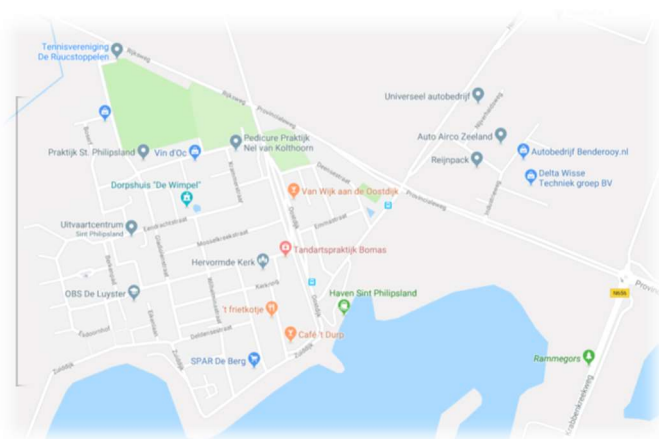


De betrouwbaarheid van het rioleringsmodel in relatie tot het effect van extreme neerslag

Een studie naar de werking van het rioolsysteem bij diverse neerslagsscenario's en modellering van onverhard oppervlak



Auteur:	Remko Tanis
Opleiding:	Aquatische Ecotechnologie
Organisatie:	Gemeente Tholen
Plaats:	Tholen
Versie:	2
Status:	Definitief
Datum:	12-08-2019

De betrouwbaarheid van het rioleringsmodel in relatie tot het effect van extreme neerslag

Een studie naar de werking van het rioolsysteem bij diverse neerslagsscenario's en modellering van onverhard oppervlak

Algemeen

Betreft: Afstudeerstage

Titel: De betrouwbaarheid van het rioleringsmodel in relatie tot het effect van extreme neerslag

Auteur: Remko Tanis

Studentnummer: 00069108

Studie: Aquatische Ecotechnologie

Studiejaar: 4

Semester: 8

Email: tani0014@hz.nl

Plaats van uitgave: Tholen

Jaar van uitgave: 2019

Datum van voltooiing: 12-08-2019

Classificatie: Intern

Status: Definitief

Versie: 2

Opdrachtgever

Gemeente Tholen, afdeling openbare werken

Hof van Tholen 2

4691 DZ Tholen

Stagebegeleiders

Naam: Wim de Vries

Functie: Senior beleidsmedewerker Riolering & Waterhuishouding

Organisatie: Gemeente Tholen

Email: wim.devries@tholen.nl

Naam: Simon de Waard

Functie: Adviseur Water & Riolering

Organisatie: NU-Adviesbureau

Email: s.dewaard@nu-adviesbureau.nl

Onderwijsinstelling

HZ University of Applied Sciences

Delta Academy

Begeleidend docent

Naam: Dhr. A. Verkruysse

Email: bram.verkruysse@hz.nl

1

¹ Bronnen omslagblad: Bovenste illustratie: (Zware buien, 2011); Onderste illustratie: (Google, z.d.)

Samenvatting

De gemeente Tholen onderzoekt effecten van kortdurende extreme neerslag. In relatie tot de uit te voeren klimaatstresstest wil de gemeente weten wat het effect is van extreme neerslaghoeveelheden op de werking van het geactualiseerde hydraulische rioleringsmodel en daarmee op het uiteindelijke rioolsysteem zelf. Hierbij gaat het om gestandaardiseerde neerslagintensiteiten van 70 & 90 mm/uur en een werkelijk gevallen bui 'Tholen' met een gemiddelde intensiteit van 67 mm/uur. Dit is binnen dit onderzoek toegepast als pilot op één kern binnen de gemeente, genaamd Sint Philipsland.

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is om meer inzicht te verkrijgen in de werking van de hydraulische modellering van het rioolsysteem tijdens extreme neerslag. De hoofdvraag binnen dit onderzoek luidt als volgt: *"Wat is het effect van extreme neerslag (klimaatextremen) op het berekende functioneren van het geactualiseerde rioleringsmodel?"*

Voor het modelleren van de extreme neerslag was het noodzakelijk om het Basisrioleringsplan te actualiseren. Door ontwikkelingen in de openbare ruimte en het rioolsysteem zelf zijn gegevens veranderd. Vanuit de actualisatie kwam naar voren dat een toename in het verhard oppervlak zorgt voor een zwaardere hydraulische en milieutechnische belasting.

In relatie tot de extreme neerslag wordt bij 90 mm/uur de meeste hoeveelheid water op straat berekend. Tussen 70 mm/uur en bui 'Tholen' worden geen grote verschillen berekend. Er wordt wel geconstateerd dat er geen nieuwe knelpunten ontstaan, wanneer de neerslagintensiteit stijgt. De bestaande situaties verergeren alleen. Daarnaast zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om het effect van onverhard oppervlak tijdens extreme neerslag te bepalen. Een stijging (25 % en 50 %) in de hoeveelheid onverhard oppervlak t.o.v. de bepaalde hoeveelheid, resulteert in een lichte toename in de afvoer via het maaiveld richting het rioolsysteem. Een verandering in de infiltratiecapaciteit (2 & 5 & 467 mm/uur) heeft een grotere impact op de afstroom, aangezien er bij een hogere infiltratiecapaciteit (467 mm/uur) geen water meer afstroomt richting het rioolsysteem. Het is dus belangrijk om tijdens hydraulische modellering de impact van het onverhard oppervlak goed te analyseren.

Uiteindelijk zijn 3 knelpunten binnen het rioolsysteem geconstateerd waarvoor optimalisatie-maatregelen zijn opgesteld. Dit in de vorm van afvoer via het maaiveld in de Nijverheidsweg als oplossing voor knelpunt 1. De aanleg van een regenwaterstelsel in de wijk gelegen ten oosten van de Oostdijk + de vergroting van de afvoerleiding in de Emmastraat + de koppeling met het gemengde rioolstelsel in de Deensestraat ter bestrijding van knelpunt 2. Als laatste is er voor het derde knelpunt een nieuw bergbezinkriool ontworpen in de Zuiddijk. Deze maatregelen zijn allemaal hydraulisch getest zodat de effectiviteit aangetoond kan worden.

De resultaten geven als antwoord op de hoofdvraag dat de actualisatie zorgt voor een extra hydraulische en milieutechnische belasting op het rioolsysteem. Ook zorgt extreme neerslag (klimaatextremen) ervoor dat er meer water op straat wordt berekend en extra knelpunten binnen het rioolsysteem naar voren komen. Daarnaast zorgt een hogere neerslagintensiteit afhankelijk van de infiltratiecapaciteit voor (meer) afstroom van onverhard oppervlak via het maaiveld richting het rioolsysteem.

Summary

The municipality of Tholen researches the effects of short-term extreme rainfall. In relation to the climate stress test which must be carried out, the municipality wants to know what the effects are of extreme rainfall on the hydraulic model and with that on the actual sewer system itself. This involves standardized precipitation intensities of 70 & 90 mm/hour and a rainfall that actually has been fallen called Rain shower 'Tholen' with an average intensity of 67 mm/hour. This is applied as a test case within this research. Its executed for one core of the municipality, called Sint Philipsland.

The main objective within this research is to get more insight in the working of the hydraulic modelling of the sewer system during extreme rainfall. The main question within this research is: *"What is the effect of extreme rainfall (climate extremes) on the calculated functioning of the updated sewer model?"*

Before modelling the extreme rainfall, it is necessary to update the Basic Sewage Plan. Due to developments in the public space and the actual sewage system itself, data is changed. The update shows that an increase in the paved surface results in a heavier hydraulic and environmental load.

In relation to the extreme rainfall, the highest amount of water on the street is calculated at 90 mm/hour. No major differences are calculated between 70 mm/hour and Rain shower "Tholen". It is found that no new bottlenecks arise, when the rainfall intensity increases. The existing situations only get worse. Sensitivity analyzes have also been carried out to determine the effect of unpaved surface during extreme rainfall. An increase (25 % and 50 %) in the amount of unpaved surface relative to the determined amount, results in a slight increase in drainage through ground level towards the sewer system. A change in infiltration capacity (2 & 5 & 467 mm/hour) has a greater impact on the drainage, since at a higher infiltration capacity (467 mm/hour) no water streams off towards the sewage system. It is therefore important to analyze the impact of unpaved surface well during hydraulic modeling.

Ultimately, 3 bottlenecks were identified within the sewer system for which optimization measures have been drawn up. This, in the form of drainage through ground level in the 'Nijverheidsweg' as solution for bottleneck 1. The construction of a rainwater system in the neighborhood located to the east of the 'Oostdijk' + enlargement of the Emmastraat drainage pipe + connection with a mixed sewer system in the Deensestraat to combat bottleneck 2. Finally, to tackle bottleneck 3 a new storage settling sewer is designed in the Zuiddijk. These measures are all hydraulically tested, so that the effectiveness could be proved.

Based on the results, the answer to the main question is that the update provides an extra hydraulic an environmental load on the sewer system. Extreme rainfall (climate extremes) also means that more water on the street is calculated and additional bottlenecks within the sewer system come out. In addition, a higher rainfall intensity, depending on the infiltration capacity, ensures (more) drainage through ground level from unpaved surface towards the sewer system.

Voorwoord

Voor u ligt het rapport: ‘De betrouwbaarheid van het rioleringsmodel in relatie tot het effect van extreme neerslag’– een studie naar de werking van het rioolsysteem bij diverse neerslagsscenario’s en modellering van onverhard oppervlak. Deze rapportage is geschreven in verband met de afronding van de opleiding Aquatische Ecotechnologie, die ik volg aan de HZ University of Applied Sciences te Middelburg. Gedurende de periode van februari tot en met augustus 2019 ben ik bezig geweest met het uitvoeren en rapporteren van dit onderzoek.

Deze scriptie is geschreven in opdracht van de gemeente Tholen, in samenwerking met NU-adviesbureau. Tijdens de eerste weken van mijn stageperiode heb ik samen met mijn stagebegeleiders Wim de Vries en Simon de Waard de onderzoeksvraag opgesteld. Het was een uitdagend en leerzaam onderzoek waarbij nieuwe kennis en inzichten naar voren zijn gekomen. Daarnaast heb ik persoonlijk veel kennis opgedaan over hydraulische modellering. Vanuit de HZ werd de begeleiding verzorgd door dhr. Bram Verkruysse.

Bij deze wil ik de gemeente Tholen bedanken voor de mogelijkheid die ze mij geboden hebben om af te kunnen studeren. Hierbij wil ik in het bijzonder Wim en Simon bedanken voor de fijne en persoonlijke ondersteuning tijdens het afstudeertraject. Ik kon altijd terecht voor vragen, wat ik enorm heb gewaardeerd. Daarnaast wil ik Bram bedanken voor de fijne begeleiding en het meedenken gedurende het proces. Ook wil ik alle collega’s binnen de gemeente Tholen bedanken voor de fijne samenwerking en behulpzaamheid. Uiteraard ook iedereen die mij daarnaast heeft geholpen, op welke manier dan ook, hartelijk dank!

Ik wens u veel leesplezier toe!

Remko Tanis

Tholen, 12 augustus 2019



Foto: Gemeentehuis te Tholen

Afkortingenlijst

B.V.:	Besloten Vennootschap
b.v.:	bijvoorbeeld
BBR:	Bergbezinkriool
BGT:	Basis Grootchalige Topografie
b.o.b.:	binnen onderkant buis
BRP:	Basisrioleringsplan
CW:	Colebrook-White
CZV:	Chemisch Zuurstof Verbruik
CZV:	Comma-Separated Values (Kommagescheiden bestand)
DPRA:	Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie
d.m.v.:	door middel van
DWA:	Droogweerafvoer
GRP:	Gemeentelijk Rioleringsplan
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
i.p.v.:	in plaats van
i.v.m.:	in verband met
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
NAP:	Normaal Amsterdams Peil
N.B.:	Noteer Goed
o.a.:	onder andere
Ø:	Diameter
QGIS:	Quantum Geografisch Informatiesysteem
PVC:	Polyvinylchloride
STOWA:	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
t.b.v.:	ten behoeve van
t.o.v.:	ten opzichte van
vBRP:	Verbreed Basisrioleringsplan

Begrippenlijst

Baak:	Hulpinstrument om hoogteverschillen en afstand te meten;
Bemalingsgebied:	Een rioleringsgebied waaruit het afvalwater door een gemaal wordt verwijderd (NEN 3300: 1996);
Bergbezinkriool:	Een randvoorziening in het gemengde rioolstel waardoor er extra berging wordt gecreëerd en de vuilemissie richting het oppervlaktewater wordt gereduceerd (Clemens, Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004);
Buierenreeksen:	Buien over meerdere jaren, die gebruikt worden bij modelleren;
CZV:	Het chemisch zuurstofverbruik is het gewicht aan zuurstof dat gebruikt wordt om de organische vervuiling af te breken via chemische reacties tot koolstofdioxide (Milieufocus, 2008);
Floodcones:	Conusvorm waarin de hoeveelheid water op straat wordt weergegeven bij berekening met 1-D model;
Geactualiseerd model:	Model wat is opgesteld op basis van de actualisatie van het BRP in 2019;
GRP:	Gemeentelijk Rioleringsplan waarin de visie en strategie voor de gemeentelijke zorgplichten omtrent afval-, regen- en grondwater worden beschreven (Rijkswaterstaat , z.d.);
Hoofdriool:	Transportleiding waarin het afvalwater in verzameld wordt vanuit de spruitriolen en afgevoerd richting het gemaal;
Huidige model:	Rioleringsmodel wat is opgesteld in 2014, t.b.v. het BRP 2014;
Lineair:	Een verband tussen twee parameters waarbij beide variabelen evenredig toenemen;
Oppervlakkige afvoer:	Afvoer van het water via maaiveldniveau;
Spruitriolen:	Zijtakken van het hoofdriool waarin het afvalwater van de achterliggende woonwijken in wordt verzameld;
Tegeltaks:	Belasting welke geheven wordt over de hoeveelheid particuliere verharding. Dit om de hydraulische belasting op het rioolsysteem te verminderen tijdens extreme neerslag.

Figurenlijst

FIGUUR 1: SINT PHILIPSLAND (GOOGLE, Z.D.)	4
FIGUUR 2: MAAVELDHOOGTEKAART SINT PHILIPSLAND	5
FIGUUR 3: 7 AMBITIES VANUIT HET DPRA (DELTAPROGRAMMA RUIMTELIJKE ADAPTATIE, Z.D.)	6
FIGUUR 4: KNMI'14 SCENARIO'S (KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT, Z.D.)	7
FIGUUR 5: 'STANDAARD NEERSLAGGEBEURTENISSEN I.V.M. KLIMAATSTRESSTEST (KENNISPORTAAL RUIMTELIJKE ADAPTATIE, 2018)	9
FIGUUR 6: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING BUI 08 IN HUIDIG MODEL.....	16
FIGUUR 7: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING BUI 08 IN GEACTUALISEERD MODEL	17
FIGUUR 8: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING BUI 09 IN HUIDIG MODEL.....	18
FIGUUR 9: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING BUI 09 IN GEACTUALISEERD MODEL	19
FIGUUR 10: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING BUI 'THOLEN' IN HUIDIG MODEL.....	21
FIGUUR 11: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING BUI 'THOLEN' IN GEACTUALISEERD MODEL	22
FIGUUR 12: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING 70 MM/UUR.....	23
FIGUUR 13: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING 90 MM/UUR.....	24
FIGUUR 14: RESULTATEN HYDRAULISCHE BELASTING BUI 'THOLEN'	24
FIGUUR 15: DYNAMISCHE WEERGAVE VAN DE HOEEVEELHEID WATER OP STRAAT BIJ VERSCHILLENDE INFILTRATIECAPACITEITEN.....	30
FIGUUR 16: KNELPUNTEN IN HET RIOOLSTELTEN BIJ HYDRAULISCHE BELASTING MET BUI 09 MET INLOOPBUI	31
FIGUUR 17: WATERGANG ACHTER NIJVERHEIDSWEG (WATERSCHAP SCHELDESTROMEN, Z.D.)	32
FIGUUR 18: HUIDIGE AFSCHOT NIJVERHEIDSWEG VANAF DE AFVOERENDE WATERGANG RICHTING DE KWEKERIJWEG (X-AS: LENGTE IN M; Y-AS: HOOGTE M NAP)	32
FIGUUR 19: MODELMATIGE WEERGAVE VAN OPPERVLAKKIGE AFVOER.....	33
FIGUUR 20: LENGTEDOORSNEDE BIJ HYDRAULISCHE BELASTING MET BUI 08 IN HUIDIGE SITUATIE ZONDER OPPERVLAKKIGE AFVOER..	34
FIGUUR 21: LENGTEDOORSNEDE BIJ HYDRAULISCHE BELASTING BUI 08 MET OPPERVLAKKIGE AFVOER	34
FIGUUR 22: AFSTROOMRICHTING EN KOPPELING MET GEMENDE RIOOL IN EMMASTRAAT	36
FIGUUR 23: GEDETAILLEERDE WEERGAVE KOPPELING GEMENGDE RIOLERING DEENSESTRAAT MET EMMASTRAAT	36
FIGUUR 24: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE DEENSESTRAAT.....	37
FIGUUR 25: LENGTEDOORSNEDE DEENSESTRAAT, PRINSHENDRIK STRAAT EN EMMASTRAAT IN HUIDIGE SITUATIE	37
FIGUUR 26: LENGTEDOORSNEDE DEENSESTRAAT, PRINSHENDRIK STRAAT EN EMMASTRAAT MET ALLE 3 DE MAATREGELEN	38
FIGUUR 27: WEERGAVE AFSTROOMRICHTING GEMENGD RIOOLSTELSEL	39
FIGUUR 28: WATERGANG WAAROP VUILWATERUITWORP KAN PLAATSVINDEN	40
FIGUUR 29: MODELMATIGE WEERGAVE VAN HET BBR LANGS DE ZUIDDIJK	41
FIGUUR 30: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE HOOFDRIOOL IN DE GLADIOLENSTRAAT & ZUIDDIJK	42
FIGUUR 31: LENGTEDOORSNEDE HOOFDRIOOL GLADIOLENSTRAAT & ZUIDDIJK BIJ HYDRAULISCHE BELASTING BUI 09 MET INLOOPBUI IN DE STANDAARD SITUATIE MET ÉÉN BBR	42
FIGUUR 32: LENGTEDOORSNEDE HOOFDRIOOL GLADIOLENSTRAAT & ZUIDDIJK BIJ HYDRAULISCHE BELASTING BUI 09 MET INLOOPBUI IN DE NIEUWE SITUATIE MET TWEE BBR'S.....	43
FIGUUR 33: BUI 'THOLEN' IN STANDAARD SITUATIE ZONDER OPTIMALISATIEMAATREGELEN	45
FIGUUR 34: BUI 'THOLEN' IN NIEUWE SITUATIE MET OPTIMALISATIEMAATREGELEN.....	45
FIGUUR 35: BOORMONSTERPROFIEL ZIJPESTRAAT TE SINT PHILIPSLAND (GEOLOGISCHE DIENST NEDERLAND, Z.D.)	55
FIGUUR 36: BOORMONSTERPROFIEL ZUIDDIJK TE SINT PHILIPSLAND (GEOLOGISCHE DIENST NEDERLAND, Z.D.)	55
FIGUUR 37: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE BEDRIJVENTERREIN.....	56
FIGUUR 38: LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT BEDRIJVENTERREIN BIJ HUIDIG MODEL	56
FIGUUR 39: LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT BEDRIJVENTERREIN BIJ GEACTUALISEERD MODEL.....	57
FIGUUR 40: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT PLANTAANSTRAAT EN GLADIOLENSTRAAT	58
FIGUUR 41: LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT PLANTAANSTRAAT EN GLADIOLENSTRAAT BIJ HUIDIG MODEL.....	58
FIGUUR 42: LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT PLANTAANSTRAAT EN GLADIOLENSTRAAT BIJ GEACTUALISEERD MODEL	59
FIGUUR 43: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE OVERSTORT 8E02U	60
FIGUUR 44: LENGTEDOORSNEDE OVERSTORT 8E02U HUIDIG MODEL	60
FIGUUR 45: LENGTEDOORSNEDE OVERSTORT 8E02U GEACTUALISEERD MODEL	61

FIGUUR 46: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT SCHOOLSTRAAT, GLADIOLENSTRAAT, DELDENSESTRAAT EN ZUIDDIJK.....	62
FIGUUR 47: LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT SCHOOLSTRAAT, GLADIOLENSTRAAT, DELDENSESTRAAT EN ZUIDDIJK BIJ HUIDIG MODEL	62
FIGUUR 48: LENGTEDOORSNEDE WATER OP STRAAT SCHOOLSTRAAT, GLADIOLENSTRAAT, DELDENSESTRAAT EN ZUIDDIJK BIJ.....	63
FIGUUR 49: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE OVERSTORT 8E02U	63
FIGUUR 50: LENGTEDOORSNEDE OVERSTORT 8E02U BIJ HUIDIG MODEL	64
FIGUUR 51: LENGTEDOORSNEDE OVERSTORT 8E02U GEACTUALISEERD MODEL	64
FIGUUR 52: VERSCHIL TUSSEN HYDRAULISCHE BELASTING VAN 70 MM/UR EN BUI 'THOLEN'	65
FIGUUR 53: VERSCHIL TUSSEN PERMANENTE HYDRAULISCHE BELASTING VAN 70 & 90 MM/UR T.O.V. 70 MM/UR	65
FIGUUR 54: VERSCHIL TUSSEN HYDRAULISCHE BELASTING VAN 90 MM/UR EN BUI 'THOLEN'	66
FIGUUR 55: VERSCHIL TUSSEN ONVERHARDINGSTEKENING EN 'ALLEEN VERHARD'	67
FIGUUR 56: VERSCHIL TUSSEN ONVERHARDINGSTEKENING EN STIJGING VAN 25 %	67
FIGUUR 58: VERSCHIL TUSSEN 25 & 50 % STIJGING IN ONVERHARD OPPERVAK	68
FIGUUR 57: VERSCHIL TUSSEN ONVERHARDINGSTEKENING EN STIJGING VAN 50 %	68
FIGUUR 59: VERSCHIL TUSSEN INFILTRATIECAPACITEIT VAN 2 & 5 MM/UR	69
FIGUUR 60: VERSCHIL TUSSEN INFILTRATIECAPACITEIT VAN 5 & 467 MM/UR	69
FIGUUR 61: LENGTEDOORSNEDE 'SIMULATIE WEG' BIJ HYDRAULISCHE BELASTING MET BUI 08	70
FIGUUR 62: LENGTEDOORSNEDE NIJVERHEIDSWEG & KWEKERIJWEG BIJ HYDRAULISCHE BELASTING MET BUI 09	70
FIGUUR 63: LENGTEDOORSNEDE 'SIMULATIE WEG' BIJ HYDRAULISCHE BELASTING MET BUI 09.....	71
FIGUUR 64: NIJVERHEIDSWEG	71
FIGUUR 65: AFVOERENDE WATERGANG	71
FIGUUR 66: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE UITSNEDE OVERSTORT 8A088	72
FIGUUR 67: LENGTEDOORSNEDE UITSNEDE OVERSTORT 8A088 BIJ HUIDIGE SITUATIE	72
FIGUUR 68: LENGTEDOORSNEDE UITSNEDE OVERSTORT 8A088 MET ALLE MAATREGELEN	73
FIGUUR 69: AFVOERLEIDING VAN DE WIJK GELEGEN IN DE EMMASTRAAT	73
FIGUUR 70: EMMASTRAAT	74
FIGUUR 71: KOPPELINGSPLAATS EMMASTRAAT & DEENSESTRAAT.....	74
FIGUUR 72: SCHEUR IN RIOOLBUIS GELEGEN IN DE EMMASTRAAT (M.J. OOMEN LEIDINGTECHNIEK B.V., 2015)	74
FIGUUR 73: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE HENGELOSESTRAAT, WILHELMINASTRAAT EN DELDENSTRAAT	75
FIGUUR 74: LENGTEDOORSNEDE HENGELOSESTRAAT, WILHELMINASTRAAT EN DELDENSTRAAT BIJ HYDRAULISCHE BELASTING BUI 09 MET INLOOPBUI IN DE STANDAARD SITUATIE MET ÉÉN BBR	75
FIGUUR 75: LENGTEDOORSNEDE HENGELOSESTRAAT, WILHELMINASTRAAT EN DELDENSTRAAT BIJ HYDRAULISCHE BELASTING BUI 09 MET INLOOPBUI IN NIEUWE SITUATIE MET TWEE BBR'S.....	76
FIGUUR 76: OVERZICHTSWEERGAVE LENGTEDOORSNEDE NIEUWE BBR MET ACHTERLIGGENDE LEIDING GELEGEN AAN DE ZUIDDIJK....	76
FIGUUR 77: LENGTEDOORSNEDE NIEUWE BBR MET HYDRAULISCHE BELASTING BUI 09 MET INLOOPBUI	77
FIGUUR 78: LOCATIEFOTO WATERGANG	77
FIGUUR 79: LOCATIEFOTO ZUIDDIJK	77
FIGUUR 80: VERSCHILKAART TUSSEN BUI 'THOLEN' IN STANDAARDSITUATIE EN BUI 'THOLEN' MET OPTIMALISATIEMAATREGELEN	78

Tabellenlijst

TABEL 1: DOORLATENDHEID PER GRONDSOORT EN TYPE VERHARDING (BIRON, 2004)	11
TABEL 2: UITGANGSPUNTEN VOOR MODELLEREN VERSCHILLENDE TYPES OPPERVAK (CLEMENS, LUIJTELAAR, VOORHOEVE, ZUIDERVLIT, & BEENEN, 2004).....	12
TABEL 3: VERSCHIL IN MILIEUTECHNISCH FUNCTIONEREN TUSSEN HUIDIG EN GEACTUALISEERD MODEL.....	20
TABEL 4: VERSCHILLEN NEERSLAGSCENARIO'S EXTREME NEERSLAG.....	25
TABEL 5: HOEVEELHEID ONVERHARD OPPERVAK GESPECIFICEERD PER TYPE.....	26
TABEL 6: VERSCHILLEN TUSSEN DIVERSE SCENARIO'S VOOR DE HOEVEELHEID ONVERHARD OPPERVAK	27
TABEL 7: VERSCHILLEN TUSSEN DIVERSE SCENARIO'S VOOR DE MAXIMALE INFILTRATIECAPACITEITEN.....	29
TABEL 8: VERGELIJKING TUSSEN MILIEUTECHNISCH FUNCTIONEREN MET ÉÉN BBR EN TWEE BBR'S	44

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
1.1.	Achtergrond.....	1
1.2.	Probleemstelling.....	1
1.3.	Doelstelling.....	2
1.4.	Onderzoeksvraag.....	2
1.5.	Onderzoekskader	2
1.6.	Leeswijzer	3
2.	Theoretisch kader	4
2.1.	Gebiedsbeschrijving	4
2.1.1.	Maaiveldniveau	5
2.1.2.	Ondergrond	5
2.2.	Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie	5
2.3.	Basisrioleringsplan.....	7
2.4.	Neerslaggebeurtenissen.....	8
2.4.1.	Bui 08 & Bui 09	8
2.4.2.	Standaardbuien in kader van klimaatstresstest	9
2.4.3.	Bui 'Tholen'	10
2.4.4.	Reeksberekening	10
2.4.5.	Inloopbui.....	10
2.5.	Infiltratiecapaciteit in relatie tot hydraulisch modelleren	11
3.	Methode.....	14
4.	Resultaten.....	16
4.1.	Functioneren van geactualiseerd rioolsysteem	16
4.1.1.	Vergelijking resultaten bui 08.....	16
4.1.2.	Vergelijking resultaten bui 09.....	18
4.1.3.	Vergelijking resultaten milieutechnische belasting.....	20
4.2.	Verskil tussen huidig en geactualiseerd model bij bui 'Tholen'	21
4.2.1.	Huidig model	21
4.2.2.	Geactualiseerd model.....	22
4.3.	Relatie tussen diverse extreme neerslagsscenario's	23
4.3.1.	Hydraulische belasting met 70 mm/uur permanent.....	23
4.3.2.	Hydraulische belasting met 90 mm/uur permanent.....	24
4.3.3.	Hydraulische belasting met bui 'Tholen'	24

4.4.	Modelleren van onverhard oppervlak.....	26
4.4.1.	Bepaling onverhard oppervlak	26
4.4.2.	Hydraulische belasting	26
4.4.3.	Gevoeligheidsanalyse hoeveelheid	27
4.4.4.	Gevoeligheidsanalyse infiltratiecapaciteit	28
4.5.	Optimalisatiemaatregelen.....	31
4.5.1.	Optimalisatie Nijverheidsweg (knelpunt 1).....	31
4.5.2.	Optimalisatie wijk achter Oostdijk (knelpunt 2).....	35
4.5.3.	Optimalisatie Zuiddijk (knelpunt 3)	39
4.5.4.	Effect van alle optimalisatiemaatregelen samen	44
5.	Discussie	46
5.1.	Onderzoeksmethode/Uitgangspunten.....	46
5.2.	Hydraulisch modelleren	46
6.	Conclusies & Aanbevelingen	48
6.1.	Conclusies	48
6.2.	Aanbevelingen.....	49
7.	Bibliografie.....	51
	Bijlage 1 – Boormonsterprofielen	55
	Bijlage 2 – Lengtedoorsneden bui 08.....	56
	Bijlage 3 – Lengtedoorsneden bui 09.....	58
	Bijlage 4 – Lengtedoorsneden reeks berekening.....	60
	Bijlage 5 – Lengtedoorsneden bui ‘Tholen’.....	62
	Bijlage 6 – Verschilkaarten extreme neerslag	65
	Bijlage 7 – Verschilkaarten hoeveelheid onverhard oppervlak.....	67
	Bijlage 8 – Verschilkaarten infiltratiecapaciteit.....	69
	Bijlage 9 – Optimalisatiemaatregel Nijverheidsweg	70
	Bijlage 10 – Optimalisatiemaatregelen wijk achter Oostdijk	72
	Bijlage 11– Optimalisatiemaatregel Zuiddijk.....	75
	Bijlage 12 – Effect optimalisatiemaatregelen.....	78
	Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland	Separaat document
	Bijlage B – Verhardingstekening kern Sint Philipsland.....	Separaat document
	Bijlage C – Tekening onverharde oppervlaktes kern Sint Philipsland.....	Separaat document

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

Volgens het DPRA moeten alle gemeenten uiterlijk in 2019 verplicht een klimaatstresstest uitvoeren om knelpunten van de volgende vier klimaatthema's in kaart te brengen: wateroverlast, hitte, droogte en overstroming. Dit als eerste stap in de richting van een waterrobuuste en klimaatbestendige inrichting van de openbare ruimte (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2019). De gemeente Tholen is zeer actief met het in beeld brengen van de klimaateffecten, veroorzaakt door toename van kortdurende extreme neerslag. Hierdoor wordt de piekbelasting op het rioleringsstelsel aanzienlijk verhoogd. In de openbare ruimte heeft de gemeente al diverse maatregelen genomen om overtollige neerslag die niet via het rioleringsstelsel afgevoerd kan worden, oppervlakkig te laten wegstromen. In relatie tot de uit te voeren klimaatstresstest wil de gemeente weten wat het effect is van extreme neerslaghoeveelheden (neerslagintensiteiten van 70 en 90 mm per uur) op de werking van het rioleringsmodel en het uiteindelijke rioolsysteem zelf. Dit is als pilot toegepast op één dorpskern genaamd Sint Philipsland. Voor meer informatie wordt verwezen naar paragraaf 1.5.

