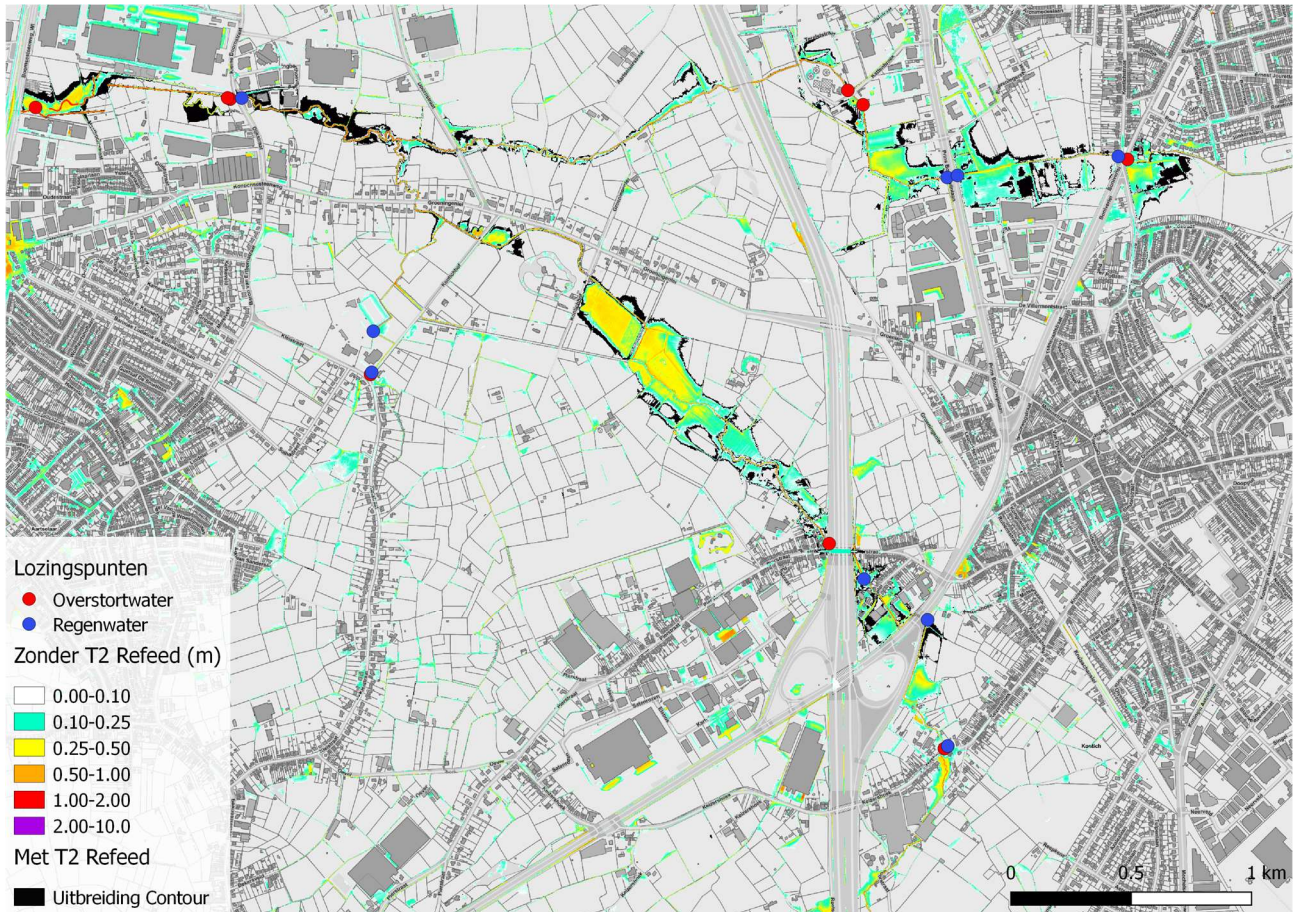
Aangezien de gesimuleerde contouren ter hoogte van waterlopen in het algemeen beter blijken overeen te komen met de waarnemingen in de simulatie met hervoeden, werd beslist de hervoeding van de T2 volumes toe te passen in de finale modellen.



figuur57: Voorbeeld van meer specifieke modellering van de hervoeding: zonder T2 hervoeding (gekleurde zones) versus met specifieke T2 hervoeding ter hoogte van lozingspunten (zwart): Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, Kleine Struisbeek



figuur58: Voorbeeld van meer specifieke modellering van de hervoeding: zonder T2 hervoeding (gekleurde zones) versus met specifieke T2 hervoeding ter hoogte van lozingspunten (zwart): Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, Grote Struisbeek



3.9 Effect van gecorrigeerde hervoeding ter hoogte van RWZI's

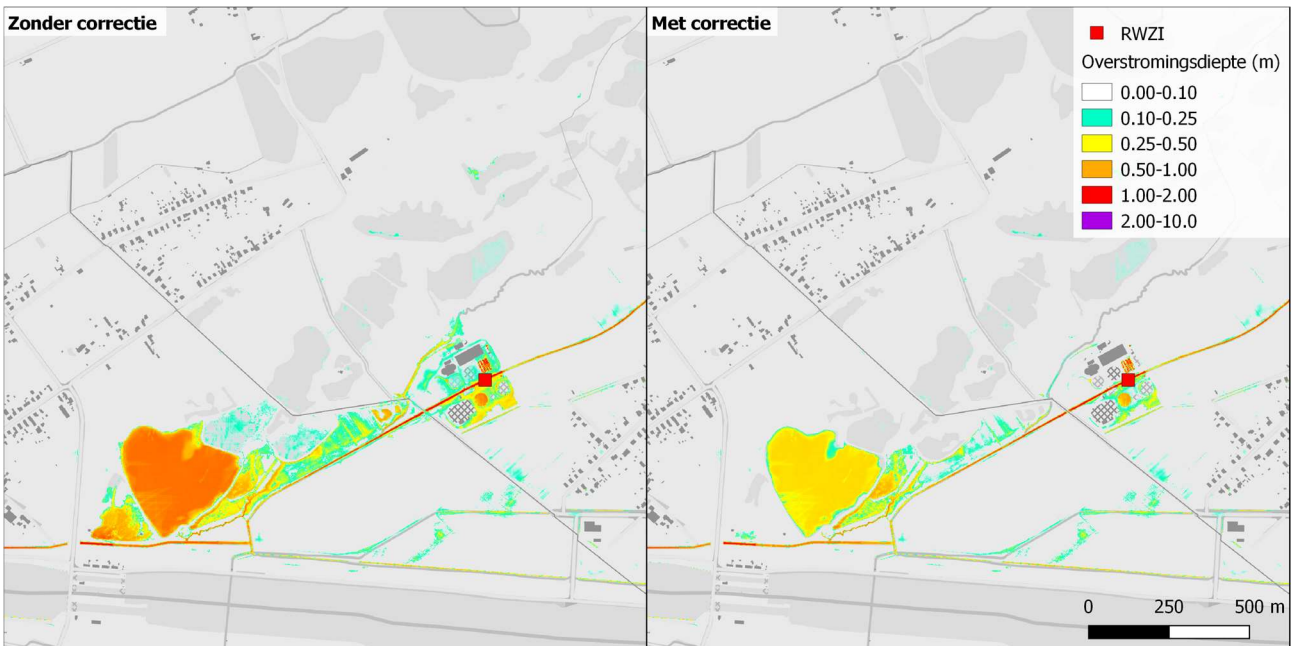
Zoals beschreven in §2.6.7 wordt de hervoeding van de afstroming via de riolering ter hoogte van de RWZI's gecorrigeerd op basis van gemeten lozingsdebieten ter hoogte van deze RWZI's. Initieel was hier een veronderstelling gemaakt dat hier 50% van het afstromend volume via gemengde stelsels zou lozen. Het effect van deze correctie is hieronder weergegeven.

De impact van deze correctie op de kaarten wordt voor een aantal gevallen geïllustreerd in figuur59 tot figuur62. In de hoofding bij deze figuren is telkens ook aangegeven welk percentage van het T2 debiet geloosd wordt bij de gecorrigeerde versie (t.o.v. 50% bij de ongecorrigeerde versie). Hierop is te zien dat deze correctie in veel gevallen leidt tot kleinere overstromingscontouren en/of lagere overstromingsdieptes. Dit is logisch aangezien het geloosde debiet ter hoogte van de RWZI in de simulatie met correctie in de meeste gevallen lager is dan zonder correctie. Deze resultaten komen ook beter overeen met de gekende overstromingen op deze locaties. Wanneer het geloosde debiet relatief klein is t.o.v. de afvoercapaciteit van de ontvangende waterloop is het effect van de correctie veel kleiner (zie bv. case Leuven in figuur62).

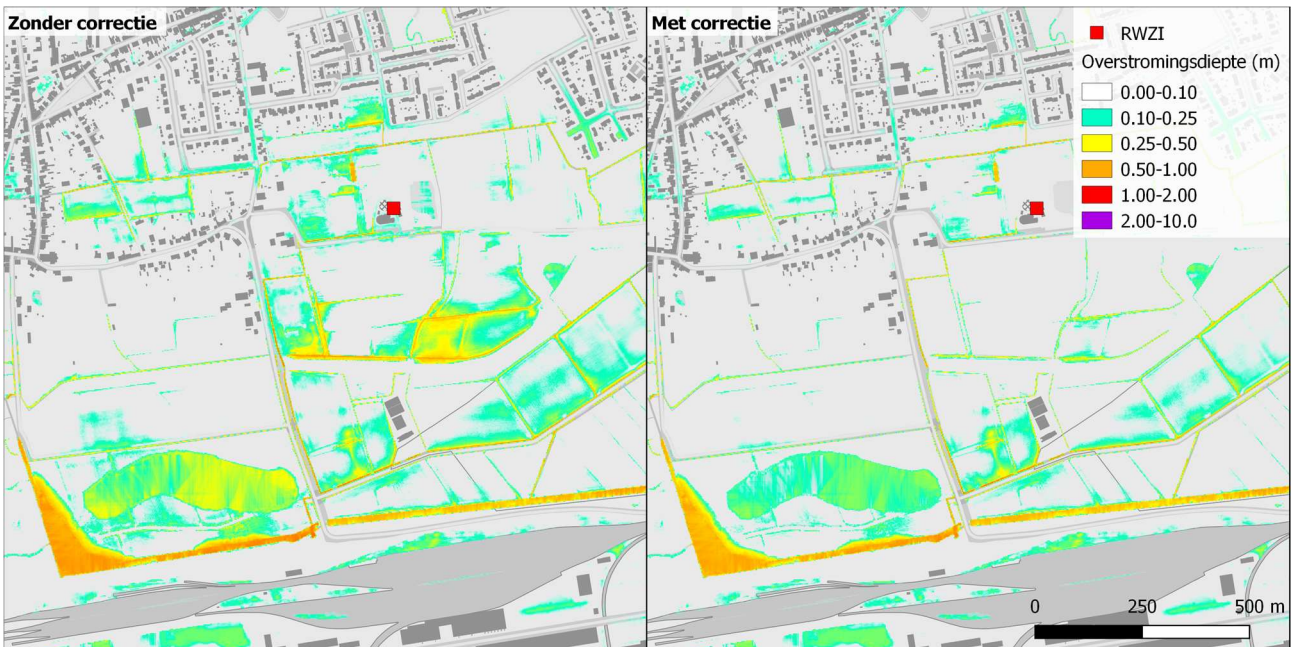
Hierbij dient wel in acht genomen te worden dat er bij deze correctie niet langer rekening gehouden is met de totale volumebalans van de volledige T2 hervoeding (het totale debiet dat gevoed wordt via de overstorten en de RWZI komt niet langer overeen met het totale debiet dat onttrokken wordt aan de modellen via de T2 correctie op de neerslag). Globaal gaat er een tiental % van het totale T2 hervoedingsdebiet verloren, maar hierop kan per zuiveringsgebied nog een spreiding zitten.



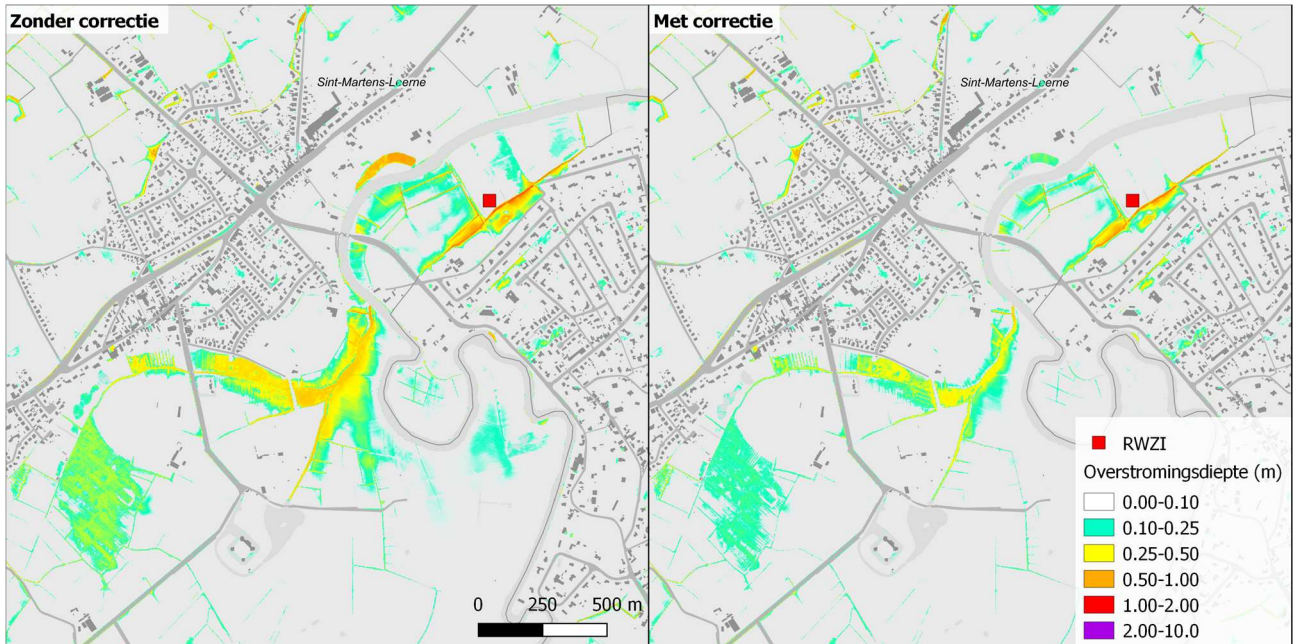
figuur59: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Genk (lozingspercentage: 26%)



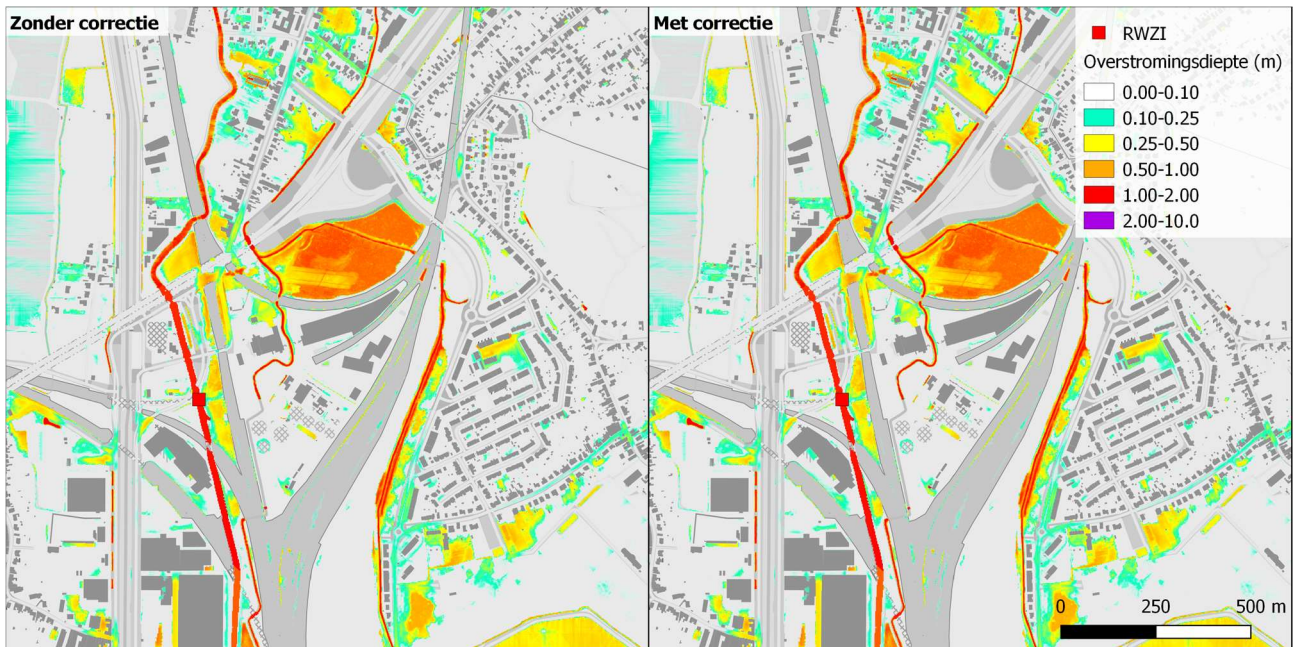
figuur60: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Berendrecht (lozingspercentage: 23%)



figuur61: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Sint-Martens-Leerne (lozingspercentage: 27%)



figuur62: Illustratie voor (links) en na (rechts) correctie RWZI bij terugkeerperiode 100 jaar: case Leuven (lozingspercentage: 18%)



3.10 Effect van voorstelling van gebouwen

In het voorafgaande pilotproject uitgevoerd door JBA werd aangetoond dat de resultaten van hoge-resolutie directe afstromingsmodellen gevoelig zijn aan de manier hoe gebouwen voorgesteld worden in het model grid (dit wordt ook bevestigd door andere studies zoals bv. Engineers Australia [Engineers Australia, 2012]). In het pilotproject van 2016 werden hiertoe 2 mogelijkheden beschouwd, nl. overstromingsvrije gebouwen ('unfloodable') of verhoogd vloerpeil ('stubby buildings'):

- Overstromingsvrij: hierbij kan geen water door de gebouwen stromen en vormen de gebouwen dan ook een barrière voor afstromend water; modelmatig wordt dit geïmplementeerd door de hoogte van het DTM ter hoogte van de gebouwen op te trekken tot een peil boven het hoogst verwachte overstromingspeil (bv. 10m hoge gebouwen)
- Verhoogd vloerpeil: hierbij kan water vanaf een bepaalde waterhoogte (bv. 30 cm) die idealiter overeenkomt met het drempelpeil van de woning door de woning stromen (eventueel met een verhoogde wrijvingscoëfficiënt)

De verhoging wordt hierbij bepaald als het minimum van:

- gemiddelde hoogte maaiveld binnen de footprint van het gebouw + 2 × standaardafwijking op deze hoogte + drempelwaarde (bv. 30 cm)
- maximum hoogte maaiveld binnen de footprint van het gebouw + drempelwaarde (bv. 30 cm)

De drempelwaarde van 30 cm vertegenwoordigt hierbij de hoogte van de drempels aan deuren en ramen t.o.v. het maaiveld. Het gebruik van een dergelijk standaard drempelpeil kan vervangen worden door het gebruik van effectieve drempelhoogtes per gebouw wanneer deze beschikbaar zijn.

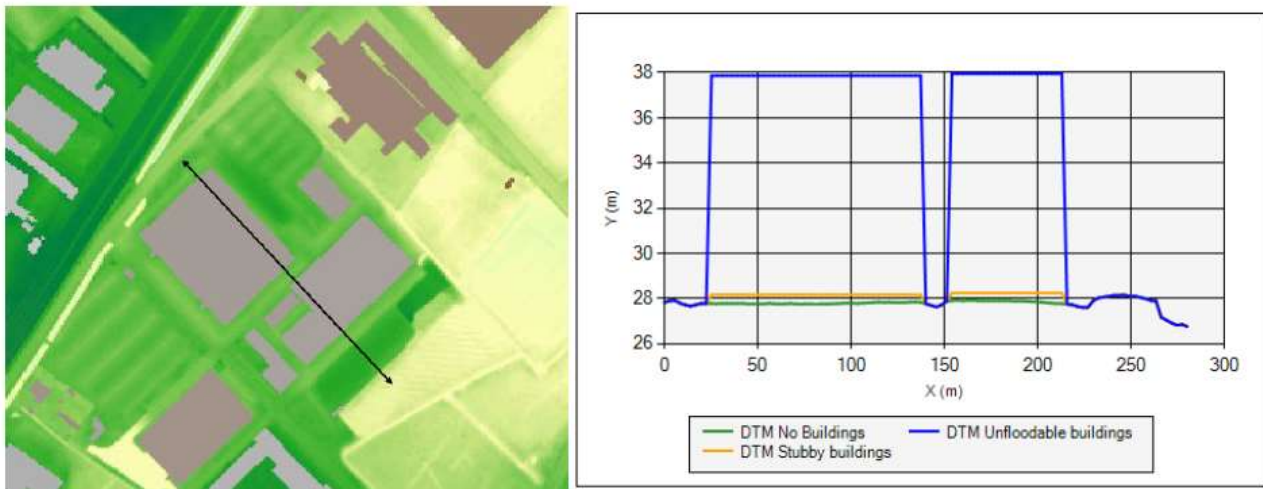
Op deze manier krijgen gebouwen een vast vloerpeil wat meer consistente modelresultaten oplevert en ook voorkomt dat gebouwen als deels overstromd verondersteld worden.

Het verschil tussen beide opties wordt schematisch voorgesteld in figuur 63. De zwarte lijn in de linkse figuur geeft weer waar het profiel genomen werd. De rechtse figuur geeft de verhoging weer t.o.v. het oorspronkelijk maaiveld (groene lijn) bij overstromingsvrije gebouwen (blauwe lijn) en verhoogd vloerpeil (oranje lijn).

De meest aangewezen keuze tussen beide alternatieven is grotendeels subjectief en hangt ook af van de schaal van de modellen (breedschalige modellering van Vlaanderen of gedetailleerde modellering van een verstedelijkt gebied). Ook de beschikbaarheid van gegevens (in het bijzonder drempelpeilen van woningen) speelt een rol in deze keuze. In het eerdere pilotproject [JBA, 2016] werden beide opties uitgetest. Hieruit blijkt dat beide opties hun voor- en nadelen hebben en tot afwijkende resultaten leiden in specifieke situaties. Wanneer afstromend water in de modellen te gemakkelijk door de gebouwen kan stromen, leidt dit tot onrealistisch hoge waterpeilen afwaarts deze gebouwen. Bij de optie van overstromingsvrije gebouwen kunnen dan weer artificiële 'canyons' ontstaan waarin het waterpeil ophoogt en onrealistisch hoge waterpeilen geeft. Algemeen werd besloten dat simulaties met overstromingsvrije gebouwen realistischere resultaten opleveren dan met verhoogd vloerpeil (zie ook [Engineers Australia, 2012]). De werkwijze met verhoogd vloerpeil geeft immers een kans dat de overstromingen onderschat worden.



figuur 63: Schematische voorstelling van model grid bij verschillende opties van gebouwen voorstelling



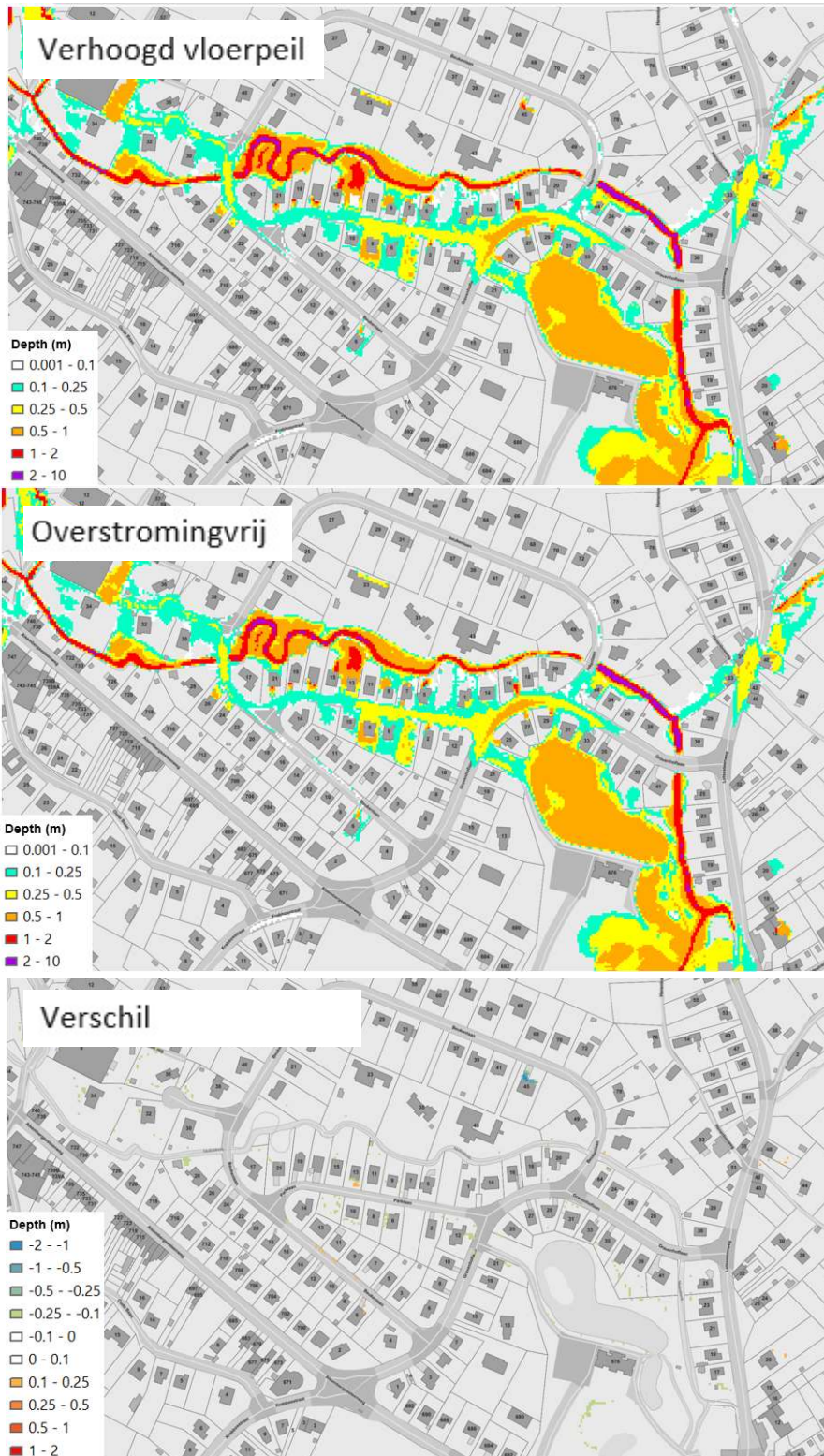
In het kader van huidig project werden een aantal pilootgebieden bijkomend gesimuleerd met zowel overstromingsvrije gebouwen als met verhoogd vloerpeil en werden de resultaten van beide scenario's visueel vergeleken. Een aantal voorbeelden van het verschil in resultaten bij beide methodes is terug te vinden in onderstaande figuur64 tot figuur65.

Over het algemeen wordt vastgesteld (zie ook [JBA, 2016]) dat bij overstromingsvrije gebouwen de gesimuleerde waterdieptes en -snelheden lichtjes hoger zijn dan bij de optie met verhoogd vloerpeil. In die zin geven overstromingsvrije gebouwen dan ook de meest nadelige situatie weer. De grootste afwijkingen worden vastgesteld wanneer een aaneengesloten rij van gesloten bebouwing zich onderaan een helling bevindt (zie voorbeelden in figuur64 en figuur65): in dat geval zal het afstromend water in de simulatie met overstromingsvrije gebouwen 'gevangen zitten' achter deze gebouwen, terwijl dit bij gebouwen met verhoogd vloerpeil vanaf een bepaalde waterhoogte door het gebouw zal kunnen stromen. In situaties waarbij de simulatie met overstromingsvrije gebouwen onrealistisch hoge overstromingsdieptes geeft ter hoogte van dergelijke huizenrijen, kan dit nog opgelost worden door in de modellen een fictieve doorstroom in te voegen door het invoegen van een hydraulische structuur (duiker of DTM-edit).

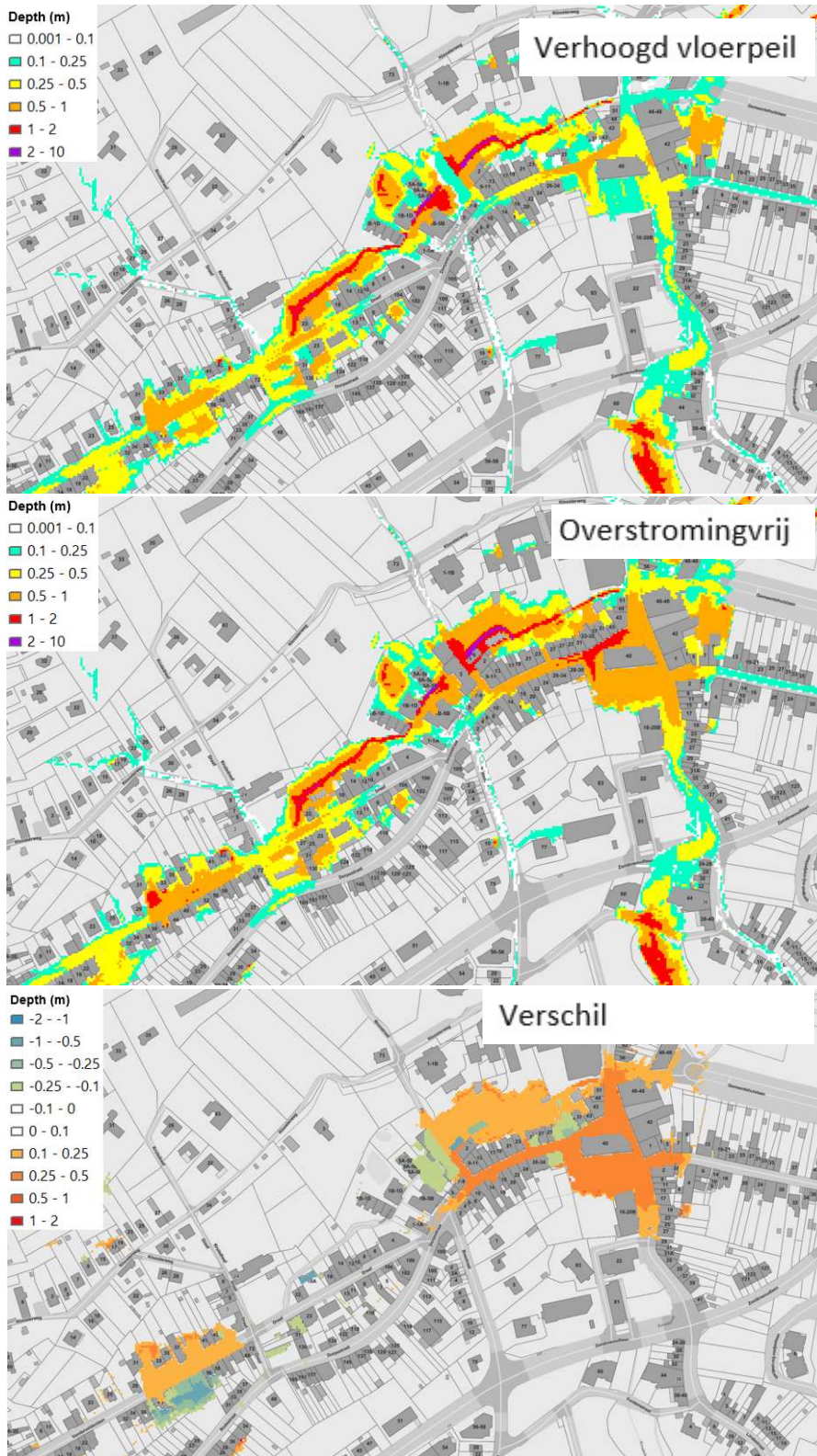
Op basis van een visuele vergelijking van de kaarten met overstromingsvrije gebouwen en met verhoogd vloerpeil werd – mede door het ontbreken van gebiedsdekkende gegevens over drempelpeilen van woningen - binnen huidig project besloten te werken met overstromingsvrije gebouwen. Een belangrijk criterium hierbij was dat met deze werkwijze alle gebouwen op een consistente manier als niet-overstroomd gevisualiseerd worden in de finale kaarten en een grotere flexibiliteit bewaard blijft om in de naverwerking te kiezen welke criteria gehanteerd worden om een gebouw als al dan niet overstroomd te beschouwen.



figuur64: Vergelijking tussen modelresultaten bij simulatie met verhoogd vloerpeil (boven) en overstromingsvrije gebouwen (midden) t.h.v. Parklaan, Beersel.



figuur65: Vergelijking tussen modelresultaten bij simulatie met verhoogd vloerpeil (boven) en overstromingsvrije gebouwen (midden) t.h.v. Centrum Sint-Genesius-Rode.



3.11 Effect van drempelwaarde bij opmaak afstromingsgevoelige kaarten

Zoals beschreven onder §2.7.2 dient bij de afbakening van de afstromingsgevoelige gebieden een criterium gehanteerd te worden vanaf wanneer locaties ingekleurd worden als afstromingsgevoelig. Hieronder wordt inzicht gegeven in de gevoeligheid van de kaarten aan het gekozen criterium.

Volgende drempelcriteria zijn getest en vergeleken:

- Waterhoogte van 5 cm
- Waterhoogte van 10 cm

Hazard rating van 0.555: De hazard rating (gevaarbeoordeling) is een gecombineerd criterium van waterhoogte en stroomsnelheid, waarbij (gevaarlijke) situaties met lagere waterhoogtes toch worden meegerekend als de snelheid groot is. De gekozen hazard rating komt overeen met een criterium dat tussen 5 en 10 cm waterhoogte ligt (zie eerdere tabel32).

In figuur66 wordt een voorbeeld van vergelijking gegeven tussen drempelwaardes van 5 en 10 cm:

- Enerzijds in kleur: de waterdieptes bekomen bij een drempelwaarde van 10 cm
- Anderzijds in zwart: de bijkomende overstromingscontouren bekomen bij een drempelwaarde van 5 cm

Bij het gebruik van een lage drempelwaarde worden veel straten en geulen mee ingekleurd, terwijl dit nog niet als wateroverlast wordt ervaren. Daarom lijkt een drempelwaarde van 5 cm te laag.