1.2. Probleemstelling

De gemeente Tholen heeft voor alle acht dorpskernen een BRP opgesteld. Een BRP beschrijft het hydraulische en milieutechnisch functioneren van het rioleringsstelsel en is het kerndocument voor het rioolsysteembeheer. Door ontwikkelingen in de openbare ruimte (uitbreidingen en afkoppeling van verhard oppervlak) moeten BRP's periodiek geactualiseerd worden. Daarnaast kan er gebruik zijn gemaakt van verouderde/verkeerde gegevens op het gebied van o.a.: drempelhoogtes en pompcapaciteiten. Hierdoor is dus een actualisatie nodig van het huidige BRP.

Daarnaast is er de vraag vanuit de gemeente wat het effect is van extreme neerslag op het functioneren van het rioolsysteem. Dit om mogelijke knelpunten van wateroverlast (water op straat) te identificeren. Ook zijn er vanuit het verleden meerdere klachten bekend van wateroverlast, welke gemeld zijn door bewoners (zie paragraaf 1.5 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland).

Speciale aandacht is uitgegaan naar de bijdrage van onverhard oppervlak. Onverhard oppervlak kan zich namelijk tijdens extreme neerslaghoeveelheden bijna als verhard oppervlak gaan gedragen. Het is van belang om uit te zoeken welk effect de hoeveelheid onverhard oppervlak en de infiltratiecapaciteit hebben op de oppervlakkige afvoer richting het rioolsysteem, aangezien het in de huidige opzet van de hydraulische modellering in het algemeen niet wordt meegenomen. Hierbij gaat het om openbare & particuliere oppervlaktes, welke volledig onverhard zijn en afstromen richting het rioolstelsel.

Ter bestrijding van wateroverlast is er een systeemanalyse uitgevoerd waarbij maatregelen/oplossingen zijn bedacht om knelpunten te kunnen oplossen. Deze moeten praktisch uitvoerbaar zijn, een significante bijdrage leveren aan de vermindering van wateroverlast en klimaatbestendig worden opgesteld.

1.3. Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om meer inzicht te verkrijgen in de werking van de hydraulische modellering van het rioolsysteem tijdens extreme neerslag (klimaatextremen). Parallel hieraan ligt de doelstelling van een geactualiseerd Basisrioleringsplan voor de kern Sint Philipsland², waarbij het hydraulisch en milieutechnisch functioneren van het rioolsysteem wordt beschreven. Als vervolg hierop is er gefocust op klimaatbestendige maatregelen/oplossingen ter bestrijding van wateroverlast.

1.4. Onderzoeksvraag

De probleem- en doelstelling hebben uiteindelijk geleid tot de formulering van de volgende onderzoeksvraag:

Wat is het effect van extreme neerslag (klimaatextremen) op het berekende functioneren van het geactualiseerde rioleringsmodel?

De deelvragen die daarbij zijn opgesteld luiden als volgt:

1. *Hoe functioneert het rioleringsmodel bij actualisatie van de gegevens?*
2. *Wat is het berekende verschil met bui 'Tholen', tussen het huidige en geactualiseerde model?*
3. *Wat is het berekende verschil tussen de gestandaardiseerde neerslaggebeurtenissen³ en bui 'Tholen' tijdens doorrekening van het geactualiseerde model?*
4. *Wat is het effect van het mee modelleren van onverhard oppervlak op het functioneren van het rioleringsmodel bij extreme neerslag⁴?*
5. *Welke bovengrondse en ondergrondse maatregelen kunnen worden toegepast ter bestrijding van wateroverlast?*

1.5. Onderzoekskader

Tijdens de opzet van het onderzoek is gezorgd voor een goede afbakening van de onderzoeksopdracht. Dit om te zorgen dat er voldoende diepgang aanwezig is binnen de opdracht en dat er tijdens de uitvoering van het onderzoek zo min mogelijk overbodige data wordt verzameld. Gedurende de uitwerking van de deelvragen is de focus gelegd op de kern Sint Philipsland. De keuze voor Sint Philipsland is gebaseerd op het feit dat daar in het verleden verschillende klachten van wateroverlast bekend zijn en dat het

² Zie paragraaf 1.5

³ Voor classificatie van de gestandaardiseerde neerslaggebeurtenissen zie paragraaf 2.4.2

⁴ Voor classificatie van extreme neerslag zie paragraaf 2.4.2 en 2.4.3

overzichtelijke kern is als onderzoeklocatie. De andere kernen binnen de grenzen van de gemeente Tholen zijn buiten beschouwing gelaten. Daarnaast is er alleen gekeken naar de effecten van extreme neerslag op het rioolsysteem. Andere thema's zoals hittestress en droogte zijn niet meegenomen in de analyse. De reden hiervoor is dat de impact van extreme neerslag het meest relevant is voor dit onderzoek.

Gedurende de hydraulische modellering van neerslagsscenario's is gerekend met buien. Dit houdt in dat het rioolsysteem zal worden getoetst op basis van een neerslagintensiteit per gegeven tijdseenheid, bijvoorbeeld: 70 mm per uur. Het rioolsysteem is ook getest op buienreeksen, dit heeft echter alleen voor de bepaling van het milieutechnisch functioneren plaatsgevonden.

De maatregelen bij deelvraag 5 zijn globaal uitgewerkt. Hierbij is met name de nadruk gelegd op werking van de desbetreffende maatregel. Een gedetailleerde technische uitwerking hiervan is buiten beschouwing gelaten. Er is wel gekeken wat de hydraulische impact van de maatregelen is, door deze door te rekenen in InfoWorks CS.

Het is van belang om aan te geven dat een hydraulisch model een benadering is van de werkelijke situatie.

1.6. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de theorie besproken welke voor dit onderzoek van belang is. Hierbij worden allereerst de relevante gebiedskenmerken benoemd van de kern Sint Philipsland. Ook wordt er kort uitleg gegeven over de opzet van de klimaatstresstest, het BRP en desbetreffende neerslagsscenario's. Als laatste is het onderwerp infiltratiecapaciteit toegelicht. Hoofdstuk 3 presenteert de manier waarop het onderzoek is uitgevoerd. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten weer van het onderzoek. Daarin zijn de uitkomsten overzichtelijk weergegeven middels kaarten welke ontworpen zijn via QGIS. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten/werkwijze van het onderzoek bediscussieerd. Hierop volgend komt hoofdstuk 6 waarin een heldere conclusie is gegeven op basis van de resultaten uit hoofdstuk 4. Uiteindelijk zijn er in hoofdstuk 7 diverse aanbevelingen gegeven in relatie tot de uitkomsten van het onderzoek.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk is achtergrondinformatie beschreven welke van belang is voor het uitvoeren onderzoek. Hierbij komen de volgende aspecten aan de orde: gebiedsbeschrijving, Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, Basisrioleringsplan, Standaardbuien, bui 'Tholen' en infiltratiecapaciteit.

2.1. Gebiedsbeschrijving

Sint Philipsland is gelegen op het gelijknamige schiereiland en behoort sinds 1 januari 1995 bij de gemeente Tholen. Voor die tijd was het een zelfstandige gemeente, waartoe ook de Anna Jacobapolder en het dorpje De Sluis behoren (Zalig-Zeeland, z.d.). Het eiland Sint Philipsland is ontstaan door het droogleggen van verschillende schorren in de vijftiende eeuw. Dit is bereikt door middel van bedijking, waarbij er dijken langs de schorren zijn gelegd. Halverwege de zeventiende eeuw is het dorp Sint Philipsland ontstaan als een nederzetting in het zuidoosten van het eiland, waar het heden ten dage nog steeds gelegen ligt (Figuur 1). Het dorp wordt getypeerd als een ringvoorstraatdorp, wat inhoudt dat er een Voorstraat recht op een Kerkring loopt, waarbij de kerk in het midden staat. Dit patroon is herkenbaar terug te zien in de opbouw van het dorp (VVV Zeeland, z.d.).



Figuur 1: Sint Philipsland (Google, z.d.)

Het huidige dorp is in de zeventiende eeuw opnieuw opgebouwd, omdat het dorp aan het einde van deze eeuw overspoeld is door een stormvloed. Daardoor is het de jongste kern van de gemeente Tholen (Zeeuwse Ankers, 2013). De aanleg van de Deltawerken en het graven van het Schelde-Rijnkanaal zorgden in de vorige eeuw voor grote veranderingen in het landschap en de waterhuishouding. Het Schelde-Rijnkanaal werd gegraven ten oosten van Sint Philipsland op de grens met de provincie Noord-Brabant. Het doel hiervan was om een getijde- loze verbinding te creëren van Antwerpen naar Rotterdam en de Nederlandse grote rivieren. In verband met de constructie van dit kanaal is de Krabbenkreekdam aangelegd ten zuidoosten van Sint Philipsland. Deze vormt tegenwoordig de rechtstreekse verbinding met het eiland Tholen. Naar aanleiding van de stormvloedkering en daarmee de afsluiting van de Oosterschelde is de waterhuishouding in het achterland flink veranderd. Hierdoor was er geen vrije verbinding meer vanaf de Noordzee richting Sint Philipsland, zodat de getijwerking minder werd.

Dit zorgde ervoor dat bepaalde plaatsen droogvielen welke normaal met vloed overstroomden. Uiteindelijk zijn er diverse dammen en sluizen aangelegd (zoals de Phillipdam) welke ervoor moeten zorgen dat er waterpeil stabiel blijft. (Zeeuwse Ankers, 2013).

2.1.1. Maaiveldniveau

In onderstaande figuur zijn de maaiveldhoogtes te zien voor de kern Sint Philipsland. Dit is van belang voor de oppervlakkige afvoer van water, in relatie tot de beantwoording van deelvraag 5.



Figuur 2: Maaiveldhoogtekaart Sint Philipsland

2.1.2. Ondergrond

In Bijlage 1 – Boormonsterprofielen zijn boormonsterprofielen te zien van 2 verschillende punten in de kern Sint Philipsland, verkregen vanuit DINOLOket. Hierin is te zien dat de bovengrond (ca. 2 m vanuit maaiveldniveau) uit klei bestaat. Dit is van belang in relatie tot de infiltratiecapaciteit van het onverhard oppervlak. Klei heeft namelijk een erg lage infiltratiecapaciteit, wat inhoudt dat er tijdens extreme neerslag weinig water zal infiltreren.

2.2. Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie

Het onderzoek is mede uitgevoerd in het kader van het DPRA, wat tot stand is gekomen door een samenwerking tussen de verschillende overheidsorganisaties, namelijk: gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk. Het plan heeft als doel om de

bewustwording voor de 4 klimaatthema's⁵ te verhogen en de aanpak daarvoor te intensiveren (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, z.d.).

Het Deltaplan bestaat uit 7 ambities, welke in Figuur 3 zijn weergegeven. Deze ambities hebben als doel om de openbare ruimte waterrobuust en klimaatbestendig in te richten.



Figuur 3: 7 ambities vanuit het DPRA (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, z.d.)

1. Kwetsbaarheid in beeld brengen

Het KNMI heeft in mei 2014 vier klimaatscenario's (de KNMI'14 scenario's) opgesteld. Deze scenario's geven aan hoe het klimaat zich in de toekomst (2030-2100) kan gaan gedragen. Hierin wordt onderscheidt gemaakt in de mate van temperatuurstijging ('Gematigd' en 'Warm') en de verandering van het luchtstromingspatroon ('Lage waarde' en 'Hoge Waarde') (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, z.d.). Dit heeft als gevolg dat er in de toekomst rekening gehouden moet worden met: hogere temperaturen, een sneller stijgende zeespiegelstijging, nattere winters, intensere buien en de mogelijkheid tot drogere zomers.

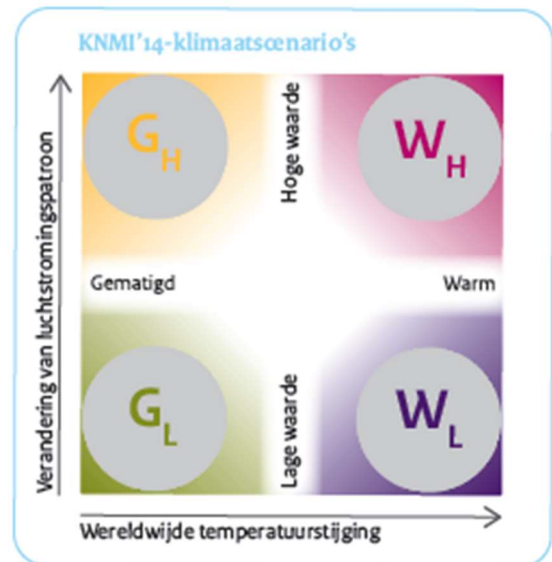
De ontwikkeling van de desbetreffende scenario's is tot stand gekomen op basis van de onderzoeksresultaten uit het IPCC-rapport uit 2013 (Stocker, et al., 2013). Hierin is onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van het wereldwijde klimaat. De scenario's zijn te zien in Figuur 4. De essentie van deze ambitie is om de impact van de klimaatverandering op de steden, dorpen en het landelijk gebied in kaart te brengen. Hierbij is het van belang om te weten wat het effect is van waterlast, hitte en droogte op de openbare ruimte.

⁵ Zie paragraaf 1.1

Vanuit het DPRA ligt er de eis voor alle overheidsinstanties om dit in beeld te brengen met behulp van een klimaatstresstest, zoals aangegeven is in paragraaf 1.1. Inzicht in de kwetsbaarheid van het gebied is de basis voor een passende weg richting klimaatadaptatie.

De stresstest wordt gekenmerkt door een aantal punten:

1. Het gehele areaal dat in beheer is van de desbetreffende organisatie wordt meegenomen in de analyse. Hierbij gaat het dus om zowel het stedelijk als landelijk gebied;
2. Is gericht op de kwetsbaarheid die ontstaat door de 4 klimaatthema's;
3. Aandacht voor cruciale en kwetsbare waarden binnen het gebied;
4. Andere ontwikkelingen, zoals: bodemdaling en verandering van de grondwaterstand worden meegenomen in de analyse.



Figuur 4: KNMI'14 scenario's (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, z.d.)

Bron: (ministerie van Infrastructuur en Milieu en het ministerie van Economische Zaken, 2017)

De overige ambities zijn voor dit onderzoek van minder belang, zodat daar geen uitleg over is gegeven.

2.3. Basisrioleringsplan

Het BRP beschrijft het hydraulische en milieutechnisch functioneren van het rioleringsstelsel en is het kerndocument voor het rioolsysteembeheer, zoals aangegeven is in de inleiding. Een BRP wordt opgesteld van elk dorp of elke stad apart. De looptijd van een BRP is gemiddeld 5 jaar. Dit wordt door elke gemeente apart vastgesteld. Nadat deze looptijd is verstreken moet het BRP geactualiseerd worden, omdat er ontwikkelingen plaatsvinden in de openbare ruimte waardoor het rioleringsstelsel wordt aangepast, vernieuwd of uitgebreid. Daarnaast vindt er regulier onderhoud plaats, waardoor b.v. nieuwe informatie over o.a.: pompen, gemalen en overstortdrempels beschikbaar komt. Dit alles heeft impact op het hydraulisch en milieutechnisch functioneren van het rioolsysteem.

Er zijn twee vormen van een Basisrioleringsplan. Het gebruikelijke BRP en het verbrede BRP.

Het gebruikelijke BRP heeft in de basis drie functies:

- Leveren van informatie als input voor het GRP. Hiermee gaat het voornamelijk om gegevens over het hydraulisch en milieutechnisch functioneren van het rioleringsstelsel. Ook kan verwezen worden naar het BRP ter verantwoording van het maken van bepaalde keuzes in het GRP;
- Het leveren van informatie aan de water- en zuiveringsbeheerder. Aangezien er een nauwe samenwerking is omtrent de zorgplichten van afval-, regen- en grondwater. Uitwisselen van informatie, kennis en ervaring is dus essentieel;
- Als naslagwerk voor informatie en onderbouwing van opgestelde maatregelen. Tijdens de hydraulische toetsing van het rioleringsstelsel kunnen knelpunten van wateroverlast naar voren komen. Hiervoor moeten oplossingen worden bedacht en mogelijk vergunning voor worden aangevraagd. Het BRP dient hierin dus als brondocument, om bepaalde zaken te verklaren/onderbouwen.

Het vBRP neemt een aantal extra aandachtspunten mee in beschouwing:

- Anticiperen op klimaatverandering. Dat houdt in, dat er gekeken wordt hoe het rioolstelsel functioneert bij intensere neerslag en hoe dat eventueel aangepakt kan worden;
- Het opvangen en verwerken van overtollig hemelwater. Bij zware buien, met een hoge neerslagintensiteit kan het gemengde rioleringsstelsel overlopen via de overstorten. Hierbij komt er naast hemelwater ook (vuil) afvalwater in het oppervlaktewater terecht. Dit kan mogelijk tot milieuvervuiling leiden. In het vBRP wordt gekeken hoe hemelwater op een andere manier afgevoerd en benut kan worden.
- Het opvangen en verwerken van overtollig grondwater. Tijdens extreme neerslag kan in bepaalde gebieden het grondwaterniveau zodanig stijgen, zodat er overlast kan ontstaan. In het vBRP wordt gekeken hoe er op deze plaatsen zo efficiënt mogelijk mee omgegaan kan worden.

Bron: (Stichting Rioned, 2008)

De gemeente Tholen hanteert een vBRP, maar laat grondwater hierin buiten beschouwing. Voor de actualisatie van het BRP van Sint Philipsland is deze werkwijze aangehouden.

2.4. Neerslaggebeurtenissen

In deze paragraaf is beschreven welke neerslagscenario's zullen worden toegepast gedurende het onderzoek. Hierbij gaat het om bui 08 & bui 09, gestandaardiseerde neerslaggebeurtenissen en bui 'Tholen'.

2.4.1. Bui 08 & Bui 09

Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van bui 08 & bui 09 conform de Leidraad Riolerings, Module C2100. Bui 08 heeft een looptijd van 1 uur met intensiteit van 19,8 mm/hr. De herhalingstijd hiervoor is vastgesteld op 2 jaar. Bui 09 is een heftigere bui met dezelfde looptijd, maar een intensiteit van 29,4 mm/uur. De herhalingstijd voor deze bui is 5 jaar (Clemens, Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004). Meer informatie

hierover is te vinden in Bijlage 6 – Uitgangspunten/Eisen Rioolberekeningen van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland.

2.4.2. Standaardbuien in kader van klimaatstresstest

Stichting Rioned, STOWA, gemeenten en waterschappen hebben in samenwerking met elkaar verschillende gestandaardiseerde neerslaggebeurtenissen opgesteld in het kader van de uit te voeren klimaatstresstest. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat één enkele extreme bui niet bruikbaar is voor geheel Nederland. Een bui is namelijk niet representatief om de kwetsbaarheid voor wateroverlast vast te stellen, omdat gebieden sterk van elkaar verschillen op vele vlakken, zoals: morfologie en inrichting van de openbare ruimte. Dit is de reden dat er meerdere scenario's zijn ontworpen, welke te zien in Figuur 5. Daarin is te zien dat er verschil is gemaakt in: schaal, herhaling, duur en neerslagintensiteit. De schaal is gedefinieerd op lokaal en regionaal. Dit geldt als randvoorwaarde om te bepalen welke neerslaggebeurtenis gebruikt moet worden. De herhalingstijd is een maat voor de intensiteit van de neerslag. Een hogere herhaling betekent dat de neerslaggebeurtenis theoretisch gezien minder vaak voorkomt, en andersom (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie, 2018). Voor lokale gebieden is het aan te raden om te rekenen met korte intense buien, aangezien het systeem in dorpen en steden een korte reactietijd heeft. De oorzaak hiervan is, dat er relatief gezien

veel verhard oppervlak aanwezig is, waardoor de bodem een beperkte bergingscapaciteit heeft. Neerslag infiltreert daardoor nauwelijks in de bodem en stroomt snel af naar laaggelegen delen in het desbetreffende gebied.

De 'standaard neerslaggebeurtenissen' zijn buien die typerend zijn voor het klimaat wat in de toekomst wordt verwacht. Er zijn diverse herhalingstijden opgesteld op basis van de KNMI' 14-klimaatscenario's. In Figuur 5 zijn de herhalingstijden te zien, welke verwacht worden voor 2050. Er dient dus rekening gehouden te worden met de herhalingstijden welke representatief zijn voor de levensduur van het (ruimtelijke) ontwerp (Werkgroep standaardisatie stresstest wateroverlast, 2018).

SCENARIO'S			
Schaal	Herhaling	Duur	Hoeveelheid (mm) klimaat 2050
Lokaal	100	1 uur	70
Lokaal	250	1 uur	90
Lokaal	1000	2 uur	160
Regionaal	100	48 uur*	120
Regionaal	250	48 uur*	130
Regionaal	1000	48 uur*	160

Figuur 5: 'Standaard neerslaggebeurtenissen i.v.m. klimaatstresstest (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie, 2018)

Deze gestandaardiseerde neerslaggebeurtenissen zijn handvatten om te gebruiken bij de uit te voeren stresstest, maar vormen geen wettig verplichtte hoeveelheden. Er is ruimte voor maatwerk, waarover in de volgende paragraaf meer is uitgelegd (Stichting Rioned, 2018).

Tijdens de hydraulische modellering is op basis van bovenstaande informatie gebruik gemaakt van de neerslaggebeurtenissen 70 & 90 mm/uur om te kijken wat het effect is van kortdurende extreme neerslag.

2.4.3. Bui 'Tholen'

De 'standaard neerslaggebeurtenissen' voor de klimaatstresstest zijn theoretisch opgestelde buien. Het is echter ook zeer waardevol om het rioleringsmodel door te rekenen met werkelijke buien. Deze zijn voor de (lokale) bevolking goed voor te stellen omdat men het zelf heeft meegemaakt. Dit zorgt ervoor dat er meer bewustzijn is en dat veranderingen in de openbare ruimte breder gedragen worden. Daarnaast is de impact van de bui op de openbare ruimte bekend (Werkgroep standaardisatie stresstest wateroverlast, 2018).

Op 5 juli 2012 viel er op Tholen circa 50 mm regen in een tijdsbestek van 45 minuten. Deze bui veroorzaakte flink wat wateroverlast. Tijdens hydraulische modellering van de kernen binnen de gemeente Tholen wordt gebruik gemaakt van deze bui, om kwetsbaarheden voor wateroverlast in beeld te brengen (Vries, 2019). Deze 'werkelijke' neerslaggebeurtenis is daarom ook toegepast tijdens de hydraulische modellering van kortdurende extreme neerslag voor de kern Sint Philipsland. Meer informatie hierover is te vinden in Bijlage 6 – Uitgangspunten/Eisen Rioolberekeningen van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland.

2.4.4. Reeksberekening

Voor het milieutechnisch functioneren is gebruik gemaakt van een 10-jarige reeksberekening, welke gemeten is tussen 1955 tot 1964. Dit is conform Leidraad Riolerings, Module C2100. Voor informatie wordt verwezen naar Bijlage 6 – Uitgangspunten/Eisen Rioolberekeningen van kern Sint Philipsland Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland.

2.4.5. Inloopbui

Een groot gedeelte van het regenwaterstelsel bestaat uit infiltratieriolerings, zoals te zien in paragraaf 3.1.2. van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland. Dit stelsel staat in een normale situatie zonder neerslag vol tot de laagste overstortdrempel. Dit wordt in de huidige situatie gedurende hydraulische modellering niet meegenomen. Dit heeft een groot effect op de berging van het regenwaterstelsel, waardoor dit meegenomen dient te worden. Na onderzoek is bepaald dat het meest efficiënt is om alvorens de werkelijke neerslaggebeurtenis wordt gemodelleerd, het systeem te belasten met een regenintensiteit van 0,65 mm/uur voor een tijdsperiode van 11,15 uur. Hierdoor wordt

het regenwaterstelsel gevuld en het gemengde stelsel zo min mogelijk belast. Dit vanwege het feit dat de intensiteit van de inloopbui onder de algemene capaciteit van de gemalen ligt (0,7 mm/h conform Leidraad Riolerings, Module C2100 (Clemens, Luitelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004), zodat het gemengde stelsel zo min mogelijk gevuld worden. Deze inloopbui is toegepast voor al de neerslaggebeurtenissen, m.u.v. de reeksberekening of als het anders is aangegeven. Aangezien over een lange periode wordt gemodelleerd, waardoor het effect verwaarloosbaar is. Voor meer informatie wordt verwezen naar paragraaf 3.2.2 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland.