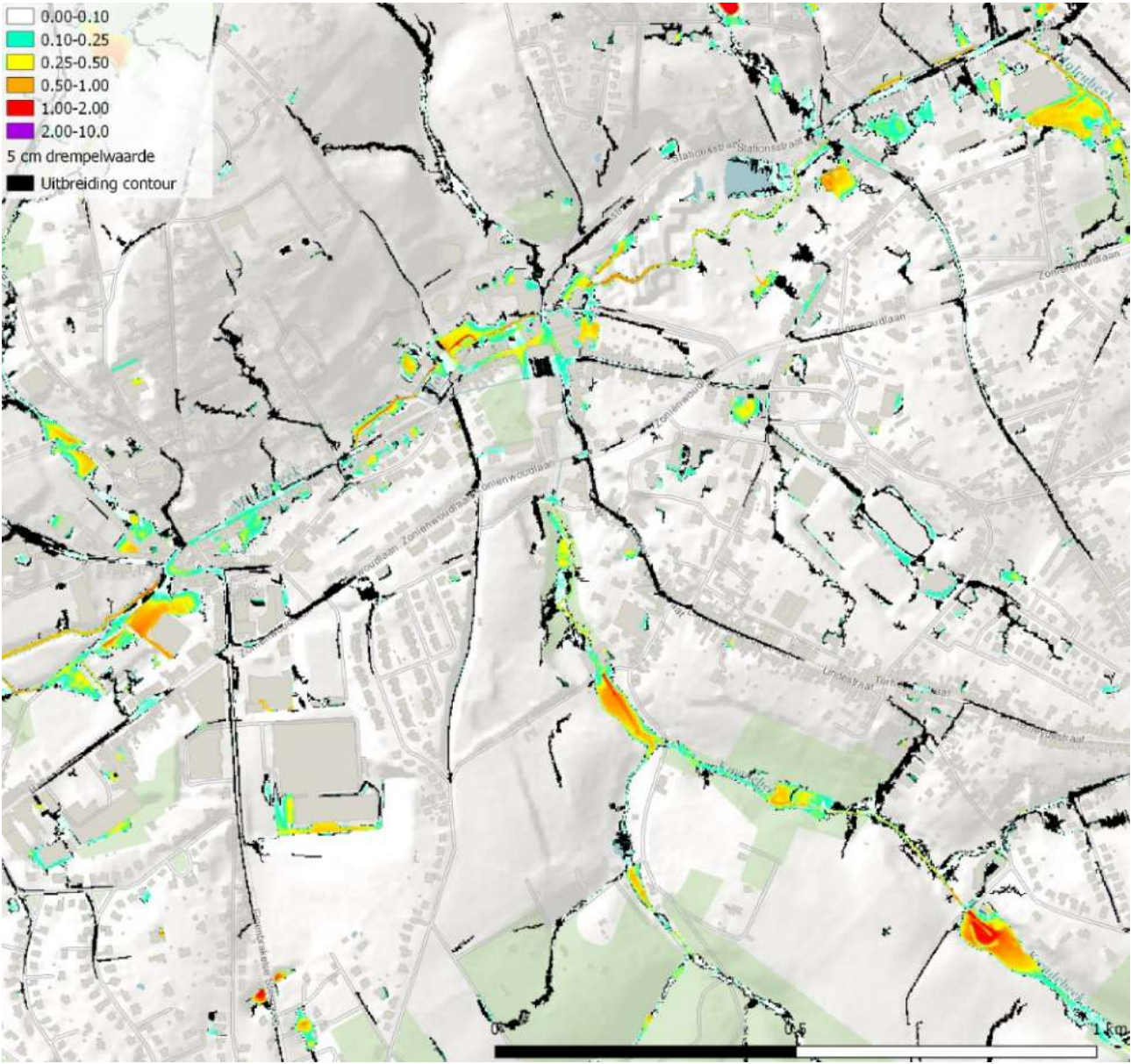
In figuur67 wordt een voorbeeld van vergelijking gegeven tussen drempelwaardes van 10 cm en een hazard rating van 0.555:

- Enerzijds in kleur: de waterdieptes bekomen bij een drempelwaarde van 10 cm
- Anderzijds in zwart: de bijkomende overstromingscontouren bekomen bij een hazard rating van 0.555

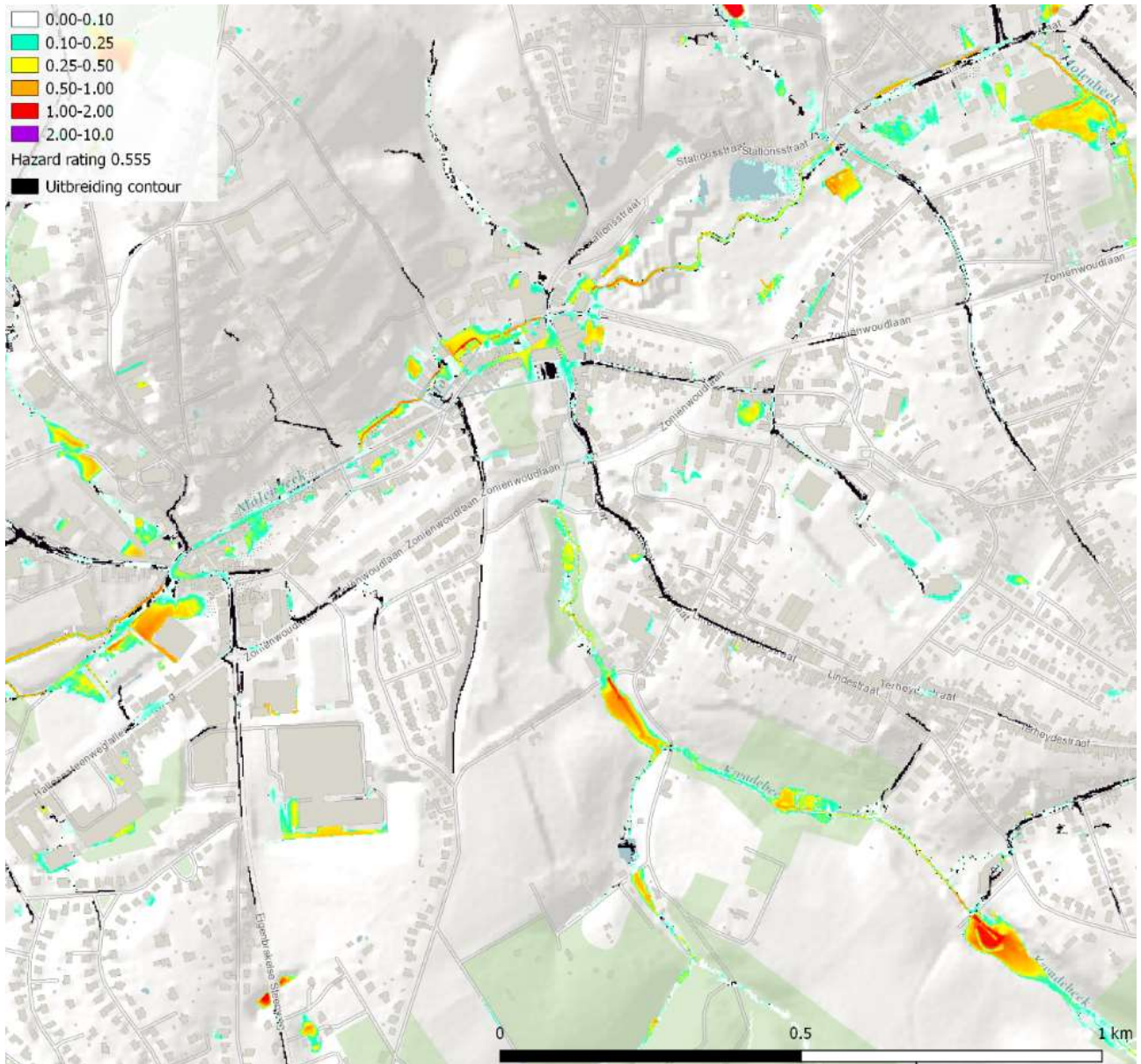
Bij een hazard rating van 0.555 worden bepaalde lagere waterdieptes toch terug opgevist (t.o.v. drempelwaarde 5 cm) in de inkleuring als er voldoende hoge snelheden zijn. Dit sluit ook het best aan met de reële situaties die als wateroverlast wordt ervaren bij afstromend water (nl. het belang van de gecombineerde impact van zowel waterhoogte als stroomsnelheid). De hazard rating werd - na uitgebreidere analyse - ook reeds in de pilootstudie 2016 als beste keuze weerhouden [JBA, 2016]. Ook bij de opmaak van de afstromingsgevoelige kaarten voor Engeland en Wales werd gebruik gemaakt van de hazard rating als criterium voor de opmaak van de kaarten (hier werd een hazard rating van 0.575 gebruikt). en de herziening van de hydrologie (§2.5) leidt dus niet tot redenen om dit aan te passen. De hazard rating van 0.555 wordt daarom als finaal gekozen drempelcriterium weerhouden voor de gebiedsdekkende afstromingsgevoelige kaarten binnen deze studie.



figuur66: Voorbeeld vergelijking kaart met inkleuring vanaf 10 cm drempelwaarde (kleuren) en bijkomende inkleuring vanaf 5 cm (zwart). Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, middengedeelte Beersel



figuur67: Voorbeeld vergelijking kaart met inkleuring vanaf 10 cm drempelwaarde (kleuren) en bijkomende inkleuring op basis van hazard rating van 0.555 (zwart). Simulatie bij terugkeerperiode van 100 jaar, middengedeelte Beersel



4 VALIDATIE KAARTEN

4.1 Inleiding

Tijdens de looptijd van het project werden de tussentijdse resultaten op verschillende manieren gevalideerd aan operationele informatie over de historische wateroverlast. Door het kernteam van de opdrachtgever werden de resultaten van specifieke methodologische testen (zie §1.4 en §3) afgetoetst aan vaststellingen tijdens eerdere wateroverlast (hoofdzakelijk de stormen van mei/juni 2016) en bijbehorend fotomateriaal. Om een idee te krijgen wat de terugkeerperiode was van deze stormen in een aantal pilootgebieden gebeurde een statistische analyse van de neerslag voor deze gebieden (zie §4.2). De belangrijkste validatie van de tussentijdse kaarten gebeurde echter door deze open te stellen voor nazicht door externe partijen met operationele kennis over de wateroverlast. Dit proces wordt beschreven in §4.3.

4.2 Validatie aan historische wateroverlast

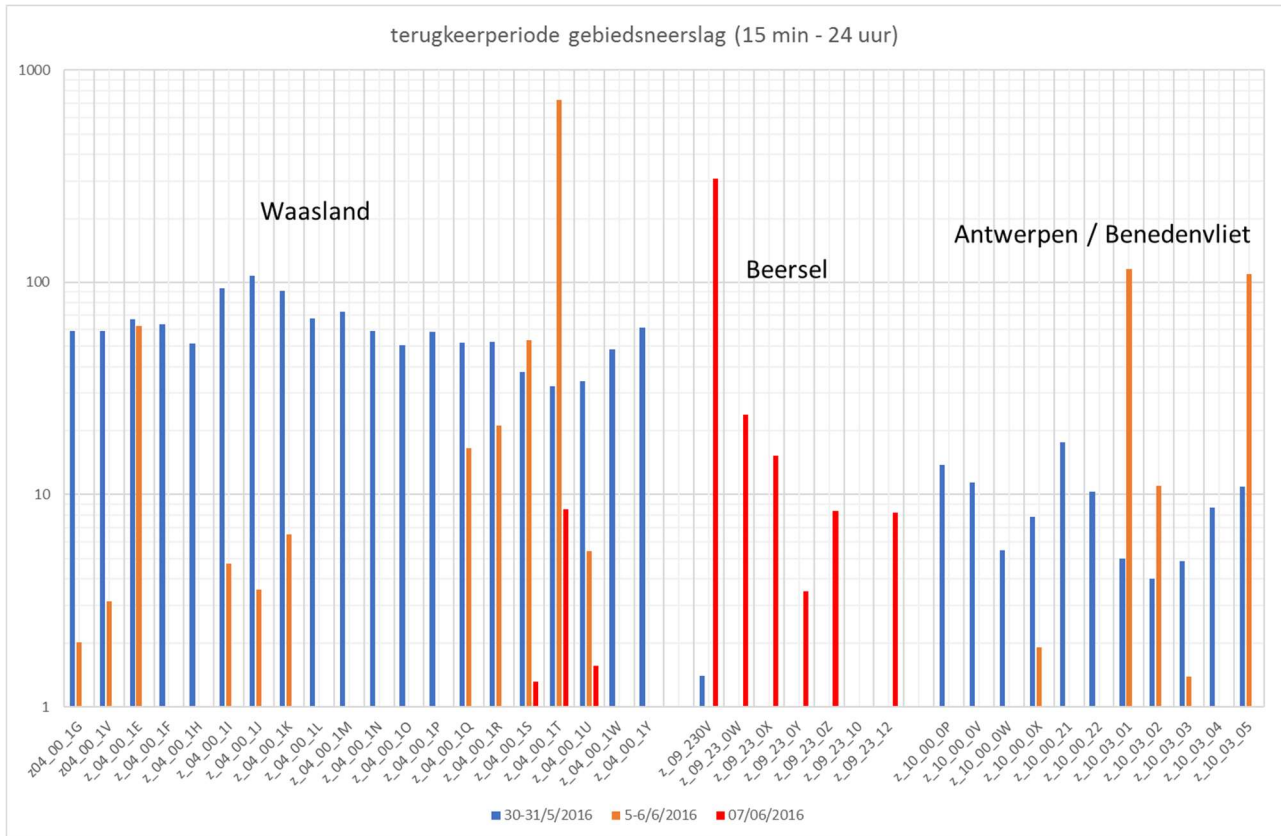
In het kader van huidig project werd voor een aantal pilootgebieden (Beersel, Benedenvliet en Waasland) een validatie uitgevoerd van de modelresultaten aan de operationele kennis van de wateroverlast tijdens de periode mei/juni 2016. Om de extremiteit van deze gebeurtenis te kunnen afwegen gebeurde hierbij een analyse van de terugkeerperiode van de neerslaggebeurtenissen tijdens deze periode in de betrokken gebieden.

4.2.1 Analyse terugkeerperiode

Per SRM zone werd voor de 3 pilootgebieden door de VMM een gebiedsgemiddelde neerslag bepaald op basis van geherkalibreerde radarbeelden voor de periode mei/juni 2016 waarin er verscheidene overstromingen voorkwamen. Op deze neerslag is een statistische analyse uitgevoerd om de terugkeerperiodes van deze extreme neerslag vast te stellen. De berekening van de terugkeerperiode is gebaseerd op de IDF-relaties uit de Code van goede praktijk [CIW, 2012]. In figuur68 wordt per SRM zone de maximale terugkeerperiode weergegeven die voorkomt bij aggregatieniveaus tussen 15 minuten en 24 uur.



figuur68: Overzicht van de maximaal voorkomende terugkeerperiodes in de verschillende deelgebieden van de 3 pilotgebieden (maximale terugkeerperiode voor buiduren tussen 15 minuten en 24 uur).



4.2.2 Selectie gebeurtenissen

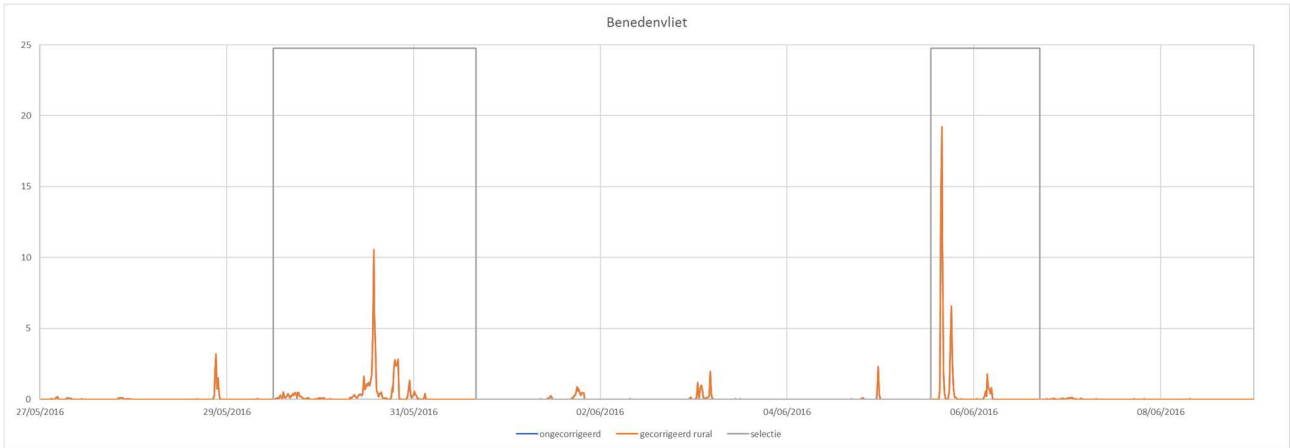
Voor de validatie zijn onderstaande neerslaggebeurtenissen geselecteerd (met voldoende posteriori periode om het volledige effect te kunnen zien) o.b.v. de analyse van de terugkeerperiode (§4.2.1):

- Benedenvliet gebeurtenis 1: 29/05/2016 12:00 tot 31/05/2016 16:00
- Benedenvliet gebeurtenis 2: 5/06/2016 13:00 tot 6/06/2016 17:00
- Waasland gebeurtenis 1: 29/05/2016 11:00 tot 31/05/2016 16:00
- Waasland gebeurtenis 2: 5/06/2016 13:00 tot 7/06/2016 22:00
- Beersel: 6/06/2016 17:00 tot 8/06/2016 15:00

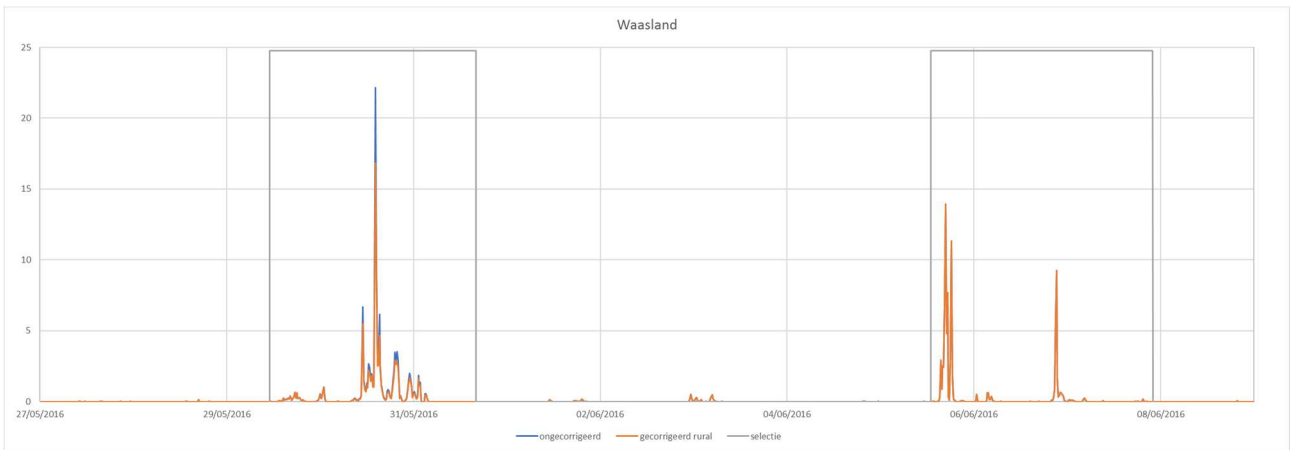
Aangezien het hier reeds om ruimtelijke verdeelde neerslag gaat, is er geen verdere ruimtelijke correctie nodig. Wel is er een correctie uitgevoerd analoog aan de extra correctie op de landelijke afstroming (zie §2.5). Deze extra correctie op de landelijke afstroming wordt ingevoerd voor neerslag met een terugkeerperiode groter dan 10 jaar. In de onderstaande figuren met de geselecteerde gebeurtenissen is de 'ongecorrigeerde' tijdreeks deze die wordt toegepast op de 'urban' oppervlakte en de 'gecorrigeerde' tijdreeks deze die wordt toegepast op de 'rural' oppervlakte.



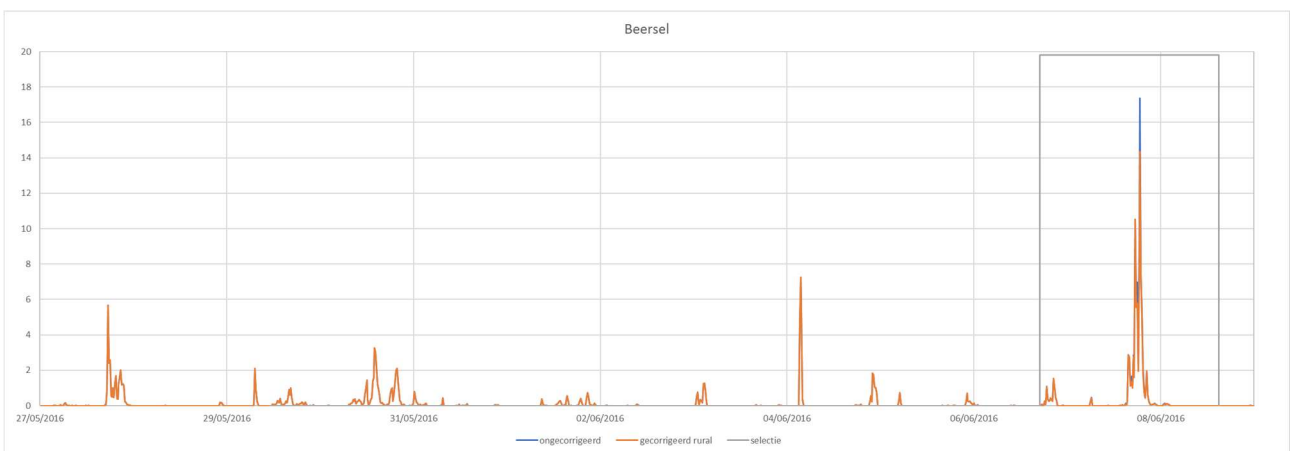
figuur69: Geselecteerde neerslaggebeurtenissen voor Benedenvliet.



figuur70: Geselecteerde neerslaggebeurtenissen voor Waasland.



figuur71: Geselecteerde neerslaggebeurtenissen voor Beersel.



4.2.3 Evaluatie m.b.t. overstromingen mei / juni 2016

Voor de overstromingen van mei/juni 2016 werden simulaties uitgevoerd van de pilotgebieden voor de geselecteerde neerslaggebeurtenissen zoals hierboven beschreven. De resultaten hiervan werden beschikbaar gesteld aan VMM in de review website die opgebouwd wordt in het kader van huidig project (zie §4.3.3). In deze website werd ook het beschikbare fotomateriaal (bron: VMM) opgeladen van deze overstromingen. Op basis van een vergelijking van de simulatieresultaten voor deze gebeurtenis met de operationele kennis en fotomateriaal van de wateroverlast in mei/juni 2016 werd de methodiek gevalideerd en waar nodig beperkt bijgesteld. Deze bijstellingen hadden te maken met enerzijds de afwaartse randvoorwaarden die nodig waren om de kleinere pilotgebieden te kunnen simuleren (wat in de finale simulaties wordt vermeden via het simuleren van grotere gebieden) en anderzijds met lokale bottlenecks t.h.v. hydraulische structuren (wat een belangrijke reden was voor het review proces).

Enkele voorbeelden van deze vergelijking tussen de gemodelleerde wateroverlast en fotomateriaal van recente periodes met wateroverlast (niet enkel de overstromingen van mei/juni 2016) kan gevonden worden in bijlage 9.

4.3 Nazicht door externe partijen

In het kader van huidig project werden tussentijdse versies van de kaart van afstromingsgevoelige gebieden ter beschikking gesteld van externe partijen met operationele kennis van de wateroverlast. Dit gebeurde via een specifiek webplatform dat toelaat om opmerkingen en suggesties tot aanpassingen op een gestructureerde manier door te geven en te visualiseren.

4.3.1 Procesverloop extern nazicht

Tijdens de periode juli-september 2017 gebeurde een nazicht van de afstromingsgevoelige kaarten door verschillende besturen en betrokken organisaties. In functie van het review proces werd een specifieke review website opgebouwd: www.vlagg.be (zie verdere beschrijving onder §4.3.2). Enkel geregistreerde gebruikers konden hierbij – na goedkeuring door VMM – inloggen op de website.

Op de website konden reviewers opmerkingen toevoegen aan de kaarten. Deze opmerkingen werden doorgestuurd aan VMM die beoordeelde of bijkomende actie nodig is (bv. aanpassen van de modellen, bijkomende informatie opvragen,...). Tevens konden reviewers ontbrekende hydraulische structuren toevoegen of de ligging en/of eigenschappen van aanwezige hydraulische structuren wijzigen. Deze aanpassingen werden dan – na validatie - door het studieteam verwerkt in de hydraulische modellen.

Tijdens de looptijd van het review proces werden regelmatig nieuwe simulaties van specifieke deelmodellen uitgevoerd, waarna de nieuwe modelresultaten weer gepubliceerd werden in de review website, zodat bij het nazicht steeds rekening gehouden kon worden met belangrijke aanpassingen die reeds eerder doorgevoerd werden.

//



4.3.2 Beschrijving webplatform

De website bestaat uit volgende onderdelen:

- Login-pagina
- Startpagina (dashboard)
- Kaart-applicatie
- Pagina met meest gestelde vragen (FAQ)
- Account pagina

In de rechterbovenhoek bestaat de mogelijkheid om desgewenst van taal te veranderen (Nederlands/Engels).

4.3.2.1 Login-pagina

Enkel geregistreerde gebruikers hebben toegang tot de review website. Hiertoe dient men zich – minstens bij het eerste gebruik – aan te melden via de login pagina waarbij ook een wachtwoord dient aangevraagd te worden.

Eenmaal deze registratie voltooid is, kan gebruik gemaakt worden van de review-website. Bij het aanmelden kan men ervoor kiezen aangemeld te blijven.

Elke gebruiker krijgt automatisch een specifiek geografisch gebied van interesse toegekend, dat overeenkomt met het werkingsgebied van de betrokken organisatie. Enkel meldingen en nieuwsberichten van dit werkingsgebied worden getoond op de startpagina (zie §4.3.2.2).

4.3.2.2 Startpagina

De startpagina bevat een gepersonaliseerd overzicht van de meest relevante informatie en bestaat uit volgende onderdelen:

- Nieuws: algemene nieuwsberichten over het verloop van het VLAGG-project. Deze zijn hetzelfde voor alle gebruikers en bevatten onder andere informatie over de planning van het project, opkomende overlegmomenten, tijdelijke onbeschikbaarheid van de website.
- Acties: gepersonaliseerd overzicht per organisatie van specifieke acties die van toepassing zijn. Dit gaat bv. om notities die toegevoegd werden en een reactie/nazicht van de specifieke organisatie gevraagd werd. Elke actie is hierbij voorzien van een ‘geotag’. Door hierop te klikken wordt men automatisch naar de desbetreffende locatie geleid in de kaartapplicatie.
- Laatste activiteiten: chronologisch overzicht van de laatste activiteiten in het specifieke geografisch gebied dat toegekend werd aan de gebruiker. Activiteiten zijn bv. de beschikbaarheid van nieuwe modelresultaten, acties die aan de organisatie werden toegekend of verwerkt werden door het studieteam, structuren (duiker, DTM-edit,...) die toegevoegd, gewijzigd of verwijderd werden en opmerkingen die toegevoegd werden. Ook deze werden voorzien van een ‘geotag’.
- Rapporten: achtergronddocumenten die de gebruiker kunnen helpen bij de uitvoering van het review proces
- Contact: contactgegevens van de helpdesk en een mogelijkheid om bijkomende partijen te delegeren om het nazicht uit te voeren in naam van de delegerende partij

//

4.3.2.3 Kaartapplicatie

De kaartapplicatie (zie figuur 72) bevat een overzicht van de meest recente simulatieresultaten van de afstromingsgevoelige kaarten en biedt de mogelijkheid toevoegingen en opmerkingen door te geven aan het studieteam. Deze kaartapplicatie werkt als een standaard GIS-applicatie.

Via de kaartapplicatie werd volgende informatie beschikbaar gesteld:

- Invoerdata: lagen met invoergegevens (duikers, DTM aanpassingen, pompstations en bufferbekkens) die gebruikt worden in de modellen; hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de informatie die effectief aanwezig is in de hydraulische modellen en de ruwe informatie zoals aangeleverd door de verschillende gebruikers. Daarnaast is ook een aparte laag aanwezig met notities die door verschillende gebruikers werden toegevoegd.
- Afstromingskaarten: meest recente versie van de afstromingskaarten per modelgebied; tijdens de review periode waren de voorlopige kaarten voor het huidige klimaat (2016) beschikbaar voor terugkeerperiodes T10, T100 en T1000, samen met een kaart met de gecombineerde overstromingsomvang (combinatie van bovenstaande kaarten met verschillende kleurcodering op basis van de maximale contour per terugkeerperiode).
- Achtergrondlagen: bestaande GIS-lagen zoals DTM, orthofoto, administratieve grenzen, ... ter ondersteuning van het nazicht door de gebruiker

In de kaartapplicatie zijn een aantal functionaliteiten beschikbaar die de externe gebruikers toelaten opmerkingen en aanvullingen te geven op de bestaande kaarten:

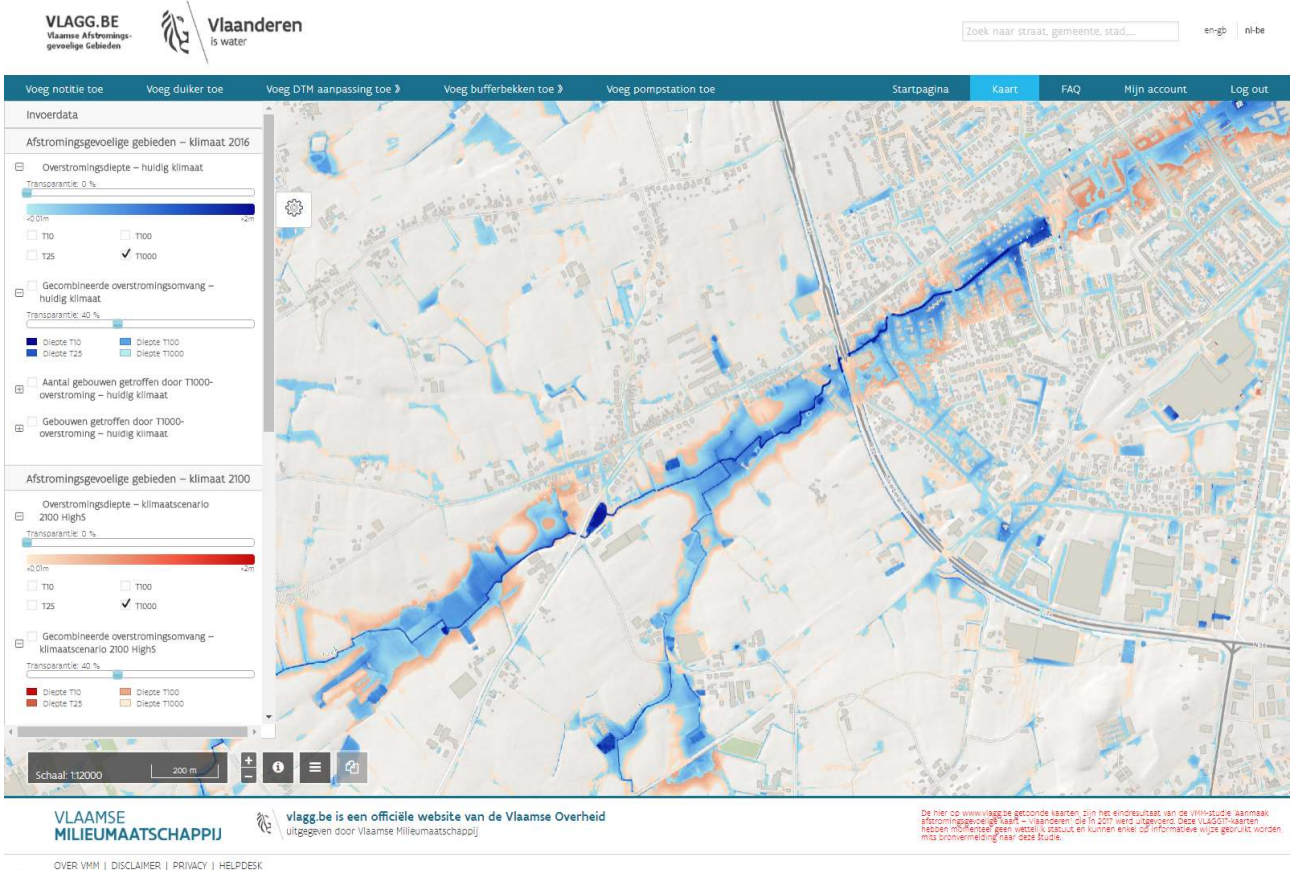
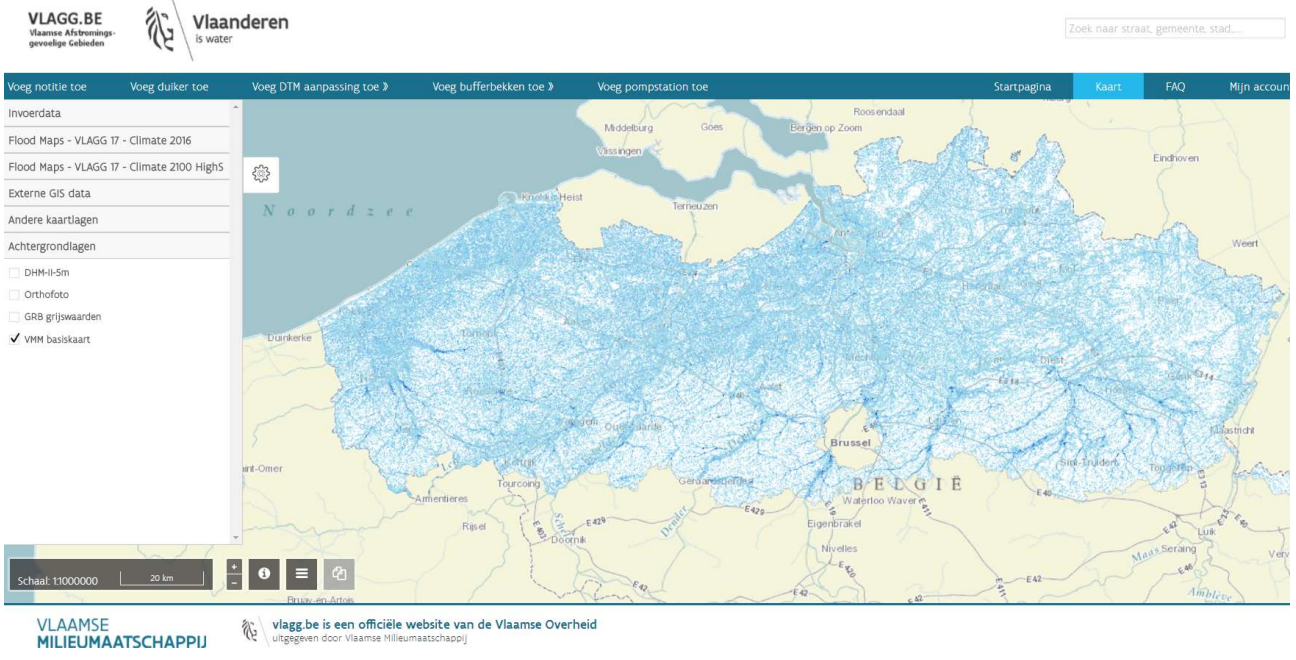
- Notitie toevoegen: invoegen van een polygoon met een willekeurige tekstuele opmerking; hierbij bestaat de mogelijkheid aan te duiden of het gaat om een positieve, een neutrale of een negatieve commentaar, telkens met de keuzemogelijkheid uit een aantal standaard categorieën (bv. overstromingscontour te groot, diepte overschat, geen overstroming gekend,...)
- Duiker toevoegen: invoeren van de locatie van een bijkomende duiker, met de mogelijkheid de kenmerken van deze duiker (type, breedte, hoogte,...) te specificeren
- DTM-aanpassing toevoegen: invoeren van een wijziging aan het hoogtemodel, hetzij als polygoon (bv. bouwput of ophoging), hetzij als lijnelement (bv dijklichaam).
- Bufferbekken toevoegen: hierbij wordt niet het eigenlijke bufferbeken toegevoegd, maar is er de mogelijkheid een laterale structuur (debietbeperkende duiker) of een laterale dijk (lijnvormige DTM-aanpassing) in te voeren.
- Pompstation toevoegen: toevoegen van inlaat en uitlaat van een pompstation, met de mogelijkheid het debiet van het pompstation aan te geven

Reeds aanwezige objecten kunnen hierbij ook gewijzigd worden (bv. ligging aanpassen, kenmerken aanpassen, aanvullende opmerkingen geven,...).

Via de kaartapplicatie kunnen ook de gesimuleerde waterdieptes op een bepaalde locatie bevestigd worden.

figuur 72: Kaartapplicatie van review website vlagg.be





4.3.3 Resultaten extern nazicht



Het nazicht door externe partijen via de review website leidde tot volgende aanvullingen:

- Ca. 5500 duikers
- Ca. 670 DTM-aanpassingen
- Ca. 810 aanpassingen aan wachtbekkens
- Ca. 275 pompstations

Naast deze aanvullingen werden door ca. 140 gemeente- en stadsbesturen bijkomende opmerkingen toegevoegd aan de kaarten. Samen met de input die geleverd werd door rioolbeheerders, waterloopbeheerders,... leidde dit tot de invoer van opmerkingen in ca. 300 gemeenten.

In totaal werden ca. 3500 notities ingevoerd. Hiervan hadden:

- 53% een positieve of neutrale beoordeling
- 47% een negatieve beoordeling, waarvan:
 - o 26% meldingen van een onderschatting van de overstromingscontour
 - o 17% meldingen van een overschatting van de overstromingscontour
 - o 44% meldingen dat op die locatie geen overstroming gekend is



5 BESPREKING RESULTATEN

5.1 Inleiding

Huidig project resulteert in gebiedsdekkende kaarten van de afstromingsgevoelige gebieden in Vlaanderen onder verschillende tijdshorizonten (2016 en 2100) en terugkeerperiodes (T10, T25, T100, T1000). De concrete eindproducten die geproduceerd worden, worden besproken in §5.2. In §5.3 worden op basis van deze resultaten een aantal statistieken gegeven van de kans op wateroverlast ten gevolge van dit type overstromingen. In §5.4 volgt ten slotte nog een vergelijking met de bestaande fluviale overstromingskaarten.