2.5. Infiltratiecapaciteit in relatie tot hydraulisch modelleren

Infiltratie in de ondergrond vindt plaats via doorlatende verharding en onverhard oppervlak. De infiltratiecapaciteit is van meerdere factoren afhankelijk. Voor doorlatende verharding is met name het type verharding, grondsoort en vochtgehalte in de bodem van belang. In Tabel 1 is de doorlatendheid te zien voor verschillende grondsoorten en types verharding. Hierin is te zien dat klei een lage doorlatendheid heeft en zand een veel hogere. Ook halfverharding in de vorm van grind en schelpen heeft een relatief hoge doorlatendheid.

<u>Grondsoort</u>	<u>Doorlatendheid</u> <u>[m/etmaal]</u>	<u>Kwalificatie</u> <u>doorlatendheid</u>
<u>Klei</u>		
sterk gescheurd (Zuiderzeepolders)	10-100	zeer goed
enige poriën of scheuren	0,5 - 2	goed
zeer dicht (komklei, slechte laag)	0,005 - 0,05	slecht tot zeer slecht
zeer dicht (keileem, zandige klei)	0,05	slecht
zeer dicht (knipklei, potklei)	<0,005	zeer slecht
slap, ongerijpt (zware klei)	10^{-4} - 10^{-5}	zeer slecht
ongerijpt, samengeperst	10^{-6}	zeer slecht
lichte zavel, gerijpt	0,02 - 0,2	slecht tot matig
<u>Zand</u>		
zeer tot uiterst grof zand	80-200	zeer goed
grof, met enig grind	10-50	zeer goed
duinzand	7	zeer goed
middelfijn (dekzand)	1-5	goed
uiterst fijn	0,2 - 0,5	matig
<u>Veen</u>		
zandige leem	0,3	matig
ongerijpt	0,01	slecht
kleiige veen	0,005	zeer slecht
<u>Grind</u>		
fijn grind	1.000-10.000	zeer goed
grof grind	10.000-100.000	zeer goed
<u>Diverse</u>		
teelaarde	5	goed
schelpen	30	zeer goed

Tabel 1: Doorlatendheid per grondsoort en type verharding (Biron, 2004)

Uit Bijlage 1 – Boormonsterprofielen kan geconcludeerd worden dat de grondsoort binnen de kern Sint Philipsland geclassificeerd kan worden als zandig klei. Vanuit Tabel 1 is de infiltratiecapaciteit aangenomen op 0,05 m/etmaal wat neerkomt op 2,1 mm/uur.

Tijdens hydraulische doorrekening van doorlatende en onverhard oppervlak wordt er gebruik gemaakt van de Hortons benadering. Horton heeft in 1939 een infiltratievergelijking opgesteld. Waarbij de afname en herstel van de infiltratiecapaciteit met de volgende formules worden beschreven (Clemens, Luitelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004):

Afname: $f(t) = f_e + (f_b - f_e) \times e^{-k_a \times t}$

Herstel: $f(t) = f_e + (f_b - f_e) \times e^{-k_h \times t}$

Waarin:

$f(t)$: infiltratiecapaciteit op tijdstip t (mm/h⁻¹)

f_b : maximale infiltratiecapaciteit ($t=0$) (mm/h⁻¹)

f_e : minimale infiltratiecapaciteit (mm/h⁻¹)

k_a tijdsfactor afname infiltratiecapaciteit (h⁻¹)

k_h : tijdsfactor herstel infiltratiecapaciteit (h⁻¹)

t : tijd (h)

Deze eerste vergelijking geeft aan dat de infiltratie start op een constante snelheid waarbij deze exponentieel daalt over een bepaalde tijd. De tweede vergelijking beschrijft het herstel van de infiltratiecapaciteit, waarbij ook gebruik wordt gemaakt van een exponentieel verband.

Vanuit de Leidraad Riolering, Module C2100 worden uitgangspunten aangegeven voor de bovengenoemde parameters uit de vergelijkingen, welke te zien zijn in Tabel 2.

Type oppervlak	Type afstroming	Afstromings- vertraging (min ⁻¹)	Oppervlakte berging (mm)	Infiltratie capaciteit (mm.h ⁻¹)		Tijdfactoren (h ⁻¹)	
				max.	min.	afname	herstel
gesloten verhard	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	0.5				
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0				
open verhard	hellend	0.5	0.0	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak	0.2	0.5	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0	2.0	0.5	3.0	0.1
dak	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	2.0				
	vlak uitgestrekt	0.1	4.0				
onverhard	hellend	0.5	2.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak	0.2	4.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	6.0	5.0	1.0	3.0	0.1

Tabel 2: Uitgangspunten voor modelleren verschillende types oppervlak (Clemens, Luitelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004)

Voor de uit te voeren gevoeligheidsanalyse van de hoeveelheden is er gebruik gemaakt van deze standaardwaardes. De maximale infiltratiecapaciteit is geclassificeerd als 5,0 mm/uur en komt grotendeels overeen met de eerder bepaalde infiltratiecapaciteit van ca. 2 mm/uur. Hieruit kan dus worden vastgesteld deze waardes in dezelfde categorie vallen.

Om het effect van de infiltratiecapaciteit goed in beeld te brengen is er tijdens de beantwoording van de deelvraag over de infiltratiecapaciteit gebruik gemaakt van waardes conform Leidraad Riolering, Module C2100 en Tabel 1.

3. Methode

In dit hoofdstuk is per deelvraag beschreven welke methode gevolgd is om tot de beantwoording daarvan te komen. Dit leidde er uiteindelijk toe dat de hoofdvraag beantwoordt kon worden.

Deelvraag 1: Hoe functioneert het rioleringsmodel bij actualisatie van de gegevens?

Het vorige BRP met bijbehorend model stamt uit 2014 en is hierdoor niet meer up to date. Dit komt vanwege het feit dat er na het opstellen hiervan ontwikkelingen in de openbare ruimte hebben plaatsgevonden, zoals: woninguitbreidingen en afkoppeling van verhard oppervlak. Gedurende de beantwoording van deze deelvraag vond er een actualisatie plaats van het huidige hydraulisch rioleringsmodel en BRP van de kern Sint Philipsland. Om tot een goede actualisatieslag te komen, vond er een inventarisatie plaats van de huidige gegevens. Hierbij ging het om: basisgegevens van het rioolsysteem (diameters, hoogteligging, materiaal en type), hoeveelheid verhard oppervlak, capaciteiten van gemalen, niveaus van overstortdrempels en terugslagkleppen. Dit is grotendeels gedaan via deskresearch, waarbij de gegevens werden verkregen via de desbetreffende beheersystemen en het archief. Het bepalen van het verhard oppervlak is gedaan met behulp van de BGT en de luchtfoto van 2019. Voor de verwerking is gebruik gemaakt van de programma's QGIS en Microstation. Er zijn ook veldmetingen verricht, waarbij met een baak afmetingen/hoogtes zijn gemeten voor de bepaling van gegevens over overstortdrempels, terugslagkleppen en b.o.b. maten van rioolbuizen. Daarnaast hebben er ook veldbezoeken plaatsgevonden waarbij er visueel is geïnventariseerd of verhard oppervlak is aangesloten op het rioolsysteem.

Door de actualisatie van de gegevens, vond er tegelijkertijd een validatie plaats van de desbetreffende data. Er is gecontroleerd of de informatie over het rioolsysteem juist is, om een zo realistisch mogelijke weergave van de werkelijkheid te creëren. Ook vond er een validatie plaats door het programma InfoWorks CS om fouten in het model op te sporen, zodat deze verbeterd konden worden. Kalibratie van het hydraulische model is beperkt uitgevoerd. Er waren bepaalde plaatsen waarvan uit het verleden water op straat bekend is, zoals te zien is in paragraaf 1.5 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland. De resultaten van de hydraulische modellering zijn hiermee geverifieerd.

Na de uitwerking hiervan, zijn de resultaten vergeleken van de belasting met bui 08, bui 09 en het milieutechnisch functioneren. Hiermee wordt het effect van de actualisatie overzichtelijk in beeld gebracht. Ook is er onderzocht en beschreven welke mogelijke oorzaak hieraan ten grondslag ligt.

Deelvraag 2: Wat is het berekende verschil met bui 'Tholen', tussen het huidige en geactualiseerde model?

Met behulp van het hydraulisch modelleringsprogramma InfoWorks CS is het

scenario: bui 'Tholen' doorgerekend. Hierbij gaat het om een neerslaghoeveelheid van ca. 50 mm in een tijdsbestek van 45 minuten. Deze uitkomsten zijn vergeleken met de resultaten van het huidige model om te kijken wat het verschil is. Voor verdere informatie over bui 'Tholen' wordt verwezen naar paragraaf 2.4.3. Hierbij is een (hydraulische) verklaring/uitleg gegeven.

Deelvraag 3: Wat is het berekende verschil tussen de gestandaardiseerde neerslaggebeurtenissen en bui 'Tholen' tijdens doorrekening van het geactualiseerde model?

Met behulp van het hydraulisch modelleringsprogramma InfoWorks CS zijn verschillende buien in relatie tot de klimaatstresstest doorgerekend. Hierbij gaat het om de permanente neerslagscenario's van respectievelijk 70 en 90 mm in 1 uur. De uitkomsten hiervan zijn vergeleken met de resultaten van bui 'Tholen'. Dit om te kijken wat het effect is van de neerslagscenario's in relatie tot een daadwerkelijk gevallen bui. Daarnaast zijn de neerslagscenario's van 70 en 90 mm onderling met elkaar vergeleken om te kijken wat het effect is van 20 mm/uur extra. Voor verdere uitleg omtrent de scenario's wordt verwezen naar paragraaf 2.4.2. Hierbij is een (hydraulische) verklaring/uitleg gegeven.

Deelvraag 4: Wat is het effect van het mee modelleren van onverhard oppervlak op het functioneren van het rioleringsmodel bij extreme neerslag?

Hierbij is onderzocht welk effect onverhard oppervlak heeft bij het modelleren van extreme neerslag. Tijdens de uitwerking is er allereerst een verdiepingsslag gemaakt naar de infiltratiecapaciteit van de bodem en de hoeveelheid onverhard oppervlak welke een bijdrage heeft aan het rioleringsstelsel. Hierbij werd onderzocht of het onverhard oppervlak afstroomt richting het rioolstelsel of het oppervlaktewater. Dit is op dezelfde manier bepaald als het verhard oppervlak bij deelvraag 1. Vervolgens is onderzocht hoe het onverhard oppervlak op de juiste manier kan worden toegekend in het hydraulische model. Dit bleek lastig, daarom is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij er variaties zijn gemaakt in de hoeveelheid verhard oppervlak en de infiltratiesnelheid. Dit is gedaan bij de belasting van één vaste neerslaggebeurtenis, namelijk 70 mm/uur gedurende 2 uur.

Ook is er tijdens de uitwerking van deze deelvraag gekeken welke modelmatige veranderingen/aanpassingen er eventueel nodig waren om het onverhard oppervlak op de juiste wijze mee te modelleren.

Deelvraag 5: Welke bovengrondse en ondergrondse maatregelen kunnen worden toegepast ter bestrijding van wateroverlast?

Tijdens de modellering van extreme neerslag zijn er diverse knelpunten omtrent wateroverlast geconstateerd. Ter bestrijding van deze knelpunten zijn er oplossingen/maatregelen opgesteld. Voor deze oplossingen/maatregelen is allereerst een systeemanalyse uitgevoerd. Hierdoor is hydraulische werking van het stelsel duidelijk geworden en konden er effectieve maatregelen worden opgesteld.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk staan de resultaten beschreven van de uitgewerkte deelvragen. In de figuren en lengtedoorsnedes wordt consequent de maximale waterstanden weergegeven welke worden berekend. Deze zijn weergegeven op de plaatsen waar de rioolputten aanwezig zijn.

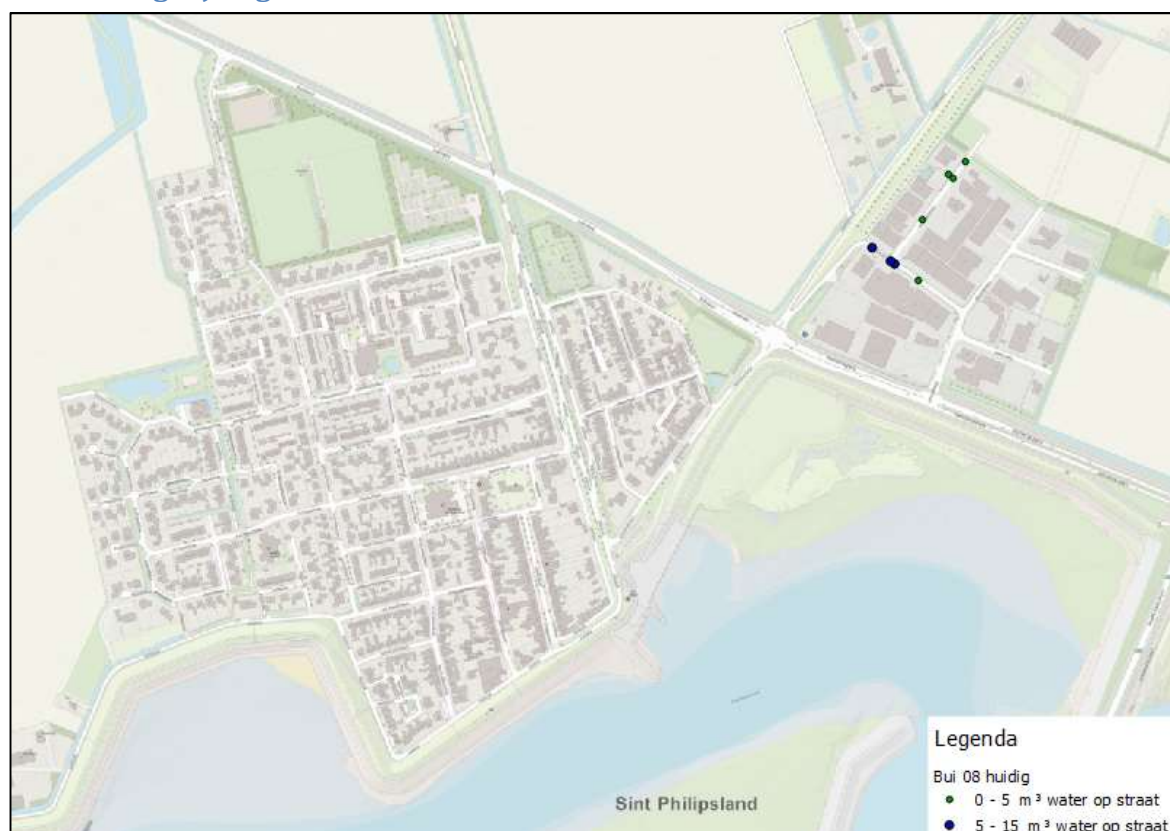
4.1. Functioneren van geactualiseerd rioolstelsel

Om extreme neerslag goed te kunnen modelleren is het allereerst van belang om de systeemkenmerken en het functioneren van het rioolstelsel in kaart te brengen. De resultaten hiervan zijn te zien in Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland.

In de volgende paragrafen is inzichtelijk gemaakt, welke impact de actualisatieslag heeft op de resultaten tijdens de hydraulische modellering.

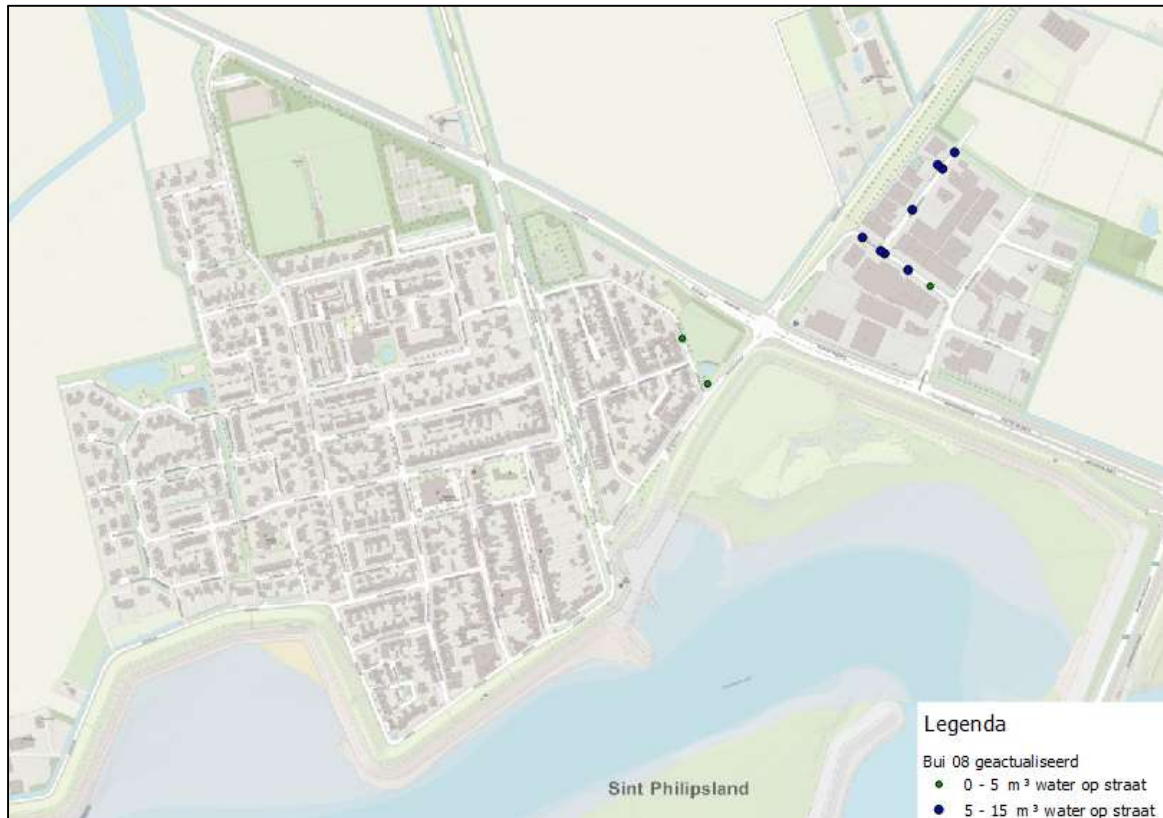
Bij de belasting met bui 08 en 09 in het huidige model is geen inloopbui toegepast. Voor een eerlijke vergelijking is het van belang om een gelijke hydraulische belasting toe te passen. De belasting van het huidige model is hierin maatgevend. Daarom zijn beide modellen met bui 08 en 09 zonder inloopbui doorgerekend.

4.1.1. Vergelijking resultaten bui 08



Figuur 6: Resultaten hydraulische belasting bui 08 in huidig model

Tijdens hydraulische belasting met bui 08 wordt er in het huidige model 36,7 m³ water op straat berekend via het gemengde stelsel, zoals te zien is in Figuur 6. Dit wordt berekend in bemalingsgebied D (Bedrijventerrein). Een dwarsdoorsnede van de desbetreffende rioolstrengen is te zien in Figuur 38 van Bijlage 2 – Lengtedoorsneden bui 08.



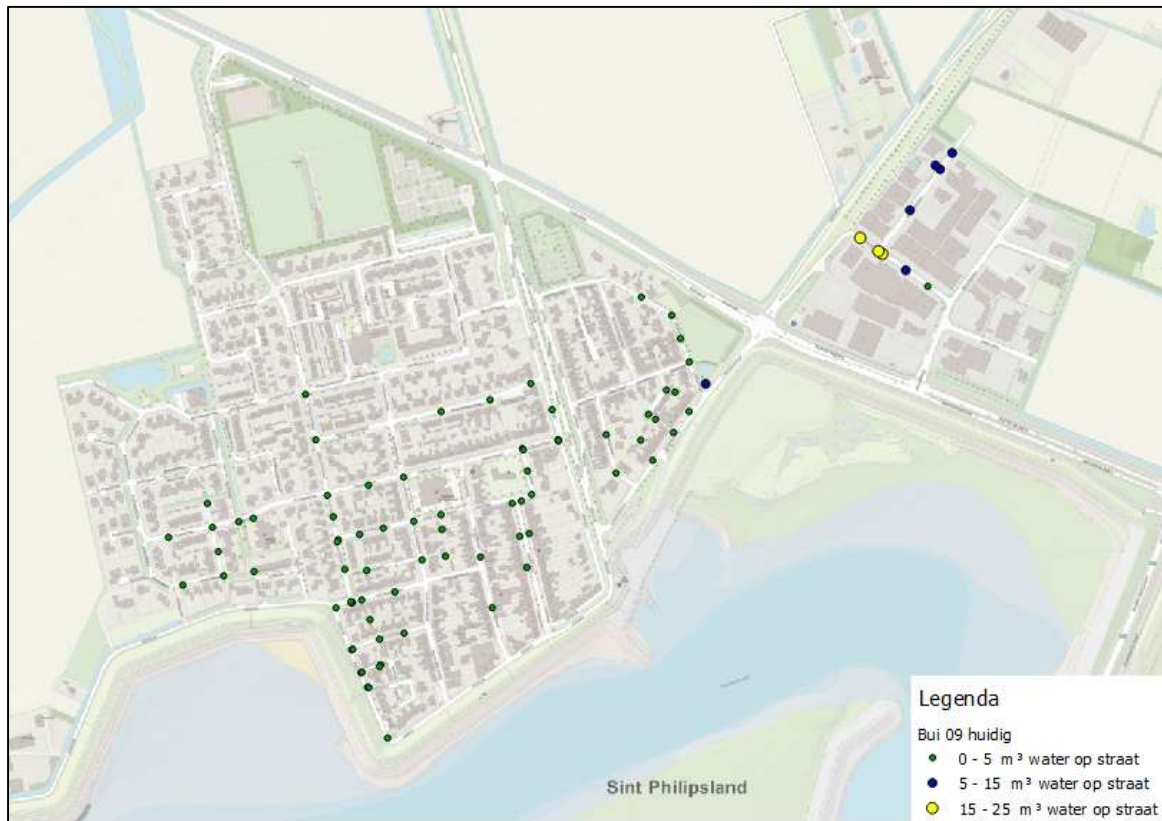
Figuur 7: Resultaten hydraulische belasting bui 08 in geactualiseerd model

Tijdens de hydraulische belasting met bui 08 wordt er in het geactualiseerd model 92,6 m³ water op straat berekend via het gemengde stelsel, zoals te zien is in Figuur 7. Dit wordt ook hier voornamelijk berekend in bemalingsgebied D (Bedrijventerrein). Een dwarsdoorsnede van de desbetreffende rioolstrengen is te zien in Figuur 39 van Bijlage 2 – Lengtedoorsneden bui 08.

De actualisatieslag heeft tot een toename van 55,9 m³ (152 %) water op straat geleid. Deze stijging is met name in het bemalingsgebied D (Bedrijventerrein), zoals eerder is vastgesteld. Dit is te verklaren door het feit dat de verharding welke op het gemengde rioolstelsel is aangesloten, gestegen is van 2,73 ha naar 4,04 ha. Hierdoor wordt het stelsel hydraulisch veel zwaarder belast.

De dwarsdoorsneden in Figuur 38 en Figuur 39 van Bijlage 2 – Lengtedoorsneden bui 08 ondersteunen deze resultaten. De druklijn van het geactualiseerde model ligt hoger, omdat er meer water op straat wordt berekend.

4.1.2. Vergelijking resultaten bui 09



Figuur 8: Resultaten hydraulische belasting bui 09 in huidig model

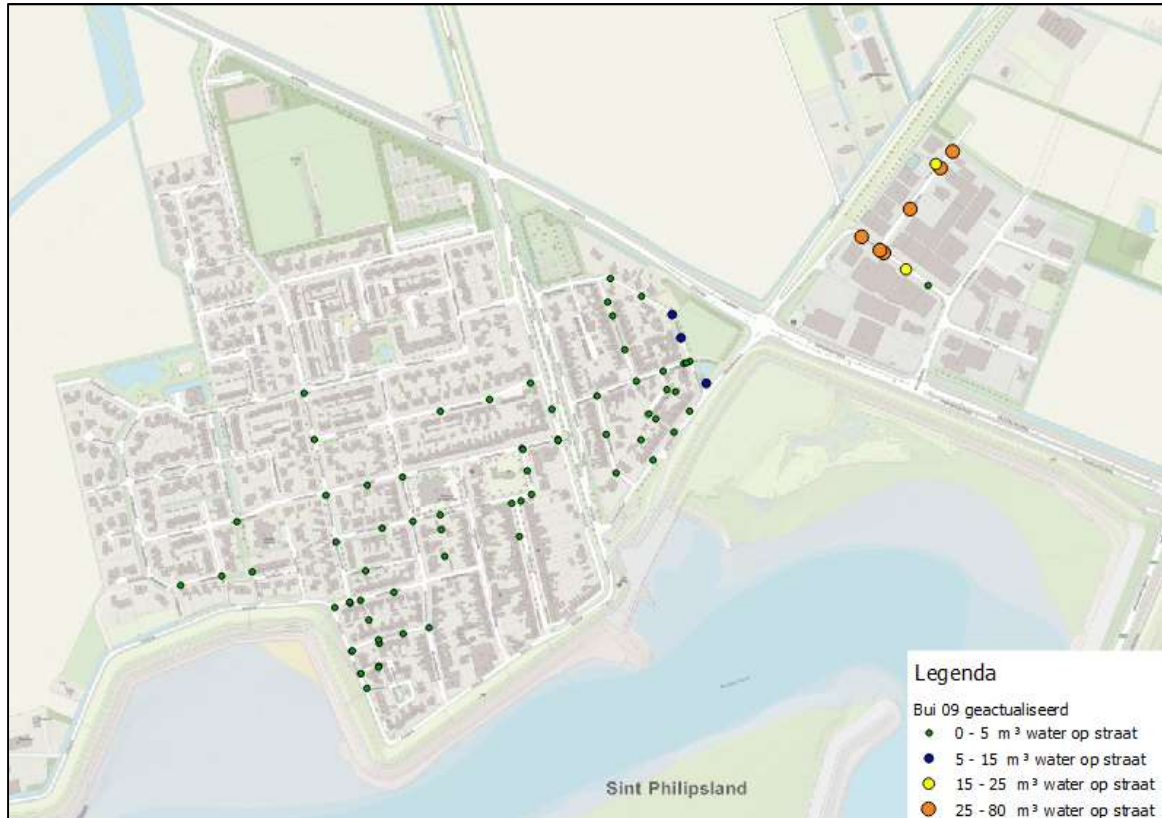
Indien het model hydraulisch wordt belast met bui 09, wordt er in het huidige model 184,8 m³ water op straat berekend via het gemengde stelsel, zoals te zien is in Figuur 8.

Gedurende hydraulische belasting met bui 09 in het geactualiseerde model, wordt er 322 m³ water op straat berekend, zoals te zien is in Figuur 9. Dit is een stijging van 137,6 m³ (75 %) ten opzichte van het huidige model.

De algemene stijging van water op straat wordt ook hier veroorzaakt door een stijging van de hoeveelheid verhard oppervlak, waardoor er een grotere aanvoer is van water.

Er valt dus te concluderen dat er in het algemeen een verergering ontstaat van de situatie. Hierbij gaat het met name om een deel van het bemalingsgebied C (Kern) en D (Bedrijventerrein). (Voor verdere informatie omtrent de bemalingsgebieden wordt verwezen naar paragraaf 2.1.1 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland.) De plaatsen van wateroverlast komen grotendeels overeen tussen het huidige en geactualiseerde model. Dat op deze locaties water op straat wordt berekend is te verklaren door het feit dat het systeem daar bestaat uit een gemengd rioelstelsel.

Het valt wel op dat in het huidige model bij bui 09 op meerdere plaatsen water op straat wordt berekend (Figuur 8). Hierbij gaat het om kleine hoeveelheden (ca. 1 m³ per locatie), zoals te zien is in Figuur 41 van Bijlage 3 – Lengtedoorsneden bui 09. In Figuur 42 van Bijlage 3 – Lengtedoorsneden bui 09 is te zien dat de waakhoogte bij dezelfde rioelstrengen zeer marginaal is, waardoor het water bijna tot aan de putrand staat. De verschillen tussen het huidige en geactualiseerde model zijn op deze locaties in werkelijkheid erg klein.



Figuur 9: Resultaten hydraulische belasting bui 09 in geactualiseerd model

De exacte reden voor deze verschillen is moeilijk aan te wijzen. De verschillen ontstaan aan het einde van de spruitriolen. Na een analyse te hebben uitgevoerd, kan er worden opgemaakt dat de oorzaak ligt in het hoofdriool en de bijbehorende gemalen. Hieronder zijn meerdere factoren aangewezen welke een invloed daarop hebben gehad:

1. Allereerst is in het huidige model het overgrote deel van de gemaalputten gemodelleerd als normale rioolputten met de afmetingen van ca. 1 m², terwijl in het geactualiseerde model de juiste afmetingen zijn ingegeven op basis van de huidige gegevens. Met name voor het waterschapsgemaal, gelegen aan de Zuidoost maakt dit een groot verschil (120,8 m³ op basis van de gegevens uit Bijlage 1 – Waterschapsgemaal van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland). Dit zorgt ervoor dat er in het geactualiseerde model meer berging aanwezig is. Dit is terug te zien als men kijkt naar de verschillen tussen Figuur 8 en Figuur 9, op welke plaatsen exact water op straat wordt berekend. Met name rond het waterschapsgemaal wordt er in het geactualiseerde model minder water op straat berekend.
2. Daarnaast zijn de niveaus van de terugslagkleppen opnieuw ingemeten. Dit heeft verschillen opgeleverd. Vanuit het BRP is geconcludeerd dat de kleppen een grote invloed hebben op het hydraulisch functioneren. Deze variaties hebben een effect gehad op berekende hoeveelheden water op straat, aangezien de terugslagkleppen aanwezig zijn in het gebied waar de resultaten uiteenlopen. Het is echter moeilijk om dit gedetailleerd vast te stellen.

3. Ook zijn er verschillen in overstortniveaus tussen het huidige model en het geactualiseerde model, vanwege de nieuwe inmeting (zie Bijlage 2 – Meetformulieren overstortdrempels van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland). Overstortniveaus hebben namelijk een belangrijke invloed op de afvoercapaciteit. Zoals te zien is in Figuur 41 en Figuur 42 van Bijlage 3 – Lengtedoorsneden bui 09 wordt er op deze betreffende locatie in het huidige model iets meer water op straat berekend dan in het geactualiseerde model. Dit is te verklaren door het feit dat de overstort 8C03P, welke gelegen ligt in deze lengtedoorsnede, 7 cm lager ligt in het geactualiseerde model t.o.v. het huidige model. Hierdoor stroomt het water sneller af richting het achterliggende hoofdriool.

4.1.3. Vergelijking resultaten milieutechnische belasting

In deze paragraaf worden de resultaten vergeleken uit de reeksberekening (zie Bijlage 6 – uitgangspunten/eisen rioolberekeningen van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland voor uitleg reeksberekening) welke gemodelleerd zijn in het huidige en geactualiseerde model. De uitkomst hiervan is te zien in Tabel 3.

Overstort	Aantal overstortingen huidige model	Aantal overstortingen geactualiseerd model	Volume huidige model	Volume geactualiseerd model	Vuiluitworp CZV huidige model	Vuiluitworp CZV geactualiseerd model	Verskil CZV
	Per jaar	Per jaar	M ³ per jaar	M ³ per jaar	Kg per jaar	Kg per jaar	%
8A088 (uitsnede)	12	14,4	664	669	166	167	+ 0,6
8A088	2	2,1	89	133	22	34	+ 54,5
8A286	2	1	67	44	17	11	- 35,3
8B02P (uitsnede)	4	0,4	204	82	51	20	- 60,8
8E02U	3	6,7	503	1655	126	414	+ 228,6
8G025	5	3,4	2566	2153	353	296	- 16,1
Totaal	28	28	4093	4736	735	942	+ 28,2

Tabel 3: Verschil in milieutechnisch functioneren tussen huidig en geactualiseerd model

In Tabel 3 is te zien dat er stijging is van 207 kg CZV per jaar. Dit wordt veroorzaakt door een grote stijging van vuilwateruitworp bij overstort 8E02U. Deze overstort is gelegen in bemaalingsgebied D (Bedrijventerrein). Zoals beschreven is in paragraaf 4.1.1 is hier een forse stijging van het verhard oppervlak, wat leidt tot een grotere hydraulische belasting. Hierdoor wordt er meer water via de overstort afgevoerd richting het oppervlaktewater (stijging van 1152 m³), resulterend in een hogere vuilwateruitworp (stijging 288 kg/jaar CZV).

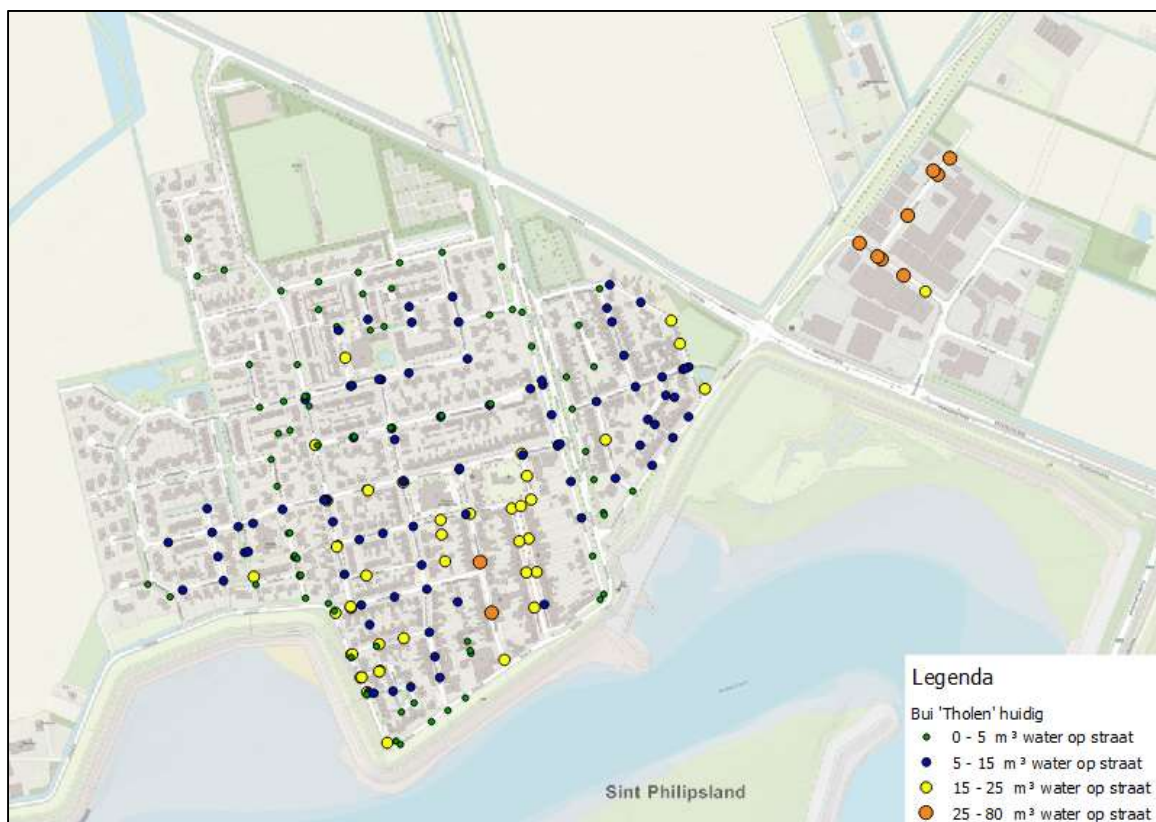
In Figuur 44 en Figuur 45 van Bijlage 4 – Lengtedoorsneden reeksberekening is het verschil in druklijn te zien. Bij het geactualiseerde model wordt er een hogere druklijn berekend dan bij het huidige model, wat resulteert in een hogere overstort hoeveelheid en daarmee uiteindelijk meer vuilwateruitworp.

Daarnaast is er een daling te zien bij overstort 8B02P (uitsnede). De reden hiervoor is dat er een verschil is in drempelniveau bij zowel de interne overstort als de externe overstort. In het huidige model zijn deze lager ingemeten dan in het geactualiseerde model. Het gaat hier in beide situaties om een verschil van ca. 8 cm. Hierdoor vond er in het huidige model eerder een overstorting plaats, wat leidt tot een hogere vuilwateruitworp (51 om 20 kg CZV per jaar).

4.2. Verschil tussen huidig en geactualiseerd model bij bui 'Tholen'

In deze paragraaf wordt het verschil tussen het huidige model en geactualiseerde model in kaart gebracht, wanneer het systeem hydraulisch wordt belast met bui 'Tholen'. Bij deze neerslaggebeurtenissen is in beide situaties een inloopbui toegepast.

4.2.1. Huidig model



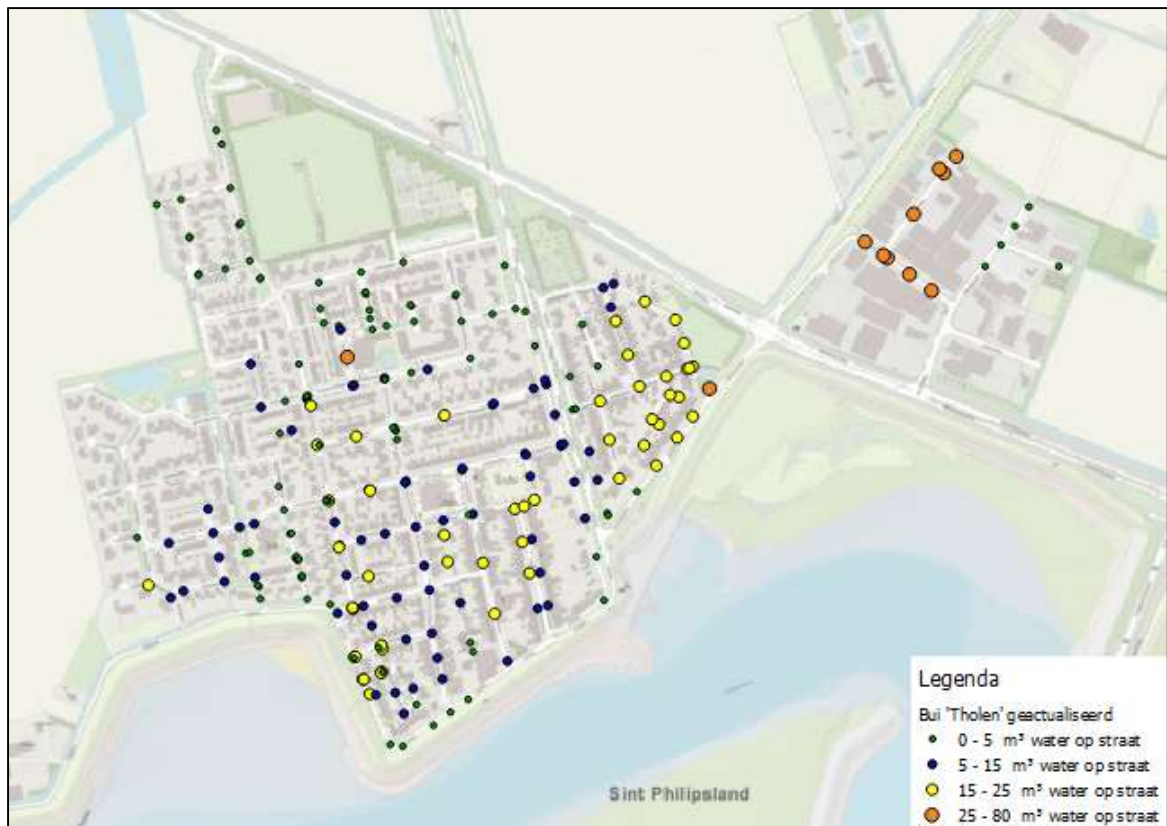
Figuur 10: Resultaten hydraulische belasting bui 'Tholen' in huidig model

In Figuur 10 is de maximale hoeveelheid water op straat weergegeven bij een hydraulische belasting met bui 'Tholen' in het huidige model. Hierbij wordt in totaal 2291,2 m³ water op straat berekend.

In Figuur 11 is de maximale hoeveelheid water op straat weergegeven bij een hydraulische belasting met bui 'Tholen' in het geactualiseerde model. Hierbij wordt in totaal 2437,8 m³ water op straat berekend.

Er wordt zowel via het gemengde als het regenwaterstelsel water op straat berekend. Waarbij opgemerkt kan worden dat de veruit de meeste hoeveelheid water op straat over het gemengde stelsel wordt berekend.

4.2.2. Geactualiseerd model



Figuur 11: Resultaten hydraulische belasting bui 'Tholen' in geactualiseerd model

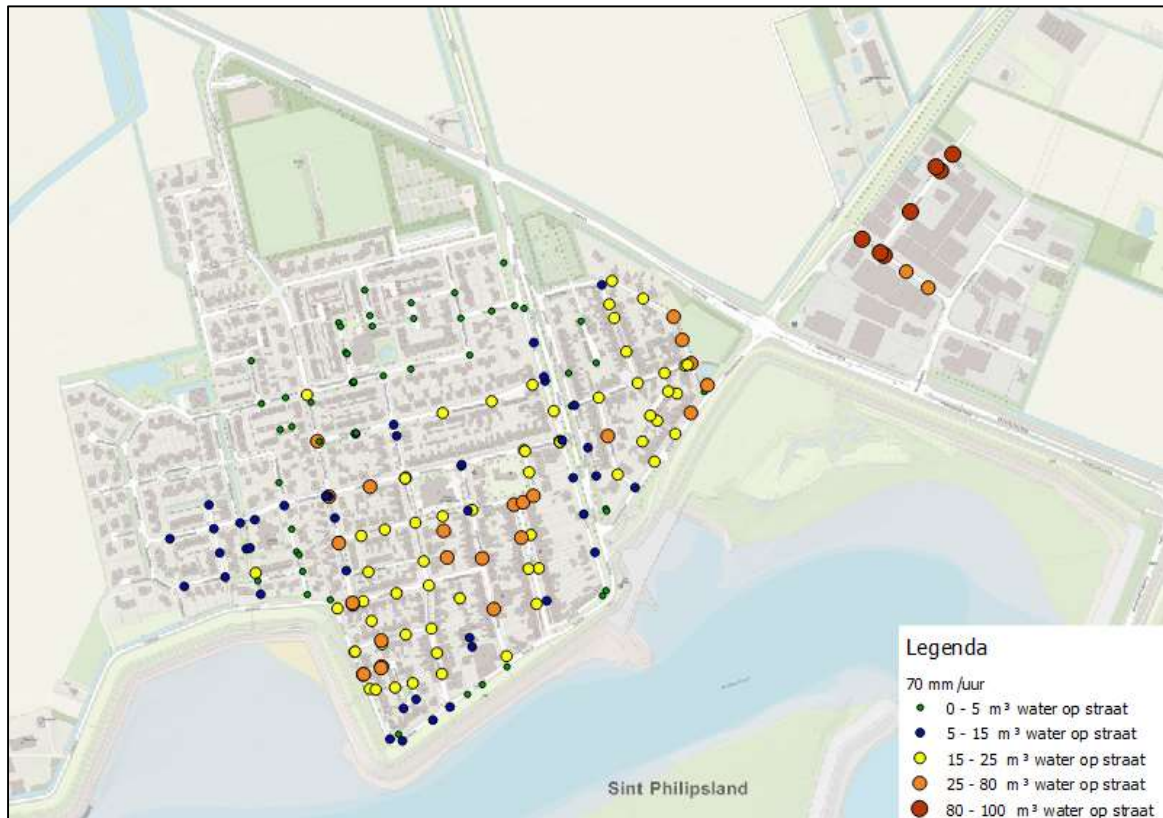
Er wordt in totaal een verschil van 146 m³ (6,4 %) water op straat berekend. Dit is toe te schrijven aan het feit dat de totale verharding is gestegen van 18,17 ha naar 23,01 ha. Hierdoor ontstaat er een zwaardere hydraulische belasting op met name het gemengde rioleringsysteem. Dit is terug te zien in de beide figuren, waarbij er met name een stijging te zien is in de bemalingsgebieden C (Kern) en D (Bedrijventerrein). Deze resultaten worden ondersteunt door de lengtedoorsneden welke te zien zijn in Figuur 47 en Figuur 48 van Bijlage 5 – Lengtedoorsneden bui 'Tholen'. De druklijn van het geactualiseerde model ligt daarin hoger, omdat er meer water op straat wordt berekend.

Deze toename in water op straat is relatief klein in vergelijking met de absolute stijging van de hydraulische belasting, veroorzaakt door de verhoging van het verhard oppervlak (4,84 ha). Dit is te verklaren door het feit dat het meeste water via de overstorten wegstroomt naar het oppervlaktewater, zoals te zien is in Figuur 50 en Figuur 51 van Bijlage 5 – Lengtedoorsneden bui 'Tholen'. Hierbij is te zien dat de druklijn in het huidige model beduidend lager ligt dan in het geactualiseerde model.

4.3. Relatie tussen diverse extreme neerslagsscenario's

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van de hydraulische belasting met permanente neerslaggebeurtenissen van 70 & 90 mm/uur en bui 'Tholen'. Deze zijn allemaal gemodelleerd in het geactualiseerde model en voorzien van een inloopbui. Deze worden onderling met elkaar vergeleken om te kijken welke neerslagscenario het meest representatief is om te gebruiken voor het modelleren van extreme neerslag.

4.3.1. Hydraulische belasting met 70 mm/uur permanent



Figuur 12: Resultaten hydraulische belasting 70 mm/uur

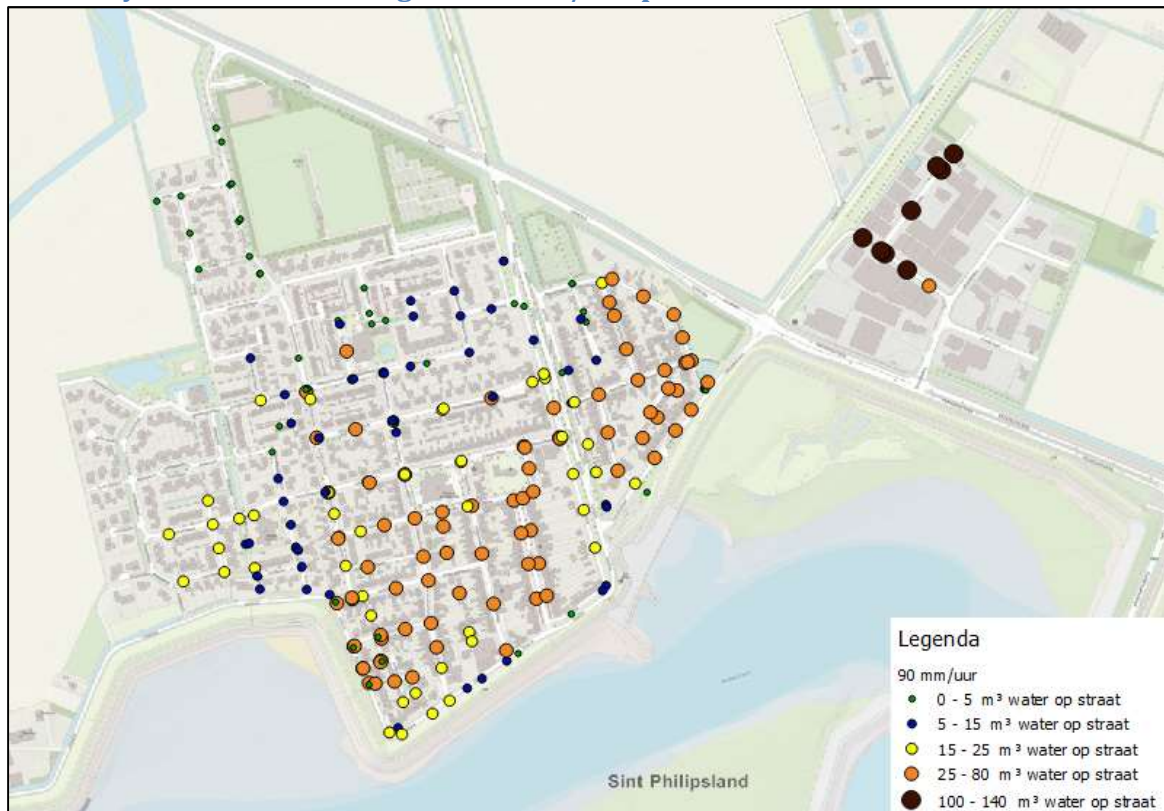
In Figuur 12 is de maximale hoeveelheid water op straat weergegeven bij een permanente hydraulische belasting van 70 mm/uur. Hierbij wordt in totaal 3322,7 m³ water op straat berekend.

In Figuur 13 is de maximale hoeveelheid water op straat weergegeven bij een permanente hydraulische belasting van 90 mm/uur. Hierbij wordt in totaal 5435,7 m³ water op straat berekend.

In Figuur 14 is de maximale hoeveelheid water op straat weergegeven bij een hydraulische belasting met bui 'Tholen'. Hierbij wordt in totaal 2688,2 m³ water op straat berekend.

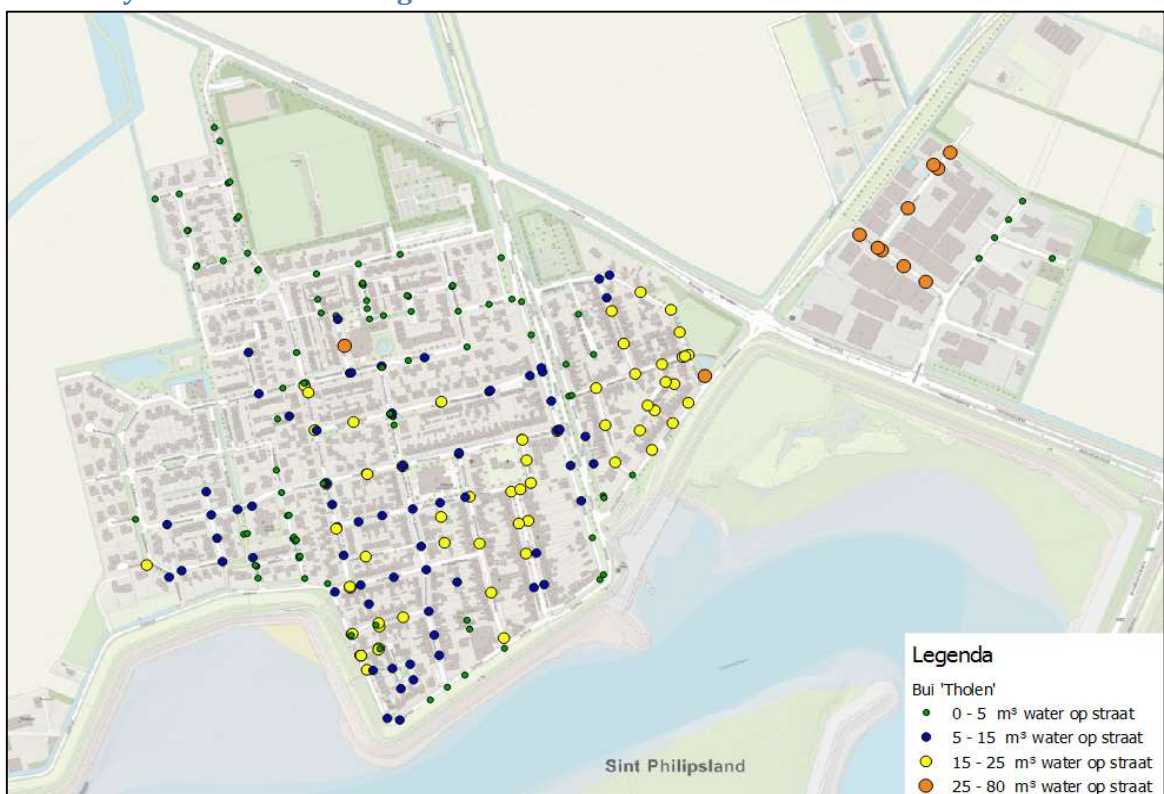
Ook hier wordt zowel via het gemengde- als het regenwaterstelsel water op straat berekend. Waarbij opgemerkt kan worden dat wederom veruit de meeste hoeveelheid water op straat vanuit het gemengde stelsel wordt berekend.

4.3.2. Hydraulische belasting met 90 mm/uur permanent



Figuur 13: Resultaten hydraulische belasting 90 mm/uur

4.3.3. Hydraulische belasting met bui 'Tholen'



Figuur 14: Resultaten hydraulische belasting bui 'Tholen'

In Bijlage 6 – Verschilkaarten extreme neerslag zijn de kaarten te zien waar de verschillen worden aangegeven tussen de verschillende neerslagscenario's.

Hieronder zijn de verschillen tussen diverse neerslagscenario's weergegeven:

Neerslagscenario vergelijking	Water op straat 70 mm/uur (m ³)	Water op straat 90 mm/uur (m ³)	Water op straat bui 'Tholen' (m ³)	T.O.V.	Vershil (m ³)	Vershil (%)
70 & 90 mm/uur	3322,7	5435,7	-	70 mm/uur	2213	+ 68,7
70 mm/uur & bui 'Tholen'	3322,7	-	2688,2	bui 'Tholen'	534,5	+ 19,8
90 mm/uur & bui 'Tholen'	-	5435,7	2688,2	bui 'Tholen	2747,5	+ 102,2

Tabel 4: Verschillen neerslagscenario's extreme neerslag

In Tabel 4 is te zien dat er grote verschillen aanwezig zijn tussen de neerslagscenario's. Met name tussen de neerslagscenario's 70 en 90 mm/uur & 90 mm/uur en bui 'Tholen' zijn de verschillen erg groot. Dit is te verklaren vanwege het feit dat de neerslagintensiteiten ver uit elkaar liggen. Het verschil tussen de neerslagscenario's 70 en 90 mm/uur bedraagt 20 mm/uur. Voortkomend uit paragraaf 2.4.3 kan vastgesteld worden dat de neerslagintensiteit van bui 'Tholen' 67 mm/uur bedraagt. De verschillen tussen de neerslagscenario's 90 mm/uur en bui 'Tholen' bedragen dus ook ca. 20 mm. Dit leidt daarmee tot een groot verschil in de hoeveelheid water op straat. Onderling tussen deze neerslagscenario's is ook een flinke variatie aanwezig. De reden hiervoor is dat 70 en 90 mm/uur stationaire neerslaggebeurtenissen zijn, waarbij er gerekend wordt met een permanente hydraulische belasting. Bui 'Tholen' daarentegen is dynamisch opgebouwd zoals wederom te zien is in paragraaf 2.4.3. Daarbij is er dus gedurende de bui meer tijd voor het systeem om het water af te voeren dan bij de stationaire buien van 70 en 90 mm/uur

Het verschil tussen de neerslaggebeurtenissen 70 mm/uur en bui 'Tholen' is daarin relatief klein omdat de gemiddelde neerslagintensiteiten van deze buien dicht bij elkaar liggen.

Uit Figuur 11, Figuur 12 en Figuur 13 kan geconstateerd worden dat er tijdens de modellering van de verschillende neerslaggebeurtenissen geen 'echte' nieuwe knelpunten worden berekend. Dit is ook gedurende het modelproces naar voren gekomen. Allereerst is er gemodelleerd met bui 'Tholen' en vervolgens met 70 en 90 mm/uur. De doorrekening met 70 en 90 mm/uur levert een verergering op van de knelpunten welke bij bui 'Tholen' naar voren kwamen, maar zorgt niet voor extra probleemsituaties.

4.4. Modelleren van onverhard oppervlak

In deze paragraaf is beschreven welke impact onverhard oppervlak heeft op de uitkomst van de hydraulische modellering van extreme neerslag. Allereerst is het onverhard oppervlak bepaald zoals beschreven staat in hoofdstuk 3. Daarna is er aan de hand van de voorgaande resultaten bepaald welke neerslaggebeurtenis toegepast wordt. Vervolgens vonden er twee gevoeligheidsanalyses (hoeveelheid en infiltratiecapaciteit) plaats om het effect zo duidelijk mogelijk in kaart te brengen.