5.2 Bespreking eindproducten

Zoals hierboven vermeld zijn afstromingsgevoelige kaarten opgesteld voor 8 scenario's:

Klimaatscenario	Terugkeerperiode (jaar)			
	10	25	100	1000
Geperturbeerde bui 2016	10	25	100	1000
Geperturbeerde bui 2100	10	25	100	1000

Voor elk van deze scenario's worden volgende resultaten geproduceerd:

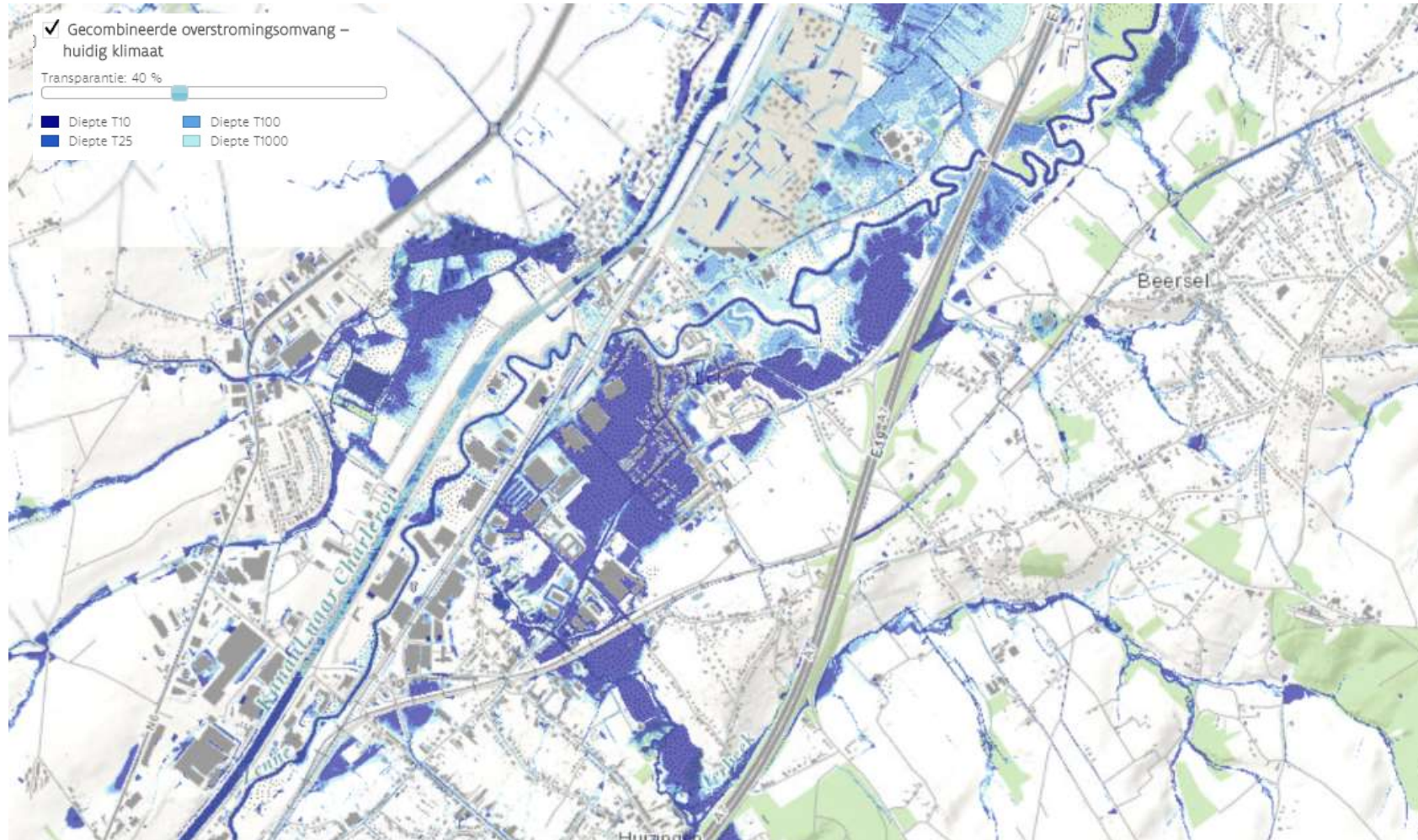
- Gebiedsdekkende kaart met afbakening van de afstromingsgevoelige gebieden (rekening houdende met de naverwerking zoals beschreven onder §0)
- Gebiedsdekkende kaart met maximale waterdiepte in m
- Gebiedsdekkende kaart met maximale stroomsnelheid in m/s
- Gebiedsdekkende kaart met maximale gevaarscore (hazard rating)

Elk van deze kaarten is het resultaat van het samenvoegen van de resultaten van de verschillende deelmodellen, volgens de methodiek beschreven onder §2.7.1. Deze werden aan de opdrachtgever ter beschikking gesteld onder de vorm van geodatabases.

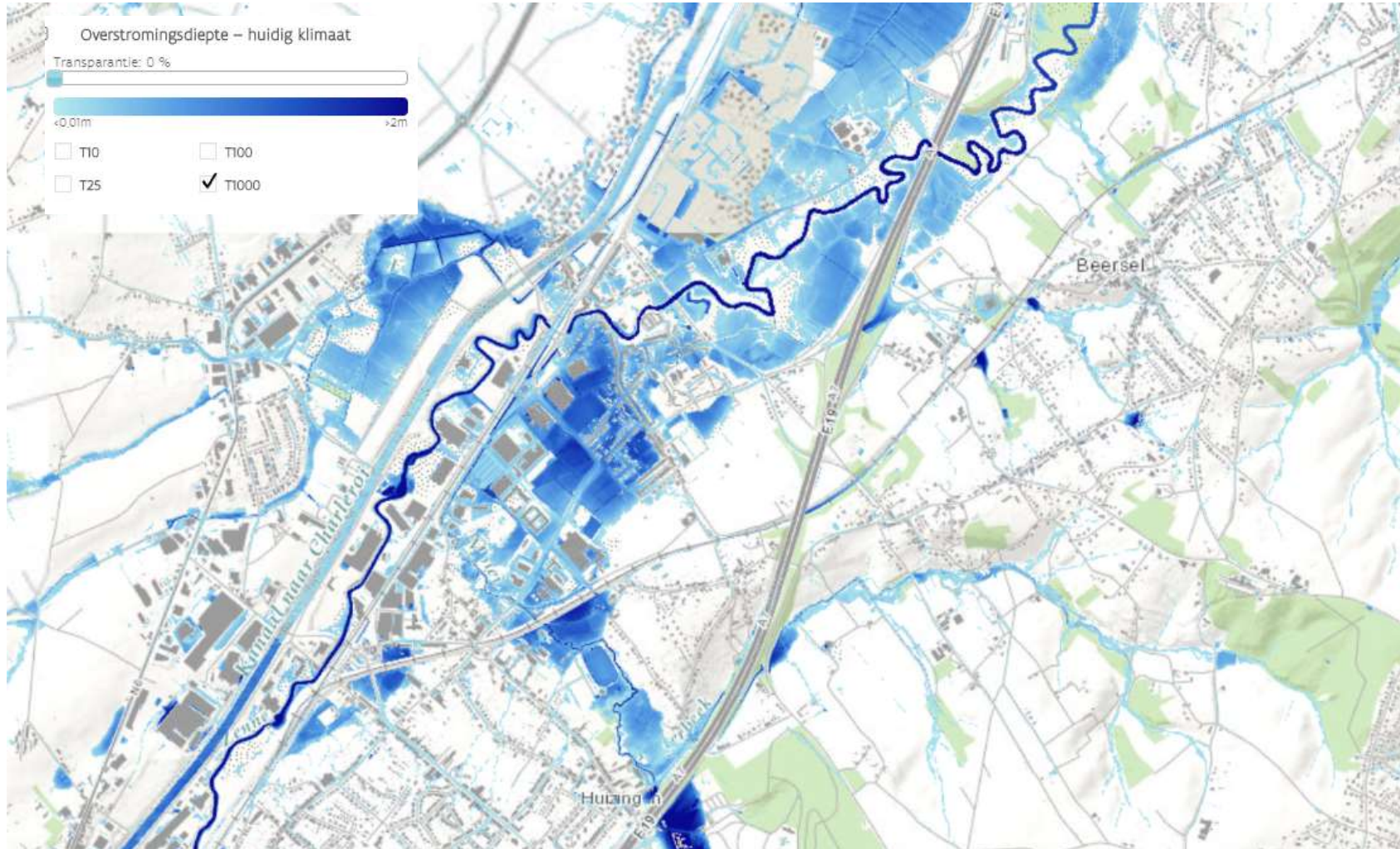
De finale kaart met afbakening van de afstromingsgevoelige gebieden is voor geregistreerde gebruikers consulteerbaar via de website www.vlagg.be. Hierbij wordt een gecombineerde kaart met overstromingscontouren bij verschillende terugkeerperiodes weergegeven voor enerzijds klimaat 2016 en anderzijds klimaat 2100. Als voorbeeld wordt een detail uit deze kaart weergegeven in figuur 73. Via deze website is voor elk scenario ook de maximale overstromingsdiepte consulteerbaar. Een voorbeeld hiervan is terug te vinden in figuur 74.

Een voorbeeld van een kaart met maximale stroomsnelheid en maximale gevaarscore is terug te vinden in respectievelijk figuur 75 en figuur 76.

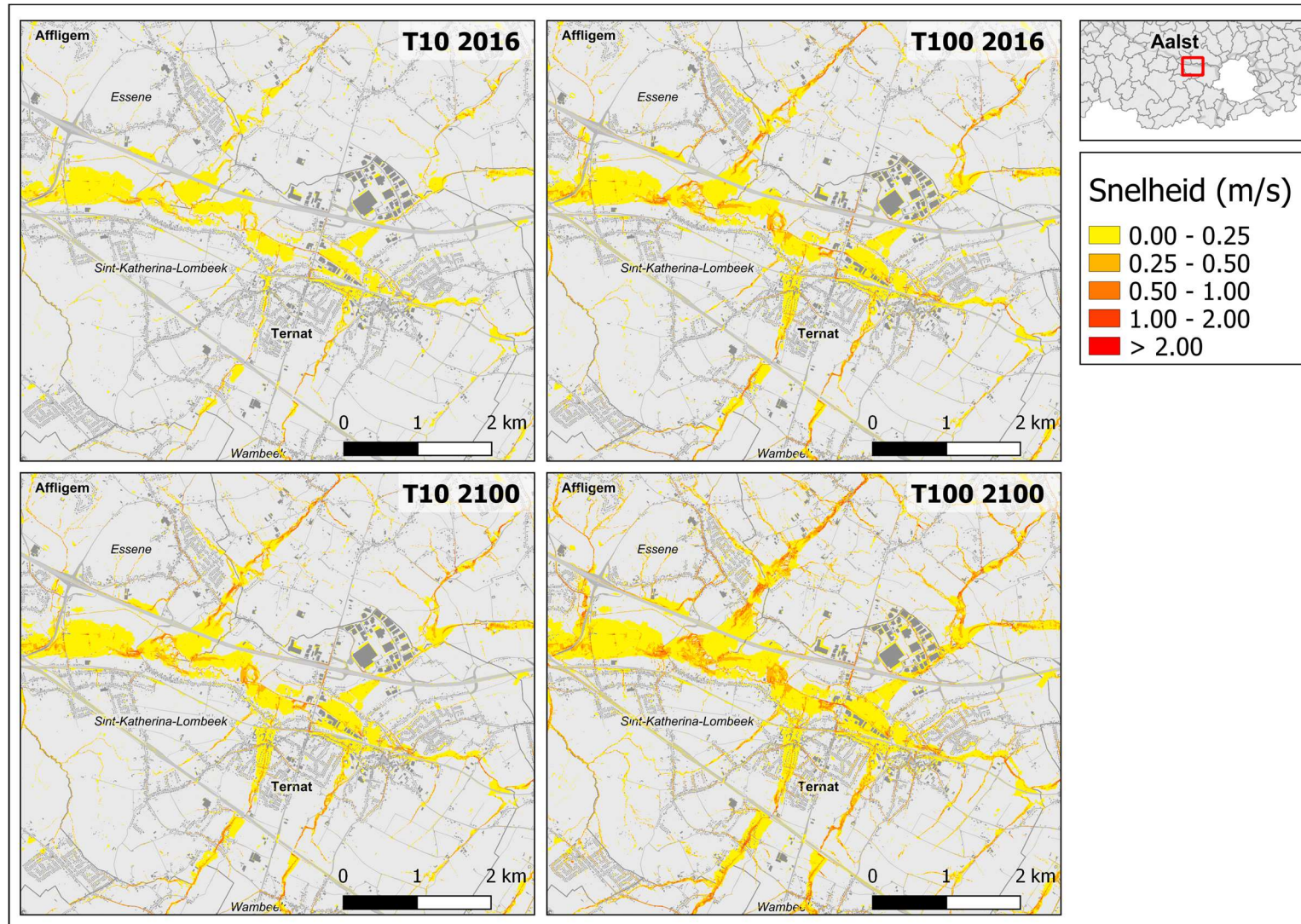
figuur 73: Detail uit gecombineerde afstromingsgevoelige kaart met afbakening van de afstromingsgevoelige gebieden voor klimaat 2016



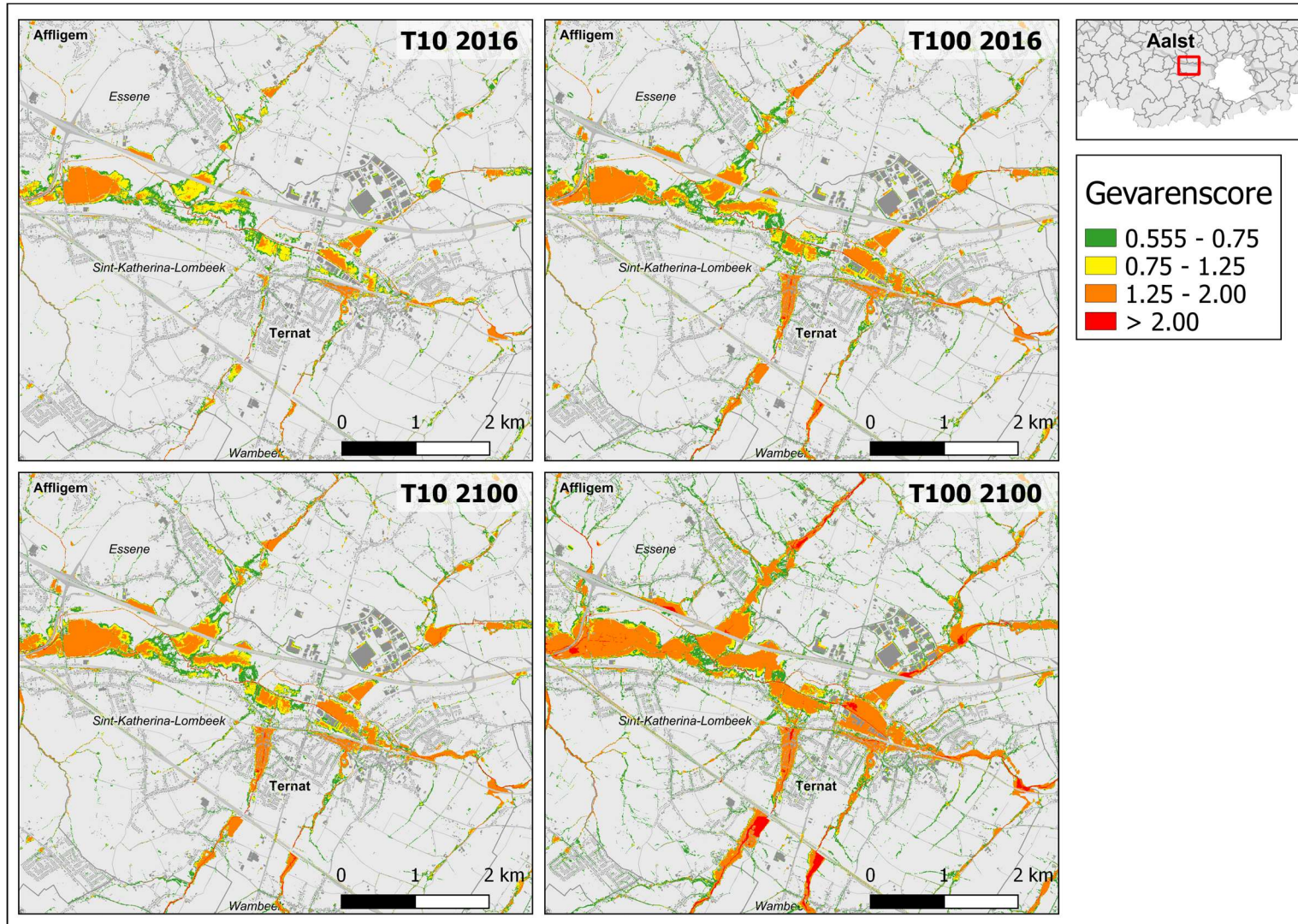
figuur 74: Detail uit finale afstromingsgevoelige kaart met maximale overstromingsdiepte voor klimaat 2016 – T1000



figuur 75: Detail uit finale afstromingsgevoelige kaart met maximale stroomsnelheid voor klimaat 2016 – T1000



figuur 76: Detail uit finale afstromingsgevoelige kaart met maximale gevaarscore voor klimaat 2016 – T1000



Aantal ha in afstromingsgevoelig gebied							
	overstromingsdiepte (m)	> 0.05	> 0.10	> 0.15	> 0.20	> 0.25	> 0.30
Klimaat 2016	T10	57399	56321	42399	31886	24786	19708
	T25	71868	70198	52491	39392	30632	24345
	T100	105174	102165	76306	57705	45121	36099
	T1000	159358	154262	116655	89661	71184	57770
Hoog Zomer 2100	T10	100037	97157	72256	54592	42675	34185
	T25	131301	126876	94060	71433	56236	45279
	T100	194972	187882	141126	109125	87160	71251
	T1000	290864	280135	217622	175217	144152	120445

tabel 35: Procentuele toename bij hogere terugkeerperiodes van de oppervlakte afstromingsgevoelig gebied in functie van de overstromingsdiepte voor verschillende scenario's

overstromingsdiepte (m)		> 0.05	> 0.10	> 0.15	> 0.20	> 0.25	> 0.30
Klimaat 2016	T25 t.o.v. T10	125%	125%	124%	124%	124%	124%
	T100 t.o.v. T25	146%	146%	145%	146%	147%	148%
	T1000 t.o.v. T100	152%	151%	153%	155%	158%	160%
Hoog Zomer 2100	T25 t.o.v. T10	131%	131%	130%	131%	132%	132%
	T100 t.o.v. T25	148%	148%	150%	153%	155%	157%
	T1000 t.o.v. T100	149%	149%	154%	161%	165%	169%

tabel 36: Procentuele toename bij klimaatwijziging van de oppervlakte afstromingsgevoelig gebied in functie van de overstromingsdiepte voor verschillende terugkeerperiodes

overstromingsdiepte (m)	> 0.05	> 0.10	> 0.15	> 0.20	> 0.25	> 0.30
T10	174%	173%	170%	171%	172%	173%
T25	183%	181%	179%	181%	184%	186%
T100	185%	184%	185%	189%	193%	197%
T1000	183%	182%	187%	195%	203%	208%

////////////////////////////////////

tabel 37: Aantal percelen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende scenario's

<i>Bekken</i>	<i>Klimaat 2016</i>				<i>Hoog Zomer 2100</i>			
	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>
01-IJzer	120709	137497	165923	197400	159662	183545	215316	247197
02-Brugse Polders	117512	138195	171743	208789	161511	188732	224424	259250
03-Gentse Kanalen	108402	131006	168009	208383	156104	185503	223762	261158
04-Benedenschelde	193633	246830	341888	449494	305851	386473	491981	599011
05-Leie	105039	126862	163837	208520	153490	186693	232778	281695
06-Bovenshelde	50181	58378	72977	90662	71401	85123	104841	126936
07-Dender	78369	93069	119766	154628	116443	143042	183297	228738
08-Dijle	110105	136958	183142	240284	172509	214493	275272	342297
09-Demer	152435	181899	232951	295298	225617	272392	340794	415873
10-Nete	149643	185590	246302	313857	227903	276810	342278	409251
11-Maas	120473	143680	182790	227939	174448	206366	252514	300936
TOTAAL VLAANDEREN	1306501	1579964	2049328	2595254	1924939	2329172	2887257	3472342

tabel 38: Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende scenario's

<i>Bekken</i>	<i>Klimaat 2016</i>				<i>Hoog Zomer 2100</i>			
	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>
01-IJzer	9945	16017	27862	43775	22974	34032	50342	70288
02-Brugse Polders	9019	15662	28290	46225	22351	34501	52823	76119
03-Gentse Kanalen	8123	15673	29821	48933	22910	36484	55237	77467
04-Benedenschelde	24209	44374	85801	142994	65773	105600	163805	237821
05-Leie	13545	21833	38376	61787	31665	47976	72765	104555
06-Bovenshelde	5796	8339	13588	20526	12185	17346	24852	34749
07-Dender	10273	15842	26353	41622	23301	34125	50648	70986
08-Dijle	19866	29585	48045	74232	41956	59991	88426	125242
09-Demer	17181	24593	38131	57248	34463	47583	68874	98679
10-Nete	8712	14509	26447	44408	21031	32571	51842	80692
11-Maas	8614	12794	20754	32713	17660	25495	38097	57098
TOTAAL VLAANDEREN	135283	219221	383468	614463	316269	475704	717711	1033696

5.4 Vergelijking met fluviale overstromingskaarten

Hoewel de kaart met afstromingsgevoelige gebieden andere informatie bevat dan de bestaande overstromingskaarten (omdat een ander type overstromingen gesimuleerd wordt), wordt hier in hoofdlijnen een vergelijking gemaakt tussen beide types kaarten. Hiertoe worden de finale afstromingskaarten vergeleken met de kaart met overstroombare gebieden van VMM.

Hierbij worden volgende vaststellingen gemaakt:

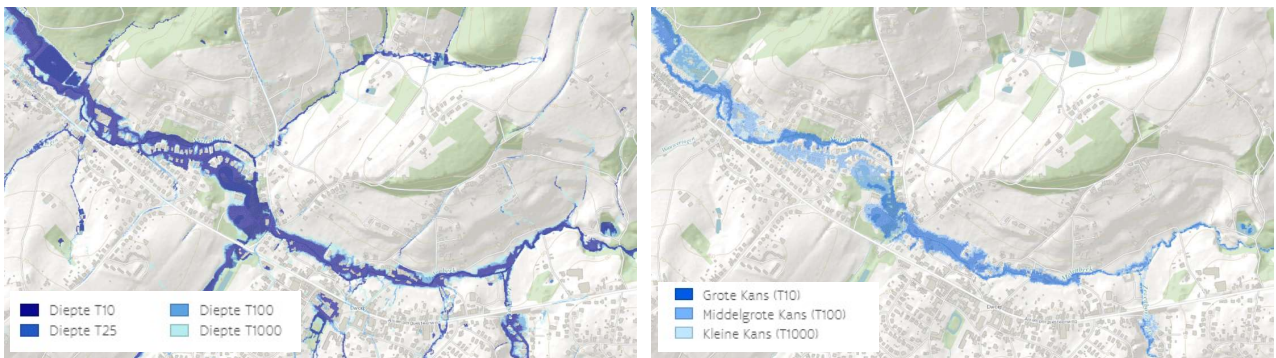
- In opwaartse gebieden tonen de VLAGG kaarten de kans op wateroverlast in de valleien langs kleinere waterlopen, terwijl de kaart met overstroombare gebieden hier geen wateroverlast voorspelt – zie voorbeeld in figuur 77 voor de Kesterbeek (2^e cat.). Dit toont duidelijk aan dat de VLAGG kaarten complementaire informatie bevat t.o.v. de reeds bestaande overstromingskaarten
- Langsheen riviervalleien tonen beide kaarten in veel gevallen een vrij goede overeenkomst wat de omvang van de overstromingsgebieden betreft – zie voorbeeld in figuur 78 voor de Molenbeek (2^e cat.) in Beersel. De methodologische verbeteringen inzake hydrologie die ingewerkt werden in de modellen (zie §2.5) resulteren dus ook in de valleigebieden in een betere overeenkomst met de bestaande overstromingskaarten.
- Ter hoogte van de grotere waterlopen (typisch de bevaarbare waterlopen) is de gemodelleerde overstromingsomvang van de VLAGG kaarten vaak kleiner dan de contouren van de bestaande overstromingskaarten. In figuur 79 is hiervan een voorbeeld terug te vinden voor de Dender in Grimminge. Overstromingen zijn hier vooral afkomstig vanuit de waterloop ('overtopping'), een fenomeen dat met de modellen die hier gehanteerd worden niet gemodelleerd wordt. Een belangrijke reden hiervoor is enerzijds dat gerekend wordt met deelmodellen en dus het volledige opwaartse afstromingsgebied van grotere waterlopen niet in rekening gebracht wordt en anderzijds dat de baseflow en de interflow niet in rekening gebracht worden in de hydrologische modellen.



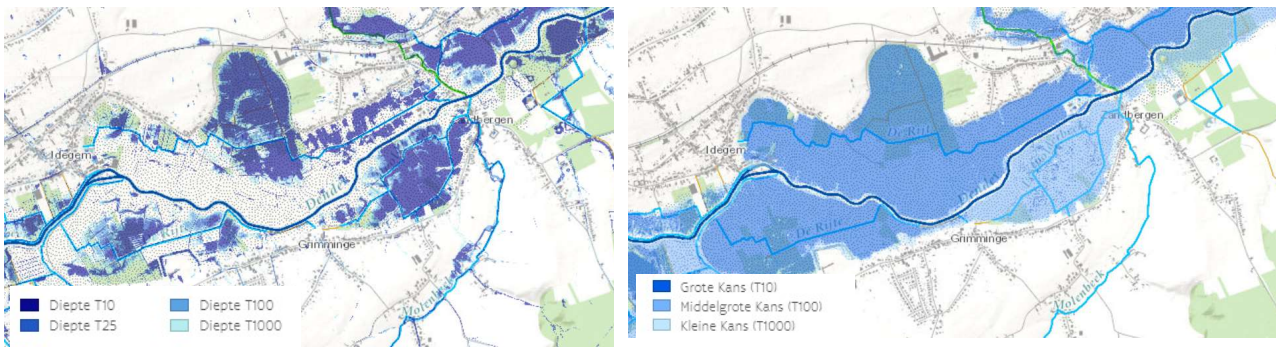
figuur 77: Vergelijking tussen de VLAGG2017 kaart – klimaat 2016 (links) en de kaart met overstroombare gebieden (rechts) voor de vallei van de Kesterbeek in Beersel



figuur 78: Vergelijking tussen de VLAGG2017 kaart – klimaat 2016 (links) en de kaart met overstroombare gebieden (rechts) voor de vallei van de Molenbeek in Beersel



figuur 79: Vergelijking tussen de VLAGG2017 kaart – klimaat 2016 (links) en de kaart met overstroombare gebieden (rechts) voor de vallei van de Dender in Grimminge



6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Samenvatting

Binnen huidig project werd een gebiedsdekkende kaart voor Vlaanderen opgemaakt met afstromingsgevoelige gebieden. Dit zijn zones die een verhoogde kans op wateroverlast vertonen ten gevolge van de directe afstroming van neerslag over het maaiveld. De methodiek die hierbij gehanteerd wordt is gebaseerd op deze die reeds toegepast werd op een aantal pilootgebieden tijdens een eerdere pilootstudie [JBA, 2016], maar in het kader van huidige opdracht verder verfijnd en gevalideerd werd. Hoewel er nog een aantal uitdagingen blijven (zie §6.2) levert deze methodiek in de meeste gebieden kaarten op die goed aansluiten bij de operationele kennis die bestaat over dit type wateroverlast. Hoewel nog verdere verbetering mogelijk is (zie §6.3), vormt deze kaart dus al een waardevolle aanvulling op de set overstromingskaarten die in Vlaanderen reeds bestaan, aangezien deze slechts in beperkte mate rekening houden met de wateroverlast ten gevolge van directe afstroming van de neerslag.

6.2 Uitdagingen huidige kaartenset

Het is belangrijk om te benadrukken dat de afstromingsgevoelige kaarten de kans op wateroverlast weergeven die het gevolg zijn van directe afstroming van neerslag (pluvial floods), vaak verbonden aan extreme (zomer)buien. Door de aanpassingen in de hydrologische methodiek en het invoeren van afwaartse randvoorwaarden is wel getracht om dit voor de overstromingen ter hoogte van afwaartse waterlopen zo goed mogelijk te laten aansluiten met de bestaande (fluviale) overstromingskaarten. Toch zal vooral in de grotere en meer afwaartse waterlopen er een systematische onderschatting zijn van de overstromingsrisico's. Deze overstromingen zijn immers eerder verbonden met de winterse omstandigheden waarbij aanhoudende neerslag over het volledige stroomgebied tot verzadiging van de ondergrond leidt en voor grote afstromingsvolumes zorgt en waarbij doorgaans hogere afwaartse randvoorwaarden optreden. Binnen huidige methodiek wordt gebruik gemaakt van deelmodellen die niet altijd het volledige opwaartse stroomgebied van de waterloop omvatten wat betekent dat dit fenomeen dus niet volledig in rekening gebracht wordt. Gebruik van grotere modelgebieden die wel deze volledige stroomgebieden bevatten zou dan weer leiden tot onwerkbaar simulatietijden en bovendien zouden de neerslagreeksen zo sterk ruimtelijk gecorrigeerd moeten worden dat lokale wateroverlast dan weer onderschat zou worden. Voor overstromingen vanuit grotere waterlopen geven de overstromingskaarten opgemaakt met hydrodynamische waterloopmodellen meestal dan ook een betere benadering van de overstromingsrisico's. Het is dan ook belangrijk om deze twee types van overstromingskaarten als complementaire instrumenten te zien.

Ook de aanwezigheid van een ondergronds afvoersysteem (rioolstelsel) wordt slechts vereenvoudigd in rekening gebracht. Door ter hoogte van verharde oppervlakken standaard een bui met terugkeerperiode van 2 jaar in mindering te brengen wordt geen rekening gehouden met de details van het rioolstelsel zoals het al dan niet aanwezig zijn van een riolering op die locatie of de effectieve afvoercapaciteit van de riolering in die straat. In sterk verstedelijkte gebieden kan de gesimuleerde wateroverlast dan ook afwijken van de werkelijkheid. Hydrodynamische rioolmodellen leveren hier over het algemeen een beter beeld op. Het is



dan ook belangrijk om ook deze twee types van overstromingskaarten als complementaire instrumenten te zien.

Afstromende volumes die in mindering gebracht worden omwille van bovenstaande redenen worden in de modellen opnieuw geïntroduceerd ter hoogte van waterlopen (zie §2.6.7). De herverdeling van deze volumes gebeurt echter op een sterk vereenvoudigde manier, waarbij bij de bepaling welke gebieden afstromen naar welk lozingspunt geen rekening gehouden wordt met de werkelijke lay-out van het opwaartse rioolstelsel. Dit kan lokaal een overschatting en onderschatting geven van de volumes die geherintroduceerd worden. Voor de lozingen ter hoogte van RWZI's wordt dit al maximaal gecorrigeerd op basis van meetgegevens; voor de andere lozingspunten vindt geen correctie plaats.

6.3 Aanbevelingen verdere verbetering

Op basis van bovenstaande vaststellingen kunnen nog een aantal aanbevelingen gemaakt worden om de huidige kaarten nog verder te verbeteren:

- Differentiatie van de neerslaghoeveelheid die in mindering gebracht wordt ter hoogte van stedelijke gebieden in functie van de werkelijke afvoer capaciteit van het rioolstelsel op die locatie
- Verdere detaillering van de debieten die hervoed worden ter hoogte van waterlopen, vooral ter hoogte van lozingspunten en overstorten. Idealiter wordt dit beter afgestemd op de configuratie van het opwaartse rioolstelsel dat afwatert naar dit lozingspunt en niet louter op een bepaling aan de hand van Thiessen polygonen. Verder onderzoek hoe dit best kan gebeuren is noodzakelijk.
- Eventueel kan bij de bepaling van de afstromingscoëfficiënten bijkomend rekening gehouden worden met de geologie. Het effect hiervan op de resultaten kan eventueel verder onderzocht worden.
- Hoewel het effect op de resultaten van een variatie in afmetingen van duikers op waterlopen eerder beperkt is, kunnen nog meer duikers ingegeven worden op basis van hun werkelijke afmetingen indien deze informatie beschikbaar is. Ook kan onderzocht worden of bij de toekenning van standaard afmetingen een ander criterium gehanteerd kan worden dan de (administratieve) categorie van de waterloop
- Bijkomend hervoeden van de hypodermische afstroming ('interflow') van landelijke gebieden ter hoogte van de waterlopen kan een verdere verbetering van de overeenkomst van de kaarten met fluviale overstromingskaarten veroorzaken. Om de werkwijze hiervoor te optimaliseren en het effect hiervan in te schatten is verder onderzoek nodig.
- Het invoeren van de mogelijkheid om hydraulische structuren in de modellen te voorzien van een sturing (bv. tijdsafhankelijkheid of afhankelijkheid van waterpeil) kan de resultaten op specifieke locaties verbeteren. Implementatie hiervan in de JFlow® modellen is echter niet eenvoudig en vraagt een verregaande bijkomende softwareontwikkeling.

Op basis van de bestaande modellen en methodiek kunnen ook verdere scenario's doorgerekend worden, bv.:

- Effect van toename van verharde oppervlakte en invloed van de 'betonstop' hierop
- Effect van de doorgedreven invoering van bronmaatregelen om afstroming van stedelijke verharding te vertragen



7 REFERENTIES

- CIW, 2012. Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen. Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. Augustus 2012.
- DEFRA/Environmental Agency, 2006. Flood Risk to People. FD2320/FD2321 Final Reports
- DEFRA, 2010. Surface Water management Plan Technical Guidance.
- Digman C.J, Bamfor T., Balmforth D.J., Hunter N.M. en Waller S.G., 2008. A comparison of modelling methods for urban flood assessment. Conference paper in P Samuels, S Huntington, W Allsop and J Harrop (Eds.) Flood Risk Management Research and Practice; Taylor & Francis Group, London, 67.
- Engineers Australia, 2012. Australian Rainfall and Runoff Revision Project 15: Two-Dimensional Modelling in Urban and Rural Floodplains. Stage 1 And 2 Report (November 2012)
- Environment Agency, 2014. The updated Flood Map for Surface Water (uFMfSW) Property Points dataset. Final Report version 1.0 (July 2014).
- HydroScan, 2016. Ruimtelijke neerslagcorrectie Antwerpen en Beersel. In opdracht van VMM. Juli 2016.
- JBA, 2016. Pluvial Flood Mapping for Flanders, pilot project. In opdracht van VMM. Oktober 2016.
- Liu, Y.B. en De Smedt, F., 2004. WetSpa Extension: A GIS based Hydrologic Model for Flood Prediction and Watershed Management. Documentation and User Manual, Vrije Universiteit Brussel.
- Tabari, H., Taye, M.T., Willems, P. (2014), ‘Actualisatie en verfijning klimaatscenario’s tot 2100 voor Vlaanderen – Technische Appendix 2: Nieuwe modelprojecties voor Ukkel op basis van globale klimaatmodellen (CMIP5)’, studie uitgevoerd in opdracht van de Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij en MIRA, KU Leuven, november 2014, 104 p.
- Vaes G., Bouteligier R., Luyckx G., Willems P. & Berlamont J., 2004. Toelichting bij de Code van goede praktijk voor het ontwerp van rioleringsystemen. KU Leuven. In opdracht van VMM. April 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.
- Van Ranst E. & Sys C., 2000. Eenduidige legende voor de digitale bodemkaart van Vlaanderen (schaal 1:20 000). Laboratorium voor Bodemkunde, Universiteit Gent
- Willems P. (2000). Probabilistic immission modelling of receiving surface waters. PhD, KU Leuven. Oktober 2000.



BIJLAGEN



bijlage 1 Overzicht overlegmomenten binnen VLAGG-2017 project

tabel39: overlegmomenten binnen VLAGG-2017

Datum	Locatie	Type vergadering
16-01-2017	Brussel	Startvergadering
14-02-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
16-03-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
06-04-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
27-04-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
27-04-2017	Brussel	Klankbordvergadering
18-05-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
12-06-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
26-06-2017	Gent	Workshop externe review
27-06-2017	Hasselt	Workshop externe review
28-06-2017	Brussel	Workshop externe review
19-07-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
23-08-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
20-09-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
06-10-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
18-10-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
22-11-2017	Brussel	Opvolgingsvergadering
16-01-2018	Brussel	Opvolgingsvergadering



bijlage 2 Overzicht simulatietijden modellen

<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
01-01	2016	2	0 dagen 16 uur
01-01	2016	10	0 dagen 18 uur
01-01	2016	25	0 dagen 18 uur
01-01	2016	100	0 dagen 18 uur
01-01	2016	1000	0 dagen 19 uur
01-01	2100	10	0 dagen 21 uur
01-01	2100	25	0 dagen 13 uur
01-01	2100	100	0 dagen 14 uur
01-01	2100	1000	1 dagen 05 uur
01-02	2016	2	2 dagen 16 uur
01-02	2016	10	2 dagen 17 uur
01-02	2016	25	2 dagen 21 uur
01-02	2016	100	2 dagen 18 uur
01-02	2016	1000	3 dagen 13 uur
01-02	2100	10	2 dagen 20 uur
01-02	2100	25	2 dagen 21 uur
01-02	2100	100	4 dagen 07 uur
01-02	2100	1000	4 dagen 13 uur
01-03	2016	2	4 dagen 21 uur
01-03	2016	10	5 dagen 18 uur
01-03	2016	25	5 dagen 16 uur
01-03	2016	100	6 dagen 00 uur
01-03	2016	1000	8 dagen 05 uur
01-03	2100	10	5 dagen 18 uur
01-03	2100	25	6 dagen 13 uur
01-03	2100	100	7 dagen 20 uur
01-03	2100	1000	10 dagen 08 uur
01-04	2016	2	1 dagen 21 uur
01-04	2016	10	2 dagen 07 uur
01-04	2016	25	1 dagen 15 uur
01-04	2016	100	1 dagen 17 uur
01-04	2016	1000	1 dagen 22 uur
01-04	2100	10	1 dagen 17 uur
01-04	2100	25	1 dagen 23 uur
01-04	2100	100	2 dagen 21 uur
01-04	2100	1000	2 dagen 23 uur

////////////////////////////////////

<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
01-05	2016	2	3 dagen 19 uur
01-05	2016	10	3 dagen 04 uur
01-05	2016	25	3 dagen 06 uur
01-05	2016	100	3 dagen 11 uur
01-05	2016	1000	4 dagen 13 uur
01-05	2100	10	3 dagen 08 uur
01-05	2100	25	3 dagen 12 uur
01-05	2100	100	4 dagen 04 uur
01-05	2100	1000	4 dagen 17 uur
01-06	2016	2	0 dagen 16 uur
01-06	2016	10	0 dagen 18 uur
01-06	2016	25	0 dagen 20 uur
01-06	2016	100	0 dagen 20 uur
01-06	2016	1000	0 dagen 22 uur
01-06	2100	10	0 dagen 20 uur
01-06	2100	25	0 dagen 22 uur
01-06	2100	100	0 dagen 15 uur
01-06	2100	1000	0 dagen 22 uur
01-07	2016	2	1 dagen 15 uur
01-07	2016	10	1 dagen 21 uur
01-07	2016	25	1 dagen 15 uur
01-07	2016	100	1 dagen 16 uur
01-07	2016	1000	2 dagen 12 uur
01-07	2100	10	1 dagen 16 uur
01-07	2100	25	2 dagen 02 uur
01-07	2100	100	2 dagen 00 uur
01-07	2100	1000	2 dagen 04 uur
02-01	2016	2	3 dagen 03 uur
02-01	2016	10	3 dagen 04 uur
02-01	2016	25	3 dagen 02 uur
02-01	2016	100	3 dagen 08 uur
02-01	2016	1000	4 dagen 05 uur
02-01	2100	10	3 dagen 04 uur
02-01	2100	25	3 dagen 06 uur
02-01	2100	100	4 dagen 05 uur
02-01	2100	1000	5 dagen 15 uur
02-02	2016	2	1 dagen 08 uur
02-02	2016	10	1 dagen 23 uur



Deelbekken	Scenario	Terugkeerperiode	Totale Simulatieduur
02-02	2016	25	1 dagen 15 uur
02-02	2016	100	2 dagen 02 uur
02-02	2016	1000	2 dagen 16 uur
02-02	2100	10	1 dagen 15 uur
02-02	2100	25	2 dagen 04 uur
02-02	2100	100	2 dagen 18 uur
02-02	2100	1000	2 dagen 05 uur
02-03	2016	2	1 dagen 07 uur
02-03	2016	10	1 dagen 17 uur
02-03	2016	25	1 dagen 04 uur
02-03	2016	100	1 dagen 05 uur
02-03	2016	1000	2 dagen 10 uur
02-03	2100	10	1 dagen 19 uur
02-03	2100	25	1 dagen 08 uur
02-03	2100	100	1 dagen 22 uur
02-03	2100	1000	2 dagen 10 uur
02-04	2016	2	0 dagen 22 uur
02-04	2016	10	1 dagen 09 uur
02-04	2016	25	0 dagen 23 uur
02-04	2016	100	1 dagen 01 uur
02-04	2016	1000	1 dagen 07 uur
02-04	2100	10	0 dagen 23 uur
02-04	2100	25	1 dagen 13 uur
02-04	2100	100	1 dagen 07 uur
02-04	2100	1000	2 dagen 00 uur
02-05	2016	2	0 dagen 17 uur
02-05	2016	10	0 dagen 18 uur
02-05	2016	25	0 dagen 22 uur
02-05	2016	100	1 dagen 05 uur
02-05	2016	1000	1 dagen 11 uur
02-05	2100	10	1 dagen 01 uur
02-05	2100	25	1 dagen 09 uur
02-05	2100	100	1 dagen 14 uur
02-05	2100	1000	1 dagen 02 uur
02-06	2016	2	1 dagen 07 uur
02-06	2016	10	1 dagen 07 uur
02-06	2016	25	1 dagen 20 uur
02-06	2016	100	1 dagen 11 uur



Deelbekken	Scenario	Terugkeerperiode	Totale Simulatieduur
02-06	2016	1000	1 dagen 15 uur
02-06	2100	10	1 dagen 13 uur
02-06	2100	25	1 dagen 11 uur
02-06	2100	100	1 dagen 21 uur
02-06	2100	1000	2 dagen 02 uur
02-07	2016	2	1 dagen 04 uur
02-07	2016	10	1 dagen 02 uur
02-07	2016	25	1 dagen 06 uur
02-07	2016	100	1 dagen 08 uur
02-07	2016	1000	1 dagen 14 uur
02-07	2100	10	1 dagen 17 uur
02-07	2100	25	1 dagen 08 uur
02-07	2100	100	1 dagen 11 uur
02-07	2100	1000	1 dagen 20 uur
02-08	2016	2	0 dagen 17 uur
02-08	2016	10	0 dagen 18 uur
02-08	2016	25	0 dagen 17 uur
02-08	2016	100	0 dagen 19 uur
02-08	2016	1000	1 dagen 00 uur
02-08	2100	10	0 dagen 18 uur
02-08	2100	25	0 dagen 22 uur
02-08	2100	100	0 dagen 19 uur
02-08	2100	1000	1 dagen 01 uur
03-01	2016	2	2 dagen 01 uur
03-01	2016	10	1 dagen 17 uur
03-01	2016	25	1 dagen 19 uur
03-01	2016	100	1 dagen 17 uur
03-01	2016	1000	2 dagen 15 uur
03-01	2100	10	2 dagen 10 uur
03-01	2100	25	2 dagen 00 uur
03-01	2100	100	2 dagen 04 uur
03-01	2100	1000	2 dagen 23 uur
03-02	2016	2	1 dagen 08 uur
03-02	2016	10	2 dagen 00 uur
03-02	2016	25	1 dagen 13 uur
03-02	2016	100	1 dagen 09 uur
03-02	2016	1000	2 dagen 20 uur
03-02	2100	10	1 dagen 10 uur

////////////////////////////////////

Deelbekken	Scenario	Terugkeerperiode	Totale Simulatieduur
03-02	2100	25	1 dagen 11 uur
03-02	2100	100	1 dagen 21 uur
03-02	2100	1000	3 dagen 08 uur
03-03	2016	2	1 dagen 10 uur
03-03	2016	10	1 dagen 21 uur
03-03	2016	25	1 dagen 18 uur
03-03	2016	100	2 dagen 16 uur
03-03	2016	1000	2 dagen 12 uur
03-03	2100	10	1 dagen 16 uur
03-03	2100	25	1 dagen 22 uur
03-03	2100	100	3 dagen 01 uur
03-03	2100	1000	3 dagen 05 uur
03-04	2016	2	0 dagen 15 uur
03-04	2016	10	0 dagen 17 uur
03-04	2016	25	0 dagen 17 uur
03-04	2016	100	0 dagen 13 uur
03-04	2016	1000	0 dagen 22 uur
03-04	2100	10	0 dagen 19 uur
03-04	2100	25	0 dagen 18 uur
03-04	2100	100	0 dagen 19 uur
03-04	2100	1000	1 dagen 03 uur
03-05	2016	2	0 dagen 15 uur
03-05	2016	10	0 dagen 19 uur
03-05	2016	25	1 dagen 00 uur
03-05	2016	100	1 dagen 05 uur
03-05	2016	1000	1 dagen 08 uur
03-05	2100	10	1 dagen 05 uur
03-05	2100	25	0 dagen 22 uur
03-05	2100	100	1 dagen 01 uur
03-05	2100	1000	1 dagen 02 uur
03-06	2016	2	2 dagen 00 uur
03-06	2016	10	2 dagen 20 uur
03-06	2016	25	2 dagen 17 uur
03-06	2016	100	3 dagen 15 uur
03-06	2016	1000	3 dagen 15 uur
03-06	2100	10	3 dagen 08 uur
03-06	2100	25	2 dagen 14 uur
03-06	2100	100	2 dagen 20 uur

//////////////////////////////////////

<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
03-06	2100	1000	3 dagen 22 uur
03-07	2016	2	1 dagen 09 uur
03-07	2016	10	2 dagen 05 uur
03-07	2016	25	1 dagen 16 uur
03-07	2016	100	1 dagen 18 uur
03-07	2016	1000	2 dagen 05 uur
03-07	2100	10	1 dagen 13 uur
03-07	2100	25	2 dagen 16 uur
03-07	2100	100	2 dagen 09 uur
03-07	2100	1000	3 dagen 08 uur
04-01	2016	2	2 dagen 01 uur
04-01	2016	10	2 dagen 08 uur
04-01	2016	25	1 dagen 17 uur
04-01	2016	100	3 dagen 02 uur
04-01	2016	1000	2 dagen 17 uur
04-01	2100	10	1 dagen 18 uur
04-01	2100	25	3 dagen 08 uur
04-01	2100	100	3 dagen 03 uur
04-01	2100	1000	4 dagen 08 uur
04-02	2016	2	0 dagen 22 uur
04-02	2016	10	1 dagen 00 uur
04-02	2016	25	1 dagen 02 uur
04-02	2016	100	1 dagen 04 uur
04-02	2016	1000	1 dagen 05 uur
04-02	2100	10	1 dagen 06 uur
04-02	2100	25	0 dagen 21 uur
04-02	2100	100	0 dagen 21 uur
04-02	2100	1000	1 dagen 02 uur
04-03	2016	2	2 dagen 09 uur
04-03	2016	10	2 dagen 20 uur
04-03	2016	25	3 dagen 00 uur
04-03	2016	100	3 dagen 10 uur
04-03	2016	1000	4 dagen 06 uur
04-03	2100	10	3 dagen 07 uur
04-03	2100	25	3 dagen 12 uur
04-03	2100	100	4 dagen 01 uur
04-03	2100	1000	4 dagen 02 uur
04-04	2016	2	1 dagen 07 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
04-08	2016	100	1 dagen 00 uur
04-08	2016	1000	1 dagen 08 uur
04-08	2100	10	0 dagen 21 uur
04-08	2100	25	1 dagen 03 uur
04-08	2100	100	1 dagen 02 uur
04-08	2100	1000	1 dagen 05 uur
04-09	2016	2	2 dagen 02 uur
04-09	2016	10	2 dagen 06 uur
04-09	2016	25	1 dagen 12 uur
04-09	2016	100	1 dagen 15 uur
04-09	2016	1000	2 dagen 22 uur
04-09	2100	10	4 dagen 13 uur
04-09	2100	25	2 dagen 00 uur
04-09	2100	100	2 dagen 00 uur
04-09	2100	1000	2 dagen 22 uur
04-10	2016	2	1 dagen 14 uur
04-10	2016	10	1 dagen 16 uur
04-10	2016	25	1 dagen 16 uur
04-10	2016	100	1 dagen 16 uur
04-10	2016	1000	1 dagen 18 uur
04-10	2100	10	1 dagen 06 uur
04-10	2100	25	1 dagen 06 uur
04-10	2100	100	1 dagen 05 uur
04-10	2100	1000	1 dagen 08 uur
04-11	2016	2	2 dagen 17 uur
04-11	2016	10	1 dagen 21 uur
04-11	2016	25	2 dagen 21 uur
04-11	2016	100	2 dagen 21 uur
04-11	2016	1000	2 dagen 19 uur
04-11	2100	10	2 dagen 06 uur
04-11	2100	25	2 dagen 23 uur
04-11	2100	100	2 dagen 11 uur
04-11	2100	1000	2 dagen 21 uur
04-12	2016	2	1 dagen 18 uur
04-12	2016	10	2 dagen 03 uur
04-12	2016	25	2 dagen 16 uur
04-12	2016	100	3 dagen 06 uur
04-12	2016	1000	3 dagen 09 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
04-12	2100	10	3 dagen 03 uur
04-12	2100	25	3 dagen 06 uur
04-12	2100	100	2 dagen 22 uur
04-12	2100	1000	4 dagen 07 uur
05-01	2016	2	3 dagen 11 uur
05-01	2016	10	3 dagen 22 uur
05-01	2016	25	4 dagen 03 uur
05-01	2016	100	5 dagen 20 uur
05-01	2016	1000	5 dagen 11 uur
05-01	2100	10	5 dagen 00 uur
05-01	2100	25	5 dagen 07 uur
05-01	2100	100	5 dagen 16 uur
05-01	2100	1000	6 dagen 05 uur
05-02	2016	2	0 dagen 22 uur
05-02	2016	10	1 dagen 06 uur
05-02	2016	25	1 dagen 06 uur
05-02	2016	100	1 dagen 09 uur
05-02	2016	1000	1 dagen 10 uur
05-02	2100	10	1 dagen 01 uur
05-02	2100	25	1 dagen 00 uur
05-02	2100	100	1 dagen 06 uur
05-02	2100	1000	1 dagen 15 uur
05-03	2016	2	2 dagen 11 uur
05-03	2016	10	2 dagen 16 uur
05-03	2016	25	1 dagen 21 uur
05-03	2016	100	3 dagen 04 uur
05-03	2016	1000	2 dagen 19 uur
05-03	2100	10	2 dagen 08 uur
05-03	2100	25	2 dagen 16 uur
05-03	2100	100	2 dagen 16 uur
05-03	2100	1000	3 dagen 07 uur
05-04	2016	2	1 dagen 07 uur
05-04	2016	10	2 dagen 01 uur
05-04	2016	25	1 dagen 07 uur
05-04	2016	100	1 dagen 13 uur
05-04	2016	1000	2 dagen 01 uur
05-04	2100	10	1 dagen 00 uur
05-04	2100	25	1 dagen 05 uur

////////////////////////////////////

<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
05-04	2100	100	1 dagen 17 uur
05-04	2100	1000	1 dagen 21 uur
05-05	2016	2	2 dagen 02 uur
05-05	2016	10	2 dagen 15 uur
05-05	2016	25	1 dagen 19 uur
05-05	2016	100	2 dagen 05 uur
05-05	2016	1000	3 dagen 08 uur
05-05	2100	10	2 dagen 05 uur
05-05	2100	25	3 dagen 05 uur
05-05	2100	100	2 dagen 18 uur
05-05	2100	1000	3 dagen 10 uur
05-06	2016	2	1 dagen 18 uur
05-06	2016	10	2 dagen 05 uur
05-06	2016	25	1 dagen 20 uur
05-06	2016	100	3 dagen 13 uur
05-06	2016	1000	2 dagen 13 uur
05-06	2100	10	3 dagen 02 uur
05-06	2100	25	3 dagen 07 uur
05-06	2100	100	2 dagen 21 uur
05-06	2100	1000	3 dagen 02 uur
06-01	2016	2	1 dagen 05 uur
06-01	2016	10	0 dagen 22 uur
06-01	2016	25	1 dagen 14 uur
06-01	2016	100	1 dagen 12 uur
06-01	2016	1000	2 dagen 06 uur
06-01	2100	10	2 dagen 02 uur
06-01	2100	25	1 dagen 20 uur
06-01	2100	100	1 dagen 19 uur
06-01	2100	1000	2 dagen 01 uur
06-02	2016	2	0 dagen 14 uur
06-02	2016	10	0 dagen 14 uur
06-02	2016	25	0 dagen 14 uur
06-02	2016	100	0 dagen 15 uur
06-02	2016	1000	0 dagen 15 uur
06-02	2100	10	0 dagen 15 uur
06-02	2100	25	0 dagen 12 uur
06-02	2100	100	0 dagen 13 uur
06-02	2100	1000	0 dagen 15 uur

////////////////////////////////////

<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
07-02	2016	25	1 dagen 00 uur
07-02	2016	100	1 dagen 00 uur
07-02	2016	1000	1 dagen 03 uur
07-02	2100	10	1 dagen 01 uur
07-02	2100	25	1 dagen 04 uur
07-02	2100	100	1 dagen 00 uur
07-02	2100	1000	1 dagen 05 uur
07-03	2016	2	0 dagen 20 uur
07-03	2016	10	1 dagen 01 uur
07-03	2016	25	1 dagen 05 uur
07-03	2016	100	1 dagen 04 uur
07-03	2016	1000	1 dagen 02 uur
07-03	2100	10	1 dagen 03 uur
07-03	2100	25	1 dagen 12 uur
07-03	2100	100	1 dagen 02 uur
07-03	2100	1000	1 dagen 08 uur
07-04	2016	2	0 dagen 21 uur
07-04	2016	10	0 dagen 22 uur
07-04	2016	25	1 dagen 01 uur
07-04	2016	100	1 dagen 00 uur
07-04	2016	1000	1 dagen 08 uur
07-04	2100	10	1 dagen 05 uur
07-04	2100	25	0 dagen 20 uur
07-04	2100	100	1 dagen 01 uur
07-04	2100	1000	1 dagen 06 uur
07-05	2016	2	1 dagen 11 uur
07-05	2016	10	1 dagen 15 uur
07-05	2016	25	1 dagen 12 uur
07-05	2016	100	1 dagen 07 uur
07-05	2016	1000	1 dagen 09 uur
07-05	2100	10	1 dagen 03 uur
07-05	2100	25	1 dagen 03 uur
07-05	2100	100	1 dagen 07 uur
07-05	2100	1000	1 dagen 19 uur
07-06	2016	2	0 dagen 22 uur
07-06	2016	10	0 dagen 21 uur
07-06	2016	25	1 dagen 06 uur
07-06	2016	100	1 dagen 03 uur

////////////////////////////////////

<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
08-03	2100	25	1 dagen 07 uur
08-03	2100	100	1 dagen 09 uur
08-03	2100	1000	1 dagen 05 uur
08-04	2016	2	1 dagen 12 uur
08-04	2016	10	1 dagen 20 uur
08-04	2016	25	1 dagen 15 uur
08-04	2016	100	2 dagen 09 uur
08-04	2016	1000	4 dagen 22 uur
08-04	2100	10	2 dagen 10 uur
08-04	2100	25	1 dagen 20 uur
08-04	2100	100	2 dagen 14 uur
08-04	2100	1000	2 dagen 04 uur
08-05	2016	2	1 dagen 04 uur
08-05	2016	10	1 dagen 09 uur
08-05	2016	25	1 dagen 10 uur
08-05	2016	100	1 dagen 01 uur
08-05	2016	1000	1 dagen 14 uur
08-05	2100	10	1 dagen 11 uur
08-05	2100	25	1 dagen 03 uur
08-05	2100	100	1 dagen 03 uur
08-05	2100	1000	1 dagen 07 uur
08-06	2016	2	1 dagen 21 uur
08-06	2016	10	1 dagen 13 uur
08-06	2016	25	2 dagen 03 uur
08-06	2016	100	1 dagen 18 uur
08-06	2016	1000	1 dagen 20 uur
08-06	2100	10	1 dagen 18 uur
08-06	2100	25	1 dagen 13 uur
08-06	2100	100	2 dagen 06 uur
08-06	2100	1000	1 dagen 18 uur
08-07	2016	2	3 dagen 06 uur
08-07	2016	10	2 dagen 13 uur
08-07	2016	25	2 dagen 22 uur
08-07	2016	100	3 dagen 04 uur
08-07	2016	1000	3 dagen 11 uur
08-07	2100	10	3 dagen 05 uur
08-07	2100	25	3 dagen 03 uur
08-07	2100	100	3 dagen 10 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
08-07	2100	1000	5 dagen 09 uur
08-08	2016	2	1 dagen 06 uur
08-08	2016	10	1 dagen 16 uur
08-08	2016	25	1 dagen 14 uur
08-08	2016	100	1 dagen 04 uur
08-08	2016	1000	1 dagen 15 uur
08-08	2100	10	1 dagen 09 uur
08-08	2100	25	1 dagen 09 uur
08-08	2100	100	1 dagen 14 uur
08-08	2100	1000	1 dagen 20 uur
08-09	2016	2	1 dagen 07 uur
08-09	2016	10	1 dagen 08 uur
08-09	2016	25	1 dagen 08 uur
08-09	2016	100	1 dagen 16 uur
08-09	2016	1000	1 dagen 11 uur
08-09	2100	10	1 dagen 08 uur
08-09	2100	25	1 dagen 09 uur
08-09	2100	100	1 dagen 10 uur
08-09	2100	1000	1 dagen 20 uur
08-10	2016	2	1 dagen 00 uur
08-10	2016	10	1 dagen 06 uur
08-10	2016	25	1 dagen 09 uur
08-10	2016	100	1 dagen 21 uur
08-10	2016	1000	1 dagen 18 uur
08-10	2100	10	1 dagen 19 uur
08-10	2100	25	2 dagen 06 uur
08-10	2100	100	2 dagen 00 uur
08-10	2100	1000	1 dagen 21 uur
08-11	2016	2	0 dagen 11 uur
08-11	2016	10	0 dagen 13 uur
08-11	2016	25	0 dagen 15 uur
08-11	2016	100	0 dagen 15 uur
08-11	2016	1000	0 dagen 17 uur
08-11	2100	10	0 dagen 15 uur
08-11	2100	25	0 dagen 17 uur
08-11	2100	100	0 dagen 17 uur
08-11	2100	1000	0 dagen 18 uur
08-12	2016	2	0 dagen 17 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
08-12	2016	10	0 dagen 18 uur
08-12	2016	25	0 dagen 17 uur
08-12	2016	100	0 dagen 18 uur
08-12	2016	1000	0 dagen 19 uur
08-12	2100	10	0 dagen 18 uur
08-12	2100	25	0 dagen 15 uur
08-12	2100	100	0 dagen 15 uur
08-12	2100	1000	0 dagen 19 uur
09-01	2016	2	2 dagen 06 uur
09-01	2016	10	1 dagen 20 uur
09-01	2016	25	1 dagen 20 uur
09-01	2016	100	1 dagen 21 uur
09-01	2016	1000	1 dagen 19 uur
09-01	2100	10	1 dagen 21 uur
09-01	2100	25	1 dagen 16 uur
09-01	2100	100	1 dagen 22 uur
09-01	2100	1000	2 dagen 10 uur
09-02	2016	2	2 dagen 12 uur
09-02	2016	10	2 dagen 21 uur
09-02	2016	25	2 dagen 19 uur
09-02	2016	100	3 dagen 02 uur
09-02	2016	1000	3 dagen 08 uur
09-02	2100	10	3 dagen 01 uur
09-02	2100	25	3 dagen 02 uur
09-02	2100	100	3 dagen 05 uur
09-02	2100	1000	5 dagen 07 uur
09-03	2016	2	0 dagen 13 uur
09-03	2016	10	0 dagen 14 uur
09-03	2016	25	0 dagen 14 uur
09-03	2016	100	0 dagen 14 uur
09-03	2016	1000	0 dagen 16 uur
09-03	2100	10	0 dagen 14 uur
09-03	2100	25	0 dagen 12 uur
09-03	2100	100	0 dagen 17 uur
09-03	2100	1000	0 dagen 19 uur
09-04	2016	2	1 dagen 05 uur
09-04	2016	10	1 dagen 04 uur
09-04	2016	25	1 dagen 03 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
09-04	2016	100	1 dagen 17 uur
09-04	2016	1000	1 dagen 20 uur
09-04	2100	10	1 dagen 08 uur
09-04	2100	25	1 dagen 05 uur
09-04	2100	100	1 dagen 10 uur
09-04	2100	1000	2 dagen 07 uur
09-05	2016	2	6 dagen 01 uur
09-05	2016	10	4 dagen 08 uur
09-05	2016	25	4 dagen 08 uur
09-05	2016	100	6 dagen 01 uur
09-05	2016	1000	4 dagen 10 uur
09-05	2100	10	5 dagen 00 uur
09-05	2100	25	4 dagen 19 uur
09-05	2100	100	6 dagen 07 uur
09-05	2100	1000	6 dagen 10 uur
09-06	2016	2	2 dagen 08 uur
09-06	2016	10	2 dagen 10 uur
09-06	2016	25	1 dagen 22 uur
09-06	2016	100	2 dagen 01 uur
09-06	2016	1000	2 dagen 15 uur
09-06	2100	10	1 dagen 18 uur
09-06	2100	25	2 dagen 01 uur
09-06	2100	100	2 dagen 14 uur
09-06	2100	1000	2 dagen 22 uur
09-07	2016	2	1 dagen 13 uur
09-07	2016	10	1 dagen 21 uur
09-07	2016	25	2 dagen 03 uur
09-07	2016	100	1 dagen 22 uur
09-07	2016	1000	2 dagen 14 uur
09-07	2100	10	1 dagen 21 uur
09-07	2100	25	2 dagen 00 uur
09-07	2100	100	2 dagen 23 uur
09-07	2100	1000	2 dagen 18 uur
09-08	2016	2	1 dagen 13 uur
09-08	2016	10	2 dagen 07 uur
09-08	2016	25	1 dagen 19 uur
09-08	2016	100	1 dagen 17 uur
09-08	2016	1000	2 dagen 13 uur

////////////////////////////////////

<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
09-08	2100	10	1 dagen 17 uur
09-08	2100	25	1 dagen 18 uur
09-08	2100	100	2 dagen 12 uur
09-08	2100	1000	2 dagen 20 uur
09-09	2016	2	1 dagen 02 uur
09-09	2016	10	0 dagen 20 uur
09-09	2016	25	1 dagen 05 uur
09-09	2016	100	1 dagen 09 uur
09-09	2016	1000	1 dagen 10 uur
09-09	2100	10	0 dagen 22 uur
09-09	2100	25	1 dagen 01 uur
09-09	2100	100	1 dagen 00 uur
09-09	2100	1000	1 dagen 10 uur
09-10	2016	2	1 dagen 22 uur
09-10	2016	10	2 dagen 05 uur
09-10	2016	25	1 dagen 17 uur
09-10	2016	100	1 dagen 20 uur
09-10	2016	1000	2 dagen 02 uur
09-10	2100	10	1 dagen 14 uur
09-10	2100	25	2 dagen 10 uur
09-10	2100	100	2 dagen 01 uur
09-10	2100	1000	2 dagen 07 uur
09-11	2016	2	3 dagen 06 uur
09-11	2016	10	2 dagen 17 uur
09-11	2016	25	2 dagen 20 uur
09-11	2016	100	4 dagen 01 uur
09-11	2016	1000	3 dagen 16 uur
09-11	2100	10	3 dagen 23 uur
09-11	2100	25	3 dagen 11 uur
09-11	2100	100	4 dagen 05 uur
09-11	2100	1000	5 dagen 03 uur
09-12	2016	2	7 dagen 13 uur
09-12	2016	10	5 dagen 10 uur
09-12	2016	25	5 dagen 11 uur
09-12	2016	100	5 dagen 11 uur
09-12	2016	1000	5 dagen 13 uur
09-12	2100	10	6 dagen 17 uur
09-12	2100	25	6 dagen 12 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
09-12	2100	100	6 dagen 08 uur
09-12	2100	1000	8 dagen 05 uur
09-13	2016	2	0 dagen 23 uur
09-13	2016	10	1 dagen 00 uur
09-13	2016	25	1 dagen 01 uur
09-13	2016	100	1 dagen 04 uur
09-13	2016	1000	1 dagen 08 uur
09-13	2100	10	1 dagen 04 uur
09-13	2100	25	1 dagen 00 uur
09-13	2100	100	1 dagen 03 uur
09-13	2100	1000	1 dagen 09 uur
09-14	2016	2	2 dagen 05 uur
09-14	2016	10	2 dagen 05 uur
09-14	2016	25	2 dagen 17 uur
09-14	2016	100	2 dagen 19 uur
09-14	2016	1000	3 dagen 16 uur
09-14	2100	10	2 dagen 11 uur
09-14	2100	25	4 dagen 03 uur
09-14	2100	100	3 dagen 12 uur
09-14	2100	1000	3 dagen 18 uur
10-01	2016	2	1 dagen 03 uur
10-01	2016	10	1 dagen 00 uur
10-01	2016	25	1 dagen 04 uur
10-01	2016	100	1 dagen 20 uur
10-01	2016	1000	2 dagen 13 uur
10-01	2100	10	1 dagen 23 uur
10-01	2100	25	2 dagen 07 uur
10-01	2100	100	1 dagen 17 uur
10-01	2100	1000	2 dagen 03 uur
10-02	2016	2	0 dagen 22 uur
10-02	2016	10	1 dagen 01 uur
10-02	2016	25	1 dagen 02 uur
10-02	2016	100	1 dagen 08 uur
10-02	2016	1000	1 dagen 21 uur
10-02	2100	10	1 dagen 07 uur
10-02	2100	25	1 dagen 10 uur
10-02	2100	100	1 dagen 16 uur
10-02	2100	1000	2 dagen 00 uur

//

Deelbekken	Scenario	Terugkeerperiode	Totale Simulatieduur
10-03	2016	2	1 dagen 10 uur
10-03	2016	10	1 dagen 10 uur
10-03	2016	25	1 dagen 09 uur
10-03	2016	100	1 dagen 03 uur
10-03	2016	1000	2 dagen 00 uur
10-03	2100	10	1 dagen 03 uur
10-03	2100	25	1 dagen 02 uur
10-03	2100	100	1 dagen 13 uur
10-03	2100	1000	1 dagen 15 uur
10-04	2016	2	0 dagen 19 uur
10-04	2016	10	0 dagen 20 uur
10-04	2016	25	0 dagen 19 uur
10-04	2016	100	1 dagen 03 uur
10-04	2016	1000	1 dagen 13 uur
10-04	2100	10	1 dagen 00 uur
10-04	2100	25	1 dagen 01 uur
10-04	2100	100	1 dagen 03 uur
10-04	2100	1000	1 dagen 08 uur
10-05	2016	2	1 dagen 09 uur
10-05	2016	10	1 dagen 10 uur
10-05	2016	25	1 dagen 19 uur
10-05	2016	100	2 dagen 00 uur
10-05	2016	1000	2 dagen 06 uur
10-05	2100	10	1 dagen 14 uur
10-05	2100	25	2 dagen 05 uur
10-05	2100	100	2 dagen 09 uur
10-05	2100	1000	2 dagen 04 uur
10-06	2016	2	0 dagen 21 uur
10-06	2016	10	1 dagen 13 uur
10-06	2016	25	1 dagen 10 uur
10-06	2016	100	1 dagen 11 uur
10-06	2016	1000	1 dagen 14 uur
10-06	2100	10	1 dagen 20 uur
10-06	2100	25	1 dagen 10 uur
10-06	2100	100	1 dagen 23 uur
10-06	2100	1000	1 dagen 19 uur
10-07	2016	2	1 dagen 11 uur
10-07	2016	10	1 dagen 17 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
10-07	2016	25	1 dagen 16 uur
10-07	2016	100	1 dagen 17 uur
10-07	2016	1000	2 dagen 08 uur
10-07	2100	10	1 dagen 11 uur
10-07	2100	25	1 dagen 11 uur
10-07	2100	100	2 dagen 11 uur
10-07	2100	1000	2 dagen 15 uur
10-08	2016	2	0 dagen 21 uur
10-08	2016	10	1 dagen 00 uur
10-08	2016	25	1 dagen 01 uur
10-08	2016	100	1 dagen 09 uur
10-08	2016	1000	1 dagen 16 uur
10-08	2100	10	1 dagen 04 uur
10-08	2100	25	1 dagen 12 uur
10-08	2100	100	1 dagen 08 uur
10-08	2100	1000	1 dagen 09 uur
10-09	2016	2	1 dagen 06 uur
10-09	2016	10	1 dagen 19 uur
10-09	2016	25	1 dagen 21 uur
10-09	2016	100	1 dagen 14 uur
10-09	2016	1000	2 dagen 20 uur
10-09	2100	10	1 dagen 12 uur
10-09	2100	25	1 dagen 12 uur
10-09	2100	100	2 dagen 20 uur
10-09	2100	1000	2 dagen 09 uur
10-10	2016	2	1 dagen 14 uur
10-10	2016	10	1 dagen 18 uur
10-10	2016	25	1 dagen 17 uur
10-10	2016	100	1 dagen 17 uur
10-10	2016	1000	2 dagen 07 uur
10-10	2100	10	2 dagen 05 uur
10-10	2100	25	2 dagen 05 uur
10-10	2100	100	2 dagen 09 uur
10-10	2100	1000	2 dagen 11 uur
10-11	2016	2	1 dagen 01 uur
10-11	2016	10	1 dagen 02 uur
10-11	2016	25	1 dagen 03 uur
10-11	2016	100	1 dagen 06 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
10-11	2016	1000	1 dagen 16 uur
10-11	2100	10	1 dagen 05 uur
10-11	2100	25	1 dagen 10 uur
10-11	2100	100	1 dagen 19 uur
10-11	2100	1000	1 dagen 12 uur
10-12	2016	2	1 dagen 09 uur
10-12	2016	10	1 dagen 07 uur
10-12	2016	25	1 dagen 14 uur
10-12	2016	100	1 dagen 13 uur
10-12	2016	1000	2 dagen 11 uur
10-12	2100	10	2 dagen 03 uur
10-12	2100	25	1 dagen 14 uur
10-12	2100	100	2 dagen 00 uur
10-12	2100	1000	2 dagen 12 uur
10-13	2016	2	1 dagen 14 uur
10-13	2016	10	1 dagen 18 uur
10-13	2016	25	2 dagen 01 uur
10-13	2016	100	3 dagen 02 uur
10-13	2016	1000	2 dagen 23 uur
10-13	2100	10	2 dagen 03 uur
10-13	2100	25	2 dagen 12 uur
10-13	2100	100	3 dagen 02 uur
10-13	2100	1000	3 dagen 00 uur
11-01	2016	2	0 dagen 19 uur
11-01	2016	10	0 dagen 21 uur
11-01	2016	25	1 dagen 06 uur
11-01	2016	100	1 dagen 02 uur
11-01	2016	1000	1 dagen 17 uur
11-01	2100	10	1 dagen 02 uur
11-01	2100	25	1 dagen 02 uur
11-01	2100	100	1 dagen 10 uur
11-01	2100	1000	1 dagen 21 uur
11-02	2016	2	1 dagen 18 uur
11-02	2016	10	1 dagen 22 uur
11-02	2016	25	2 dagen 11 uur
11-02	2016	100	3 dagen 11 uur
11-02	2016	1000	4 dagen 15 uur
11-02	2100	10	2 dagen 23 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
11-06	2100	1000	1 dagen 18 uur
11-07	2016	2	10 dagen 16 uur
11-07	2016	10	10 dagen 11 uur
11-07	2016	25	10 dagen 19 uur
11-07	2016	100	10 dagen 11 uur
11-07	2016	1000	11 dagen 00 uur
11-07	2100	10	10 dagen 14 uur
11-07	2100	25	10 dagen 08 uur
11-07	2100	100	10 dagen 09 uur
11-07	2100	1000	10 dagen 15 uur
11-08	2016	2	1 dagen 08 uur
11-08	2016	10	1 dagen 13 uur
11-08	2016	25	1 dagen 02 uur
11-08	2016	100	1 dagen 16 uur
11-08	2016	1000	1 dagen 21 uur
11-08	2100	10	1 dagen 17 uur
11-08	2100	25	1 dagen 18 uur
11-08	2100	100	1 dagen 10 uur
11-08	2100	1000	1 dagen 14 uur
11-09	2016	2	0 dagen 20 uur
11-09	2016	10	1 dagen 05 uur
11-09	2016	25	1 dagen 06 uur
11-09	2016	100	1 dagen 06 uur
11-09	2016	1000	1 dagen 13 uur
11-09	2100	10	0 dagen 22 uur
11-09	2100	25	1 dagen 06 uur
11-09	2100	100	1 dagen 06 uur
11-09	2100	1000	1 dagen 10 uur
11-10	2016	2	3 dagen 09 uur
11-10	2016	10	3 dagen 02 uur
11-10	2016	25	3 dagen 01 uur
11-10	2016	100	3 dagen 17 uur
11-10	2016	1000	4 dagen 09 uur
11-10	2100	10	5 dagen 04 uur
11-10	2100	25	3 dagen 19 uur
11-10	2100	100	4 dagen 20 uur
11-10	2100	1000	7 dagen 19 uur
11-11	2016	2	0 dagen 17 uur



<i>Deelbekken</i>	<i>Scenario</i>	<i>Terugkeerperiode</i>	<i>Totale Simulatieduur</i>
11-11	2016	10	0 dagen 18 uur
11-11	2016	25	0 dagen 19 uur
11-11	2016	100	0 dagen 19 uur
11-11	2016	1000	0 dagen 21 uur
11-11	2100	10	0 dagen 20 uur
11-11	2100	25	0 dagen 21 uur
11-11	2100	100	0 dagen 22 uur
11-11	2100	1000	0 dagen 18 uur



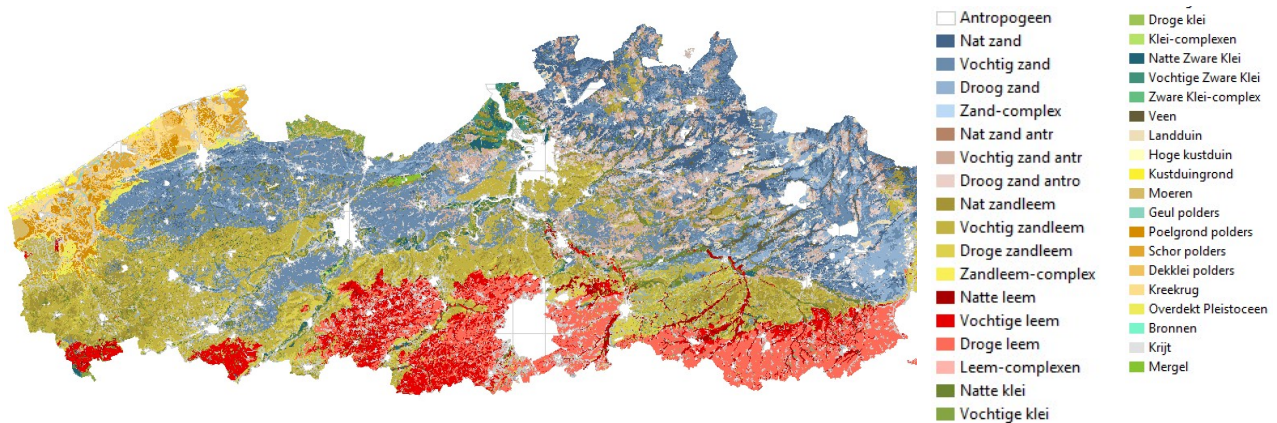
bijlage 3 Gebruikte omzetting van de bodemkaart

In functie van het bepalen van afstromingscoëfficiënten werden de bestaande bodemkaarten omgezet naar een aantal standaard bodemtypes. Hieronder wordt in detail beschreven hoe dit gebeurde.