4.4.1. Bepaling onverhard oppervlak

Allereerst is er een globale analyse uitgevoerd, waarbij gekeken is naar de locaties waar onverhard oppervlak voorkomt binnen de bemalingsgebieden van de kern Sint Philipsland. Uit deze analyse kwam naar voren dat alleen binnen het bemalingsgebied C (Kern) een substantiële hoeveelheid onverhard oppervlak aanwezig is. Voor de gevoeligheidsanalyse is daarom alleen het onverhard oppervlak van dit gebied in kaart gebracht. Daarnaast is het ook een bewuste keuze geweest omdat in dit bemalingsgebied een gemengd stelsel aanwezig is. Andere gebieden (bemalingsgebied A en B) zijn voorzien van een gescheiden stelsel, of bevatten nauwelijks onverhard oppervlak (bemalingsgebied D). Hierdoor zijn deze niet relevant om mee te nemen in de analyse.

De totale hoeveelheid onverhard oppervlak is bepaald op 4,46 ha zoals te zien is in Bijlage C – Tekening onverharde oppervlaktes kern Sint Philipsland. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen onverhard hellend en onverhard vlak op de gemengde riolering en regenwaterriolering. In Tabel 5 zijn hoeveelheden per type onverhard oppervlak te zien.

Type onverhard	Hoeveelheid (ha)	Percentage van totaal (%)
Hellend regenwaterriool	0,62	13,9
Hellend gemengd riool	1,13	25,3
Vlak regenwaterriool	1,28	28,7
Vlak gemengd riool	1,43	32,1
Totaal	4,46	100

Tabel 5: Hoeveelheid onverhard oppervlak gespecificeerd per type

N.B.: Tijdens de analyse is alleen het onverharde oppervlak meegenomen waarbij duidelijk kon worden vastgesteld dat het afstroomt richting het riool. Het andere onverhard oppervlak is buiten beschouwing gelaten, omdat dit niet is aangesloten of afstroomt richting het oppervlaktewater.

4.4.2. Hydraulische belasting

Allereerst is er gekozen voor een neerslaggebeurtenis met een extreme neerslagintensiteit. Hiermee kan de impact van het onverhard oppervlak zo duidelijk mogelijk in beeld worden gebracht. Tevens is er gekozen voor een stationaire bui, om ervoor te zorgen dat er zo min mogelijk variabelen zijn. Dit, om de invloed van alleen de hoeveelheid en de infiltratiecapaciteit (zoals beschreven in paragraaf 2.5) zo helder mogelijk in beeld te brengen.

Voor de doorrekening van onverhard oppervlak is gekozen voor de neerslaggebeurtenis van 70 mm/uur (zie paragraaf 2.4.2). Deze neerslagintensiteit ligt dicht bij de intensiteit van bui 'Tholen (zie paragraaf 2.4.3) en is daardoor herkenbaar voor bewoners. Daarnaast is deze gebeurtenis gestandaardiseerd waardoor de resultaten makkelijker te verspreiden zijn met andere belanghebbenden, aangezien de standaard neerslaggebeurtenissen landelijk worden toegepast. Deze bui zal voor een tijdsperiode van 2 uur gemodelleerd worden om het herstel van de Infiltratiecapaciteit zoals beschreven staat in paragraaf 2.5 mee te kunnen modelleren.

Daarnaast wordt de inloopbui toegepast welke uitgelegd wordt in paragraaf 2.4.5. Dit om de situatie zo realistisch mogelijk te kunnen modelleren.

4.4.3. Gevoeligheidsanalyse hoeveelheid

Om te kijken wat het effect is van het mee modelleren van onverhard oppervlak zijn er verschillende hoeveelheden hiervan doorgerekend. Hiermee wordt duidelijk wat de impact is van de hoeveelheid onverhard oppervlak en daarmee of een nauwkeurige bepaling nuttig dan wel noodzakelijk is. De totale hoeveelheid onverhard oppervlak is bepaald op 4,46 ha (zie paragraaf 4.4.1). Vervolgens is het model doorgerekend met een stijging van 25 % en 50 % van de onverharde vlakken. Dit, om het systeem te testen op de gevoeligheid voor onverhard oppervlak. Er is gekozen voor deze relatief grote stijgingspercentages, zodat er duidelijk geconcludeerd kan worden wat de werking is van het onverhard oppervlak op de hydraulische belasting van het rioolsysteem. De stijging is modelmatig toegepast door de bestaande onverharde terreinen met een vaste factor te verhogen, totdat het desbetreffende stijgingspercentage is bereikt. Hierbij is een gelijkmatige stijging gecreëerd over al de oppervlaktes.

Scenario	Neerslagintensiteit (mm/uur)	Onverhard oppervlak (ha)	Water op straat (m ³)	Vershil T.O.V. inventarisatie (m ³)	Vershil T.O.V. inventarisatie (%)
Alleen verhard	70	-	6877,5	-	-
Verhard + onverhard	70	4,46	10104,9	3227,4 ⁽⁶⁾	46,9 ⁽⁶⁾
Verhard + onverhard + 25% stijging onverhard	70	5,58	11007,3	902,4	8,9
Verhard + onverhard + 50% stijging onverhard	70	6,69	11924,2	1819,3	18,0

Tabel 6: Verschillen tussen diverse scenario's voor de hoeveelheid onverhard oppervlak

In Tabel 6 zijn de resultaten te zien van de doorrekening met de diverse hoeveelheden onverhard oppervlak. Het 'Alleen verhard' scenario is de situatie waarbij het model is doorgerekend een neerslagintensiteit van 70 mm/uur gedurende 2 uur. Hierbij is alleen het verhard oppervlak aangesloten, zodat er een goede vergelijking gemaakt kon worden.

⁶ Verschil t.o.v. Alleen verhard

Daarnaast dient te worden opgemerkt dat er bij deze analyse alleen de hoeveelheid oppervlak is veranderd, de andere parameters zijn conform de Leidraad Riolering, Module C2100 (zoals beschreven staat in paragraaf 2.5) toegepast. Dit om één variabele te creëren, zodat die goed geanalyseerd kon worden.

Vanuit de resultaten uit Tabel 6 kan worden vastgesteld dat het onverharde oppervlak voor een flinke stijging zorgt in water op straat t.o.v. de situatie waarbij alleen verhard oppervlak is toegekend (49,1 %). Dit is ook te zien in Figuur 55 van Bijlage 7 – Verschilkaarten hoeveelheid onverhard oppervlak, waarbij de plaatsen waar het onverhard oppervlak is toegekend de grootste verschillen zijn te zien. De onderliggende reden voor de extreme stijging is dat de neerslagintensiteit van 70 mm/uur de maximale infiltratiecapaciteit van 5 mm/uur ver overschrijdt.

Een toename in het stijgingspercentage zorgt voor een relatief kleine stijging in water op straat, zoals te zien is in Tabel 6. De stijgingspercentages van het onverharde oppervlak komen niet één op één overeen met de stijgingspercentages van de hoeveelheid water op straat wat er berekend wordt. Dit is te verklaren door het feit dat de stijging in onverhard oppervlak zorgt voor een algemene toename in de hoeveelheid water op straat (zie Figuur 58 van Bijlage 7 – Verschilkaarten hoeveelheid onverhard oppervlak). Ook stort er meer water over via de desbetreffende overstorten, wat ervoor zorgt dat er geen lineair verband is tussen de stijgingspercentages van de hoeveelheid onverhard oppervlak en water op straat. Daarentegen is wel te zien dat er een onderling verband is tussen de stijging van 25 % en 50 %. Een verdubbeling van het stijgingspercentage voor de hoeveelheid onverhard oppervlak, zorgt namelijk ook voor verdubbeling van het stijgingspercentage voor de hoeveelheid water op straat. Dit wordt ondersteund door de resultaten in Bijlage 7 – Verschilkaarten hoeveelheid onverhard oppervlak (Figuur 55, Figuur 56 en Figuur 57), waarbij er een gelijkmatige stijging is te zien van de hoeveelheid water op straat. Er kan dus worden afgeleid dat er een relatie daartussen aanwezig is.

4.4.4. Gevoeligheidsanalyse infiltratiecapaciteit

Om te bepalen wat het effect is van de infiltratiecapaciteit op de oppervlakkige afvoer van het onverharde oppervlak is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij het model is doorgerkend met verschillende hoeveelheden infiltratiecapaciteit. Op basis van de gegevens uit paragraaf 2.5 zijn de volgende infiltratiecapaciteiten doorgerkend: 2 mm/uur (op basis van de grondsoortanalyse, zie paragraaf 2.5), 5 mm/uur (conform Leidraad Riolering, Module C2100, zie paragraaf 2.5). Daarnaast is er ook gerekend met een infiltratiecapaciteit van 467 mm/uur. Deze is gebaseerd op de grondsoort zand (grof met enig grind) uit Tabel 1 van paragraaf 2.5. Hierbij is een minimale doorlaatbaarheid aangehouden van 10 m/etmaal, wat neerkomt op de infiltratiecapaciteit van 467 mm/uur.

De infiltratiecapaciteit welke gedurende de berekening is aangepast bedraagt de maximale infiltratiecapaciteit, aangezien de waardes vanuit Tabel 1 uit paragraaf 2.5 de infiltratiecapaciteit beschrijven op basis van de grondeigenschappen. Voor de minimale

infiltratiecapaciteit en de tijdsfactoren zijn de waardes conform Leidraad Riolering, Module C2100, zoals deze beschreven staan in paragraaf 2.5 aangehouden.

De hoeveelheid onverhard oppervlak die tijdens de berekening is gebruikt, is gebaseerd op de vastgestelde hoeveelheid uit de onverhardingstekening (zie paragraaf 4.4.1).

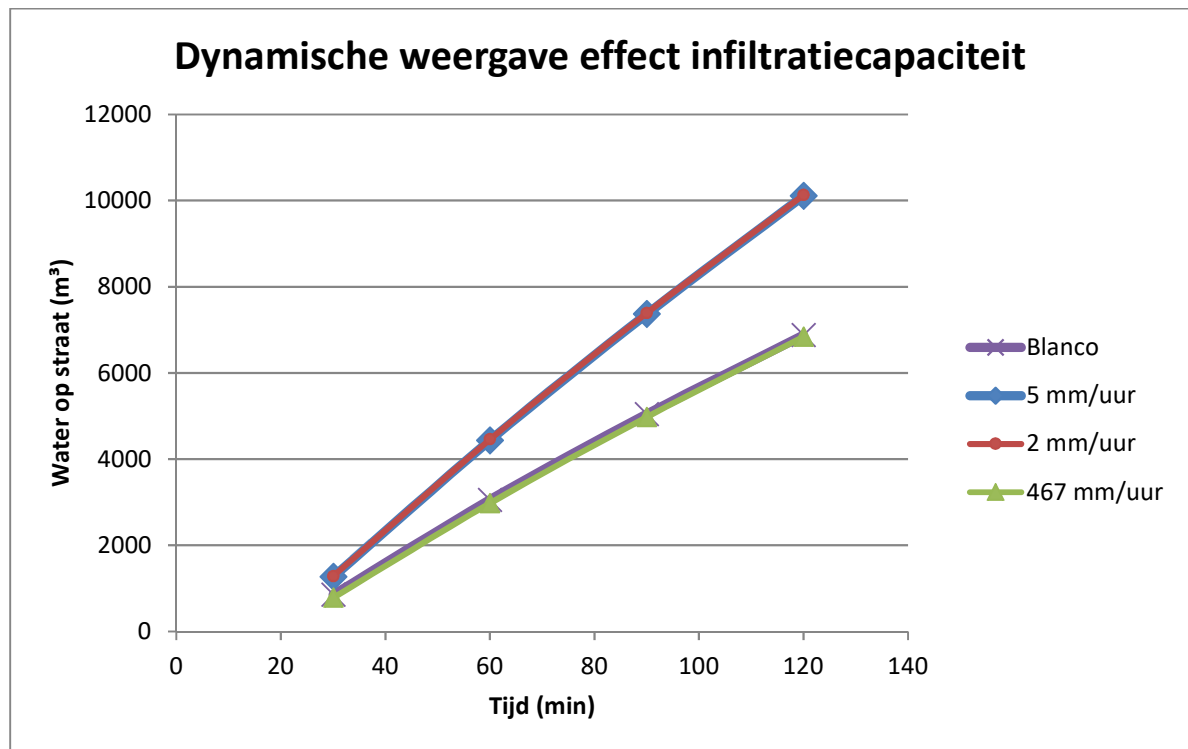
Voor de neerslagintensiteit is wederom een permanente belasting van 70 mm/uur aangehouden over een tijdsperiode van 2 uur (zie paragraaf 4.4.2).

Scenario	Neerslagintensiteit (mm/uur)	Maximale infiltratiecapaciteit (mm/uur)	Water op straat (m ³)	Verschil T.O.V. Leidraad Riolering (m ³)	Verschil T.O.V. Leidraad Riolering (%)
Alleen verhard	70	-	6877,5	-	-
Verhard + onverhard klei	70	2	10126,7	21,8	0,2
Verhard + onverhard conform Leidraad Riolering	70	5	10104,9	-	-
Verhard + onverhard zand	70	467	6838,1	3266,8	47,8

Tabel 7: Verschillen tussen diverse scenario's voor de maximale infiltratiecapaciteiten

In Tabel 7 zijn de resultaten te zien van de doorrekening met de verschillende infiltratiecapaciteiten. Hierin is te zien dat er weinig verschil zit tussen de hoeveelheid water op straat welke berekend is met een infiltratiecapaciteit voor klei en Conform Leidraad Riolering, Module C2100, zoals te zien is in Figuur 59 van Bijlage 8 – Verschilkaarten infiltratiecapaciteit. Deze infiltratiecapaciteit valt namelijk in dezelfde orde van grootte. De infiltratiecapaciteit van zand ligt daarentegen veel hoger en dit is ook terug te zien in de resultaten. Hierbij wordt een verschil van 47,8 % water op straat berekend t.o.v. de hoeveelheid welke conform de Leidraad Riolering, Module C2100 is berekend. De hoeveelheid water op straat is nagenoeg hetzelfde als in het 'Alleen verhard' scenario, wat betekent dat de neerslag volledig is geïnfiltreerd in de bodem. Hieruit kan worden vastgesteld dat de infiltratiecapaciteit een groot effect heeft op de berekende hoeveelheid water op straat. Deze resultaten worden daarnaast weergegeven in Figuur 60 van Bijlage 8 – Verschilkaarten infiltratiecapaciteit. De grootste verschillen worden ook hier berekend op de plaatsen waar het meeste onverhard oppervlak is aangesloten.

In Figuur 15 is weergegeven wat het effect is van de infiltratiecapaciteit gedurende de hydraulische belasting van 70 mm/uur. Hierbij zijn om het half uur de berekende waarden voor de hoeveelheid water op straat gegenereerd.



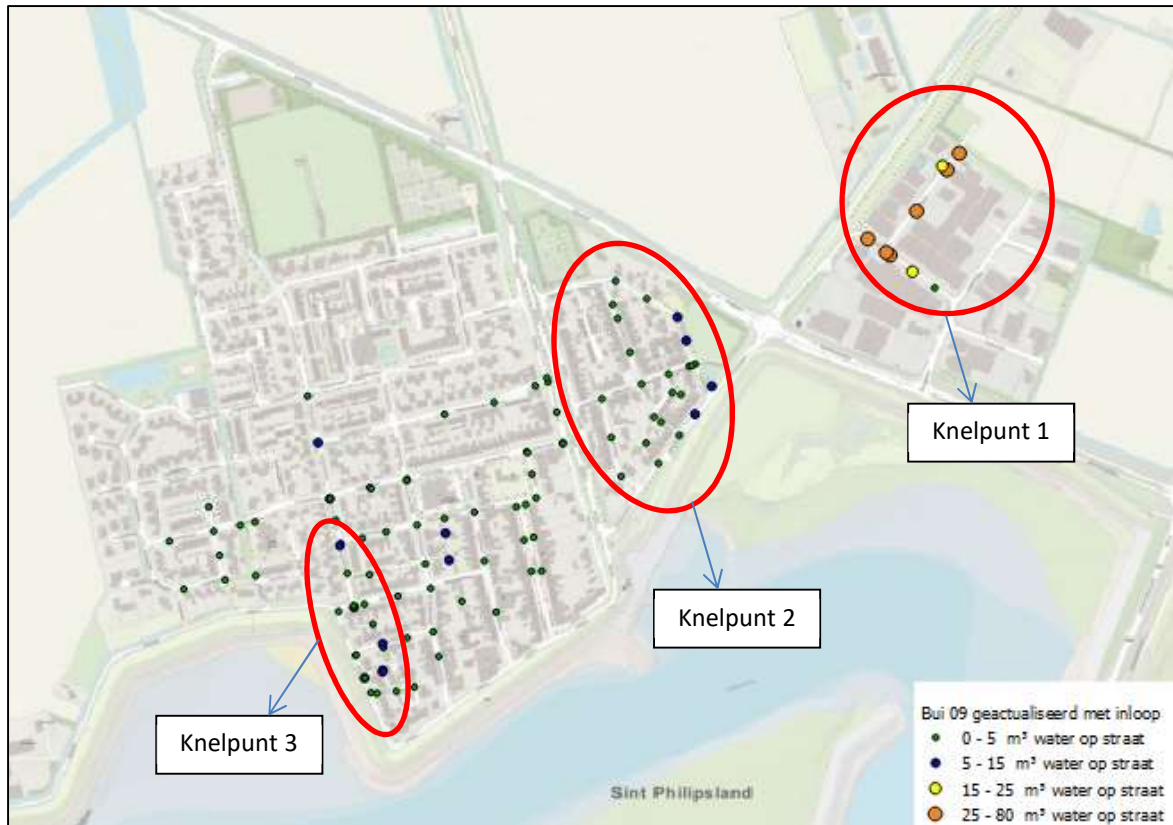
Figuur 15: Dynamische weergave van de hoeveelheid water op straat bij verschillende infiltratiecapaciteiten

Daarin is te zien dat de scenario's 2 & 5 mm/per uur en blanco & 467 mm/uur dezelfde verloop hebben gedurende de bui. De helling van de grafieklijn ligt bij de scenario's 2 & 5 mm/per uur steiler dan bij de scenario's blanco & 467 mm/uur. Dit komt vanwege het feit dat de infiltratiecapaciteit bij de eerste scenario's wordt overschreden door de neerslagintensiteit, terwijl bij het scenario van 467 mm/uur deze niet wordt overschreden. Hierdoor komen de berekende waarden overeen met het blanco scenario, omdat er geen onverhard oppervlak afstroomt richting het rioolsysteem. Beide lijnen lopen lineair omhoog, wat veroorzaakt wordt door de neerslaggebeurtenis die stationair is.

4.5. Optimalisatiemaatregelen

In deze paragraaf is een systeemanalyse uitgevoerd, waarbij er gekeken is naar de knelpunten die ontstaan tijdens hydraulische belasting met verschillende neerslagsscenario's. Indien toepasbaar, is er gekeken naar mogelijkheden voor oppervlakkige afvoer. Per optimalisatiemaatregel zijn allereerst de uitgangspunten benoemd en vervolgens de resultaten weergegeven.

Tijdens de hydraulische berekening zijn er 3 belangrijke knelpunten geconstateerd, welke te zien zijn in Figuur 16. Voor deze knelpunten zijn hydraulische maatregelen opgesteld.



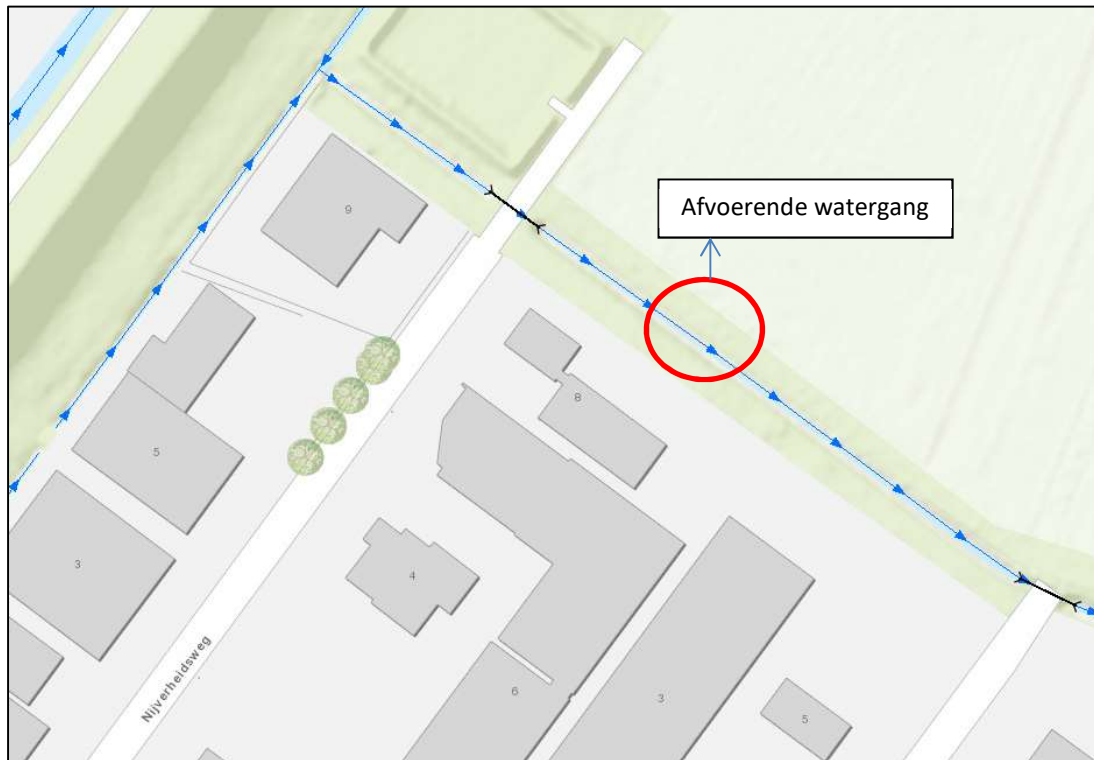
Figuur 16: Knelpunten in het rioolsysteem bij hydraulische belasting met bui 09 met inloopbui

4.5.1. Optimalisatie Nijverheidsweg (knelpunt 1)

Vanuit de toetsing met bui 08 in het geactualiseerd Basisrioleringsplan is er in de Nijverheidsweg & Kwekerijweg veel water op straat berekend (zie paragraaf 3.3.1. van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland). In het verleden is een klacht van wateroverlast bekend, zoals te zien is in paragraaf 1.5 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland. Hier is vervolgens een maatregel voor opgesteld in de vorm van het vergroten van diverse rioolstrengen (zie paragraaf 4.1 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland).

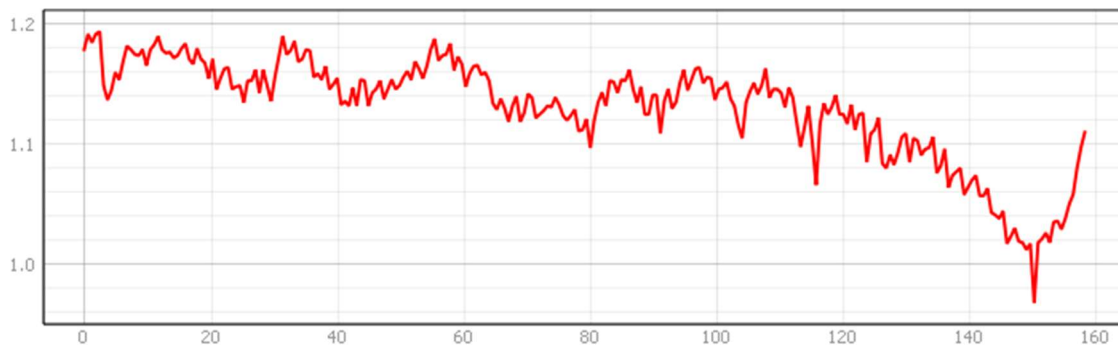
In deze paragraaf is er gekeken naar een mogelijke optimalisatie in de vorm van oppervlakkige afvoer via de Nijverheidsweg (zie Figuur 64 van Bijlage 9 – Optimalisatiemaatregel Nijverheidsweg) richting de achtergelegen waterpartij zoals is te

zien in Figuur 17 van deze paragraaf en daarnaast in Figuur 65 van Bijlage 9 – Optimalisatiemaatregel Nijverheidsweg.



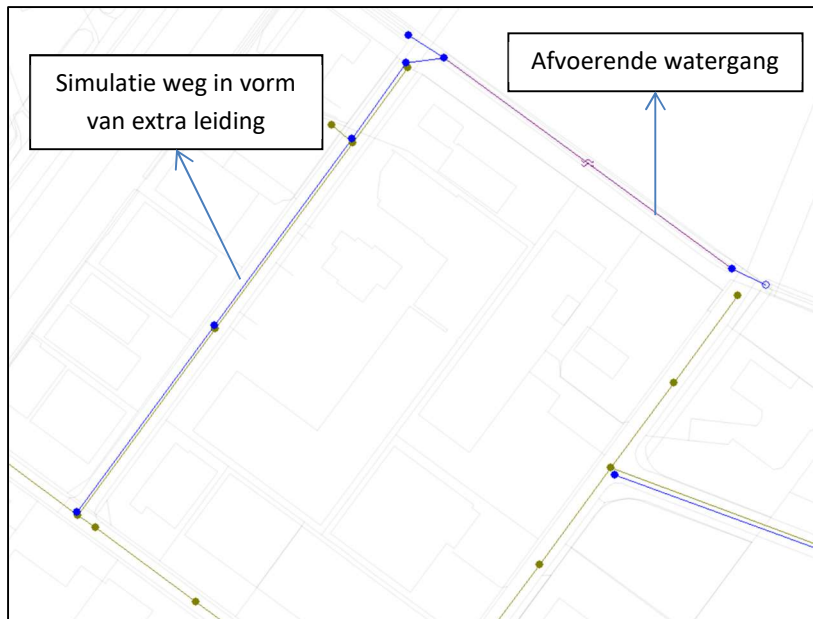
Figuur 17: Watergang achter Nijverheidsweg (Waterschap Scheldestromen, z.d.)

In de huidige situatie ligt het afschot van deze weg namelijk richting de Kwekerijweg, zoals te zien is in Figuur 18.



Figuur 18: Huidige afschot Nijverheidsweg vanaf de afvoerende watergang richting de Kwekerijweg (X-as: lengte in m; Y-as: hoogte m NAP)

Aangezien het in InfoWorks CS moeilijk is om oppervlakkige afvoer te modelleren is ervoor gekozen om de weg te simuleren als een tweede leiding naast het huidige gemengde rioolstelsel in de Nijverheidsweg, waarbij deze leiding de vorm heeft van een rechthoek met bepaalde afmetingen. Vervolgens is er een koppeling gemaakt tussen de rioolputten om te modelleren dat de berekende hoeveelheid water op straat via de 'weg' wordt afgevoerd richting de achterliggende watergang. Deze watergang is ook in het model opgenomen. Dit alles is te zien in Figuur 19, waar een weergave is te zien hoe de situatie is gemodelleerd.