B3.1 Belgische Bodemkaart

De input voor de textuurklassen is afkomstig van de bodemkaart van Vlaanderen zoals gedefinieerd door Van Ranst & Sys (2000) en weergegeven in figuur80. Hierbij duidt de eerste letter van de bodemserie uit het Belgische bodemclassificatiesysteem op de textuur van het bovenste deel van het bodemprofiel. In tabel40 worden de klassen uit het Belgische systeem weergegeven met de implementatie binnen JFlow®. Sommige zijn een samenstelling van meerdere textuurklassen, hierbij wordt de zwaarste textuurklasse genomen (een worst-case inschatting van de oppervlakkige afstroming). Voor een aantal textuurklassen wordt de overeenkomstige klasse genomen die het meest representatief is of de overheersende textuur van de naastliggende gebieden. Dit is het geval voor M (complex van mergelgronden), N (complex van krijtgronden), G (Stenige leem), V (Veen) en D (Duinen).

figuur80: Bodemkaart van Vlaanderen (Van Ranst & Sys, 2000).



tabel40: Omzetting textuurklasse.

Textuurklasse (BE)	Aantal	Oppervlakte (ha)	Beschrijving	Textuurklasse (JFlow®)
A	44284	194088	leem	Loam
A-L	114	330	leem + zandleem	Loam
A-S	43	119	leem + lemig zand	Loam
A-U	4	10	leem + zware klei	Loam
A-U-S	2	19	leem + zware klei + lemig zand	Loam
A-Z	7	24	leem + zand	Loam
E	10679	44452	klei	Clay
E-A	3	42	klei + leem	Clay Loam
E-L-Z	4	30	klei + zandleem + zand	Sandy Clay
E-Z	1	9	klei + zand	Sandy Clay
G	1137	2470	stenige leem	Loam
G-Z	14	12	stenige leem + zand	Loam
L	43337	216173	zandleem	Sandy Loam
L-P	2	6	zandleem + licht zandleem	Sandy Loam
L-P-Z	2	18	zandleem + licht zandleem + zand	Sandy Loam
M	36	878	complex van mergelgronden	Sand
N	4	3	complex van krijtgronden	Sand
P	26159	122166	licht zandleem	Silt
P-Z	2	37	licht zandleem + zand	Silt
S	39603	213079	lemig zand	Loamy Sand
S-Z	335	746	lemig zand + zand	Loamy Sand
U	2128	13196	zware klei	Clay
U-A-L	7	38	zware klei + leem + zandleem	Clay
U-A-M	8	92	zware klei + leem + mergel	Clay
U-A-S	17	112	zware klei + leem + lemig zand	Clay
U-L	28	99	zware klei + zandleem	Clay
U-L-S	34	315	zware klei + zandleem + lemig zand	Clay
U-S	8	11	zware klei + lemig zand	Clay
V	645	6109	veen	Clay
V-E	8	124	veen + klei	Clay
X	636	14266	duinen	Sand
Z	45070	267285	zand	Sand



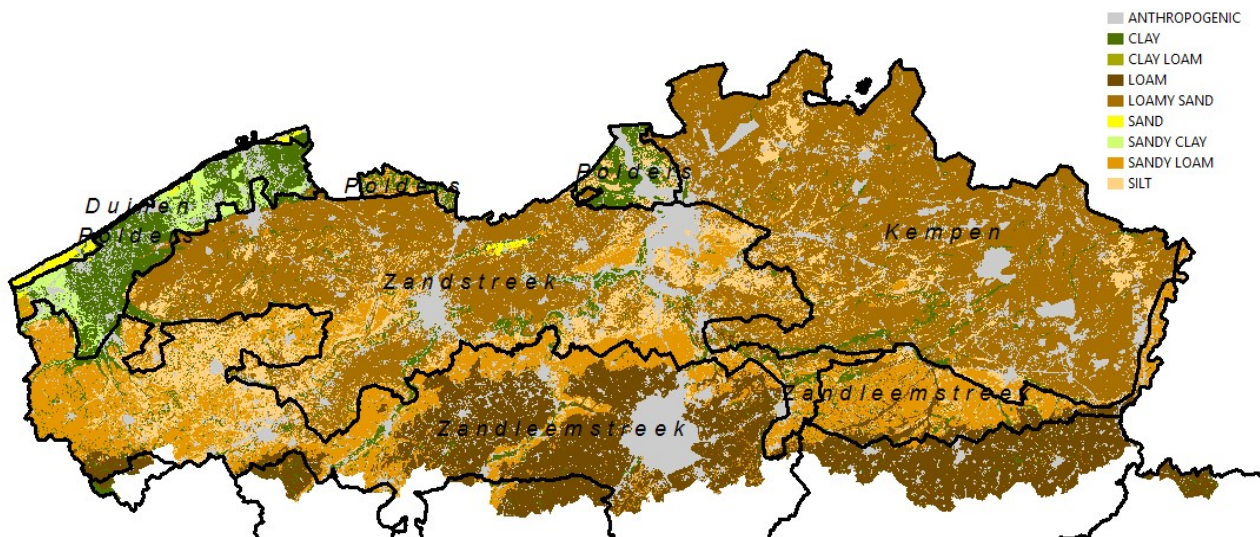
B3.3 Bronnen

De bodemserie B – bronnen wordt geklasseerd als ‘CLAY’ (beperkt, 102 ha), om een grote afstroming te verkrijgen van deze bodems.

B3.4 Kunstmatige gronden

In verstedelijkt gebied worden de meeste gronden geklasseerd als ‘Anthropogenic’ (210910 ha). Ook o.a. tuinen, groenzones, onverharde zones vallen hieronder. Het is niet mogelijk om, zoals in de kuststreek, de textuur af te leiden uit andere datavelden in de bodemkaart. Binnen deze studie zijn daarom aan de antropogene bodems de dominante textuur toegekend van de landbouwzone waarin ze zich bevinden. De gebruikte landbouwzones en bijhorende omzettingstabel zijn weergegeven in figuur 81 en tabel 48. Binnen deze antropogene zones wordt het onderscheid in afvoercoëfficiënt verder gemaakt op basis van de verschillende types van landgebruik die er voorkomen.

figuur81: Weergave gebruikte landbouwzones inclusief antropogene bodems.



tabel48: Predominante textuur per landbouwzones voor de omzetting van antropogene bodems.

Landbouwstreken	Predominante textuur
Duinen	SAND
Kempen	LOAMY SAND
Leemstreek	LOAM
Polders	CLAY
Weidestreek	LOAM
Zandleemstreek	SANDY LOAM
Zandstreek	LOAMY SAND

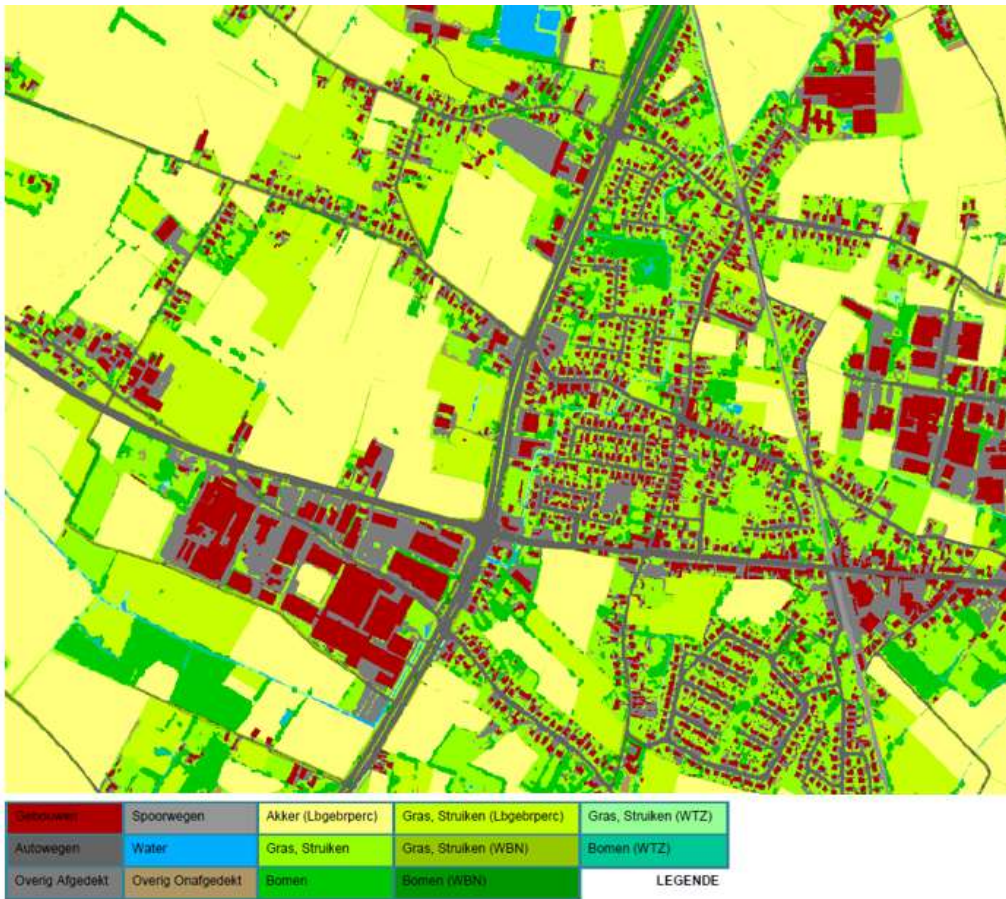


bijlage 4 Gebruikte omzetting van de landgebruikskaat

In functie van het bepalen van afstromingscoëfficiënten werden de bestaande kaarten m.b.t. landgebruik in Vlaanderen omgezet naar een aantal standaard landgebruikstypes. Hieronder wordt in detail beschreven hoe dit gebeurde.

De input voor het landgebruik voor Vlaanderen is de gebiedsdekkende Bodembedekkingskaart met een resolutie van 1 m (beheer AIV). Deze kaart dateert van 2012 en bevat 14 landgebruiksklassen. Een voorbeeld van deze bodembedekkingskaart is weergegeven in figuur82 en de gebruikte omzettingstabel is weergegeven in tabel49. Deze kaart is verkozen boven het GRB omwille van de nauwkeurigere informatie die hierin vervat zit omtrent de aanwezigheid van onder andere parkings en opritten die een significante bijdrage vormen voor de oppervlakkige afstroming, maar niet vervat zitten in het GRB.

figuur82: Extract uit de Bodembedekkingskaart van Vlaanderen (bron: AIV).



tabel49: Omzettingstabel van klassen Bodembedekkingskaart naar landgebruiksklasse zoals gebruikt in JFlow®

Klasse	JFlow® Klasse	JFlow® Code	Opmerking
Gebouwen	Urban-a	6	
Autowegen	Urban-a	6	
Overig Afgedekt	Urban-b	7	
Spoorwegen	Urban-a	6	
Water	Urban-a	6	
Overig Onafgedekt	Bare	5	
Akker (Lbgebrperc)	Crop	4	
Gras, Struiken	Grass - permanent	2	
Bomen	Forest	1	
Gras, Struiken (Lbgebrperc)	Grass - crop	3	
Gras, Struiken (WBN)	Urban -a	6	Gras of struiken met overlapping uit GRB-wegen (Wbn) verhard
Bomen (WBN)	Urban -a	6	Bomen met overlapping uit GRB-wegen (Wbn) verhard
Gras, Struiken (WTZ)	Urban -a	6	Gras of struiken met overlapping uit GRB-wateroppervlak (Wtz)
Bomen (WTZ)	Urban -a	6	Gras of struiken met overlapping uit GRB-wateroppervlak (Wtz)

//

bijlage 5 Omzetting hydraulische structuren uit modelinformatie

Een deel van de hydraulische structuren die verwerkt werden in de JFlow® modellen werden omgezet uit bestaande hydraulische modellen van VMM. Hieronder wordt de werkwijze beschreven die hierbij gevolgd werd.

B5.1 Importeren van data

Binnen Infoworks RS zijn 10 verschillende soorten kunstwerken gedefinieerd. Deze zijn opgelijst in tabel50 en kunnen in vier types onderverdeeld worden: kokers, bruggen, schuiven en knijpopeningen. Voor elk van deze types dient een omzetting van de aanwezige parameters te gebeuren op basis van een CSV-export uit de modellen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de gegevens met betrekking tot de kokers gedefinieerd zijn op basis van de op- en afwaartse knoop. Hierbij is steeds de opwaartse knoop gebruikt als referentie voor definitie van de doorstroomopening. De twee types bruggen die in onderstaande tabel zijn beschreven, beschrijven in essentie dezelfde type structuur en hebben dezelfde datavelden in de modelexport. Daarom zijn deze in de verdere bespreking niet verder opgesplitst.

Enmaal de gegevens zijn omgezet naar de datavelden van JFlow® dienen deze te worden gelinkt aan een geometrische vorm binnen een GIS. Dit verbinden gebeurt op basis van een aangeleverde shapefile voor de kunstwerken met als hoofdtype "leiding". Voor alle andere types wordt eerst een shapefile (type: lijn) aangemaakt op basis van de x y-coördinaten die aanwezig zijn in de CSV-export van het model. Hierbij wordt enkel rekening gehouden met het begin- en eindpunt van het kunstwerk. Extra toegevoegde punten zijn eerder binnen Infoworks RS toegevoegd om een duidelijk onderscheid te maken in parallelle structuren. Bij de import worden deze parallelle structuren gedetecteerd en wordt een structuur gedefinieerd waarbij de doorstroomoppervlakte gelijk is aan de som van de doorstroomoppervlakte van elk van de parallelle structuren.

tabel50: Hydraulische structuren aanwezig in Infoworks RS.

Hoofdtype	Subtype	Shapefile (type: lijn) beschikbaar
Kokers	Rechthoekige kokers	Ja
	Cirkelvormige kokers	Ja
	Symmetrische kokeres	Ja
	Kokers met boogvorm	Ja
	Kokers met volledige boogvorm	Ja
Bruggen	USB PR bruggen	Nee
	Bruggen met boogvorm	Nee
Schuiven	Verticale schuiven	Nee
	Radiale schuiven	Nee
Knijpopening		nee



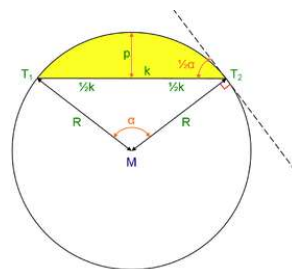
Kokers met volledige boogvorm

Kokers met een volledige boogvorm worden in Infoworks gedefinieerd door middel van een breedte en een kruinhoogte. De vorm wordt beschouwd als een cirkelsegment. Deze vorm wordt binnen JFlow® benaderd als een rechthoek. De totale hoogte wordt berekend door de oppervlakte te delen door de breedte van de leiding. De oppervlakte kan berekend worden op basis van de middelpuntshoek α en de straal R (de helft van de breedte van de leiding) en p de hoogte van de leiding uit de aangeleverde gegevens. De gebruikte formules en een weergave van de gebruikte symbolen is weergegeven in onderstaande figuur.

figuur83: Berekeningswijze omzetting leiding met een volledige boogvorm

$$\alpha = 2 \cdot b \cdot g \cdot \cos\left(1 - \frac{p}{R}\right)$$

$$Opp = \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha)$$



Voor leidingen met een volledige boogvorm worden de datavelden voor JFlow® aangevuld zoals weergegeven in onderstaande tabel.

tabel53: Omzetting kokers met volledige boogvorm vanuit RS.

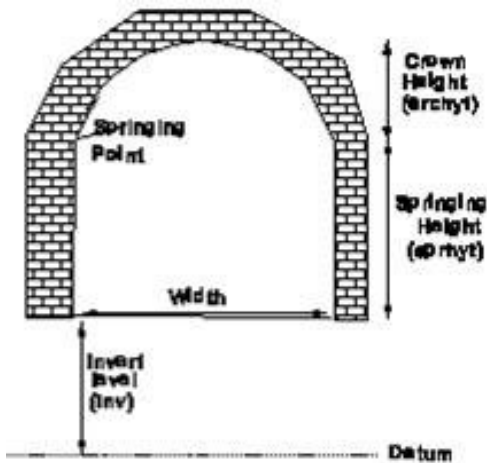
Naam dataveld in JFLOW	Soort omzetting	
Type	default waarde	Rechthoekig
Mannings_n	berekening	Gemiddelde van arch_man en fr_bottom_man
inlet_invert_elevation	csv-export	BOK van opwaartse knoop
outlet_invert_elevation	csv-export	BOK van afwaartse knoop
height	Berekend	op basis van opp
width	csv-export	conduit_width
length	shape-export	Als attribuut van shapefile

Kokers met boogvorm

Kokers met een boogvorm worden gekenmerkt door twee hoogtes: 'springing height' en 'crown height'. De betekenis van deze hoogtes wordt weergegeven in figuur84.



figuur84: Voorbeeld van een koker met boogvorm in Infoworks.



Deze vorm wordt binnen JFlow® benaderd als een rechthoek. De totale hoogte wordt berekend door de oppervlakte te delen door de breedte van de koker. De oppervlakte kan berekend worden op basis van de middelpuntshoek α , de straal R (de helft van de breedte van de leiding), de 'crown height' p en de 'springing height' h uit de aangeleverde gegevens. De volgende formules zijn hierbij gebruikt:

$$\alpha = 2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{p}{R}\right)$$

$$Opp = w \cdot h + \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha)$$

Voor leidingen met een boogvorm worden de datavelden voor JFLOW aangevuld zoals weergegeven in onderstaande tabel.



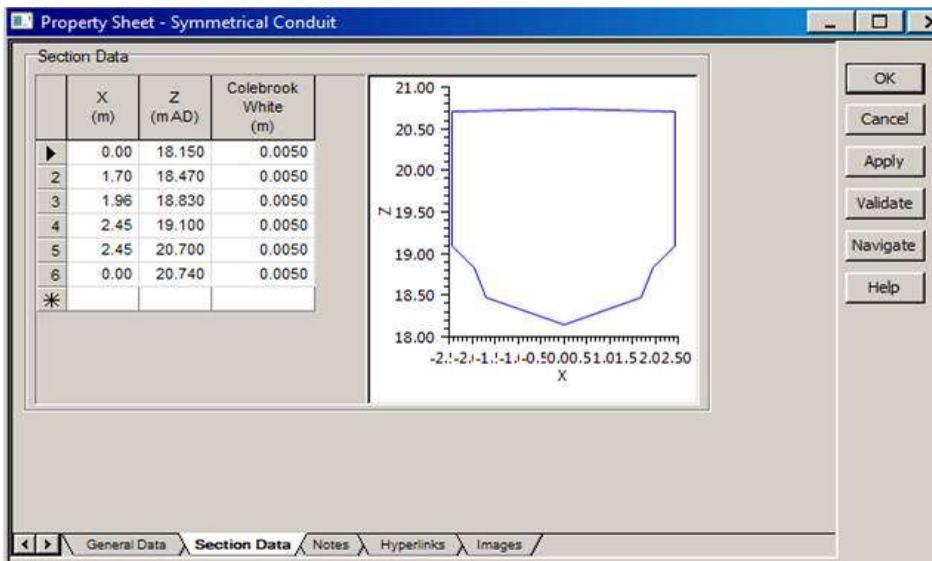
tabel54: Omzetting kokers met boogvorm vanuit RS.

Naam dataveld in JFLOW	Soort omzetting	
Type	default waarde	Rechthoekig
Mannings_n	berekening	Gemiddelde van top, side en bottom Manning
inlet_invert_elevation	csv-export	BOK van opwaartse knoop
outlet_invert_elevation	csv-export	BOK van afwaartse knoop
height	csv-export	op basis van oppervlakte (zie formules)
width	csv-export	Conduit width
length	shape-export	Als attribuut van shapefile

Symmetrische kokers

Kokers met een symmetrische vorm zijn in de csv-export weergegeven als een combinatie van X en Z coördinaten (zie figuur85). Deze vorm wordt binnen JFlow® benaderd als een rechthoek die de vorm en hoogteligging zo goed mogelijk benadert.

figuur85: Voorbeeld van een symmetrische leiding in Infoworks RS.



Voor symmetrische kokers worden de datavelden voor JFLOW aangevuld zoals weergegeven in onderstaande tabel.



tabel55: Omzetting symmetrische kokers met volledige boogvorm vanuit RS.

Naam dataveld in JFLOW	Soort omzetting	
Type	default waarde	Rechthoekig
Mannings_n	berekening	Omzetting vanuit Colebrook-White
inlet_invert_elevation	csv-export	Uit werkblad
outlet_invert_elevation	csv-export	Uit werkblad
height	csv-export	Uit werkblad
width	csv-export	Uit werkblad
length	shape-export	Als attribuut van shapefile

Knijpopening (orifice)

Voor knijpopeningen worden de datavelden voor JFlow® aangevuld zoals weergegeven in onderstaande tabel.

tabel56: Omzetting knijpopening vanuit RS.

Naam dataveld in JFLOW	Soort omzetting	
Type	default waarde	Rechthoekig
Mannings_n	default	0.013
inlet_invert_elevation	csv-export	Invert_level
outlet_invert_elevation	csv-export	Invert_level
height	csv-export	sqrt(bore_area)
width	csv-export	sqrt(bore_area)
length	shape-export	Als attribuut van shapefile

Bruggen

Omwille van de gelijkheid tussen de subtypes 'bruggen met boogvorm' en 'USBPR' wordt de omzetting gezamenlijk besproken. Voor elke brug zijn er vier csv-exports gemaakt waaruit de datavelden voor JFlow® aangevuld worden zoals weergegeven in onderstaande tabel. Een brug is binnen de export uit Infoworks gedefinieerd op basis van brugopeningen die zich parallel bevinden. Deze parallele openingen zijn omgezet naar één doorstroomopening met dezelfde totale doorstroomopening.

tabel57: Omzetting bruggen vanuit RS.

Naam dataveld in JFLOW	Soort omzetting	
Type	default waarde	Rechthoekig
Mannings_n	berekening	Gemiddelde van left, channel en right_bank_manning
inlet_invert_elevation	csv-export	Fake_bed_level opwaarts
outlet_invert_elevation	csv-export	Fake_bed_level afwaarts
height	berekening	Oppervlakte/breedte
width	berekening	Som van breedtes
length	csv-export	Length



bijlage 6 Bepaling van gedetailleerde neerslagcorrecties

B6.1 Objectief, gebieden en buien

Het objectief van deze analyse is om ruimtelijk gecorrigeerde composietbuien te bepalen voor directe neerslagafstroming (oppervlakteaafstroming), zonder rekening te houden met andere deelstromen (in de landelijke afvoer).

De analyse wordt uitgevoerd voor de afwateringsgebieden Antwerpen en Beersel met elk 7 deelgebieden. Voor deze deelgebieden en de globale gebieden worden de composietbuien met terugkeerperiodes van 2, 10, 100 en 1000 jaar gecorrigeerd met ruimtelijke correctiefactoren.

B6.2 Gebiedskarakteristieken

De aangeleverde gebiedskarakteristieken voor de beschouwde (deel)gebieden worden weergegeven in tabel 60.

Voor 5 deelgebieden van Beersel is ter controle door de VMM de tijdsverschuiving aangeleverd in afstromingsdebeten tussen opwaartse en afwaartse uiteinde van de waterloop binnen het deelgebied, alsook de waterlooplengtes binnen het gebied. Door deze lengtes te delen door de piekverschuiving kunnen we een ruw idee krijgen van de snelheid waarmee de doorstroming gebeurt. Hier zit redelijk wat variatie op van gebied tot gebied, wat deels door de ruwe bepaling van de tijdsverschillen kan worden verklaard en/of door hydraulische factoren. Daarom wordt een globaal gemiddelde stromingssnelheid bepaald, wat voor de 5 deelgebieden van Beersel op 0.58 m/s komt voor de waterloop. Dit is al relatief hoog voor een waterloop, maar Beersel ligt dan ook in een naar Vlaamse normen relatief hellend gebied. Voor andere gebieden wordt dan ook een lagere waarde gehanteerd.

B6.3 Ruimtelijke correctiefactoren

Om de ruimtelijke correctie in rekening te brengen op de buien 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 86 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 86 en figuur 87).

De ruimtelijke correctiefactoren zijn vooral bedoeld voor kleine concentratietijden en zijn maar afgeleid tot een aggregatieniveau van 360 min, voor grotere aggregatieniveaus is een logaritmische extrapolatie uitgevoerd tot 1440 min. Voor nog grotere duren worden geen correctiefactoren meer in rekening gebracht, maar evolueren de factoren nog maar weinig.

////////////////////////////////////

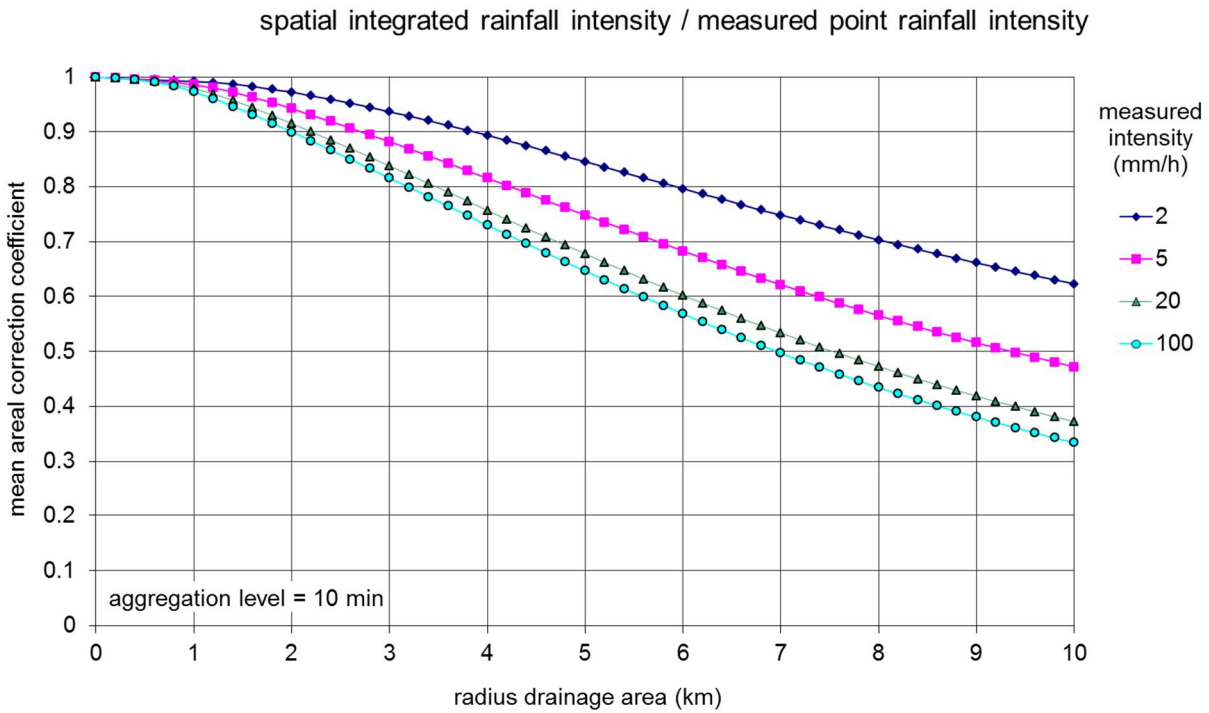
tabel60: Gebiedskarakteristieken (aangeleverd door VMM).

afbakening	naam (deel)gebied	oppervlakte [ha]	lengte hoofdwaterloop [m]	verharding [ha]	% verhard
Beersel deelgebieden	z_09_23_12	624	3160	35,7	5,7%
	z_09_23_0X	713	4581	86,1	12,1%
	z_09_23_0W	429	3299	36,4	8,5%
	z_09_23_0Y	471	3455	75,6	16,0%
	z_09_23_0Z	1402	2918	170,6	12,2%
	z_09_23_0V	211	2889	42,5	20,1%
	z_09_23_10	980	1904	34,2	3,5%
Beersel globaal	Beersel	4831	15717	481,0	10,0%
Antwerpen deelgebieden	527	2683	4162	758,1	28,3%
	535	946	4744	148,3	15,7%
	537	698	3053	249,0	35,7%
	538	1113	5380	448,6	40,3%
	539	2207	0	1038,1	47,0%
	546	1038	5891	330,8	31,9%
	1348 (Benedenvliet)	5447	17218	960,2	17,6%
Antwerpen globaal	Antwerpen	14132	23776 *	3933,2	27,8%

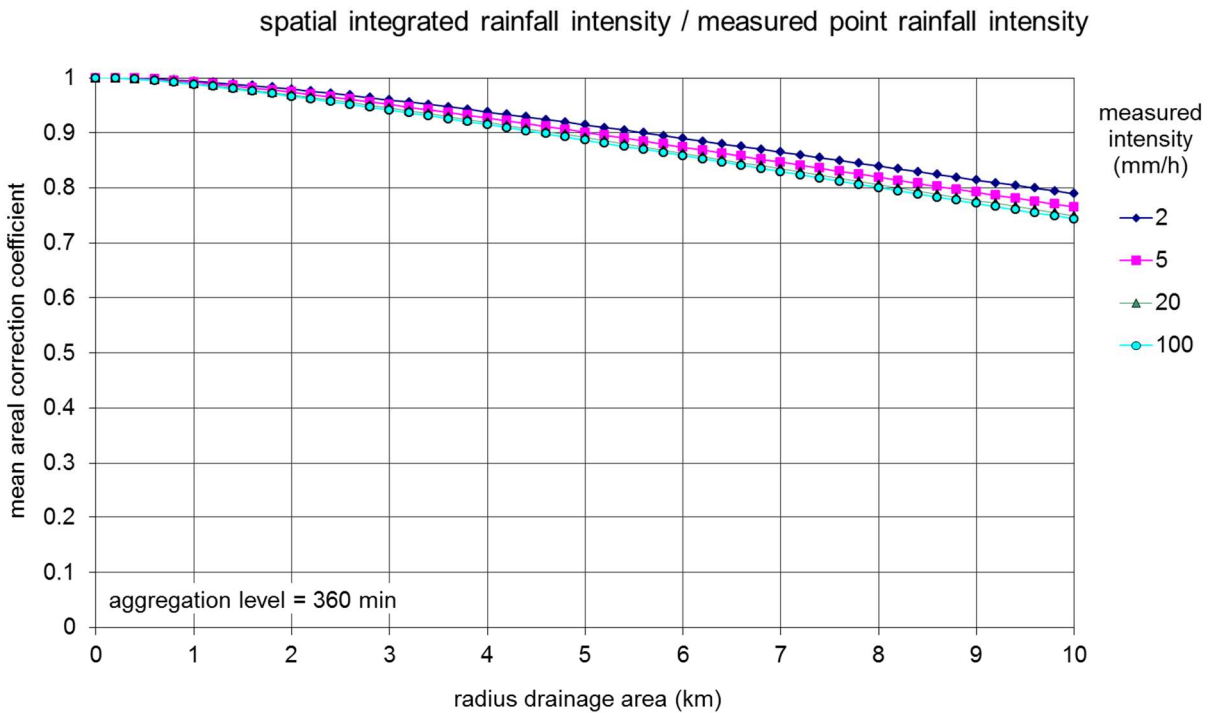
* Ingeschat op basis van verhouding oppervlakte / lengte hoofdwaterloop voor Beersel globaal en deelgebied 1348 (Benedenvliet)



figuur86: Ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor Vlaanderen voor een aggregatieniveau van 10 minuten (Vaes et al., 2005).



figuur87: Ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor Vlaanderen voor een aggregatieniveau van 360 minuten (Vaes et al., 2005).



B6.4 Methodiek inwerken correctiefactoren



Omdat de ruimtelijke correctiefactoren functie zijn van intensiteit, aggregatieniveau en gebiedsgrootte, is er een extra correlatie nodig tussen ruimtelijke uitgestrektheid en concentratietijd en dit voor alle ruimteschalen tussen een lokaal gebiedje met een concentratietijd van 10 minuten tot het globale afwateringsgebied. Wanneer de relatie gekend is tussen diameter van het afstromingsgebied en de concentratietijd, kan voor elke gebiedsgrootte het overeenkomstige aggregatieniveau worden gekozen. De hiermee overeenkomende neerslagintensiteit is dan ook gekend (in functie van de betreffende bui, terugkeerperiode). De overeenkomstige correctiecoëfficiënt kan dan worden bepaald.

B6.5 Analyse correlatie uitgestrektheid versus afstromingstijd

Uit een eerste gevoeligheidsanalyse van de relatie tussen gebiedsgrootte en afstromingstijd blijkt dat de uiterste relaties voor verschillende deelgebieden een significant verschil geven in neerslagcorrectie. Daarom wordt voor ieder deelgebied een aparte relatie uitgewerkt.