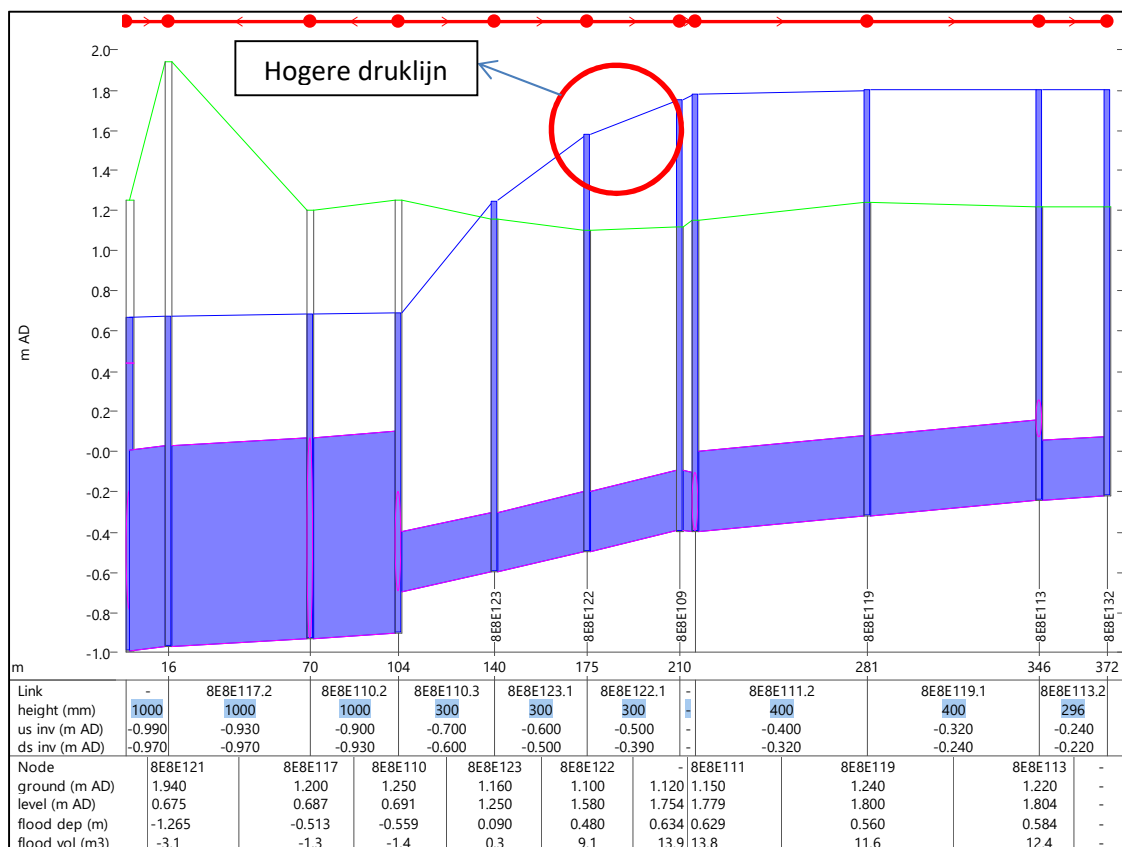


Figuur 19: Modelmatige weergave van oppervlakkige afvoer

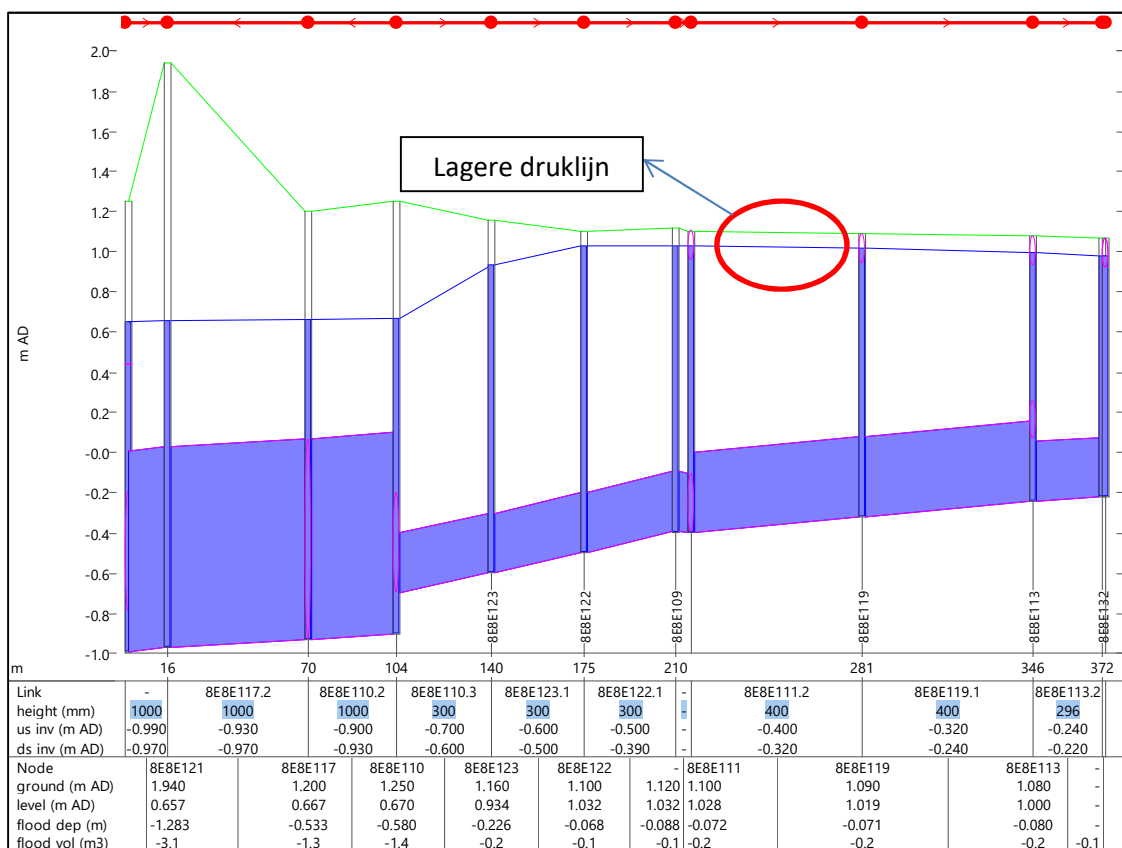
Tijdens de berekening zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- De gemeten wegbreedte van de Nijverheidsweg ligt op ca. 5 m, gedurende de modellering is dit als breedte aangehouden voor de oppervlakkige afvoer;
- Daarnaast is er voor de hoogte van oppervlakteberging een waarde aangehouden van 0,15 m, gebaseerd op de lengte van de weg en de berekende hoeveelheid water op straat;
- Voor de ruwheidswaarde CW is 5 mm aangehouden op basis van het materiaal metselwerk wat ongeveer overeenkomt met de klinkerbestrating welke aanwezig is op de Nijverheidsweg (Clemens, Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004);
- De laagste drempelhoogte van de woningen langs de Nijverheidsweg ligt op + 1.25 m NAP. De hoogste maaiveldhoogte wordt daarom + 1.1 m NAP;
- Wegafschot richting de achterliggende watergang is bepaald op basis van het verhang in de druklijn die in de huidige situatie wordt gecreëerd, welke 0,18 mm over 1 m bedraagt;
- Afmetingen voor de waterloop en duikers zijn gebaseerd op hoogtemetingen, welke zijn uitgevoerd in januari 2018 (bron: gemeente Tholen);
- Waterpeil waarop geloosd wordt bij de uitlaat is + 0.85 m NAP (Waard, Resultaten berekening industrieterrein Sint Phillipsland, 2018). Deze waarde is gemeten na extreme neerslag en wordt dus aangehouden als 'worstcasescenario';
- Water op straat bij bui 08 te voorkomen in zowel de Nijverheidsweg als Kwekerijweg.

In Figuur 20 is het resultaat te zien bij een hydraulische belasting met bui 08 met inloopbui in de huidige situatie zonder oppervlakkige afvoer. Hierbij is te zien dat er veel water op straat wordt berekend in zowel de Nijverheidsweg als Kwekerijweg en dat er een sterke stijging is van de druklijn. In Figuur 21 is het resultaat te zien met oppervlakkige afvoer. Hierbij wordt geen water op straat berekend en een duidelijk minder sterke stijging van de druklijn, wat ervoor zorgt dat deze in het achterliggende stelsel onder maaiveld ligt.



Figuur 20: Lengtdoorsnede bij hydraulische belasting met bui 08 in huidige situatie zonder oppervlakkige afvoer



Figuur 21: Lengtdoorsnede bij hydraulische belasting bui 08 met oppervlakkige afvoer

In Figuur 61 van Bijlage 9 – Optimalisatiemaatregel Nijverheidsweg is een lengtedoorsnede te zien van de gesimuleerde oppervlakkige afvoer. Hierin is te zien dat het water niet de gestelde hoogte van 0,15 m overschrijdt, waardoor er geen water in de woningen komt.

Daarnaast zijn in Figuur 62 en Figuur 63 van deze bijlage lengtedoorsnedes te zien, waaruit geconcludeerd kan worden dat er ook bij hydraulische belasting met bui 09 geen water op straat berekend wordt in zowel de Nijverheidsweg als Kwekerijweg.

4.5.2. Optimalisatie wijk achter Oostdijk (knelpunt 2)

Gedurende de hydraulische berekening kwam naar voren dat er over de gehele wijk water op straat wordt berekend, zoals te zien is in Figuur 16. Tijdens verdere analyse van het desbetreffende rioolstelsel werd geconstateerd dat het gemengd stelsel bestaat uit relatief kleine diameters voor een gemengd stelsel (zie figuur 10 in paragraaf 3.1.1. van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland). Hierdoor is er weinig afvoercapaciteit voor regenwater. Daarnaast is het riool erg oud (zie figuur 7 in paragraaf 3.1.1. van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland), en aan het einde van de theoretische levensduur van 60 jaar (Clemens & Langeveld, 2016). Dit wordt bevestigd door inspectiebeelden van het rioolsysteem welke zijn uitgevoerd in 2015 door M.J. Oomen Leidingtechniek B.V. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 72 van Bijlage 10 – Optimalisatiemaatregelen wijk achter Oostdijk. Hierdoor komt het rioolsysteem in de nabije toekomst in aanmerking voor vervanging. Voor deze optimalisatie is gekozen voor een uitgangspunt om zo min mogelijk water op straat te berekenen bij bui ‘Tholen’ aangezien de ontwerp levensduur rond de 60 jaar ligt en de algemene regenintensiteiten dan hoger liggen.

4.5.2.1. Aanleg regenwaterstelsel

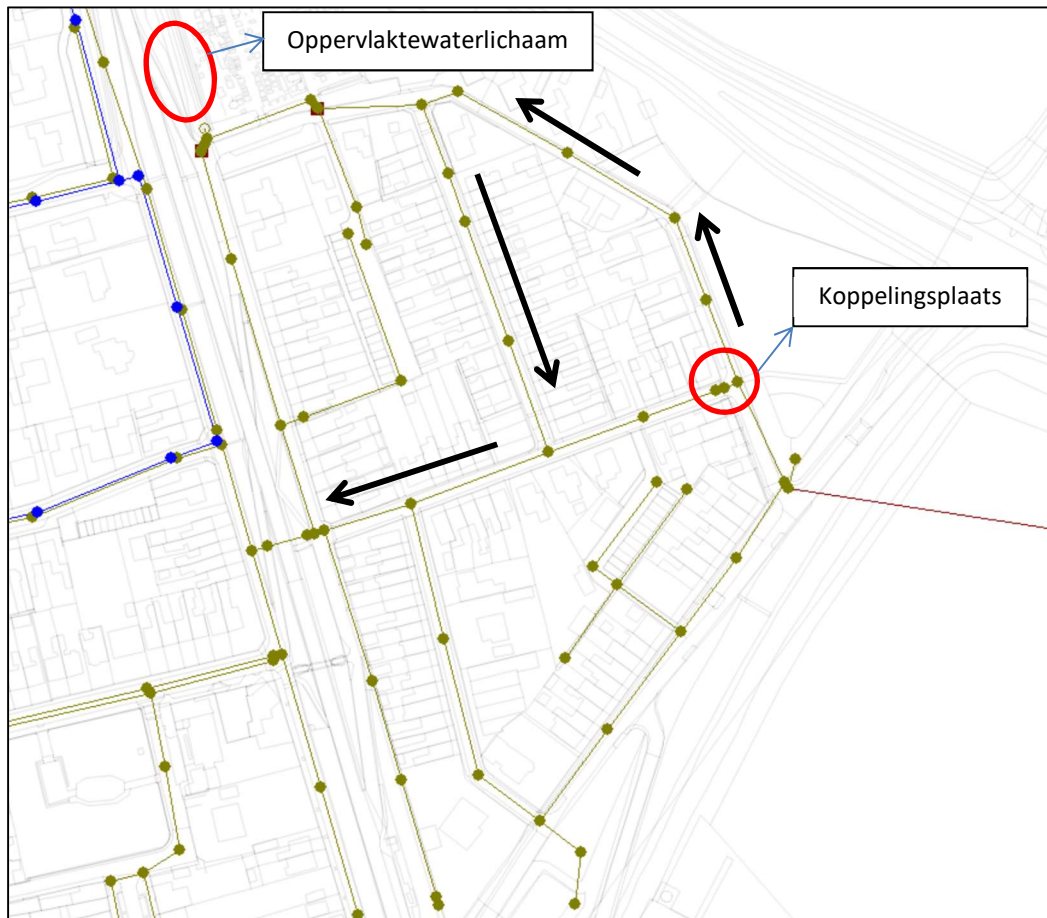
Hierbij is gekozen voor de aanleg van een gescheiden rioolstelsel, waarbij de wegverharding wordt afgekoppeld van het gemengde rioolstelsel. De reden voor een hemelwaterriool i.p.v. oppervlakkige afvoer, is dat er geen strategisch oppervlaktewaterlichaam aanwezig is om het water oppervlakkig naar toe te laten stromen (zie Figuur 22). Daardoor is er gekozen om het water via een hemelwaterriool af te voeren richting de desbetreffende watergang. In het model is dit gesimuleerd door de wegverharding uit de complete wijk te verwijderen, zodat er via de weg geen hydraulische belasting meer plaats vindt op het gemengde rioolsysteem. Er is alleen gekozen voor de wegverharding, omdat het in de praktijk niet haalbaar is om de daken ook mee af te koppelen.

4.5.2.2. Vergroten afvoerende leiding

In de praktijk blijft er nog steeds een zekere mate van belasting door regenwater op het gemengde rioolstelsel via de daken en door de input van de gemengde verharding van het achterliggende bemalingsgebied D (Bedrijventerrein). Hiervoor is de afvoerleiding gelegen in de Emmastraat zoals te zien in Figuur 69 en Figuur 70 van Bijlage 10 – Optimalisatiemaatregelen wijk achter Oostdijk, vergroot van $\varnothing$ 250 & 300 mm naar $\varnothing$ 600 mm om de afvoercapaciteit te vergroten.

4.5.2.3. Koppeling gemengde riolering kruising Emmastraat & Deensestraat

Het water vanuit de Deensestraat wordt in de huidige situatie via een omweg afgevoerd, zoals te zien is in Figuur 22 (aangegeven met de zwarte pijlen). De afvoer kan efficiënter geregeld worden door een koppeling te maken tussen het gemengde riool in de Deensestraat en de Emmastraat. De geografische locatie is ook weergegeven in Figuur 22 en gedetailleerd in Figuur 23. Een locatiefoto is te zien in Figuur 71 van Bijlage 10 – Optimalisatiemaatregelen wijk achter Oostdijk. Het gaat hierbij om een rioolstreng met een lengte van 4,9 m en een diameter van 600 mm, welke modelmatig is ingevoerd (Figuur 69 van Bijlage 10 – Optimalisatiemaatregelen wijk achter Oostdijk)



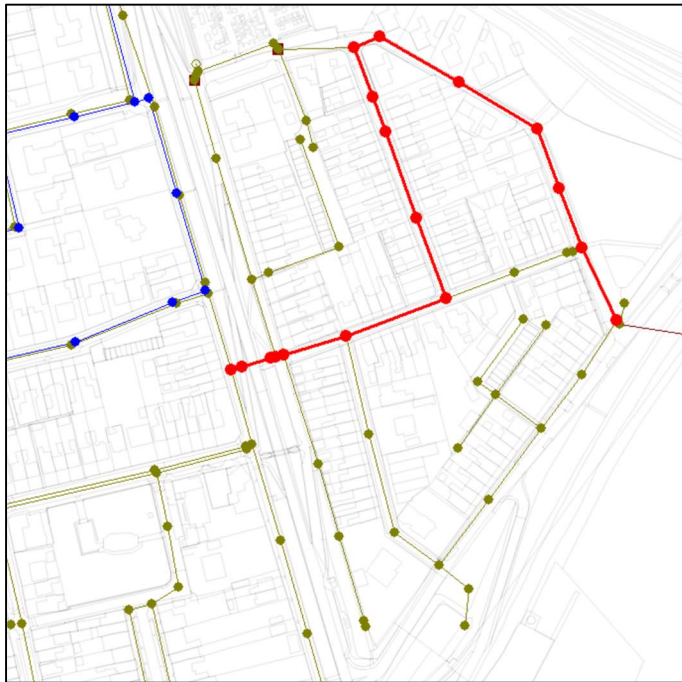
Figuur 22: Afstroomrichting en koppeling met gemeente riool in Emmastraat



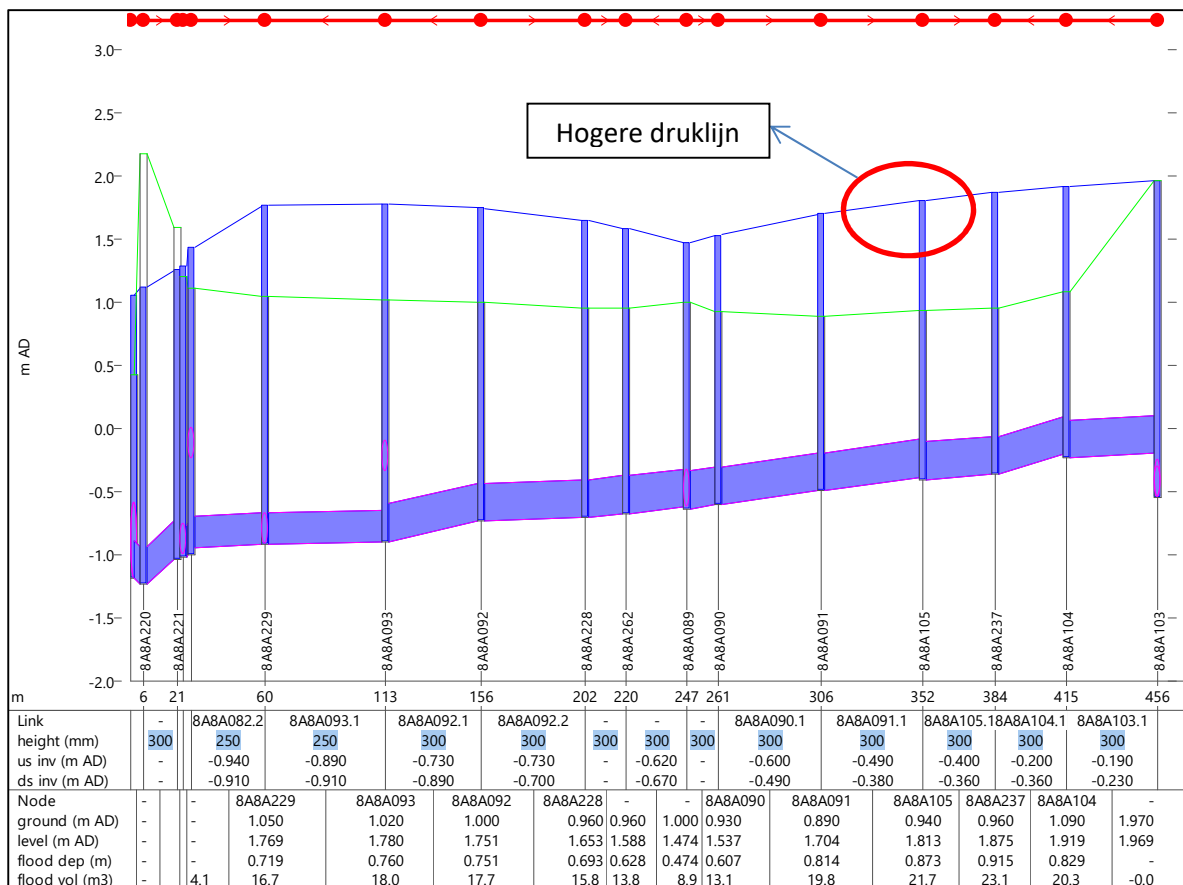
Figuur 23: Gedetailleerde weergave koppeling gemengde riolering Deensestraat met Emmastraat

4.5.2.4. Resultaten maatregelen bij bui 'Tholen' met inloopbui

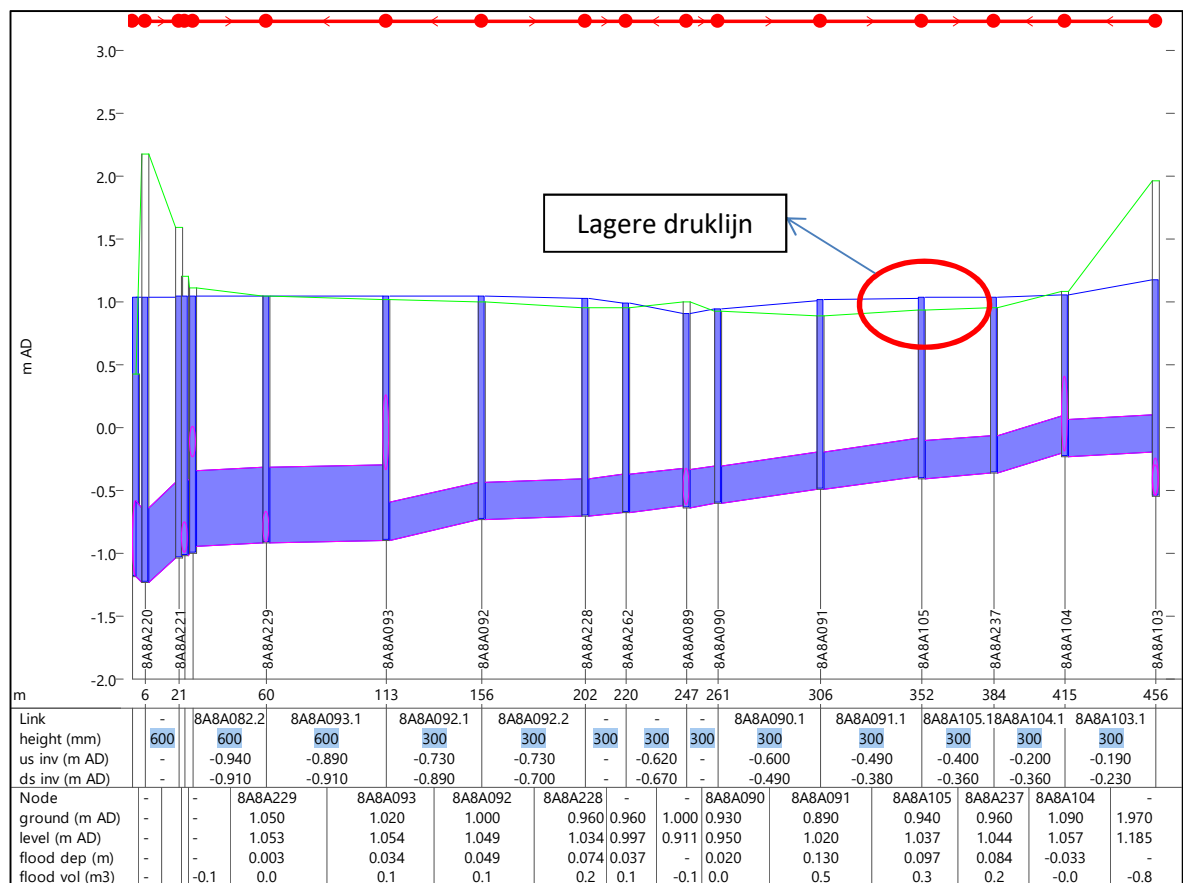
Hieronder zijn de resultaten te zien van de situatie voor de opgestelde maatregelen en na de doorrekening daarvan. Dit bij een hydraulische belasting met bui 'Tholen' waarbij de inloopbui is toegepast.



Figuur 24: Overzichtssweergave lengtedoorsnede Deensestraat, Prinshendrik Straat en Emmastraat



Figuur 25: Lengtedoorsnede Deensestraat, Prinshendrik Straat en Emmastraat in huidige situatie



Figuur 26: Lengtedoorsnede Deensestraat, Prinshendrik Straat en Emmastraat met alle 3 de maatregelen

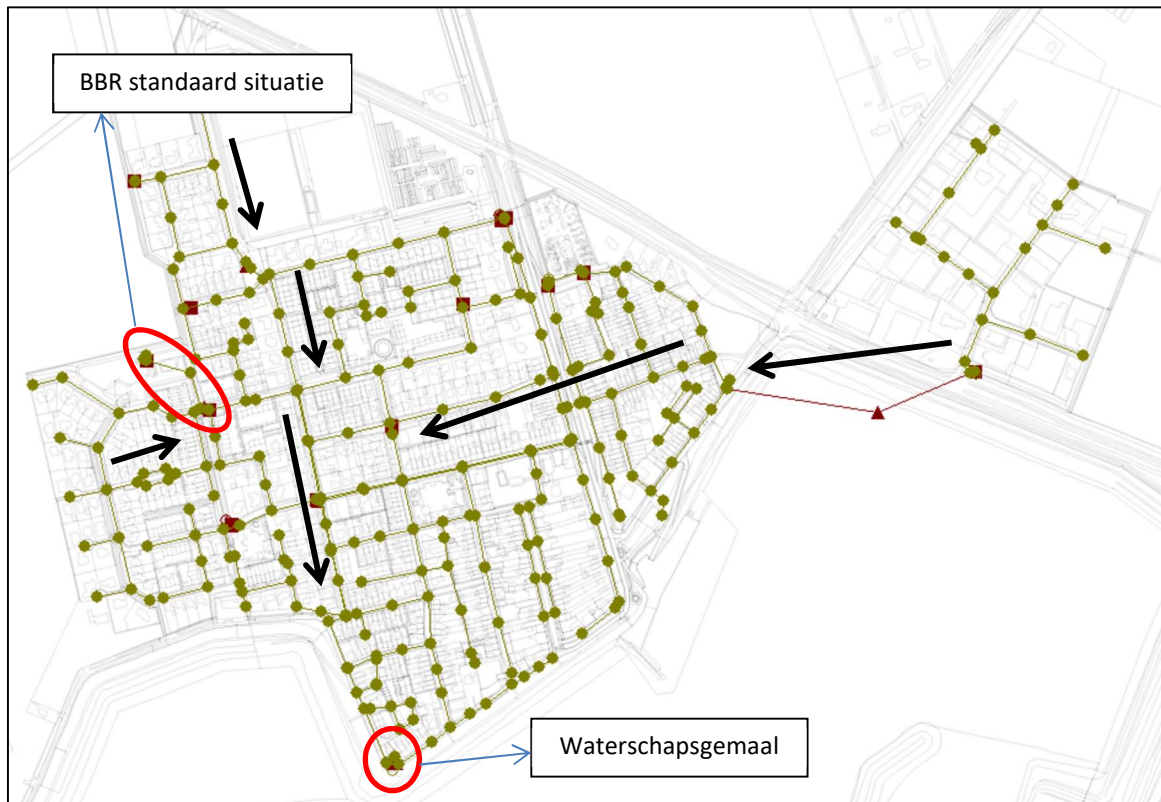
In Figuur 25 zijn de resultaten te zien bij de huidige situatie, waarbij er veel water op straat wordt berekend. In Figuur 26 zijn de resultaten waarbij al de 3 beschreven maatregelen zijn toegepast. Hierbij is te zien dat er nagenoeg geen water op straat meer wordt berekend.

In Bijlage 10 – Optimalisatiemaatregelen wijk achter Oostdijk wordt het positieve effect van de maatregelen bevestigd. Hierin is te zien dat de maatregelen zorgen voor een flinke verlaging van de overstorthoeveelheid (Figuur 67 en Figuur 68), wat ervoor zorgt dat er minder vuilwateruitwerp plaatsvindt op het oppervlaktewater.

Als optimalisatiemaatregel voor het gehele rioolstelsel is er ook gekeken naar het effect van een regenton op de waterberging binnen de kern Sint Philipsland. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde berging van 250 L per regenton. Met een totaal aantal woningen van 1073 (zie paragraaf 2.1.5 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland) komt dit uit op de totale maximale berging van 268,3 m³ water. Over een totale hoeveelheid verhard oppervlak van 23,01 ha (zie paragraaf 2.1.2 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland) resulteert dit in een berging van 1,2 mm. In relatie tot de extreme neerslag zoals gedefinieerd in paragraaf 2.4, kan worden vastgesteld dat plaatsing van regentonnen geen significant effect heeft op de vermindering van de hydraulische belasting van het rioolstelsel. Hiermee is het dus geen effectieve optimalisatiemaatregel voor deze wijk.

4.5.3. Optimalisatie Zuidelijk (knelpunt 3)

Tijdens de uitvoering van de berekeningen kwam naar voren dat er linksonder van bemalingsgebied de Kern (gebied C) een knelpunt ontstaat door water op straat. De locatie hiervan is weergegeven in Figuur 16. In de Zuidelijk is een klacht van wateroverlast bekend, zoals te zien is in paragraaf 1.5 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland. Na verdere analyse kwam naar voren dat op dit punt het afval- & regenwater van de achterliggende wijken samenkomt en wordt getransporteerd richting het waterschapsgemaal, zoals te zien is in Figuur 27 waarbij de afstroomrichting wordt weergegeven door de zwarte pijlen.



Figuur 27: Weergave afstroomrichting gemengd rioolstelsel

Hierin is te zien dat er op het desbetreffende knelpunt een grote hydraulische belasting ontstaat. De afvoercapaciteit van de transportleiding is te klein om het afval- & regenwater te bergen en vervolgens af te voeren. Tijdens de ontwerpfase is gekeken naar het effect van het vergroten van de afvoercapaciteit van de desbetreffende rioolstrengen. Dit zorgde niet voor een significante afname van de berekende hoeveelheid water op straat. Ook is een klein gedeelte van de wegverharding afgekoppeld van het gemengde rioolsysteem, dit gaf echter wederom niet het gewenste resultaat. Dit vanwege het feit dat de hydraulische belasting van het overige verhard oppervlak te groot bleef.

Om de algemene hydraulische belasting op het gemengde rioolstelsel te verminderen is er allereerst gekeken of het haalbaar is om de bewoners te stimuleren zo min mogelijk verharding in particuliere tuinen aan te brengen d.m.v. tegeltaks. Echter, bestaat de bodem uit klei (zie Bijlage 1 – Boormonsterprofielen), welke een lage infiltratiecapaciteit heeft (zie paragraaf 2.5). Hierdoor heeft dit geen significant effect op de vermindering van

de oppervlakkige afstroom richting het rioolsysteem en is het niet eerlijk om bewoners hiervoor te belasten.

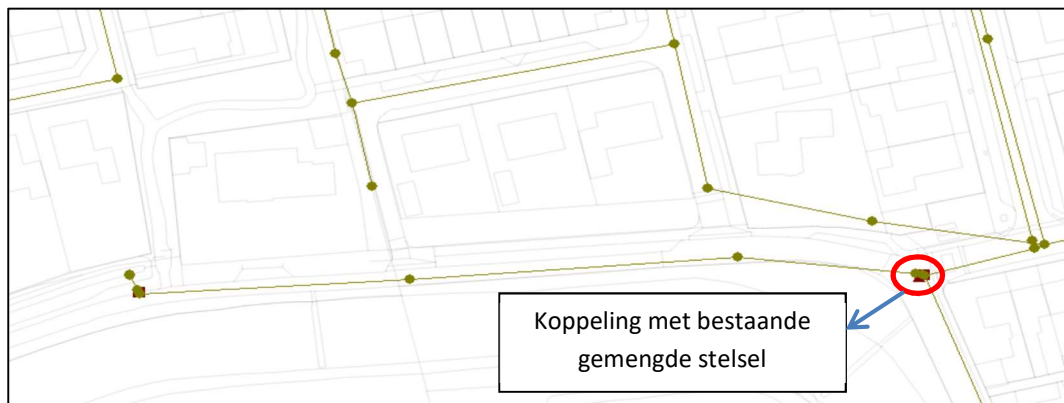
Vervolgens is een BBR ontworpen om extra berging te creëren en de mogelijkheid voor een gereduceerde vuilwateruitworp op het oppervlaktewater, welke te zien is in Figuur 28. Deze watergang is een belangrijk aspect voor de opzet van het BBR.



Figuur 28: Watergang waarop vuilwateruitworp kan plaatsvinden

Met de locatie van deze watergang (locatiefoto zie Figuur 78 van Bijlage 11– Optimalisatiemaatregel Zuiddijk) kan er een BBR worden ontworpen welke een aansluiting heeft op het gemengde rioolstelsel, gelegen op de locatie kruising Deldensestraat en Zuiddijk. Het ontwerp van het BBR is te zien in Figuur 29 waar een leidingstelsel in het model is opgenomen met een totale lengte van ca. 143 m. Hierbij kan in totaal ca. 180 m³ water worden geborgen (1,2 mm over de totale hoeveelheid gemengde verharding van 14,94 ha). Hiermee kan er in de nieuwe situatie samen met de bestaande BBR (zie paragraaf 2.1.12 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland) in totaal 2 mm geborgen worden, wat overeenkomt met het uitgangspunt van 2 mm berging voor een randvoorziening (Kwakkel, Dirkzwager, Vonk, Beenen, Velde, & Geenen, 2001).

Het stelsel is gelegen langs de Zuiddijk in de richting van de aangegeven watergang (voor locatiefoto zie Figuur 79 van Bijlage 11– Optimalisatiemaatregel Zuiddijk). Het BBR is opgebouwd met allereerst een interne overstort in de put van het bestaande afvoerende gemengde stelsel. Hierdoor kan het water bij extreme neerslag overstorten in het BBR, waarbij het via een leiding in de gemaalput terecht komt. Vervolgens gaat het via het leidingstelsel richting de externe overstort. Deze bepaald de mate van vuilwateruitworp op het oppervlaktewater. Bij de uitlaat op het oppervlaktewater is een terugslagklep aangebracht om ervoor te zorgen dat er geen water vanuit de watergang in het BBR kan stromen. Het leidingstelsel loopt onder afschot af richting de gemaalput, zodat het water na extreme neerslag onder vrij verval kan terugstromen richting het gemaal, waar het teruggepompt kan worden in het gemengde stelsel.



Figuur 29: Modelmatige weergave van het BBR langs de Zuideijk

4.5.3.1. Uitgangspunten

In deze paragraaf zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn aangehouden tijdens de hydraulische modellering van het BBR. Deze luiden als volgt:

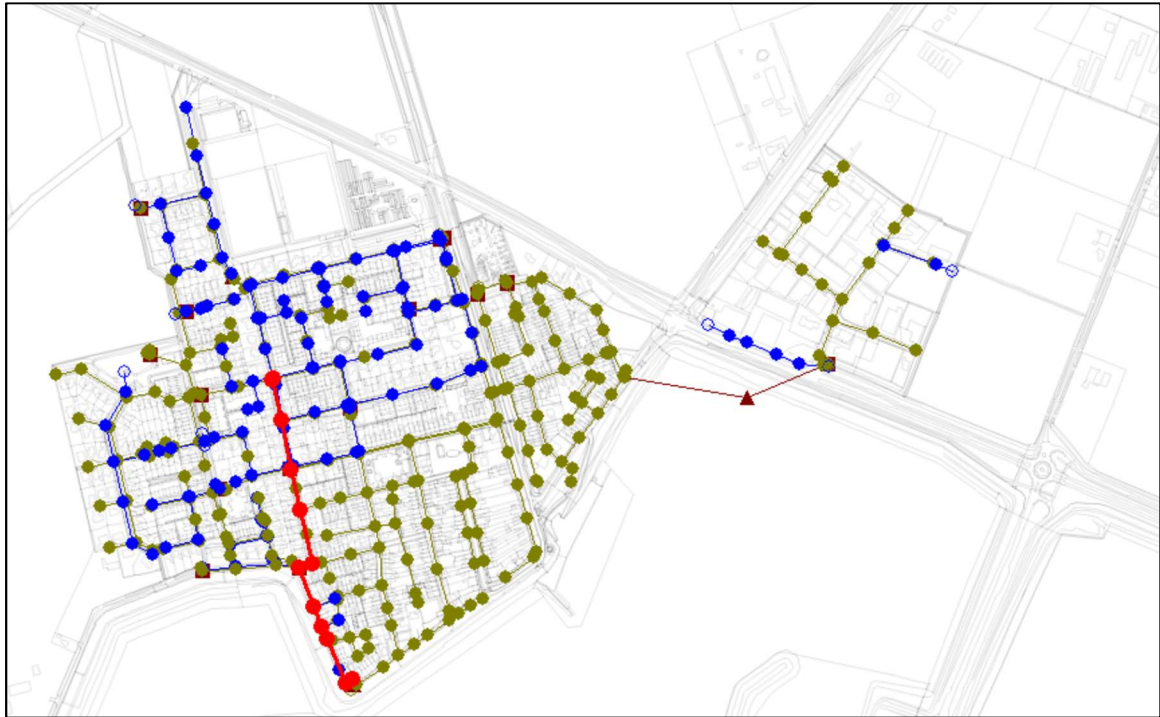
- Geen water op straat bij hydraulische belasting met Bui 09;
- Waterpeil voor watergang is vastgesteld op -1.30 m NAP⁷ (Waterschap Scheldestromen, z.d.);
- Diameter BBR is gedefinieerd op rond 1250 mm beton⁸;
- Diameter uitstroomleiding is gedefinieerd op rond 1000 mm beton⁸;
- Diameter terugslagklep is gedefinieerd op rond 1000 mm⁸;
- Niveau terugslagklep is gedefinieerd op -1.5 m NAP;
- Interne overstorthoogte is gedefinieerd op -0.65 m NAP;
- Externe overstorthoogte is gedefinieerd op -0.62 m NAP;
- Drempelbreedtes zijn gebaseerd op de afmetingen van de put welke door InfoWorks CS worden berekend op basis van de leidinggrootte, waarbij de interne overstort 2.1 m breed is en de externe overstort 3.7 m;
- Capaciteit ledigingspomp is gedefinieerd op 25 m³/uur⁸;
- Inslagpeil gemaal is gedefinieerd op -3.39 m NAP⁸;
- Uitslagpeil gemaal is gedefinieerd op -3.89 m NAP⁸;
- Afmetingen gemaalput zijn gebaseerd op al aanwezige BBR in het rioolsysteem;
- B.O.B.-maten zijn gebaseerd op maaiveldhoogte en minimale dekking van 1,5 m conform Leidraad Riolerings, Module C2100 (Clemens, Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004);
- Afschot is gedefinieerd op 1:700 conform Leidraad Riolerings, Module C2100 (Clemens, Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004);
- Afvoer coëfficiënten voor overstorten (0,55 & 1,1) en terugslagklep (0,1) zijn gebaseerd op gestandaardiseerde waardes conform Leidraad Riolerings, Module C2100 (Clemens, Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004);
- Wandruwheid is gedefinieerd op 3 mm voor beton conform Leidraad Riolerings, Module C2100 (Clemens, Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004).

⁷ Hierbij is het zomerpeil aangehouden als 'worstcasescenario'

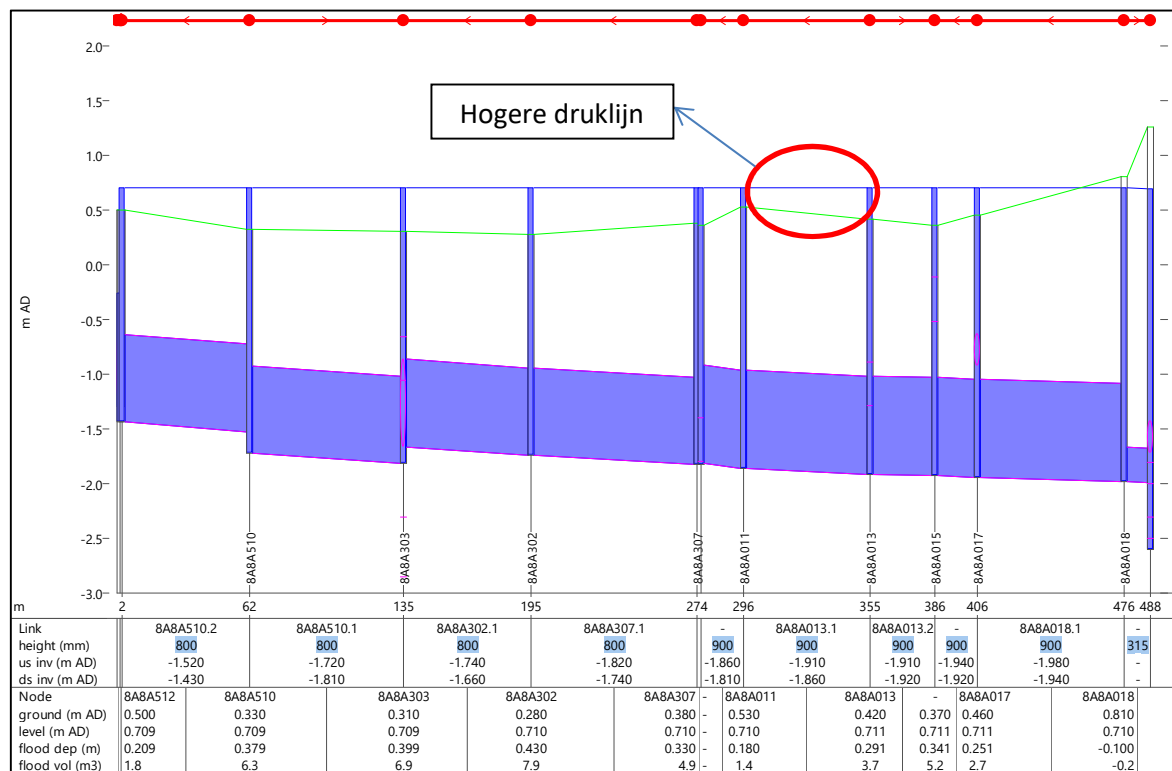
⁸ Deze gegevens zijn gebaseerd op het BBR wat al aanwezig is in het systeem

4.5.3.2. Resultaten

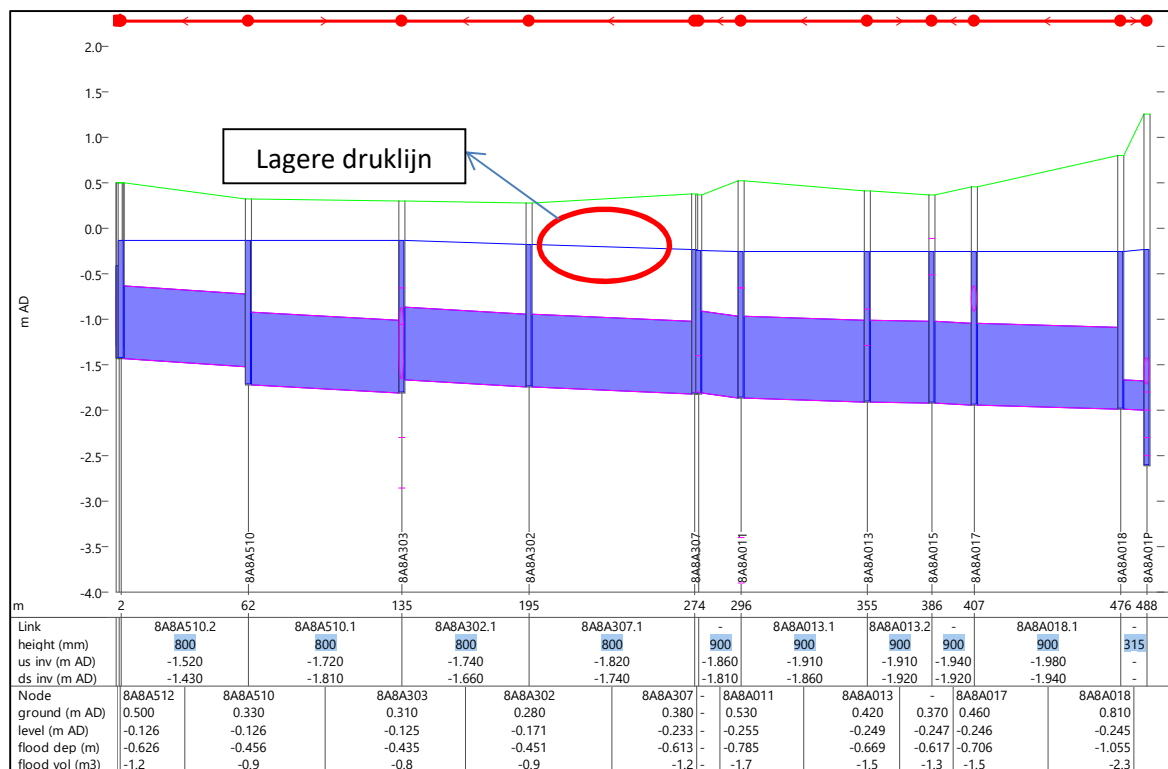
In deze paragraaf zijn de resultaten beschreven welke naar voren zijn gekomen tijdens de berekening met het BBR gedurende een hydraulische belasting met bui 09 waarbij een inloopbui is toegepast. De lengtedoorsnedes gaan uitsluitend over het gemengde rioolstelsel.



Figuur 30: Overzichtswegkaart lengtedoorsnede hoofdrinol in de Gladiolenstraat & Zuidijk



Figuur 31: Lengtedoorsnede hoofdrinol Gladiolenstraat & Zuidijk bij hydraulische belasting bui 09 met inloopbui in de standaard situatie met één BBR



Figuur 32: Lengtedoorsnede hoofdriool Gladiolenstraat & Zuidijk bij hydraulische belasting bui 09 met inlooppui in de nieuwe situatie met twee BBR's

In Figuur 31 is te zien dat er in de standaard situatie met één BBR veel water op straat wordt berekend in het hoofdriool. De druklijn ligt vlak, wat betekent dat de afvoercapaciteit wordt overschreden, zoals eerder aangegeven. Door het creëren van extra berging middels een extra BBR wordt er geen water op straat meer berekend, zoals te zien is in Figuur 32. Het is een significant verschil, waardoor geconstateerd kan worden dat de aanleg van het BBR een positief effect heeft op het hydraulisch functioneren.

In Figuur 74 en Figuur 75 van Bijlage 11– Optimalisatiemaatregel Zuidijk is te zien dat de aanleg van het BBR ook een positief effect heeft op het hydraulisch functioneren van de achterliggende spruitriolen. Want in Figuur 74 is te zien dat in de standaard situatie veel water op straat wordt berekend, wat met de aanleg van het BBR wordt opgelost (Figuur 75).

Verder is in Figuur 77 van Bijlage 11– Optimalisatiemaatregel Zuidijk de druklijn te zien van de nieuw ontworpen BBR. Hierbij zijn geen opvallende zaken te constateren, wat inhoudt dat de BBR goed functioneert gedurende de neerslaggebeurtenis.

De aanleg van een nieuw BBR heeft daarnaast een grote impact op het milieutechnisch functioneren van het gehele gemengde rioolsysteem. In onderstaande tabel zijn de resultaten hiervan weergegeven en is een vergelijking gemaakt met de standaard situatie met één BBR.

Overstort	Aantal overstortingen standaard situatie	Aantal overstortingen met nieuwe BBR	Volume standaard situatie	Volume met nieuwe BBR	Vuiluitworp CZV Standaard situatie	Vuiluitworp CZV met nieuwe BBR	Verschil CZV
	Per jaar	Per jaar	M ³ per jaar	M ³ per jaar	Kg per jaar	Kg per jaar	%
8A088 (uitsnede)	14,4	15,4	669	591	167	148	- 11,4
8A088	2,1	1,9	133	105	34	26	- 23,5
8A286	1	0,6	44	19	11	5	- 54,5
8B02P (uitsnede)	0,4	0,1	82	25	20	6	- 97
8E02U	6,7	6,4	1655	1413	414	353	-27,4
8G025 (standaard) BBR	3,4	3,3	2153	1563	296	215	- 10,8
Nieuwe BBR	-	1,4	-	394	-	54	-
Totaal	28	29,1	4736	4284	942	807	- 14,3

Tabel 8: Vergelijking tussen milieutechnisch functioneren met één BBR en twee BBR's

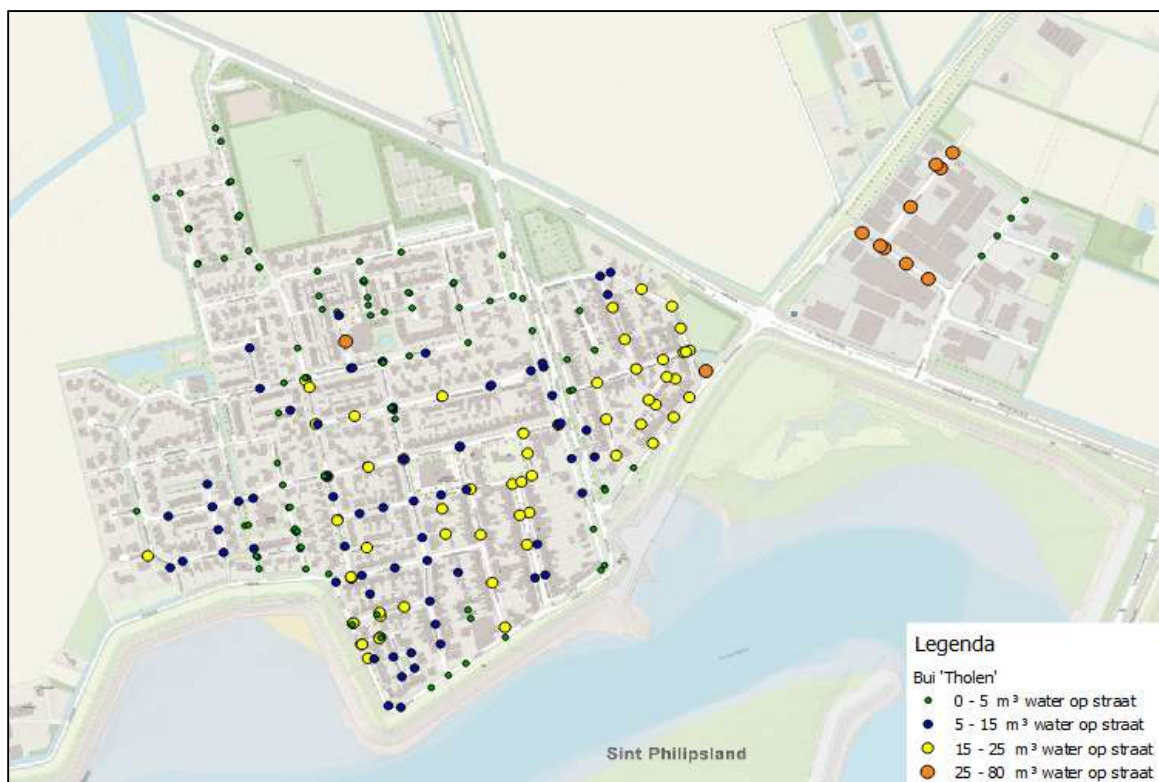
In Tabel 8 is te zien dat de nieuwe situatie met twee BBR's een reductie oplevert in de totale vuilwateruitworp en daarnaast ook voor iedere overstort apart. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de aanleg van een BBR naast een positief hydraulisch effect ook een gunstig werking heeft op de vuilwateremissie.

4.5.4. Effect van alle optimalisatiemaatregelen samen

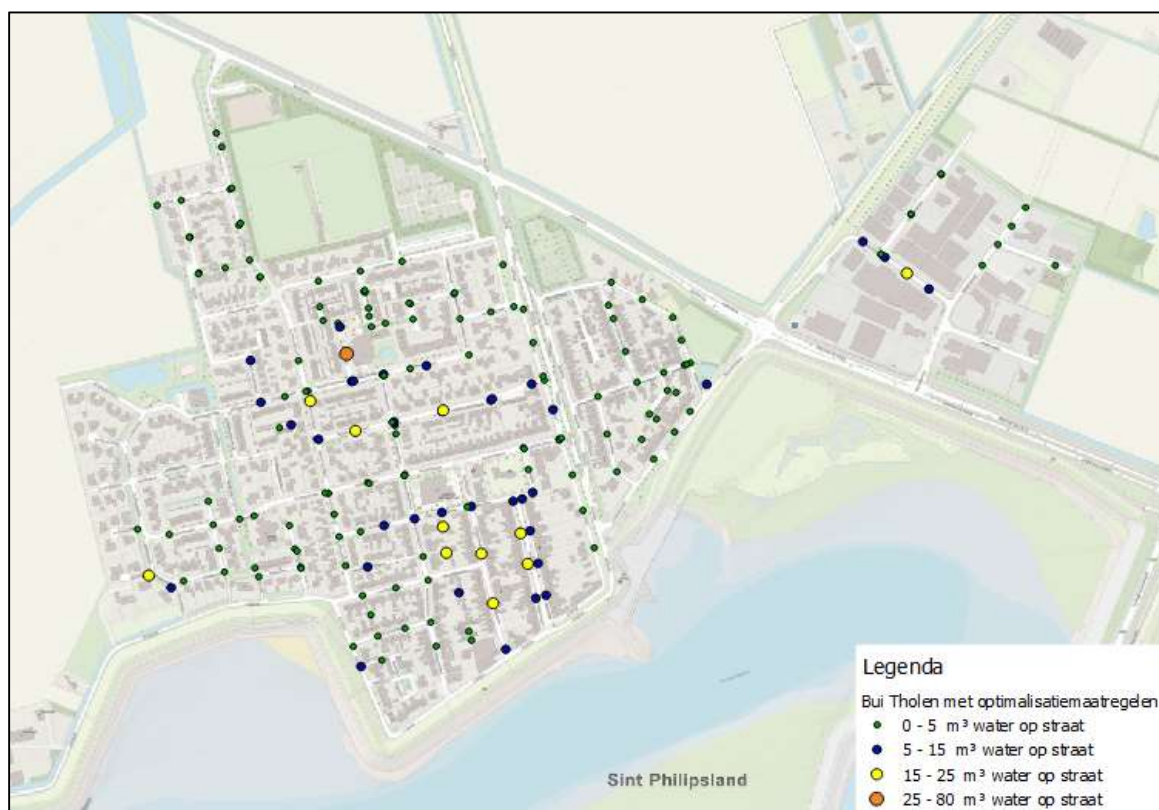
In deze paragraaf is de hydraulische impact van alle maatregelen samen weergegeven op het gemengde rioolsysteem. Hierbij is allereerst gekeken naar bui 09, om te bepalen of wateroverlast van Figuur 16 is opgelost. Vervolgens zijn de maatregelen getest op de functionaliteit bij extreme neerslag, middels een hydraulische belasting met bui 'Tholen'. Bij alle hydraulische belastingen is ook hier de inloopbui toegepast.

Bij de hydraulische belasting met bui 09 is er met toepassing van bovengenoemde maatregelen geen water op straat meer berekend. Hiermee is er een berekende hoeveelheid van 445 m³ water op straat gereduceerd tot geen water op straat.

Tijdens de hydraulische belasting met bui 'Tholen' in de standaard situatie zonder optimalisatiemaatregelen 2688,2 m³ water op straat berekend (zie Figuur 33), terwijl in de nieuwe situatie met optimalisatiemaatregelen maat 697,7 m³ water op straat berekend (zie Figuur 34). Dit heeft een verschil opgeleverd van 1990,5 m³ water op straat. In Figuur 80 van Bijlage 12 – Effect optimalisatiemaatregelen is te zien dat met name op de beschreven knelpunten uit Figuur 16 meer water op straat wordt berekend dan in de standaard situatie. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de maatregelen een positief effect hebben op knelpunten gedurende bui 'Tholen'.



Figuur 33: Bui 'Tholen' in standaard situatie zonder optimalisatiemaatregelen



Figuur 34: Bui 'Tholen' in nieuwe situatie met optimalisatiemaatregelen

5. Discussie

In deze paragraaf is de gevolgde onderzoeksopzet besproken. Hierbij zijn ook de aangehouden uitgangspunten bediscussieerd. Daarnaast zijn de resultaten geïnterpreteerd en kritisch tegen het licht gehouden. Ook zijn er beperkingen aangegeven welke tijdens het onderzoek naar voren kwamen.