De correlatie wordt berekend op basis van een sterk vereenvoudigd afstromingsmodel met als parameters:

- Lengte afwatering (langste pad) via de riolering naar de waterloop: dit wordt bij gebrek aan fysische gegevens ruwweg benaderd als (figuur88):

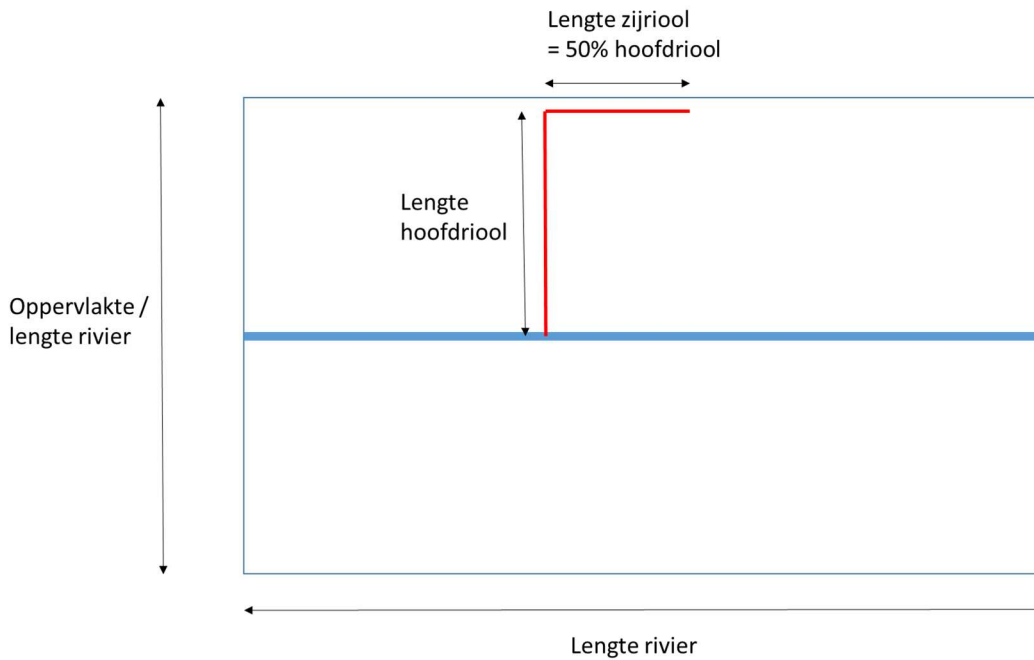
$$L_{riool} = A_{deelgebied} / L_{waterloop} / 2 \times 150\%$$

Voor het gebied met enkel riolering en geen waterloop wordt dit benaderd als:

$$L_{riool} = \sqrt{A_{deelgebied}} \times 150\%$$

- Lengte afwatering (langste pad) via de waterloop: per deelgebied en globaal beschikbaar gesteld door VMM
- Verhardingsgraad (%): bepaald door alle verharde oppervlaktes in het deelgebied te delen door de totale oppervlakte van het deelgebied (beide gegevens zijn beschikbaar gesteld per deelgebied door VMM)
- Afwateringssnelheid riolering: standaardwaarde 1 m/s
- Afwateringssnelheid waterloop: standaardwaarde 0.58 m/s voor Beersel, 0.5 m/s voor Antwerpen

figuur88: Vereenvoudigde bepaling van de rioolafstromingslengtes.



Volgende berekening wordt gemaakt voor de concentratietijd:

- Afstroming rioolstelsel tot aan waterloop (overstort): $\Delta t_{1rio} = L_{riool} / v_{riool}$
- Afstroming landelijk tot aan hoofdwaterloop: $\Delta t_{1land} = L_{riool} / v_{waterloop}$

Bij de bepaling van de afstroming naar de waterloop wordt voor de helft rekening gehouden met de verhardingsgraad, maar de snelle afwatering via de riolering primeert:

$$Tc1 = 50\% \times (\%verhard \times \Delta t_{1rio} + (1 - \%verhard) \times \Delta t_{1land}) + 50\% \times \Delta t_{1rio}$$

- Afstroming langsheen waterloop: $\Delta t_2 = L_{waterloop} / v_{waterloop}$; $Tc2 = Tc1 + \Delta t_2$
- Afstroming buiten het deelgebied tot aan de rand van het globale waterloopgebied:

$$\Delta t_3 = L_{afwaarts} / v_{waterloop}; Tc3 = Tc2 + \Delta t_3$$

Met $L_{afwaarts}$ de inschatting van de afwaartse lengte van de waterloop (voor Antwerpen globaal waar dit niet voor gegeven is) = $2.3 \times \sqrt{A_{deelgebied}} - L_{waterloop}$ (de factor 2.3 blijkt uit de data voor de grootste gebieden: Beersel globaal en Antwerpen 1348)

- Extrapolatie naar grotere gebieden tot $Tc = 1440$ min: analoog als voor globaal gebied (afstroming aan 0.5 m/s)

De overeenkomstige doormeters van de afvoergebieden worden berekend als de diameter van een cirkel met dezelfde oppervlakte als het deelgebied: $D = \sqrt{4 / \pi \times A_{deelgebied}}$

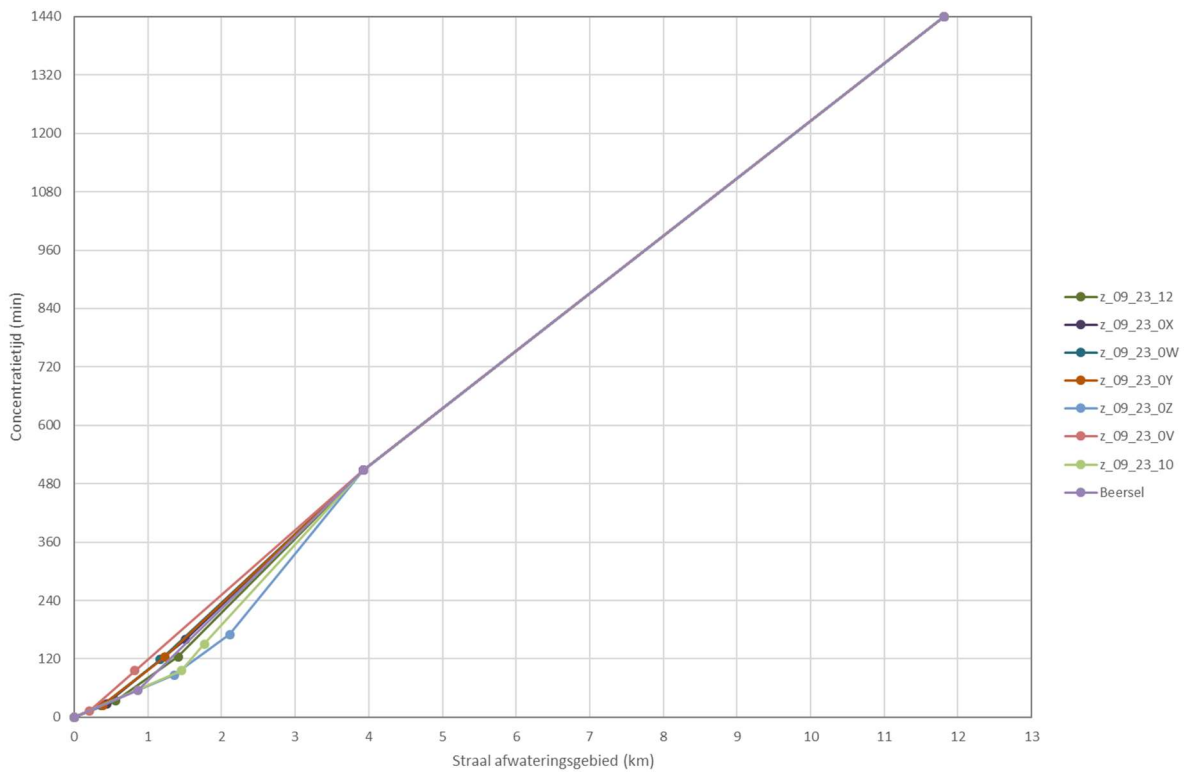
Voor A_{riool} wordt het kwadraat van de lengte van het hoofdriool gebruikt: $A_{riool} = (L_{riool} / 150\%)^2$

B6.6 Resultaten correlatie uitgestrektheid versus afstromingstijd



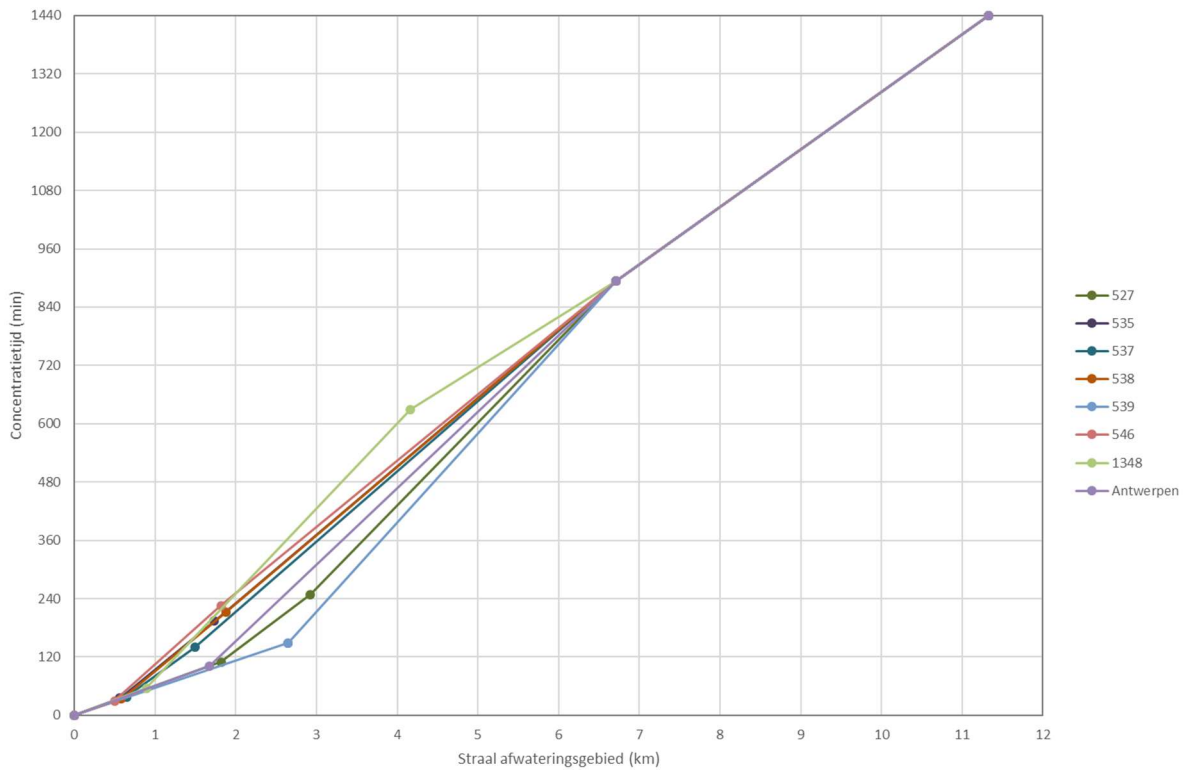
De resulterende correlaties tussen uitgestrektheid van het afwateringsgebied en de afstromingstijd voor de deelgebieden van Beersel worden getoond in figuur89 en voor Antwerpen in figuur90. De laagst gelegen curves zijn deze met het grootste rioolstelsel met versnelde afvoer. De hoogste curves zijn die met weinig stedelijke afvoer, dus meer vertraagd.

figuur89: Correlatie uitgestrektheid versus afstromingstijd voor Beersel.



figuur90: Correlatie uitgestrektheid versus afstromingstijd voor Antwerpen.





B6.7 Resultaten ruimtelijke correctiefactoren

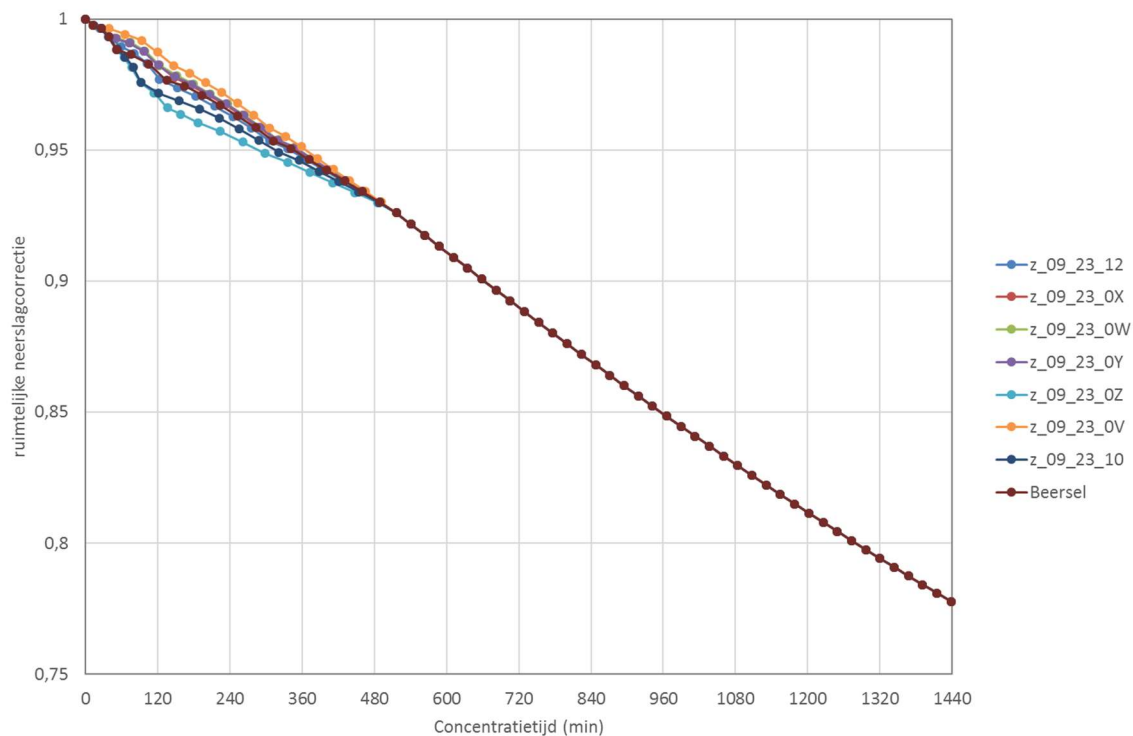
Voor buiduren groter dan 1 dag (1440 min) wordt in de aangepaste composietbui de neerslagintensiteit op 0 gezet, omdat voor grotere aggregatieniveaus geen ruimtelijke correctiefactoren zijn bepaald. Bij een buiduur van 1 dag zijn de gecorrigeerde neerslagintensiteiten al bijna verwaarloosbaar.

De resulterende ruimtelijke correctiefactoren voor de deelgebieden van Beersel worden getoond in figuur91 en voor Antwerpen in figuur92.

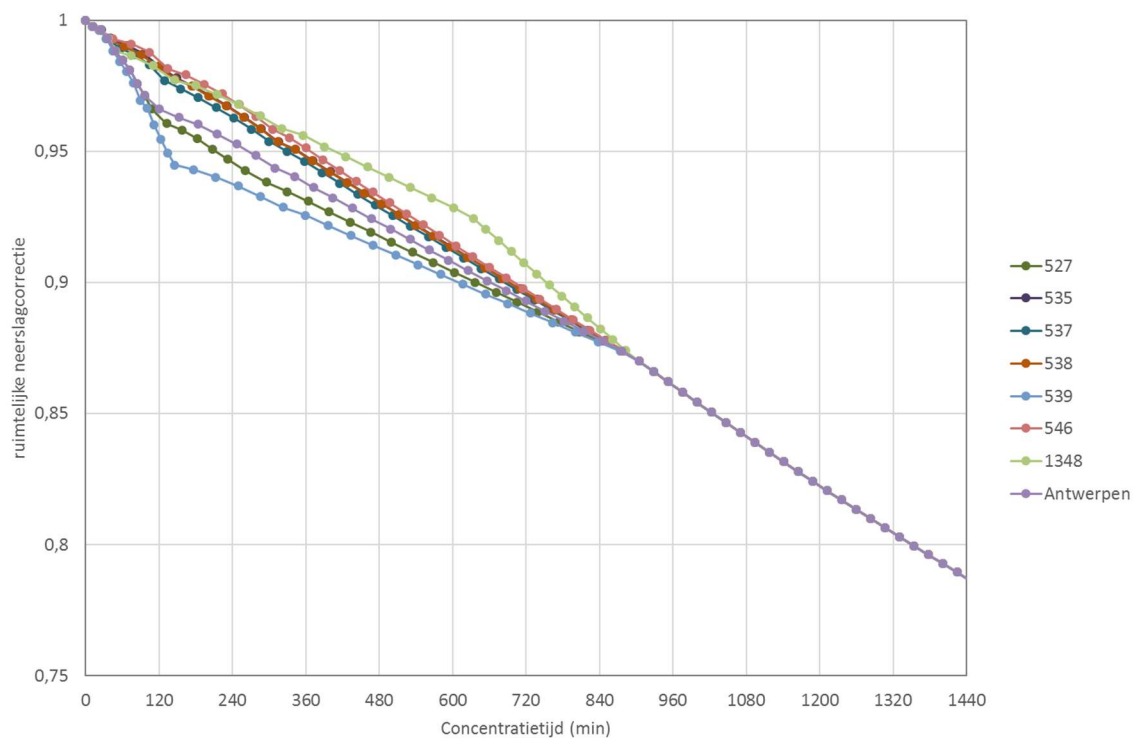
De grootste correcties (laagste curves) worden bekomen voor de deelgebieden met een uitgebreid rioelstelsel. Om dezelfde reden zijn de correcties voor de Antwerpse deelgebieden in het algemeen groter dan voor Beersel.

figuur91: Ruimtelijke correctiefactoren voor Beersel (T1000).





figuur92: Ruimtelijke correctiefactoren voor Antwerpen (T1000).



B6.8 Conclusies



De ruimtelijke correctiefactoren hebben hun grootste invloed op de piekafvoeren in het verstedelijkt gebied voor concentratietijden van 1 tot enkele uren. Hierbij worden reducties van enkele % tot bijna 10 % vastgesteld. Op de dagvolumes worden reducties tot ongeveer 20% ingeschat. De grootste verschillen tussen de deelgebieden vinden we dan ook in de range van concentratietijden van 2 tot 4 h.

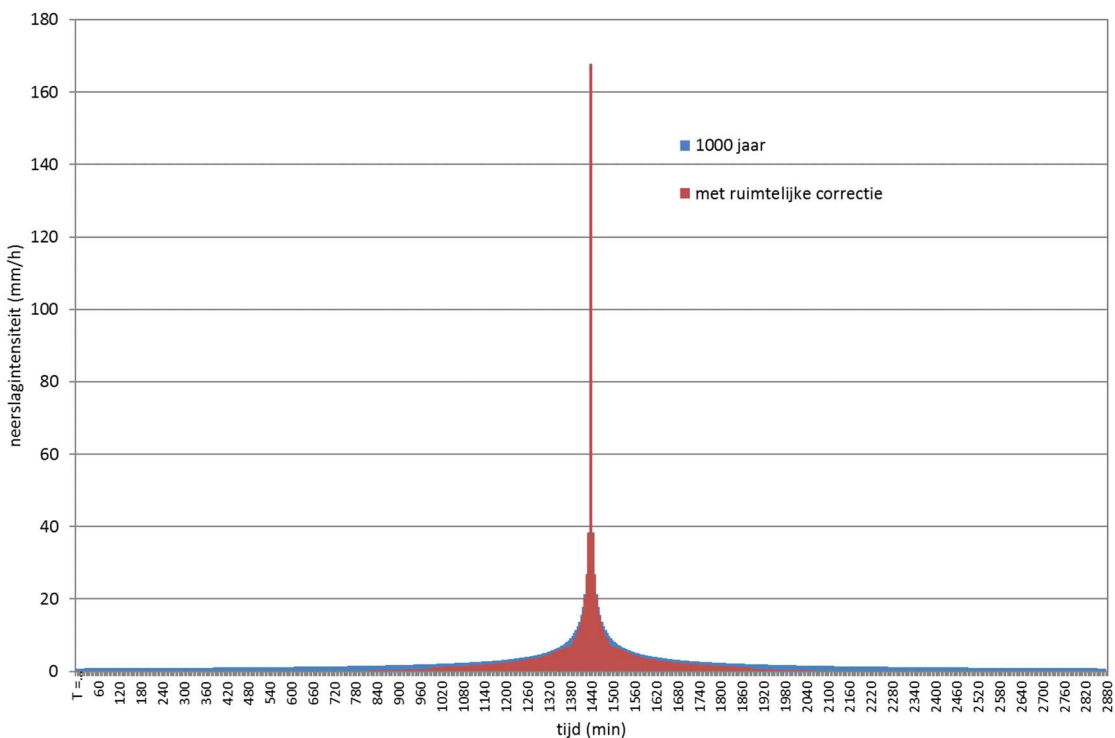
Voor voldoende grote terugkeerperiodes (zoals ≥ 2 jaar in deze studie) is de invloed van de neerslagintensiteit op de ruimtelijke correctiefactoren klein tot verwaarloosbaar. De curves van de ruimtelijke reductiefactoren evolueren bij hoge intensiteiten naar een limietwaarde.

Voor het inschatten van de concentratietijden zijn er belangrijke aannames moeten gebeuren: de onzekerheid situeert zich vooral op de inschatting van de afstromingslengtes in het riool, eerder dan op de stromingssnelheden in het riool.

De gevoeligheid van de correctiefactoren is het grootst voor de bepaling van de concentratietijd van het riool, daarna volgt de gevoeligheid voor bepaling van de doorstroomtijd in de waterloop. De doorstroomtijd in de waterloop is getuned op basis van een aantal deelgebieden van Beersel en de fout hierop zal dus eerder beperkt zijn. De overblijvende factor met de grootste onzekerheid is dus de snelheid van de afstroming naar de waterloop en dan vooral de snelle component via de riolering.

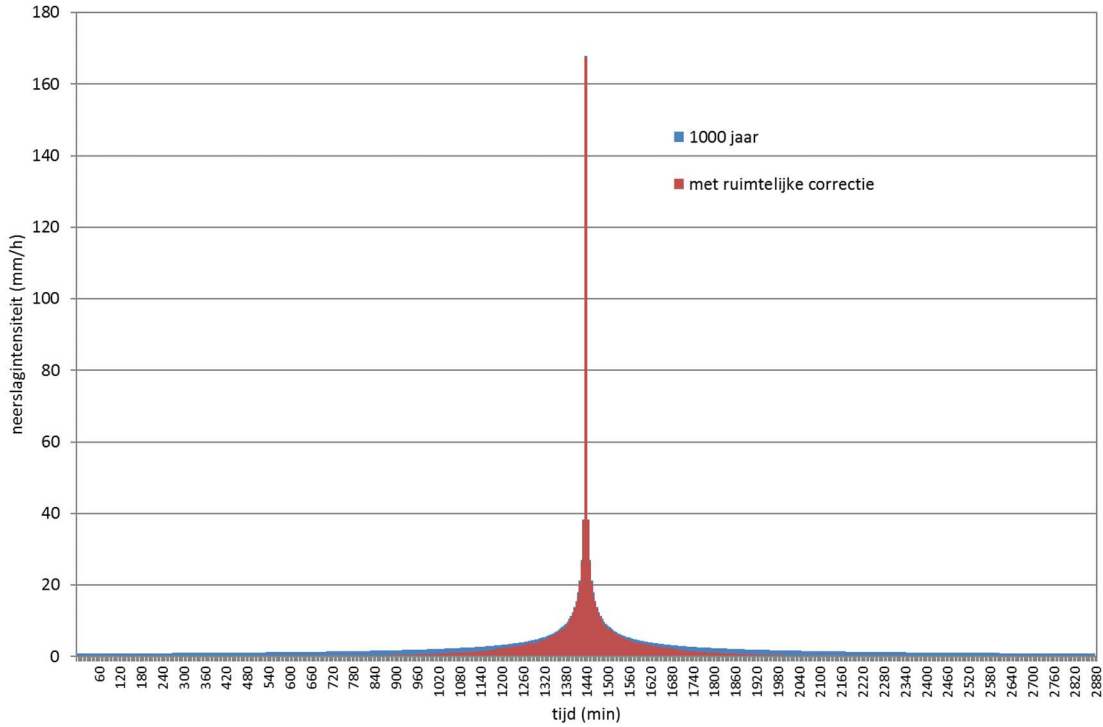
Het maximaal vastgestelde verschil in ruimtelijke correctie tussen de uiterste deelgebieden met sterk verschillende afstroming naar de waterloop is ongeveer 4% van de totale neerslagintensiteit voor Antwerpen en 2% voor Beersel.

figuur93: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Antwerpen.



figuur94: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Antwerpen.

figuur95: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Beersel.



figuur96: Voorbeeld van een ruimtelijk gecorrigeerde composietbui (in rood) t.o.v. de originele composietbui met een terugkeerperiode van 1000 jaar voor globaal Antwerpen, ingezoomd.



Volgende relaties werden gefit voor de verschillende streken:

- hellend gebied Oost- en West-Vlaanderen (HQHCV): $Q / Q_{gem} = 0.981 T^{0.147}$
- droge Leemstreek (LQHCV): $Q / Q_{gem} = 0.0.906 T^{0.181}$
- Zandstreek (LQLCV): $Q / Q_{gem} = 0.927 T^{0.171}$

Voor de verhouding debiet bij T1000 over T100 (aangroeiverhouding) levert dit bij deze gefitte relaties de volgende resultaten op:

- hellend gebied Oost- en West-Vlaanderen (HQHCV): 1.40
- droge Leemstreek (LQHCV): 1.52
- Zandstreek (LQLCV): 1.48

Gezien het feit dat hier een powerfunctie is gefit, gelden dezelfde aangroeiverhoudingen ook voor andere tiendelige verhoudingen, zoals T100 / T10 en T10 / T1.

De verhouding T1000 / T10 is dan:

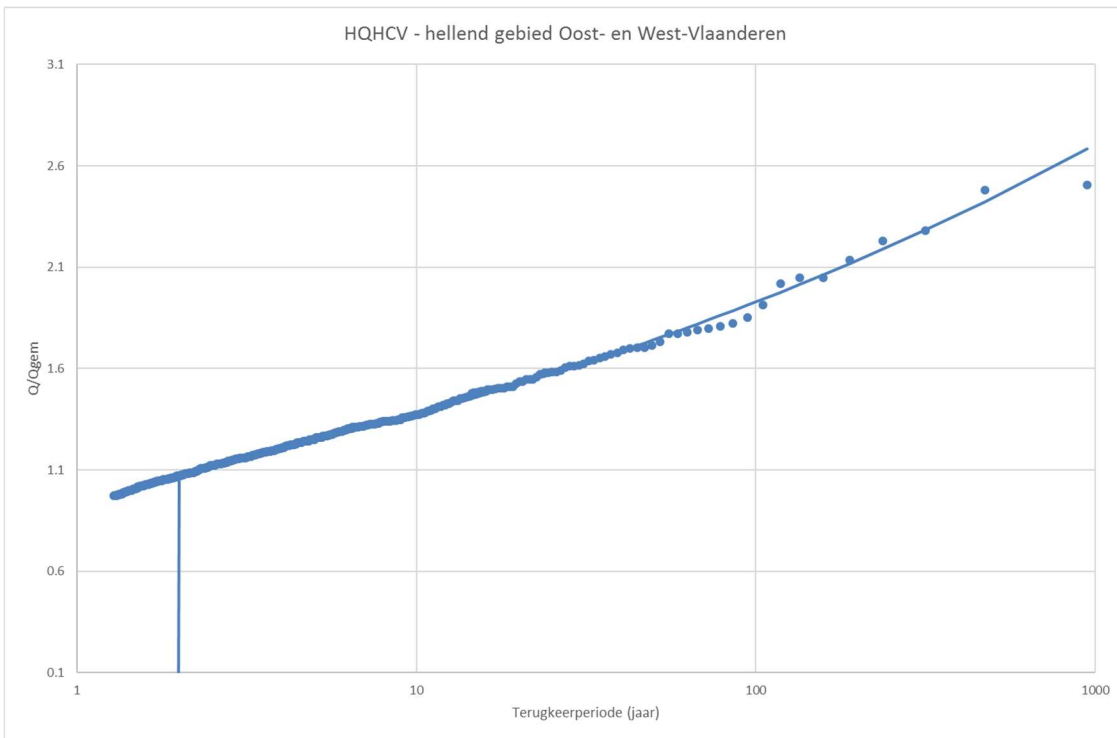
- hellend gebied Oost- en West-Vlaanderen: 1.96
- droge Leemstreek: 2.31
- Zandstreek: 2.19

Voor de pilootgebieden worden volgende parameters gehanteerd voor de verhouding T1000 / T100:

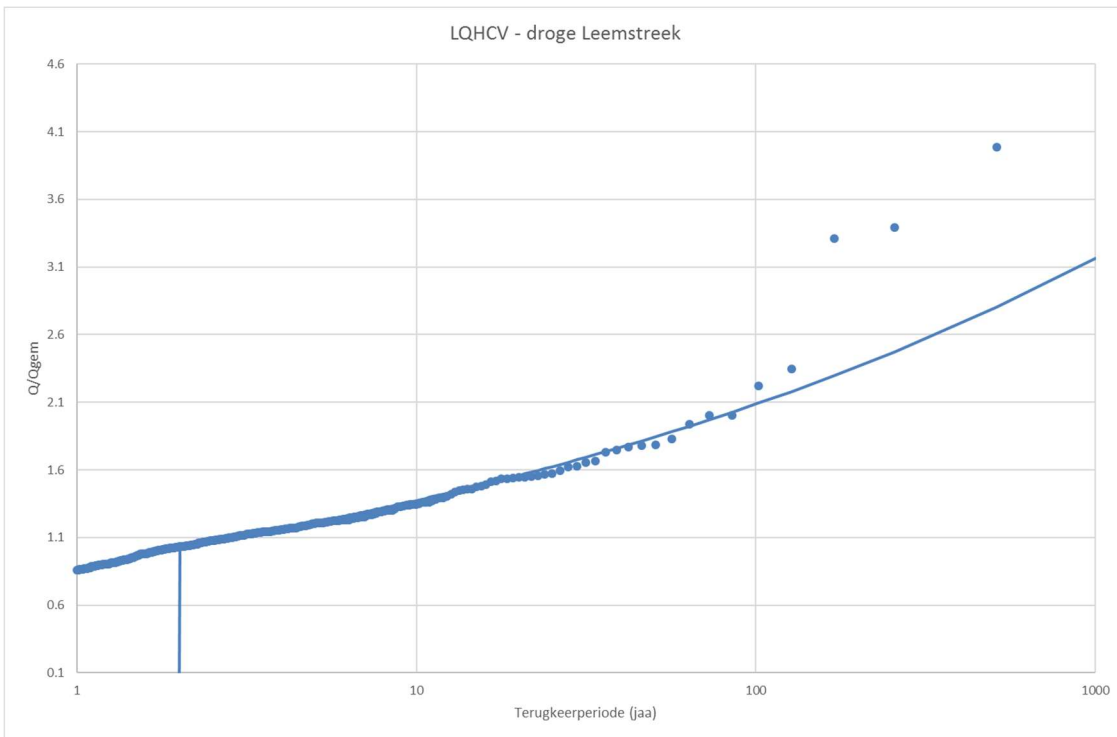
- Molenbeek / Beersel: droge Leemstreek = 1.52
- Benedenvliet: Zandstreek = 1.48
- Waasland: droge Leemstreek = 1.52



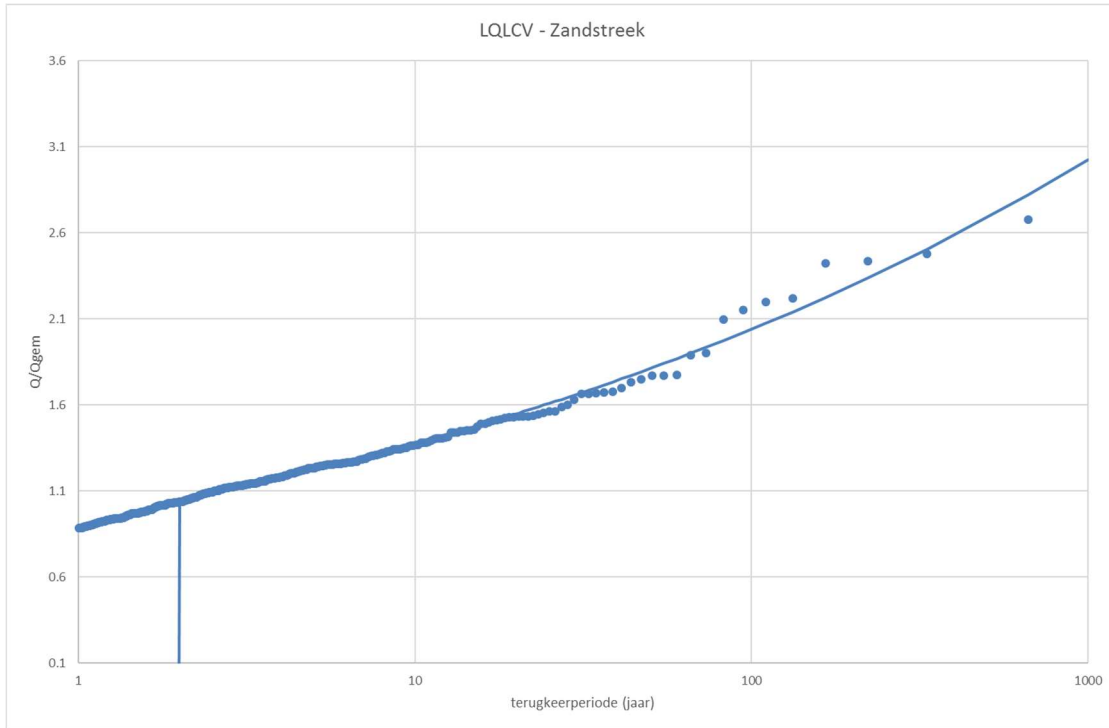
figuur97: AangroEICurve voor hellend gebied Oost- en West-Vlaanderen.



figuur98: AangroEICurve voor droge Leemstreek



figuur99: AangroEICurve voor Zandstreek.



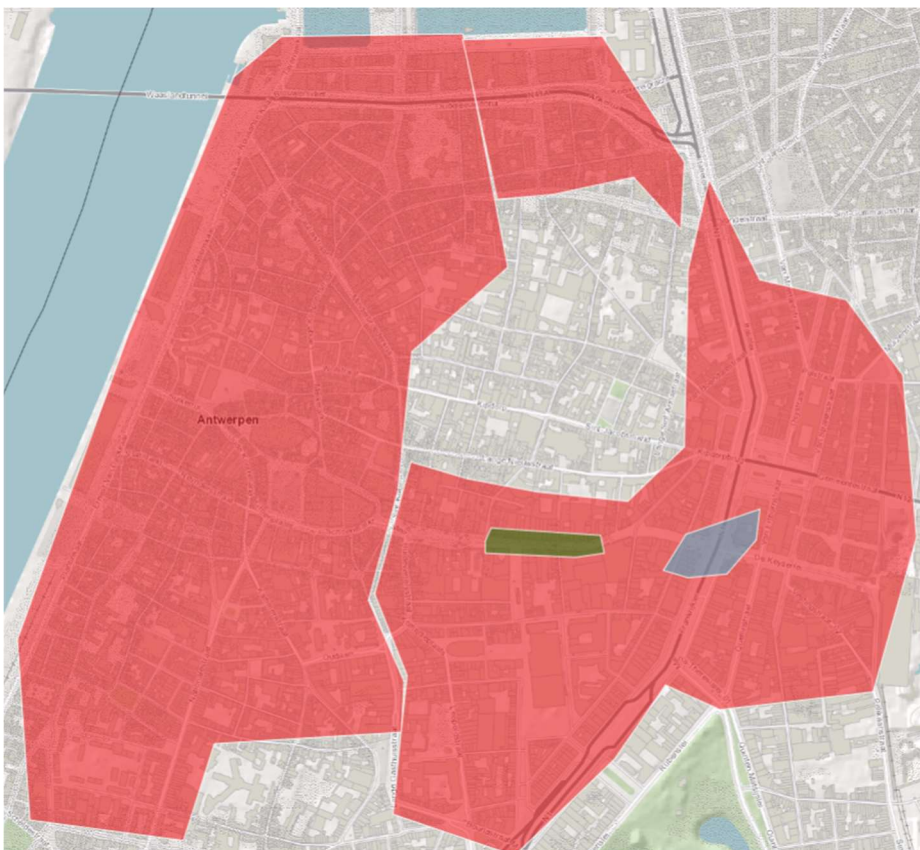
bijlage 8 Implementatie van verhoogde afvoer t.h.v. Ruien

B8.1 Objectief

Ter hoogte van stedelijke verharding wordt de afvoer via een ondergronds rioolstelsel vereenvoudigd in rekening gebracht door van de neerslagreeksen een standaard composietbui T2 af te trekken. Voor rioolstelsels die sterk overgedimensioneerd zijn t.o.v. de klassieke ontwerpcriteria is dit echter een onderschatting van de hoeveelheid neerslag die werkelijk wordt afgevoerd via het ondergrondse stelsel. Dit is bv. het geval ter hoogte van de Ruien in Antwerpen, die eigenlijk ingebuisde historische grachten zijn die geïntegreerd werden in het rioleringsstelsel.

Door de Stad Antwerpen werd via de review website een zone aangeduid die onder invloed staat van de afvoer via de Ruien (rood aangeduide zone in onderstaande figuur100).

figuur100: Aangebrachte notities op VLAGG.be door Stad Antwerpen met aanduiding van zone onder invloed van Ruien

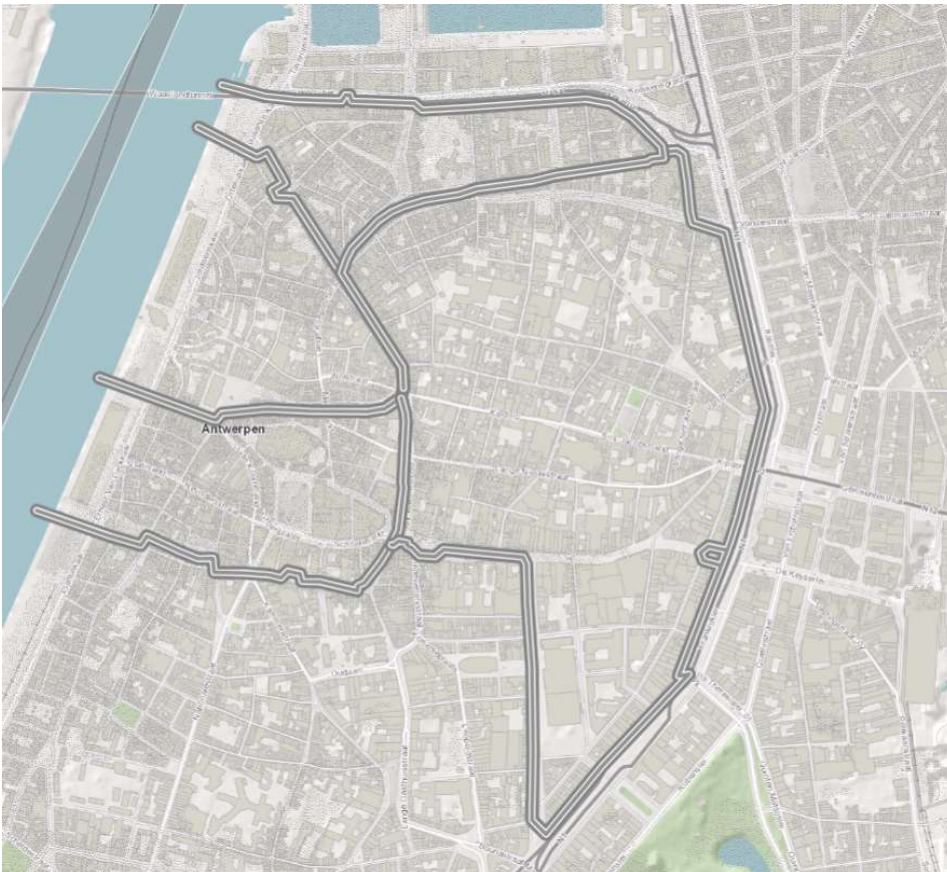


B8.2 Aanpak

De Ruien (ligging weergegeven in figuur101) zijn ondergrondse stadsgrachten die initieel een systeem van open grachten vormden en later werden overwelfd. Omdat er in dit specifieke geval van uitgegaan kan worden dat deze voldoende capaciteit hebben om een bui met terugkeerperiode 20 jaar op te vangen zonder opstuwning, dringt een afwijkende aanpak zich hier op.

Het is technisch niet eenvoudig om voor een specifiek gebied de impact van de riolering (standaard voorgesteld door een T2-correctie op elke bui) te wijzigen naar een T20-correctie. Zo zou de inrekening van een dergelijke T20-correctie in de bui zelf enkel een effect hebben op het neerslagvolume dat ter hoogte van deze zone valt, terwijl in werkelijkheid de hogere afvoercapaciteit van de riolering ook een effect kan hebben op water dat van andere zones afstroomt naar deze locatie en daar in de riolering verdwijnt.

figuur101: Ligging van de Ruien in Antwerpen



Als alternatief wordt daarom een specifieke ‘drainage grid’ ingebracht ter hoogte van de Ruien die de afvoer doorheen de straatkolken naar de Ruien weergeeft. Een dergelijk drainage grid onttrekt in het hydraulisch model zelf een bepaald debiet aan alle cellen binnen dit drainage grid (dit dus in tegenstelling tot de manier waarop de T2 afvoer in rekening gebracht werd: deze werd rechtstreeks in mindering gebracht op het neerslagprofiel dat toegepast wordt). Idealiter zou elke straatkolk ingegeven worden met een specifiek afvoerdebiet per straatkolk om de oppervlakkige afstroming correct weer te geven. Omdat deze gebiedsspecifieke gegevens (exacte ligging van de straatkolken) ontbreken, is echter de aanname gemaakt dat de afstroming uniform kan plaatsvinden over de volledige straatoppervlakte gelegen boven de Ruien. Deze aanname wordt onderbouwd door de code van goede praktijk die aangeeft dat rioolkolken op straatniveau gedimensioneerd en geplaatst moeten zijn om een bui met terugkeerperiode 20 jaar te kunnen verwerken. Voor de modelimplementatie wordt aan het drainage grid een waarde van 39 mm/u gegeven. Dit stemt overeen met de intensiteit van een bui met terugkeerperiode 20 jaar (112 mm/h) verminderd met de intensiteit van een bui met terugkeerperiode 2 jaar (73 mm/h), die hoe dan ook al standaard in mindering gebracht wordt (via het neerslagprofiel).

Er is bij de implementatie van de Ruien gekozen om het drainage grid enkel toe te passen op de straatoppervlakte boven de Ruien zelf, en niet in de ruimere invloedzone van de Ruien, omdat niet gegarandeerd kan worden dat de riolen in de aangrenzende straten een bui met terugkeerperiode 20 jaar zonder opstuwing tot aan de Ruien kan transputeren. Hiertoe werd gekeken welke straatpolygoonen uit het GRB het tracé van de Ruien kruisen. De totale oppervlakte waarbij drainage aangenomen wordt bedraagt 0.27 km² (zie figuur106). Voor het resterende gedeelte van de binnenstad is er geen garantie dat de voorgestelde aanpak een betere weergave zal geven van de wateroverlast omwille van de complexe ondergrondse interacties die binnen huidig modelconcept niet benaderd kunnen worden.

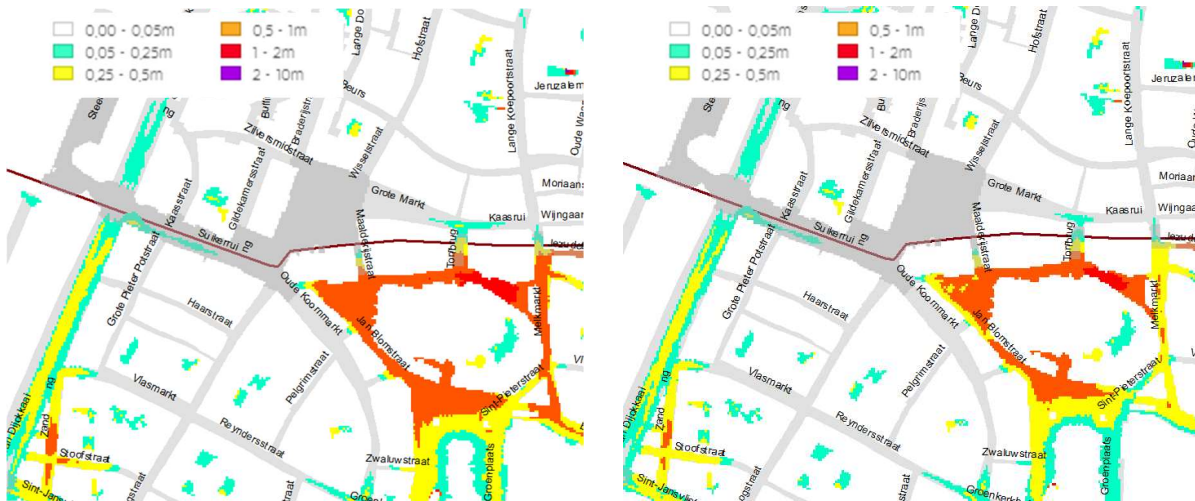
B8.3 Impact

Uit een vergelijking van de modelresultaten met en zonder opname van het drainage grid blijkt dat hierdoor zoals verwacht een aanzienlijke hoeveelheid water aan het model onttrokken wordt. In figuur102 en figuur103 wordt de impact van het drainagegrid weergegeven op de overstromingsdieptes bij een bui met terugkeerperiode 100 jaar. Een vergelijking van de gesimuleerde overstroombare oppervlakte met en zonder de implementatie van het drainage grid is weergegeven in figuur104. Bij deze ruimtelijke analyse is enkel de polygoon van het drainage grid zelf in rekening gebracht.

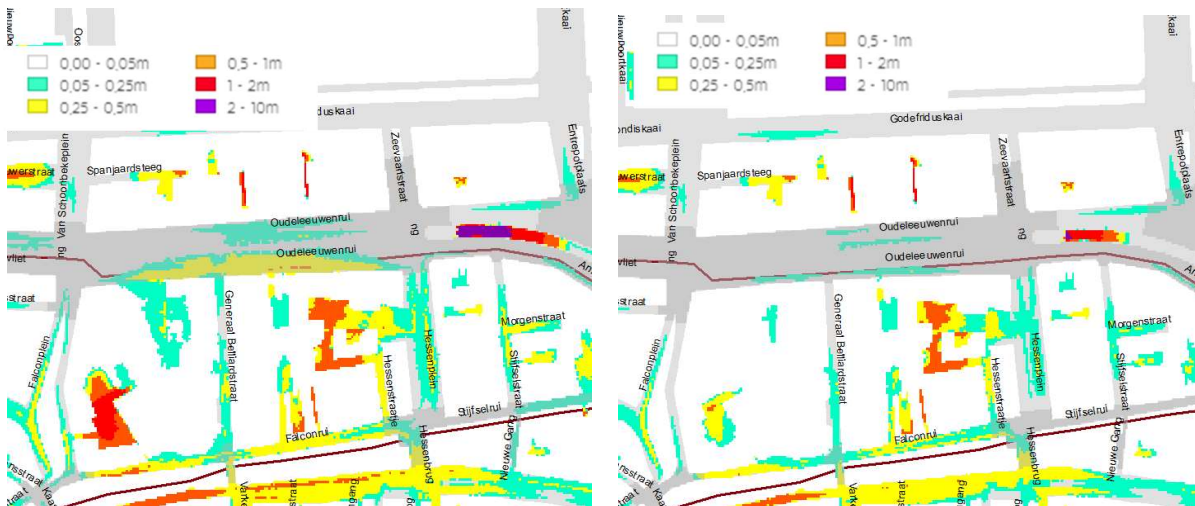
Een reductie van ca 50 % overstroombare oppervlakte wordt waargenomen ter hoogte van het drainage grid. Dit effect is het sterkst waarneembaar in de twee laagste diepteklassen. Voor de andere diepteklassen wordt eveneens een reductie bekomen door het implementeren van het drainage grid, maar minder uitgesproken. In de omliggende straten is het effect van dit drainage grid beperkt, al is ook hier een beperkte reductie op de gesimuleerd overstromingscontouren en waterdieptes te merken.



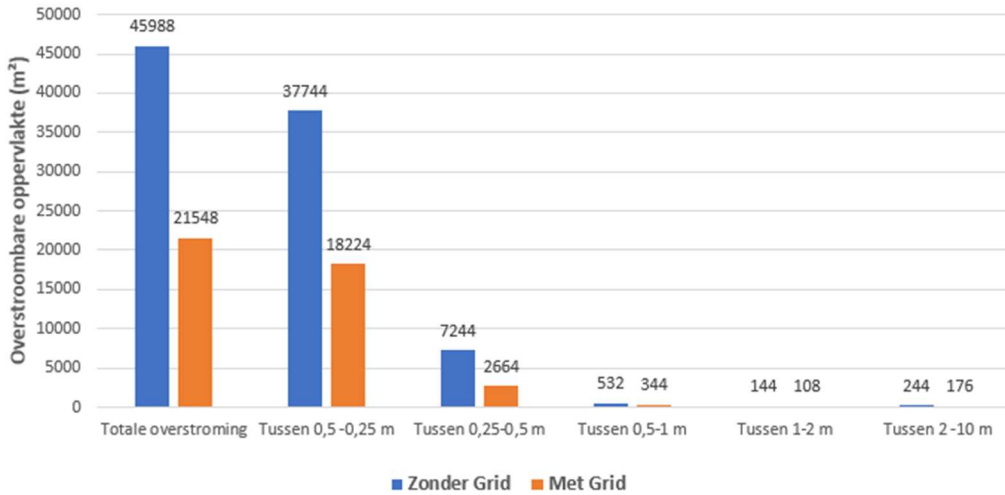
figuur102: Illustratie voor (links) en na (rechts) implementatie drainagegrid bij terugkeerperiode 100 jaar: case rond kathedraal. Donkergrijzezone geeft drainagegrid weer



figuur103: Illustratie voor (links) en na (rechts) implementatie drainagegrid bij terugkeerperiode 100 jaar: case Oudeleeuwenri – Ankerrii. Donkergrijzezone geeft drainagegrid weer

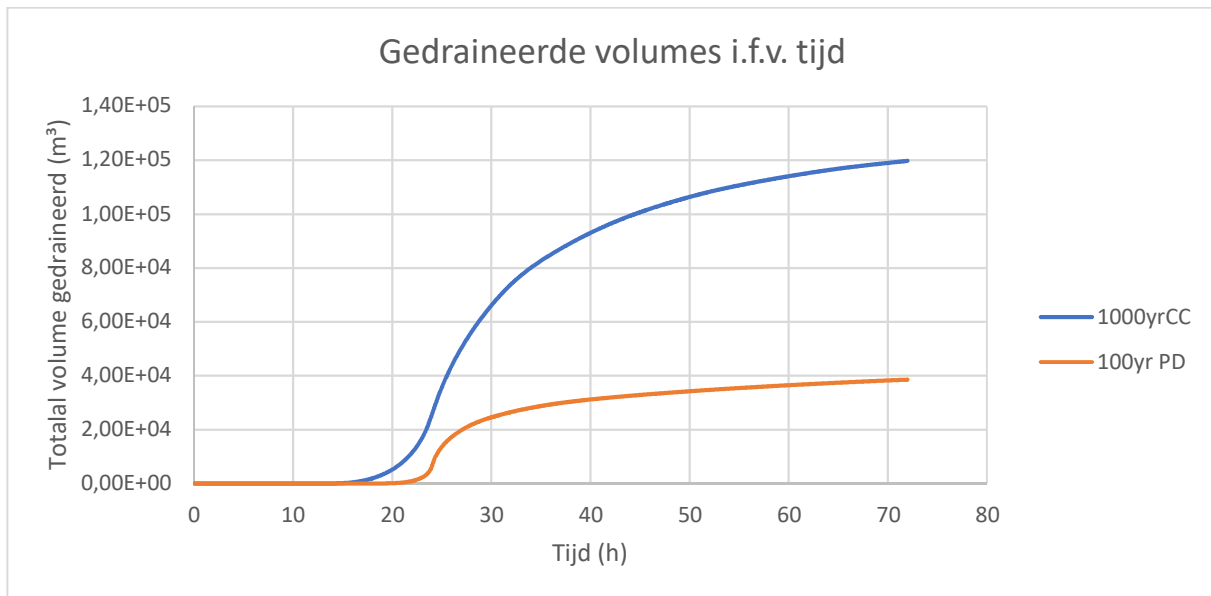


figuur104: Impact van implementatie drainagegrid op de overstroombare oppervlakte: ruimtelijke analyse uitgevoerd enkel ter hoogte van het drainage grid

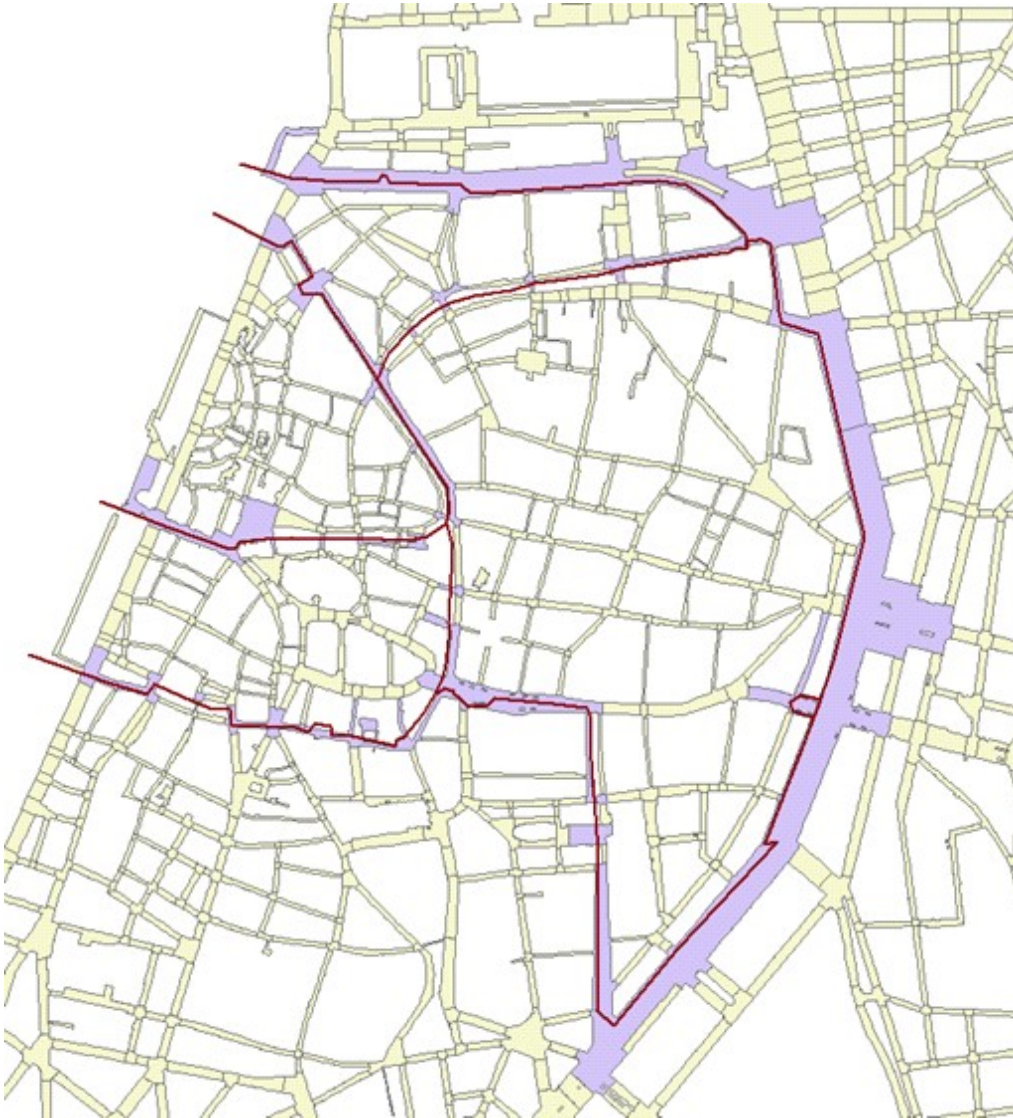


In figuur105 is voor 2 scenario's (T100 huidig klimaat en T1000 onder klimaatwijziging) weergegeven hoeveel water afgevoerd wordt doorheen het drainage grid gedurende de simulatietijd.

figuur105: gedraineerde volumes doorheen het drainage grid i.f.v. tijd.



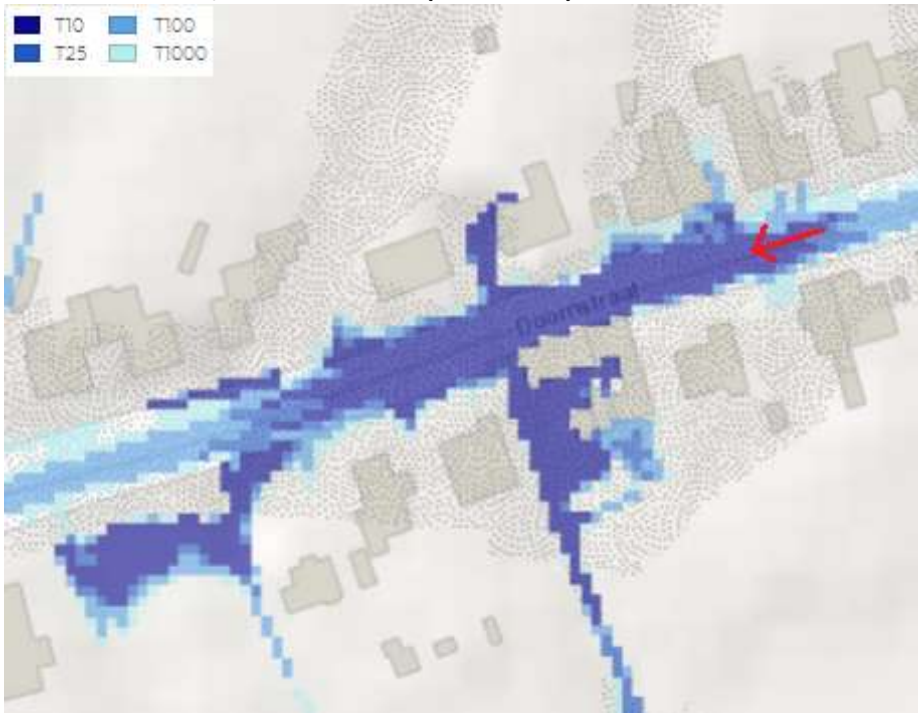
figuur106: Straatoppervlakte (paars) waarbij verhoogde drainage naar Ruien verondersteld wordt.



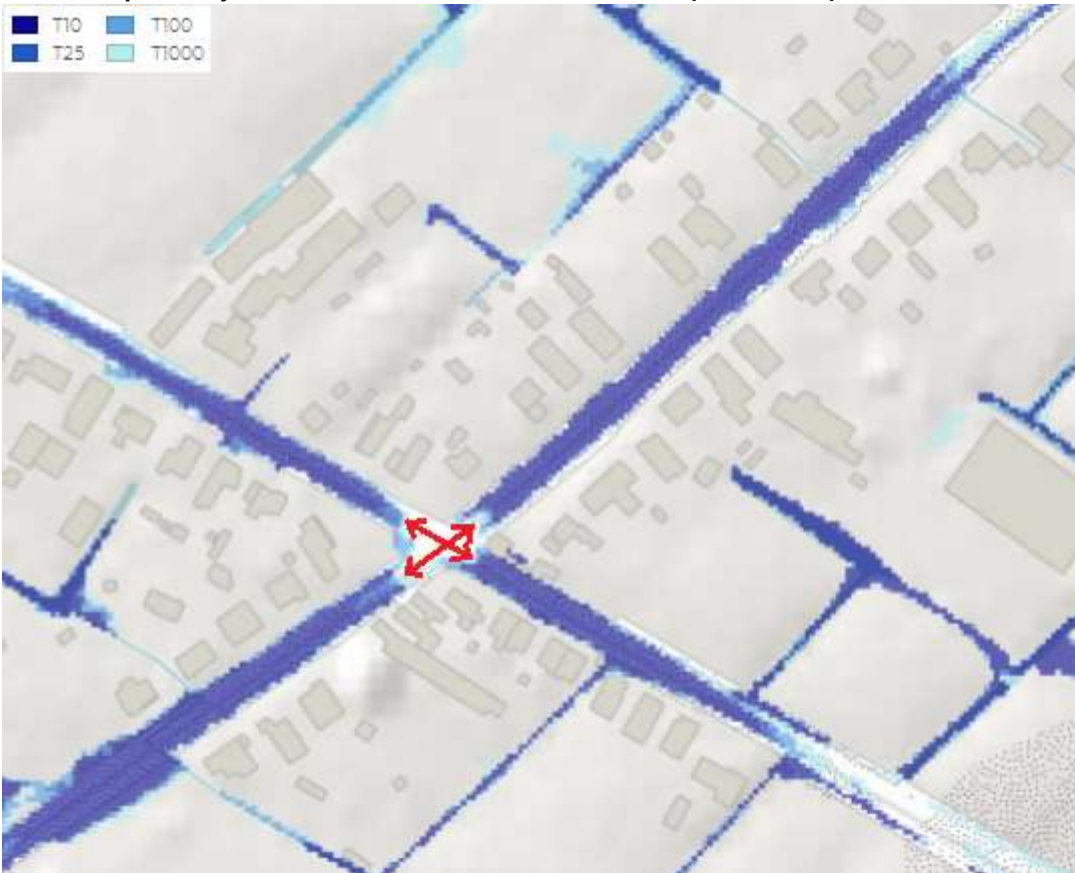
bijlage 9 Validatie VLAGG kaarten aan recente overstromingen

Hieronder wordt voor een aantal locaties een vergelijking getoond van de VLAGG kaarten met fotomateriaal van een aantal recente periodes van wateroverlast. Op de figuren wordt met een rode pijl steeds aangeduid op welke locatie en in welke richting de foto's genomen werden. In de hoofding is ook steeds vermeld wat de geschatte terugkeerperiode is van de neerslag tijdens de periode van wateroverlast.

B9.1 Doornstraat, Sint-Gillis-Waas (T30 à T100)



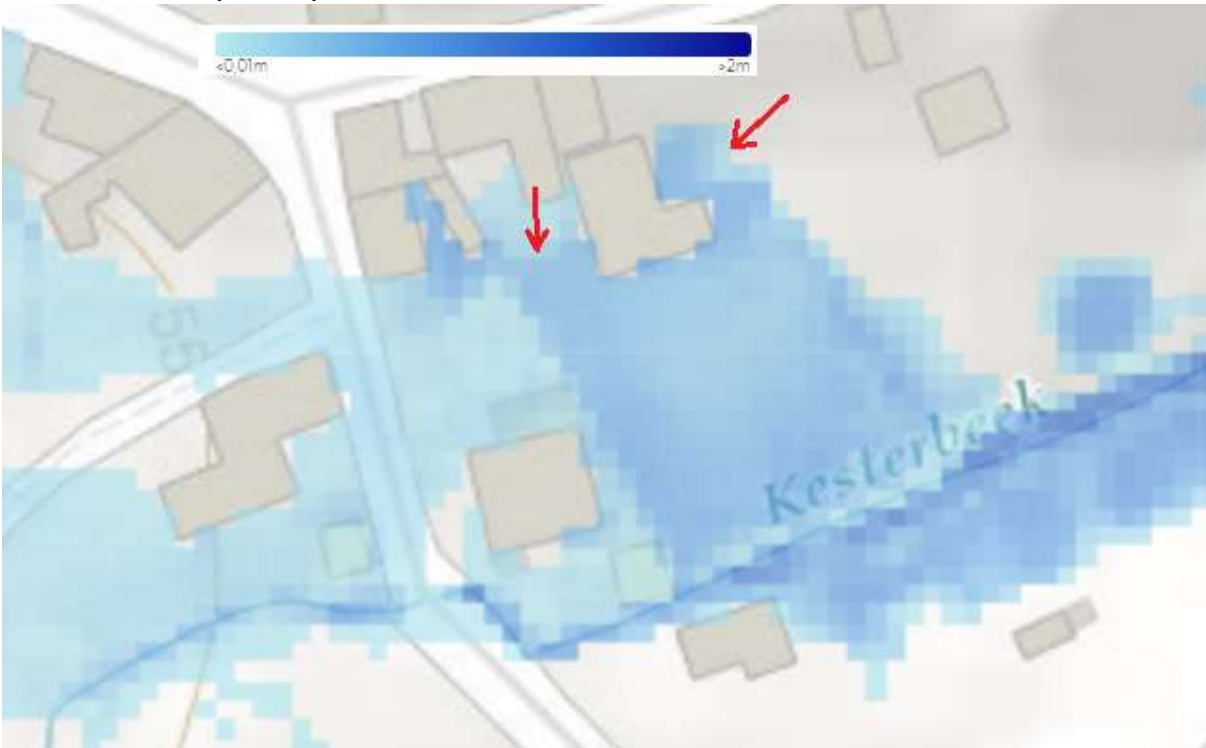
B9.2 Kruispunt Wijnstraat – Beekstraat, Sint-Gillis-Waas (T30 à T100)



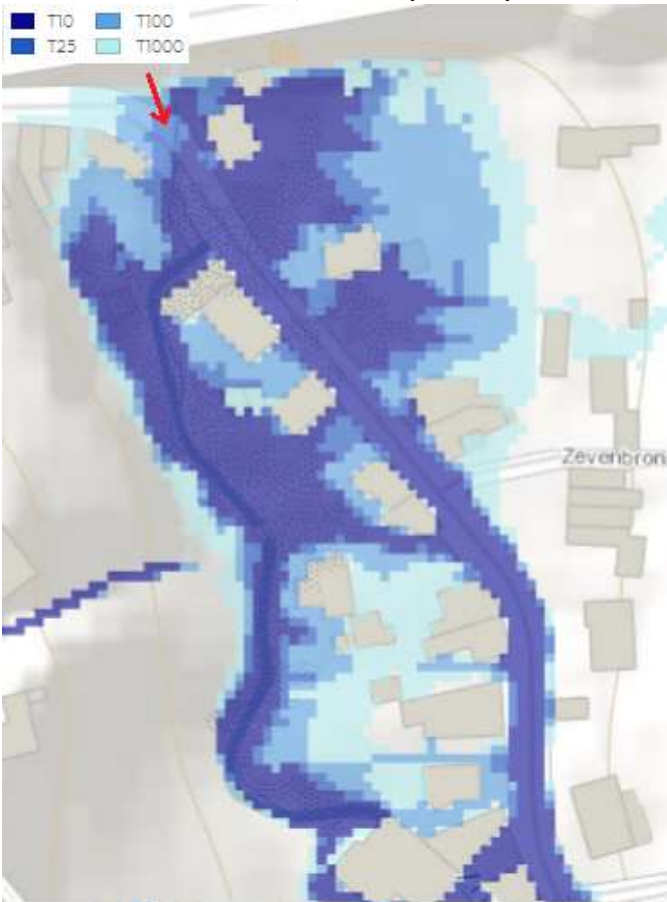
B9.3 Gaversstraat, Burg. K.L. Verbraekenstraat, Pompstraat, Sint-Gillis-Waas (T30 à T100)



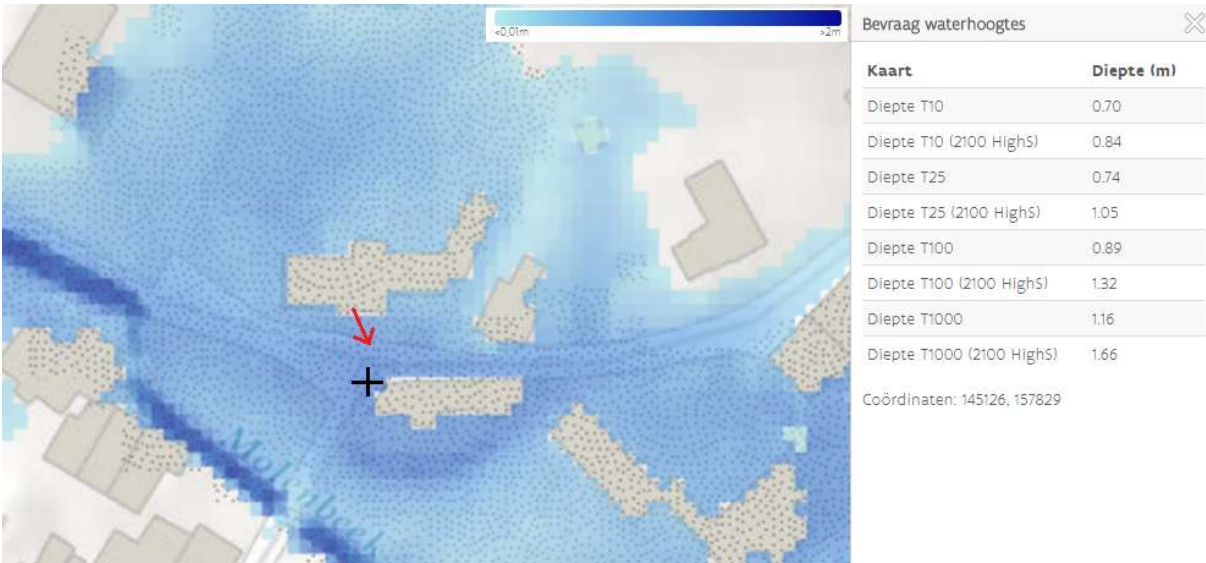
B9.4 Ast, Beersel (±T1000)



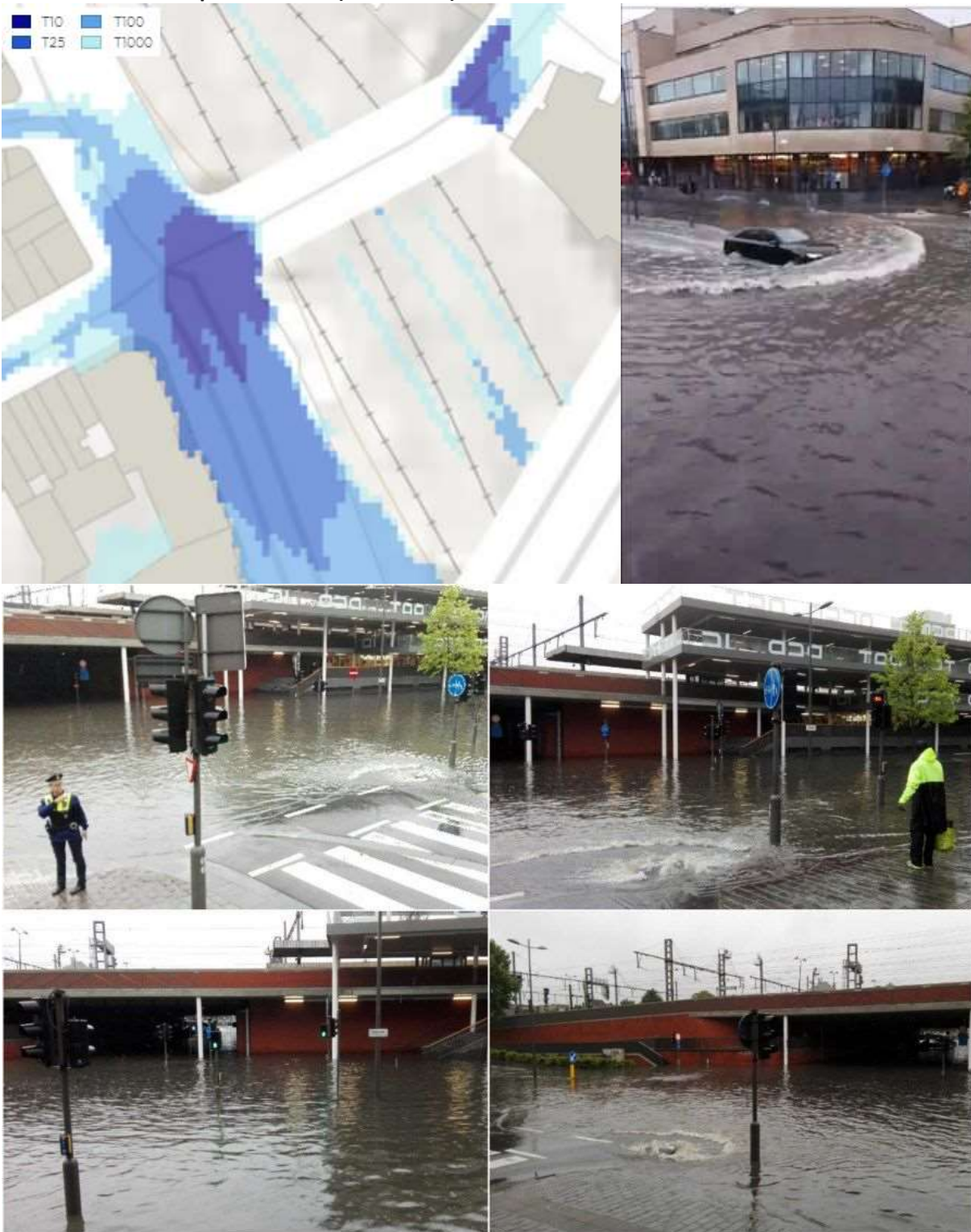
B9.5 Zevenbronnestraat, Beersel (±T1000)



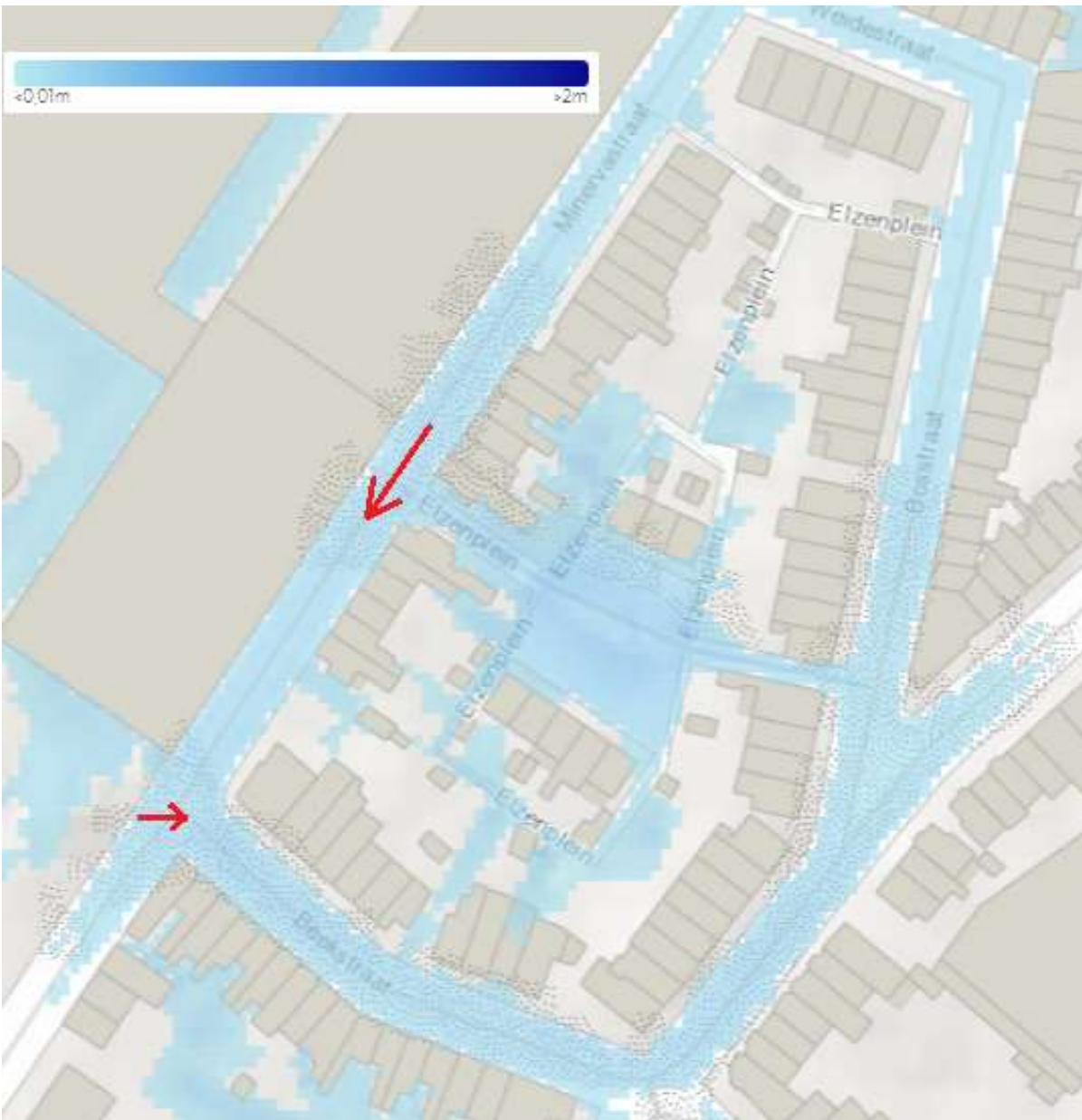
B9.6 Molenbeekstraat, Beersel (±T1000)



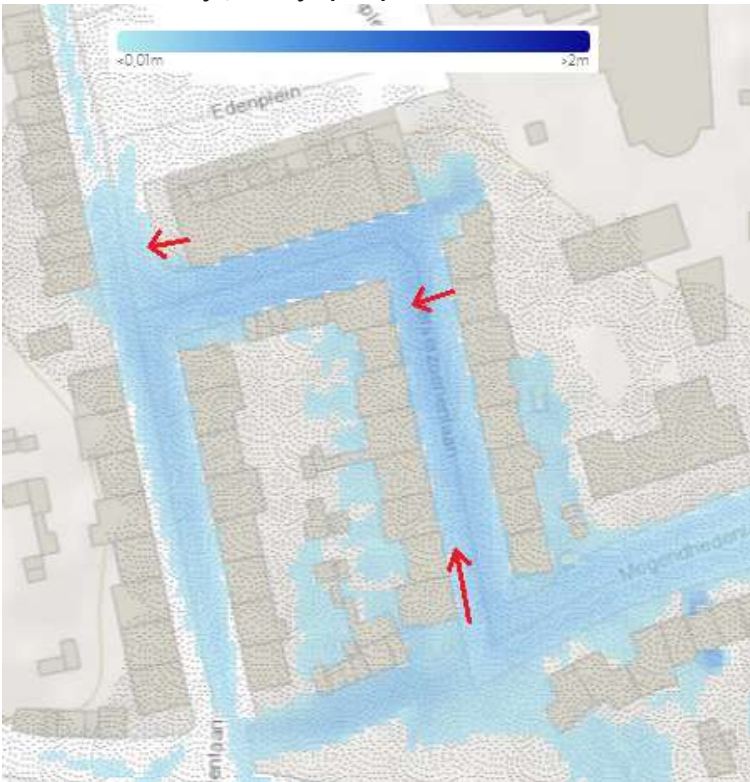
B9.7 Station Antwerpen-Berchem (T10 à T100)



B9.8 Minervawijk, Mortsel (<T10)



B9.9 Neerlandwijk, Wilrijk (±T5)



bijlage 10 Aantal percelen gelegen in afstromingsgevoelig gebied

tabel 61: Aantal percelen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende scenario's

Deelbekken	Klimaat 2016					Hoog Zomer 2100			
	T2	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
01-01	2837	3662	3934	4336	4741	4327	4607	4985	5304
01-02	16703	21722	24700	29887	35463	28074	32265	37644	43172
01-03	23975	34566	41022	51652	62855	48357	56797	67454	77388
01-04	12404	15787	17294	19894	22986	19858	22194	25730	29474
01-05	16507	21578	24291	28945	34316	28429	32567	38437	44538
01-06	5260	6997	7812	9232	10782	9153	10341	11852	13368
01-07	12266	16397	18444	21977	26257	21464	24774	29214	33953
02-01	23283	34577	42176	54285	68149	49619	59727	72743	84904
02-02	12254	15928	18021	21756	25978	20484	23625	27587	31134
02-03	9917	14445	17260	21891	26807	20375	23850	28680	33044
02-04	5934	10240	12167	15107	17747	14520	16463	18819	21163
02-05	5368	8008	9279	11479	14017	10934	12784	15286	18142
02-06	10338	14074	16120	19386	23117	18794	21667	25415	29262
02-07	10060	13955	15837	18789	22039	18181	20603	23917	27560
02-08	4298	6285	7335	9050	10935	8604	10013	11977	14041
03-01	12854	20752	23545	27780	31522	27322	29820	33279	36526
03-02	13213	20746	24146	29467	35283	27918	32202	37813	43795
03-03	11459	14650	16009	18317	21049	18147	20152	23086	26160
03-04	5196	7613	8658	10365	12461	9917	11337	13410	15534
03-05	2180	7978	13975	24603	36932	19288	28434	40031	50895
03-06	9993	17362	21007	26758	32897	25019	29337	34986	40510
03-07	10796	19301	23666	30719	38239	28493	34221	41157	47738
04-01	12252	21393	26188	33208	40697	30922	36374	43382	50438
04-02	5518	8838	10582	13326	16301	12629	14707	17660	20864
04-03	15997	23833	27842	34200	41288	32328	37451	44428	51232
04-04	766	3674	8327	17302	26572	12360	20076	28376	34444
04-05	8605	16466	24219	38989	55700	32531	44662	60671	75976
04-06	8896	17521	26241	42877	60176	35174	48836	65208	80354
04-07	6304	12406	17845	28689	41943	23828	33735	46667	60882
04-08	7379	10312	12113	15105	18720	14212	16790	20541	24325
04-09	13195	18485	21265	26232	32833	25392	30100	37000	44687
04-10	9302	13306	15136	18384	22376	17566	20323	24416	29140
04-11	16301	22441	26385	33339	42139	32230	39053	49157	61549
04-12	14558	24958	30687	40237	50749	36679	44366	54475	65120
05-01	13409	20896	25736	34618	45325	32014	39967	51044	62372
05-02	8107	11671	13749	17470	22007	16659	20018	24696	29539
05-03	15498	23641	28580	36670	46199	34602	41750	51702	62343

bijlage 11 Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied

tabel 62: Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per deelbekken voor verschillende scenario's

Deelbekken	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
01-01	131	206	294	443	268	365	510	712
01-02	1709	2846	5232	8549	4122	6286	9593	13612
01-03	3749	6601	12175	19067	9650	14511	21437	29572
01-04	1003	1363	2092	3113	1850	2596	3705	5178
01-05	1822	2776	4439	6790	3929	5531	8091	11250
01-06	436	641	1031	1619	921	1385	2010	2757
01-07	1095	1584	2599	4194	2234	3358	4996	7207
02-01	4766	8430	14759	23166	11751	17499	25837	36037
02-02	1455	2313	4164	6680	3252	5041	7565	10329
02-03	599	1316	2827	5329	2043	3560	6155	9396
02-04	291	514	1032	1839	761	1359	2157	3275
02-05	418	670	1237	2093	991	1603	2529	4179
02-06	712	1162	1981	3176	1690	2496	3779	5469
02-07	453	713	1284	2147	1080	1670	2624	4087
02-08	325	544	1006	1795	783	1273	2177	3347
03-01	329	531	1028	1794	820	1299	2148	3542
03-02	718	1306	2457	4282	1924	3097	5031	7948
03-03	571	878	1497	2454	1309	1940	3007	4484
03-04	261	468	862	1603	699	1108	1893	3031
03-05	3785	7920	15277	24651	11481	18305	27087	35759
03-06	766	1433	2902	5154	2147	3601	5870	8987
03-07	1693	3137	5798	8995	4530	7134	10201	13716
04-01	1158	2268	4334	7615	3326	5509	8855	13295
04-02	1007	1608	2652	4015	2239	3158	4632	6646
04-03	1371	2432	4430	7582	3561	5633	8916	13550
04-04	3095	7597	15579	24051	11330	18301	25904	32164
04-05	2298	4161	8843	16609	6275	11084	19143	30950
04-06	2479	5551	12405	21305	8562	14948	23858	35198
04-07	3461	6102	11790	20006	8931	14513	22875	34139
04-08	1683	2195	3275	4870	2824	3869	5637	8411
04-09	1908	2730	4483	7292	3991	5819	8899	12941
04-10	1187	1889	3335	5425	2832	4222	6458	9535
04-11	2458	3835	6579	10383	5832	8473	12798	18294
04-12	2104	4006	8096	13841	6070	10071	15830	22698
05-01	3475	5872	10826	17141	8762	13379	19893	27626
05-02	1374	2179	3786	6134	3178	4804	7338	10516



Deelbekken	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
05-03	3401	5401	9328	14874	7785	11675	17546	25097
05-04	730	1092	1746	2902	1532	2299	3554	5257
05-05	3434	5427	9510	15578	7779	11877	18303	26771
05-06	1131	1862	3180	5158	2629	3942	6131	9288
06-01	889	1247	1974	3003	1771	2554	3673	5161
06-02	1068	1474	2213	3156	2011	2702	3724	4946
06-03	1835	2601	4210	6302	3781	5324	7556	10410
06-04	912	1404	2329	3665	2043	2957	4474	6727
06-05	1092	1613	2862	4400	2579	3809	5425	7505
07-01	3322	5447	9580	15496	7927	12041	18307	25434
07-02	607	873	1403	2257	1264	1843	2760	3922
07-03	2092	3421	5809	9263	5184	7639	11342	15920
07-04	1278	1826	2732	4139	2557	3602	5188	7464
07-05	1126	1649	2753	4212	2532	3620	5224	7156
07-06	1241	1792	2807	4273	2596	3636	5243	7389
07-07	607	834	1269	1982	1241	1744	2584	3701
08-01	841	1183	1843	2834	1712	2445	3541	5052
08-02	3685	4938	7341	10674	6642	9092	12674	16938
08-03	2106	2981	4550	6805	4102	5621	8226	11647
08-04	1584	2000	2810	3915	2720	3488	4868	6928
08-05	1378	2014	3057	4552	2848	3911	5482	7440
08-06	2727	4523	7793	12232	6719	9823	14404	19500
08-07	2083	2975	4698	7334	4167	5899	8880	12915
08-08	2447	4344	7851	12394	6221	9380	13916	19371
08-09	1443	2050	3222	5064	2932	4075	6217	9384
08-10	672	1196	2521	4618	1864	3211	5554	9026
08-11	362	600	1041	1799	849	1357	2106	3229
08-12	538	781	1318	2011	1180	1689	2558	3812
09-01	1275	1755	2672	4038	2529	3460	5102	7402
09-02	695	986	1575	2273	1516	2045	2841	4188
09-03	1099	1436	1962	2590	1878	2292	3025	3898
09-04	2786	3723	5267	7188	4988	6327	8286	10411
09-05	1144	1664	2479	3499	2371	3089	4196	5507
09-06	455	616	991	1491	942	1283	1854	2708
09-07	974	1414	2237	3585	1939	2846	4462	7031
09-08	669	1043	1799	3067	1533	2295	3778	6137
09-09	490	831	1369	2303	1134	1723	2818	4465
09-10	1664	2859	5039	8129	4063	6097	9454	14242
09-11	1670	2256	3319	4852	3098	4253	6031	8569
09-12	1846	2534	3882	5544	3544	4775	6457	8732



Deelbekken	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
09-13	491	745	1178	1804	1098	1546	2238	3149
09-14	1923	2731	4362	6885	3830	5552	8332	12240
10-01	1593	2700	4918	8129	3909	6033	9543	14332
10-02	750	1214	2194	3594	1819	2723	4323	6728
10-03	389	642	1096	1960	921	1392	2357	4091
10-04	458	727	1247	2146	1004	1533	2493	4074
10-05	437	706	1247	2117	994	1533	2496	4044
10-06	483	792	1451	2505	1149	1771	2975	4834
10-07	697	1196	2109	3492	1678	2609	3956	5967
10-08	338	524	961	1689	757	1202	2023	3356
10-09	564	912	1638	2762	1345	2056	3263	5017
10-10	653	1140	2104	3475	1652	2577	4089	6273
10-11	503	854	1582	2675	1220	1951	3089	4976
10-12	1324	2351	4608	7646	3539	5573	8644	12834
10-13	523	751	1292	2218	1044	1618	2591	4166
11-01	331	536	1006	1834	778	1292	2176	3586
11-02	283	485	937	1669	726	1185	1995	3232
11-03	511	824	1464	2493	1167	1830	2983	4691
11-04	79	132	225	429	186	303	520	962
11-05	716	1204	2223	3789	1748	2689	4386	7282
11-06	197	352	616	1015	492	736	1174	1940
11-07	2073	3054	4813	7506	4193	5921	8746	12969
11-08	740	1187	1987	3154	1636	2385	3608	5157
11-09	859	1363	2418	3844	1954	2933	4389	6735
11-10	2373	3154	4488	6315	4195	5562	7360	9639
11-11	452	503	577	665	585	659	760	905
Vlaanderen	135283	219221	383468	614463	316269	475704	717711	1033696

////////////////////////////////////

tabel 63: Aantal gebouwen gelegen in afstromingsgevoelig gebied per gemeente voor verschillende scenario's

<i>Gemeente</i>	<i>Klimaat 2016</i>				<i>Hoog Zomer 2100</i>			
	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>
Aalst	2196	3702	6641	11079	5562	8533	13107	17886
Aalter	203	355	631	1101	525	845	1324	2093
Aarschot	797	1198	1817	2818	1613	2229	3348	4864
Aartselaar	231	419	717	1149	599	906	1393	2055
Affligem	324	524	890	1347	828	1199	1663	2352
Alken	265	344	542	810	498	705	1019	1489
Alveringem	275	371	544	811	500	685	942	1298
Antwerpen	7057	16062	34368	56686	24284	41049	62251	84634
Anzegem	307	466	794	1265	700	1036	1578	2365
Ardoois	315	472	741	1089	680	946	1354	1923
Arendonk	145	249	493	878	371	647	1010	1610
As	106	145	228	395	207	301	511	808
Asse	574	812	1310	2127	1175	1755	2672	3940
Assenede	206	298	480	788	415	596	940	1495
Avelgem	305	466	768	1162	669	949	1385	1897
Baarle-Hertog	47	81	136	243	99	168	279	421
Balen	206	349	668	1166	512	846	1373	2233
Beernem	236	363	686	1075	571	867	1305	2030
Beerse	269	388	655	1103	553	797	1299	2041
Beersel	1002	1227	1699	2395	1591	2093	2957	4078
Begijnendijk	92	143	225	416	198	315	513	853
Bekkevoort	162	203	332	477	323	441	637	913
Beringen	472	733	1267	2172	1063	1598	2644	4298
Berlaar	199	325	537	783	465	630	912	1383
Berlare	155	291	615	1118	464	789	1342	2068
Bertem	495	625	841	1085	824	1009	1299	1659
Bever	61	72	94	169	95	143	215	319
Beveren	798	1428	2589	4450	2097	3305	5248	7805
Bierbeek	253	338	531	797	524	708	1014	1438
Bilzen	693	985	1628	2609	1464	2154	3166	4473
Blankenberge	621	1232	2219	3230	1713	2545	3514	4671
Bocholt	199	322	539	859	459	660	1001	1554
Boechout	145	241	419	648	325	499	764	1268
Bonheiden	54	133	333	617	215	405	759	1295
Boom	340	602	1140	1867	844	1395	2150	2956
Boortmeerbeek	138	232	372	691	334	485	818	1341
Borgloon	375	535	820	1216	765	1056	1454	2051
Bornem	314	473	871	1465	716	1115	1770	2732

////////////////////////////////////

Gemeente	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
Borsbeek	124	241	455	748	359	557	833	1408
Boutersem	194	289	472	698	437	611	844	1221
Brakel	511	682	1084	1595	1009	1422	2001	2709
Brasschaat	324	523	1055	2137	792	1350	2485	4433
Brecht	361	524	964	1639	764	1193	1895	3195
Bredene	631	1028	1704	2724	1373	2047	3062	4436
Bree	528	756	1185	1722	1031	1415	1960	2705
Brugge	3268	5989	10839	17927	8331	12899	19889	28064
Buggenhout	448	655	1044	1610	900	1314	1864	2577
Damme	166	280	500	885	416	641	1096	1753
De Haan	706	996	1543	2335	1343	1842	2697	3984
De Panne	252	487	955	1572	705	1139	1742	2485
De Pinte	58	99	216	404	168	258	473	904
Deerlijk	280	446	778	1250	619	994	1487	2209
Deinze	600	887	1505	2367	1241	1802	2714	4094
Denderleeuw	422	722	1271	2065	1110	1648	2510	3490
Dendermonde	1234	2198	3761	5950	3024	4553	6898	9886
Dentergem	106	191	369	591	307	483	756	1152
Dessel	54	104	219	422	164	276	512	881
Destelbergen	184	324	644	1190	481	832	1404	2243
Diepenbeek	283	375	652	1042	539	805	1291	2033
Diest	1151	1504	2048	2834	1920	2443	3308	4453
Diksmuide	574	799	1335	1989	1174	1661	2327	3187
Dilbeek	589	856	1413	2220	1272	1860	2861	4327
Dilsen-Stokkem	445	698	1123	1773	930	1362	2006	2889
Drogenbos	667	716	830	953	791	889	1022	1150
Duffel	269	421	772	1263	619	965	1485	2345
Edegem	244	455	880	1519	676	1058	1739	2797
Eeklo	344	690	1414	2528	1052	1809	2936	4315
Erpe-Mere	671	908	1397	2132	1281	1805	2626	3733
Essen	184	309	566	1040	439	718	1229	2000
Evergem	269	486	928	1713	710	1191	2019	3397
Galmaarden	199	285	440	650	431	586	858	1234
Gavere	334	504	772	1194	703	989	1465	2100
Geel	590	908	1513	2400	1222	1839	2761	4180
Geetbets	191	246	391	588	365	512	707	1018
Genk	894	1359	2131	3327	1805	2560	3883	5913
Gent	5109	10633	20869	34371	15579	25257	38042	51166
Geraardsbergen	1068	1549	2568	3926	2358	3351	4876	6662
Gingelom	437	547	789	1092	779	1006	1323	1689

//

<i>Gemeente</i>	<i>Klimaat 2016</i>				<i>Hoog Zomer 2100</i>			
	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>
Gistel	266	410	675	1155	575	846	1385	2189
Glabbeek	144	187	296	418	286	379	530	768
Gooik	191	265	415	637	416	575	816	1174
Grimbergen	1066	1429	2131	3159	1947	2608	3783	5167
Grobbendonk	130	226	405	690	320	494	814	1308
Haacht	157	250	422	737	371	536	903	1580
Haaltert	492	763	1209	1871	1112	1600	2324	3285
Halen	211	331	550	762	524	669	922	1406
Halle	1261	1923	3004	4490	2672	3779	5274	6936
Ham	113	171	287	516	243	366	602	996
Hamme	436	835	1587	2784	1224	2012	3197	4763
Hamont-Achel	113	208	392	666	300	482	761	1242
Harelbeke	549	905	1657	2916	1327	2102	3404	4975
Hasselt	1276	2177	3803	5959	3068	4591	6958	10185
Hechtel-Eksel	142	244	423	692	359	506	795	1282
Heers	397	527	720	1012	703	921	1236	1627
Heist-op-den-Berg	388	621	1174	2090	973	1522	2564	4148
Hemiksem	130	207	407	815	306	561	935	1473
Herent	445	622	1027	1568	941	1316	1964	2968
Herentals	485	856	1549	2567	1217	1910	2896	4315
Herenthout	180	276	499	792	387	608	913	1327
Herk-de-Stad	218	307	480	693	423	572	880	1366
Herne	163	233	344	510	331	458	663	931
Herselt	165	252	425	760	371	550	925	1553
Herstappe	11	11	12	15	13	18	21	25
Herzele	429	688	1174	1908	1052	1578	2330	3203
Heusden-Zolder	271	458	822	1492	675	1054	1862	3139
Heuvelland	240	337	544	856	500	717	1066	1514
Hoegaarden	513	625	883	1187	884	1100	1365	1690
Hoeilaart	390	482	679	912	651	818	1084	1436
Hoeselt	209	296	485	803	454	693	1026	1502
Holsbeek	278	365	536	792	519	695	1033	1535
Hooglede	221	344	559	860	479	731	1087	1593
Hoogstraten	237	383	641	1088	524	825	1302	2034
Horebeke	43	62	110	176	97	148	218	295
Houthalen-Helchteren	349	569	950	1621	765	1190	1940	3003
Houthulst	231	373	631	1063	556	899	1350	1923
Hove	43	85	195	378	135	265	492	882
Huldenberg	290	364	501	692	507	642	878	1243
Hulshout	97	153	241	418	207	303	522	912

Gemeente	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
Ichtegem	417	650	1166	1779	981	1426	2080	2942
Ieper	1375	2083	3294	4939	2890	4016	5734	7794
Ingelmunster	306	476	780	1281	648	1024	1504	2318
Izegem	894	1403	2497	3941	2040	3049	4549	6329
Jabbeke	182	281	550	941	445	716	1147	1824
Kalmthout	165	275	520	947	403	671	1127	1887
Kampenhout	244	347	551	915	505	723	1132	1654
Kapellen	446	629	1207	2112	906	1465	2430	3807
Kapelle-op-den-Bos	211	310	506	782	431	624	922	1457
Kaprijke	48	99	179	313	151	226	353	590
Kasterlee	194	317	577	993	467	713	1199	1939
Keerbergen	106	161	276	501	225	357	580	930
Kinrooi	169	280	468	761	384	588	895	1425
Kluisbergen	272	341	541	818	504	702	976	1354
Knesselare	127	171	297	482	268	392	641	956
Knokke-Heist	826	1494	2965	4833	2259	3619	5484	7370
Koekelare	170	291	559	901	481	697	1130	1617
Koksijde	550	949	1761	2934	1386	2095	3285	4785
Kontich	274	540	955	1592	817	1222	1926	2965
Kortemark	242	361	674	1171	567	925	1369	2016
Kortenaken	124	175	285	429	265	387	596	929
Kortenberg	664	879	1302	1896	1217	1612	2326	3208
Kortessem	187	285	454	682	432	573	860	1246
Kortrijk	2089	3644	6550	10327	5224	8029	11819	16606
Kraainem	212	282	423	639	395	526	811	1212
Kruikebeke	286	438	802	1374	678	1063	1669	2418
Kruishoutem	212	311	480	700	444	603	844	1205
Kuurne	457	711	1172	1782	986	1424	2015	2914
Laakdal	130	228	432	727	351	533	897	1502
Laarne	175	259	443	709	362	546	867	1334
Lanaken	756	1044	1608	2401	1405	1924	2783	4095
Landen	744	1040	1529	2165	1465	1921	2630	3461
Langemark-Poelkapelle	163	276	470	784	393	615	979	1398
Lebbeke	637	959	1624	2452	1396	1986	2919	4113
Lede	399	594	1051	1802	909	1436	2221	3318
Ledegem	301	440	742	1163	646	921	1430	1983
Lendelede	106	171	279	461	251	380	581	828
Lennik	161	241	384	609	375	541	794	1118
Leopoldsburg	202	374	679	1103	539	845	1301	2008
Leuven	2649	4588	8013	12605	6853	10095	14651	19567

//

Gemeente	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
Lichtervelde	155	245	438	715	383	591	861	1295
Liedekerke	307	536	917	1468	815	1213	1801	2605
Lier	697	1289	2407	4000	1865	2909	4598	6521
Lierde	131	184	297	476	289	422	631	900
Lille	98	185	373	668	286	468	808	1450
Linkebeek	113	139	222	340	213	290	432	627
Lint	141	203	330	523	281	395	633	981
Linter	349	453	697	958	665	861	1143	1505
Lochristi	172	284	523	1025	399	657	1228	2125
Lokeren	548	1090	2206	3873	1613	2746	4378	6450
Lommel	346	543	982	1700	763	1176	1973	3340
Londerzeel	496	749	1190	1867	1073	1470	2233	3196
Lo-Reninge	123	173	251	371	235	305	443	597
Lovendegem	71	115	206	390	165	265	497	864
Lubbeek	313	425	606	899	581	802	1183	1763
Lummen	217	353	550	869	494	693	1062	1632
Maarkedal	212	249	364	527	335	474	672	924
Maaseik	657	979	1548	2421	1350	1892	2771	3964
Maasmechelen	694	1152	2065	3303	1657	2501	3762	5564
Machelen	538	781	1141	1621	1041	1394	1968	2593
Maldegem	402	633	1131	1910	886	1405	2301	3456
Malle	180	287	447	745	383	529	903	1485
Mechelen	1536	3187	6325	10170	4747	7556	11395	15775
Meerhout	90	154	302	511	238	394	630	956
Meeuwen-Gruitrode	223	318	483	711	436	581	835	1308
Meise	388	547	866	1311	816	1112	1622	2403
Melle	264	413	726	1192	617	881	1411	2046
Menen	912	1604	2905	4655	2435	3597	5472	7800
Merchtem	521	665	1007	1517	937	1272	1860	2583
Merelbeke	352	515	869	1583	728	1173	1990	3107
Merksplas	73	130	289	483	208	347	563	851
Mesen	14	23	69	126	48	95	154	229
Meulebeke	269	395	650	1083	571	842	1326	1918
Middelkerke	595	975	1651	2699	1365	1968	3125	4635
Moerbeke	81	164	273	436	234	327	508	746
Mol	562	860	1471	2395	1174	1761	2714	4188
Moorslede	334	501	800	1277	717	1047	1602	2263
Mortsel	243	540	1214	2174	861	1504	2523	3975
Nazareth	116	199	388	673	292	486	795	1256
Neerpelt	162	319	625	1112	480	767	1313	2235

Gemeente	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
Nevele	156	254	437	733	369	560	884	1389
Niel	158	336	631	1098	486	809	1278	1867
Nieuwerkerken	128	190	304	456	289	396	601	874
Nieuwpoort	221	438	908	1510	674	1082	1697	2396
Nijlen	239	398	728	1264	584	885	1508	2454
Ninove	1150	1658	2573	3876	2337	3270	4727	6663
Olen	113	188	351	653	289	448	773	1246
Oostende	2033	3950	7540	11541	5736	8767	12447	16203
Oosterzele	284	415	679	1037	643	881	1332	1900
Oostkamp	368	592	1053	1846	863	1392	2208	3456
Oostrozebeke	136	244	394	607	337	494	737	1099
Opglabbeek	195	254	364	626	329	463	758	1142
Opwijk	394	570	946	1449	841	1213	1773	2474
Oudenaarde	1192	1787	2905	4316	2584	3602	5098	6945
Oudenburg	232	360	670	1085	534	830	1304	1888
Oud-Heverlee	212	288	424	649	404	573	810	1266
Oud-Turnhout	115	196	393	713	312	472	813	1393
Overijse	681	870	1218	1708	1171	1497	2150	3123
Overpelt	179	291	526	856	426	638	998	1639
Peer	173	291	505	838	412	611	971	1587
Pepingen	107	143	199	319	193	277	411	604
Pittem	162	209	320	548	293	451	708	1116
Poperinge	811	1135	1770	2644	1570	2194	3167	4393
Putte	133	217	436	758	365	555	967	1742
Puurs	195	323	608	1174	485	814	1434	2554
Ranst	128	213	417	781	319	569	945	1671
Ravels	134	221	387	699	312	501	838	1547
Retie	68	106	201	369	158	264	455	799
Riemst	893	1135	1533	2133	1454	1886	2534	3334
Rijkevorsel	151	224	391	669	328	486	824	1316
Roeselare	1711	2759	4795	7725	3953	5941	9043	12961
Ronse	1066	1473	2211	3153	2009	2702	3718	4932
Roosdaal	219	346	571	845	546	766	1112	1604
Rotselaar	216	329	606	1038	526	821	1265	2057
Ruiselede	173	237	342	498	309	407	590	830
Rumst	254	409	751	1250	605	933	1463	2237
Schelle	118	209	385	669	305	502	798	1734
Scherpenheuvel-Zichem	460	693	1109	1728	970	1395	2176	3337
Schilde	133	223	446	905	338	553	1091	1956
Schoten	593	840	1640	2837	1196	2002	3222	4985

////////////////////////////////////

Gemeente	Klimaat 2016				Hoog Zomer 2100			
	T10	T25	T100	T1000	T10	T25	T100	T1000
Sint-Amands	210	292	464	698	383	555	809	1188
Sint-Genesius-Rode	408	554	846	1253	776	1099	1535	2169
Sint-Gillis-Waas	273	508	903	1532	739	1147	1827	2808
Sint-Katelijne-Waver	224	321	585	1009	469	720	1222	1999
Sint-Laureins	56	111	225	373	180	286	469	747
Sint-Lievens-Houtem	251	355	611	923	578	790	1197	1653
Sint-Martens-Latem	67	139	244	441	201	300	537	927
Sint-Niklaas	1727	3132	5737	8866	4497	7056	9976	13242
Sint-Pieters-Leeuw	850	1227	2059	3256	1802	2661	3937	5533
Sint-Truiden	1597	2245	3477	4974	3123	4256	5757	7869
Spiere-Helkijn	58	85	147	239	121	186	284	400
Stabroek	191	363	737	1366	557	929	1638	2726
Staden	335	462	662	1078	614	873	1320	1869
Steenokkerzeel	301	431	653	1034	580	812	1236	1920
Stekene	156	303	578	1016	452	752	1222	2006
Temse	649	1000	1644	2491	1460	2051	2964	4236
Ternat	588	805	1121	1552	1081	1377	1872	2542
Tervuren	478	696	1089	1732	1014	1426	2150	3079
Tessenderlo	348	543	915	1453	749	1112	1645	2368
Tielt	409	702	1250	2060	1082	1651	2537	3639
Tielt-Winge	258	342	491	731	481	657	998	1423
Tienen	2122	2902	4077	5599	3828	4859	6440	8098
Tongeren	1333	1907	2893	4270	2647	3684	4990	6602
Torhout	494	729	1183	1864	986	1455	2194	3161
Tremelo	146	198	344	647	277	462	782	1301
Turnhout	989	1774	3497	5695	2666	4215	6363	8958
Veurne	452	699	1167	1856	961	1405	2082	2927
Vilvoorde	1055	1557	2622	4113	2132	3195	4713	6611
Vleteren	160	199	280	440	248	353	515	730
Voeren	454	505	580	668	588	662	765	912
Vorselaar	66	131	257	462	202	320	534	896
Vosselaar	144	246	458	765	329	545	893	1451
Waarschoot	90	172	362	643	277	464	745	1205
Waasmunster	97	176	361	651	301	499	834	1264
Wachtebeke	47	93	192	383	144	247	442	725
Waregem	922	1351	2397	4083	1900	2996	4850	7118
Wellen	241	320	444	638	426	572	813	1103
Wemmel	261	390	675	1172	579	913	1431	2169
Wervik	508	821	1438	2452	1140	1822	2906	4182
Westerlo	184	326	638	1162	492	812	1384	2342

<i>Gemeente</i>	<i>Klimaat 2016</i>				<i>Hoog Zomer 2100</i>			
	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T100</i>	<i>T1000</i>
Wetteren	582	1071	1911	2925	1624	2363	3445	4851
Wevelgem	831	1386	2763	4314	2220	3466	4957	6820
Wezembeek-Oppem	309	378	540	777	492	654	1002	1595
Wichelen	231	355	644	978	546	777	1183	1758
Wielsbeke	187	293	485	826	418	610	984	1463
Wijnegem	91	172	415	754	279	531	899	1397
Willebroek	1198	1508	2196	3206	1869	2548	3674	5247
Wingene	302	512	890	1365	781	1108	1602	2148
Wommelgem	127	221	453	820	337	577	961	1570
Wortegem-Petegem	158	223	356	536	332	467	666	958
Wuustwezel	127	260	530	996	393	665	1191	1904
Zandhoven	131	208	357	622	280	448	734	1213
Zaventem	943	1335	2059	3078	1863	2536	3591	4962
Zedelgem	373	629	1191	2051	946	1580	2469	3817
Zeel	355	753	1551	2603	1181	1941	2990	4326
Zelzate	169	352	849	1553	575	1070	1780	2798
Zemst	290	453	761	1330	660	984	1626	2658
Zingem	172	268	429	671	383	558	839	1242
Zoersel	145	262	472	872	363	581	1053	1897
Zomergem	110	164	261	459	220	347	549	892
Zonhoven	196	329	564	1027	473	729	1248	2080
Zonnebeke	286	388	659	1060	622	891	1360	1995
Zottegem	557	917	1728	2722	1520	2310	3276	4647
Zoutleeuw	304	484	747	1073	719	933	1275	1700
Zuienkerke	63	100	163	261	146	203	312	452
Zulte	193	340	620	1055	501	783	1249	1935
Zutendaal	109	162	255	390	211	304	443	687
Zwalm	225	296	522	808	504	711	1065	1491
Zwevegem	810	1135	1883	2819	1648	2366	3448	4801
Zwijndrecht	297	505	989	1702	763	1233	2016	3198
Vlaanderen	135286	219231	383480	614480	316278	475715	717734	1033745

////////////////////////////////////