5.1. Onderzoeksmethode/Uitgangspunten

Zoals beschreven is in de methode is er maar een beperkte vorm van kalibratie uitgevoerd, vanwege het feit dat vergelijkingsmateriaal gering aanwezig was. Extreme neerslag vindt niet dagelijks plaats en er zijn relatief weinig gegevens daarover beschikbaar. Daarnaast meet de gemeente Tholen niet op veel plaatsen in het systeem.

Bij de hydraulische modellering is gebruik gemaakt van de uitgangspunten conform Leidraad Riolering, Module C2100. Deze zijn opgesteld in 2004 en zijn mogelijk deels wat gedateerd. De vraag is dus of deze uitgangspunten nog volledig actueel zijn, aangezien er de afgelopen jaren nieuwe inzichten naar voren zijn gekomen omtrent neerslaggebeurtenissen en vuilwateruitworp.

Voor de wandruwheid is voor alle leidingen de waarde aangehouden van beton (3 mm) als 'worstcasescenario'. Maar zoals te zien is in paragraaf 3.1 en 3.2 van Bijlage A – Basisrioleringsplan kern Sint Philipsland bestaat het leidingstelsel van de kern Sint Philipsland uit meerdere materialen, zoals: PVC. PVC heeft daarentegen een wandruwheid van 0,4 mm. Deze waardes hebben een effect op de hydraulische resultaten. Het valt dus te bekritiseren of het realistisch is om één dezelfde waarde aan te houden voor alle leidingen.

5.2. Hydraulisch modelleren

Bij de opzet van het hydraulisch model is er gebruik gemaakt van gegevens uit het beheersysteem. Deze zijn tot op een zekere hoogte gevalideerd, waarbij kritische/afwijkende maaiveldhoogtes en b.o.b. maten zijn gecontroleerd en waar nodig gevalideerd. Vanwege de tijdslimiet was het niet mogelijk om alle maatvoeringen en hoogtes te valideren. Hierbij is het mogelijk dat er afwijkende waardes zijn gebruikt tijdens de opbouw van het model.

Ook zijn er voor de invoer van terugslagkleppen en overstorten modelmatig fictieve rioolputten aangebracht omdat niet mogelijk is om in een rioolput een civieltechnisch kunstwerk aan te brengen. Dit heeft een geringe invloed op de berging van het rioolsysteem.

Daarnaast kunnen er in de praktijk huisaansluitingen verkeerd zijn aangebracht, waardoor er vuilwater is aangesloten op het regenwaterstelsel of andersom. Dit heeft invloed op de hydraulische belasting van het desbetreffende stelsel. Echter is dit zeer moeilijk vast te stellen.

Gedurende het modelleren is er gebruik gemaakt van een zogenoemde 1-D model, waarbij alleen het water op straat wordt berekend en geen rekening wordt gehouden met maaiveldhoogtes welke de oppervlakkige afstroom van water beïnvloedt. Hierbij kan er dus in een situatie volgens het model water op straat worden berekend, terwijl in de praktijk het water afstroomt richting een lagergelegen deel en daar voor extra overlast zorgt. De berekende resultaten kunnen dus in sommige gevallen niet volledig overeenkomen met de wateroverlast die in de praktijk ervaren worden.

Verder is er voor de berekening van de hoeveelheid water op straat binnen InfoWorks CS gebruik gemaakt van zogenoemde 'floodcones'. Hierbij wordt water op straat berekend met behulp van een conusvorm welke boven de rioolput wordt gesimuleerd als verloop van het maaiveld. Hierdoor kan het uittredende water zich verdelen over het maaiveld en vervolgens terugstromen richting het rioolstel. De mogelijkheden voor het instellen van deze vorm zijn beperkt, omdat er modelmatig maar twee niveaus kunnen worden ingevoerd. Dit zorgt ervoor dat het verloop van het maaiveldniveau moeilijk kan worden gesimuleerd omdat dat heel variabel is. Dit heeft als gevolg dat de hoeveelheden water op straat niet volledig kunnen overeenkomen met de werkelijkheid. Het geeft echter wel een realistische weergave van de werkelijke situatie die in de praktijk zal optreden.

Tijdens het modelleren van de infiltratiecapaciteit is het onverhard oppervlak geclassificeerd als vlak en hellend conform de Leidraad Riolering, Module C2100. Daarbij is er een modelmatig één uniforme infiltratiecapaciteit toegekend voor al de onverharde oppervlaktes. Dit onderscheid valt te bediscussiëren omdat in de praktijk het onverhard oppervlak verschillende soorten landgebruik bevat zoals: gras, groenstrook, speelveld, bossen en struiken. Deze hebben elk afzonderlijk een andere infiltratiecapaciteit, wat de afstroom richting het rioolstelsel beïnvloedt.

Bij de simulatie van de oppervlakkige afstroom van het onverhard oppervlak is de mogelijkheid van het dichtslaan van de bodem als gevolg van neerslag buiten beschouwing gelaten. Ook is het bestaande vochtgehalte van de bodem niet meegenomen. Er is aangenomen dat de neerslag aan het begin van de bui volledig kan infiltreren in de bodem. Echter zit er meestal al een bepaalde hoeveelheid vocht in de ondergrond. Deze factoren hebben effect op de infiltratiecapaciteit van de bodem en daarmee op de hydraulische belasting van het rioolsysteem. Deze factoren zijn modelmatig niet gesimuleerd, omdat deze lastig te implementeren zijn in het hydraulische model.

De resultaten van de hydraulische berekeningen dienen gezien te worden als indicatiewaardes om het verschil tussen diverse neerslaggebeurtenissen te laten zien en wateroverlast in kaart te brengen. Hiermee kunnen knelpunten inzichtelijk worden gemaakt en de werking van maatregelen in beeld worden gebracht. De manier/methode waarop het onderzoek is uitgevoerd, is wel de beste benadering van de situatie tot nu toe.

6. Conclusies & Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusies & aanbevelingen gegeven welke vanuit het onderzoek naar voren zijn gekomen.

6.1. Conclusies

De centrale hoofdvraag binnen dit onderzoek luidde als volgt:

“Wat is het effect van extreme neerslag (klimaatextremen) op het berekende functioneren van het geactualiseerde rioleringsmodel?”

Wateroverlast

Door de actualisatie van de gegevens wordt er meer water op straat berekend bij bui 08 en 09. Dit komt voornamelijk door de toename van verhard oppervlak. Daarnaast ook door de verandering in drempelniveaus en afmetingen van gemaalputten. Ook de vuilwateruitworp is gestegen door de toename van het verhard oppervlak.

Bij bui ‘Tholen’ wordt in het geactualiseerde model 146 m^3 (6,4 %) meer water op straat berekend over het gemengde rioolsysteem dan in het huidige model, als gevolg van de stijging van het verhard oppervlak. Hierdoor wordt er een zwaardere hydraulische belasting uitgevoerd op het rioolsysteem.

De standaard neerslaggebeurtenissen van 70 mm en 90 mm zorgen voor een respectievelijke berekende stijging van $534,5 \text{ m}^3$ (68,7 %) en $2747,5 \text{ m}^3$ (102,2 %) water op straat t.o.v. bui ‘Tholen’. Bij de standaard neerslaggebeurtenissen worden geen nieuwe knelpunten berekend t.o.v. bui Tholen. De bestaande knelpunten verergeren alleen.

Onverhard oppervlak

Een grote stijging in de hoeveelheid onverhard oppervlak (25% en 50%) zorgt voor een relatief kleine stijging in de oppervlakkige afstroom richting het gemengde rioolsysteem (8,9% en 18%). Dit komt door dat de stijging het gehele gemengde rioolsysteem beïnvloedt.

De infiltratiecapaciteit heeft een groot effect op de oppervlakkige afstroom richting het rioolsysteem. Vanuit de gevoeligheidsanalyse komt naar voren dat bij een infiltratiecapaciteit van 2 & 5 mm er veel afstroom plaatsvindt omdat de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit ver overschrijdt. Bij de infiltratiecapaciteit van 467 mm/uur vindt er geen afstroom plaats omdat de neerslagintensiteit onder de infiltratiecapaciteit blijft.

Het effect van het meemodelleren is dus vooral afhankelijk van de infiltratiecapaciteit van de ondergrond.

Optimalisatie

Tijdens de hydraulische berekeningen zijn 3 knelpunten binnen het gemengde rioolsysteem geconstateerd. Ter bestrijding van het eerste knelpunt is het wegafschot van de Nijverheidsweg omgelegd zodat het water oppervlakkig kan afstromen naar de

achterliggende waterpartij. Voor de oplossing van het tweede knelpunt is de gemengde wegverharding afgekoppeld van het gemengde rioolstelsel. Het bestaande gemengde stelsel blijft echter een hydraulische belasting ondervinden van de daken en het achterliggende bemalingsgebied D (Bedrijventerrein). Hiervoor is naast het afkoppelen ook de afvoerleiding in de Emmastraat vergroot van Ø 250 & 300 mm naar Ø 600 mm en een koppeling gemaakt tussen de gemengde rioolstrengen in de Deensestraat en Emmastraat. Voor het bestrijden van het derde knelpunt is een BBR hydraulisch ontworpen in de Zuiddijk, zodat het overtollige water ook via deze BBR kan lozen op het oppervlaktewater.

Het antwoord op de hoofdvraag, is dat de actualisatie zorgt voor extra hydraulische en milieutechnische belasting op het rioolsysteem. Ook zorgt extreme neerslag (klimaatextremen) ervoor dat er meer water op straat wordt berekend en extra knelpunten binnen het rioolsysteem naar voren komen. Daarnaast zorgt een hogere neerslagintensiteit afhankelijk van de infiltratiecapaciteit voor (meer) oppervlakkige afstroom van onverhard oppervlak richting het rioolsysteem.

6.2. Aanbevelingen

Vanuit het onderzoek worden de volgende aanbevelingen gegeven:

Modellering

- Particuliere verharding in de vorm van opritten en tuinen + alle openbare verharding meenemen in het hydraulisch modelleren, omdat het zorgt voor een significante bijdrage van de hydraulische & milieutechnische belasting en een realistischer beeld van de werkelijkheid;
- Controleren van gegevens in beheersysteem voor afmetingen van 'floodcones' en putafmetingen. Deze zijn vanuit het beheersysteem foutief ingegeven in het CZV-bestand.
- Onverhard oppervlak meenemen tijdens extreme neerslag, gebaseerd op de infiltratiecapaciteit van de ondergrond. Dit omdat de infiltratiecapaciteit maatgevend is voor de oppervlakkige afstroom richting het rioolsysteem;

Klimaatstresstest

- Bui 'Tholen' gebruiken als maatgevende bui voor extreme neerslag vanwege het feit dat met deze bui de knelpunten binnen het systeem duidelijk worden. Daarnaast spreekt deze tot de verbeelding van de inwoners omdat deze bui werkelijk is gevallen. Dit is belangrijk voor de interpretatie en communicatie van hydraulische resultaten richting bewoners;

Inrichtingsmaatregelen

- Afschot Nijverheidsweg omdraaien zodat er oppervlakkige afvoer mogelijk is richting de achtergelegen waterpartij;
- Wijk gelegen ten oosten achter de Oostdijk voorzien van gescheiden stelsel, waarbij de gemengde afvoerleiding een diameter krijgt van 600 mm en er een

koppeling wordt gemaakt tussen de gemengde riolering in de Emmastraat & Deensestraat;

- BBR aanleggen in de Zuiddijk om de berging in het gemengde rioolsysteem te vergroten en de berekende hoeveelheid water op straat in het hoofdriool en de achterliggende spruitriolen te verminderen.

Voor mogelijkheden tot vervolgonderzoek worden vanuit het onderzoek de volgende aanbevelingen gegeven:

- Vanuit het BRP kwam naar voren dat de terugslagkleppen in de huidige staat zorgen voor verschillende hydraulische resultaten. Hierdoor kon er geen eenduidige conclusie/advies worden gegeven over het feit dat de kleppen moeten worden verwijderd of niet. Vanwege de tijdslimiet was er tijdens het afstudeeronderzoek niet de mogelijkheid om dit nader te onderzoeken. Het wordt aanbevolen om hier nader onderzoek naar te doen om precies vast te stellen welke keuze hydraulisch gezien de beste uitwerking heeft op het rioolsysteem;
- Tijdens de toetsing met bui 08 in het BRP kwam de vraag naar boven hoe relevant deze neerslaggebeurtenis is voor de hydraulische beoordelingen in de toekomst. Aangezien deze neerslaggebeurtenis een herhalingstijd heeft van 2 jaar, waarbij in het huidige klimaat ervaren wordt dat dergelijke neerslagintensiteiten vaker voorkomen. Richting de toekomst is het interessant om te onderzoeken of bui 09 moet worden toegepast als basisniveau voor de toetsing van het rioolsysteem. Dit in relatie tot de diverse klimaatscenario's;
- Gedurende het hydraulisch modelleren is er gebruik gemaakt van 'floodcones' zoals beschreven staat in paragraaf 5.2. Het is aan te bevelen om nader onderzoek te doen naar richtlijnen voor het modelmatige overstroomgebied en de mogelijkheden om het nauwkeuriger te kunnen definiëren in het hydraulische model;
- Vanuit het onderzoek is geconcludeerd dat de infiltratiecapaciteit een belangrijke factor is voor de oppervlakkige afstroom van onverhard oppervlak bij extreme neerslag (zie paragraaf 6.1). Bij de hydraulische berekeningen van het onverhard oppervlak is zoals aangegeven in paragraaf 5.2 alleen getest op de infiltratiecapaciteit gebaseerd op de grondsoort. Voor een nauwkeurig beeld van de oppervlakkige afstroom van het stedelijk onverhard gebied is het aan te bevelen om onderzoek te doen naar infiltratiecapaciteiten bij verschillende soorten landgebruik in combinatie met de ondergrond;
- Voor de hydraulische berekening van onverhard oppervlak is een stationaire bui gebruikt van 70 mm/uur over 2 uur. Het is aan te bevelen om te onderzoeken bij welke neerslagintensiteiten het in gestandaardiseerde situaties van belang is om onverhard oppervlak te inventariseren en mee te nemen in de hydraulische berekeningen. Dit om landelijke richtlijnen te kunnen ontwikkelen voor het mee modelleren van onverhard oppervlak.

7. Bibliografie

- AlleCijfers.nl . (2018, December 21). *Overzicht gemeente Tholen* . Opgeroepen op Februari 22, 2019, van AlleCijfers.nl : <https://allecijfers.nl/gemeente/tholen/>
- Biron, i. (2004). *Beter bouw- en woonrijp maken*. Delft.
- Burger, M. d. (2000). *Opzet onderzoek afstromingsprocessen en afstromingspercentages in stedelijke gebieden*. Utrecht: Ingenieursbureau Utrecht.
- Clemens, F., & Langeveld, J. (2016). *Toestandsbepaling betonnen riolen*. Stichting Rioned & STOWA.
- Clemens, F., Luijtelaar, H. v., Voorhoeve, J., Zuidervliet, J., & Beenen, A. (2004). *Module C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren*.
- coördinatiecommissie uitvoering wet verontreiniging oppervlaktewateren, werkgroep VI . (1992). *overs tortingen uit rioolstelsels en regenwaterlozingen*. coördinatiecommissie uitvoering wet verontreiniging oppervlaktewateren, werkgroep VI .
- Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie. (2019, Januari). *Bijsluiter gestandaardiseerde stresstest Ruimtelijke Adaptatie*. Opgeroepen op Februari 25, 2019, van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/>
- Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie. (z.d.). *Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie 2018*. Opgeroepen op Februari 25, 2019, van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie : <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/overheden/deltaplan-ra/>
- DHV Milieu en Infrastructuur B.V. (2003). *Bouwrijp maken* . DHV Milieu en Infrastructuur B.V.
- Gastkemper, H. (z.d.). *Risicodialoog*. Opgeroepen op Februari 28, 2019, van Stichting Rioned: <https://www.riool.net/risicodialoog>
- Gemeente Tholen . (z.d.). *Klachten Oppervlaktewater*. Sint Phillipsland, Zeeland, Nederland.
- Gemeente Tholen. (2007). *Vervanging DWA-riool Karreveld*. Tholen: Gemeente Tholen.
- Gemeente Tholen. (2018). *NedBrowser*. Tholen, Zeeland, Nederland.
- Gemeente Tholen. (z.d.). *Commissies* . Opgeroepen op Februari 22, 2019, van Tholen : https://bestuur.tholen.nl/bestuur/commissies_41894/
- Gemeente Tholen. (z.d.). *De geschiedenis van de gemeente Tholen*. Opgeroepen op Februari 2019, 22, van Gemeente Tholen : <https://www.tholen.nl/inwoners/over-tholen/de-geschiedenis-van-de-gemeente-tholen>
- Gemeente Tholen. (z.d.). *Samenstelling Griffie*. Opgeroepen op Februari 22, 2019, van Tholen: https://bestuur.tholen.nl/bestuur/samenstelling-griffie_42182
- Geologische Dienst Nederland. (z.d.). *DINOloket*. Sint Phillipsland, Zeeland, Nederland.
- Google. (z.d.). *[Google map of Sint Phillipsland, Zeeland]*. Opgeroepen op Maart 21, 2019, van <https://goo.gl/maps/RuzpLPW1KHF2>

- Google. (z.d.). *[Google map of Sint Phillipsland, Zeeland]*. Opgeroepen op Maart 22, 2019, van Google maps :
<https://www.google.nl/maps/@51.6392477,4.1574602,26393m/data=!3m1!1e3?hl=nl>
- Google. (z.d.). *[Google map of Sint Phillipsland, Zeeland]*. Opgeroepen op Mei 13, 2019, van
<https://www.google.nl/maps/dir//+/@51.619304,4.1634472,16z?hl=nl>
- Google. (z.d.). *[Google map van Sint Phillipsland, Zeeland]*. Opgeroepen op Mei 13, 2019, van
<https://www.google.nl/maps/dir//+/@51.6073852,4.0670487,25487m/data=!3m1!1e3?hl=nl>
- Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie . (2018, Juli 24). *Standaard neerslaggebeurtenissen opgeleverd voor de stresstest*. Opgeroepen op Maart 8, 2019, van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie :
<https://ruimtelijkeadaptatie.nl/actueel/actueel/nieuws/2018/standaard-neerslag/>
- Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie . (2018, Juli 2). *Team Samen Klimaatbestendig stelt zich voor*. Opgeroepen op Maart 4, 2019, van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie :
<https://ruimtelijkeadaptatie.nl/actueel/actueel/nieuws/2018/voorstellen-platform/>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut . (z.d.). *KNMI'14-klimaatscenario's*. Opgeroepen op Februari 28, 2019, van Klimaatscenario's :
http://www.klimaatscenario's.nl/scenarios_samengevat/
- Kooiker, G. (2019, Mei 29). Woningbouwprojecten Sint Phillipsland. (R. Tanis, Interviewer)
- Kwakkel, J., Dirkzwager, A., Vonk, D., Beenen, A., Velde, R. v., & Geenen, A. (2001). *Riooloverstorten_deel 2_eenduidige_basisinspanning*. Commissie Intergraal Waterbeheer.
- LAND+WATER. (2018, Juli 12). Neerslaggebeurtenissen voor stresstest vastgesteld. *LAND+WATER*. Opgeroepen op Maart 8, 2019, van <https://www.landewater.nl/actueel/item/3006106-neerslaggebeurtenissen-voor-stresstest-vastgesteld>
- Leemreijze, E., Veen, D. v., & Vries, W. d. (2017). *Waterhuishoudkundig plan 2017 – 2021, deel II*. Tholen: Gemeente Tholen.
- M.J. Oomen Leidingtechniek B.V. (2015). *Visuele inspectie in leidingen*. Moerdijk: M.J. Oomen Leidingtechniek B.V.
- Milieufocus. (2008, December 15). *Chemisch Zuurstofverbruik*. Opgeroepen op Juli 11, 2019, van Milieufocus: <http://www.milieufocus.nl/factsheets/water/chemisch-zuurstofverbruik.html>
- ministerie van Infrastructuur en Milieu en het ministerie van Economische Zaken . (2017). *Deltaprogramma 2018*. Den Haag: ministerie van Infrastructuur en Milieu en het ministerie van Economische Zaken .
- (2015). Organogram van de Gemeente Tholen. *Organogram*. Gemeente Tholen, Tholen, Zeeland, Nederland.

- Rijkswaterstaat . (z.d.). *Gemeentelijk rioleringsplan*. Opgeroepen op Maart 7, 2019, van InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/wet-milieubeheer/gemeentelijk/inhoud-gemeentelijk/>
- Stevens, J. (z.d.). *Dialoog aangaan*. Opgeroepen op Februari 28, 2019, van De Steven een-op-een coaching : Risicodialoog voeren en strategie opstellen
- Stichting Rioned. (2008, Juli 1). *Uitgangspunten en systematiek* . Opgeroepen op Maart 7, 2019, van Stichting Rioned: <https://www.riool.net/uitgangspunten-en-systematiek>
- Stichting Rioned. (2018, Juli 10). *Neerslaggebeurtenissen voor stresstest vastgesteld*. Opgeroepen op Maart 25, 2019, van Stichting Rioned: https://www.riool.net/neerslaggebeurtenissen-voor-stresstest-vastgesteld?p_p_id=101_INSTANCE_Fv2iUF6xoq0f&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=2&p_p_col_count=4?utm_source=nieuwsbrief&utm_medium=email
- Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., . . . Midgeley, P. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York: Cambridge University Press.
- Veen, D. v. (2014). *Basisrioleringsplan kern Sint Phillipsland*. Tholen: Gemeente Tholen.
- Ven, F. v., Luyendijk, E., Gunst, M. d., Tromp, E., Schilt, M., Krol, L., . . . Peeters, R. (2009). *Waterrobuust bouwen*. Rotterdam: Journal of Landscape Architecture.
- Vermunt, T. (2019, Juni 3). Gegevens woningen en bewoners aantallen Sint Phillipsland. (R. Tanis, Interviewer)
- Visser, J. d., Horst, R. t., & Beek, J. v. (2019). Infiltratiesnelheden in stedelijk onverhard gebied. *Vakblad Riolerings*, 24-25.
- Vries, W. d. (2019, Maart 5). 'Bui Tholen'. (R. Tanis, Interviewer)
- VVV Zeeland. (z.d.). *Sint Philipsland*. Opgeroepen op Maart 22, 2019, van VVV Zeeland: <https://www.vvvzeeland.nl/nl/eilanden/tholen-en-sint-philipsland/dorpen-en-steden/sint-philipsland/>
- Waard, S. d. (2018). *Resultaten berekening industrieterrein Sint Phillipsland*. Tholen: NU-adviesbureau.
- Waard, S. d. (2019). *Inmeten overstort Gemeente Tholen*. Tholen: NU-Adviesbureau.
- Waterschap Scheldestromen. (z.d.). Waterbeheer. Sint Phillisland, Zeeland, Nederland.
- Waterschap Scheldestromen. (z.d.). Waterbeheer. Sint Phillipsland, Zeeland, Nederland.
- Werkgroep standaardisatie stresstest wateroverlast. (2018, Juni 14). Standaardisatie neerslaggebeurtenissen stresstest wateroverlast . *Adviesnotitie referentie neerslaggebeurtenissen t.b.v. stresstest wateroverlast* . Nederland.

Zalig-Zeeland . (z.d.). *Sint Phillipsland*. Opgeroepen op Maart 22, 2019, van Zalig-Zeeland.com : <https://www.zalig-zeeland.com/provinciedelen/tholen/sint-philipsland>

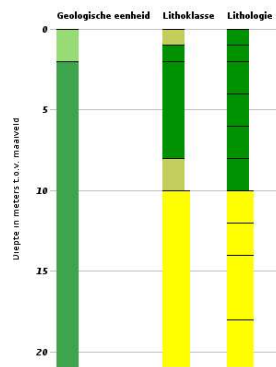
Zeeuwse Ankers. (2013, December 28). *Sint-Philipsland: polders en schiereiland*. Opgeroepen op Maart 22, 2019, van Zeeuwse Ankers: <https://www.zeeuwseankers.nl/verhaal/sint-philipsland-polders-en-schiereiland+>

(2011). *Zware buien*. *Zware buien*. KNMI.

Bijlage 1 – Boormonsterprofielen

Boormonsterprofiel en interpretatie GeoTOP v1.3

Identificatie: B43D0188
 Coördinaten: 70370, 404140 (RD)
 Maaiveld: 0.14 m t.o.v. NAP
 Diepte t.o.v. maaiveld: 0.00 m - 21.00 m



Lithoklasse

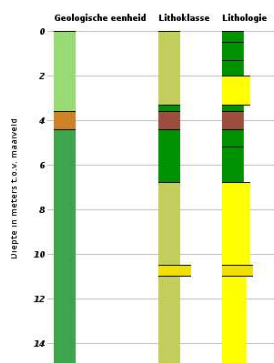
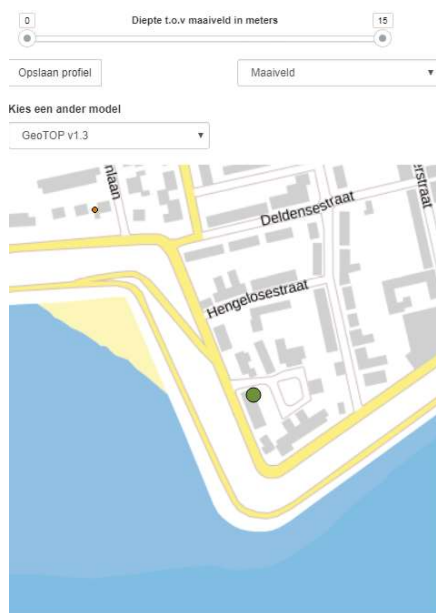
Lithoklasse

- Organisch materiaal (veen)
- Klei
- Zandige klei, leem of kleig fijn zand
- Zand niet gedifferentieerd
- Zand fijn
- Zand matig grof
- Zand grof
- Grind
- Schelpen
- Overig

Figuur 35: Boormonsterprofiel Zijpestraat te Sint Philipsland (Geologische Dienst Nederland, z.d.)

Boormonsterprofiel en interpretatie GeoTOP v1.3

Identificatie: B43D0206
 Coördinaten: 70290, 403560 (RD)
 Maaiveld: 0.90 m t.o.v. NAP
 Diepte t.o.v. maaiveld: 0.00 m - 15.00 m



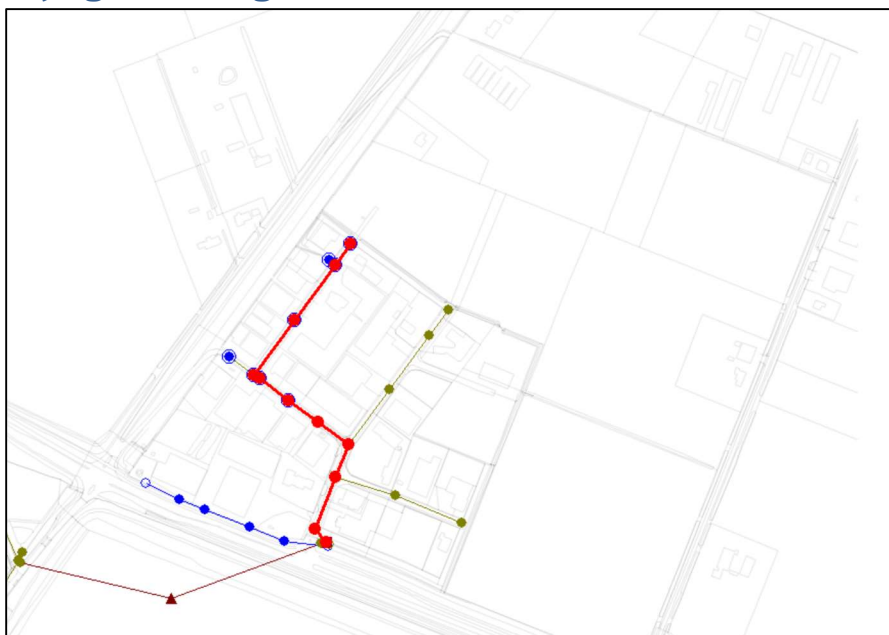
Lithoklasse

Lithoklasse

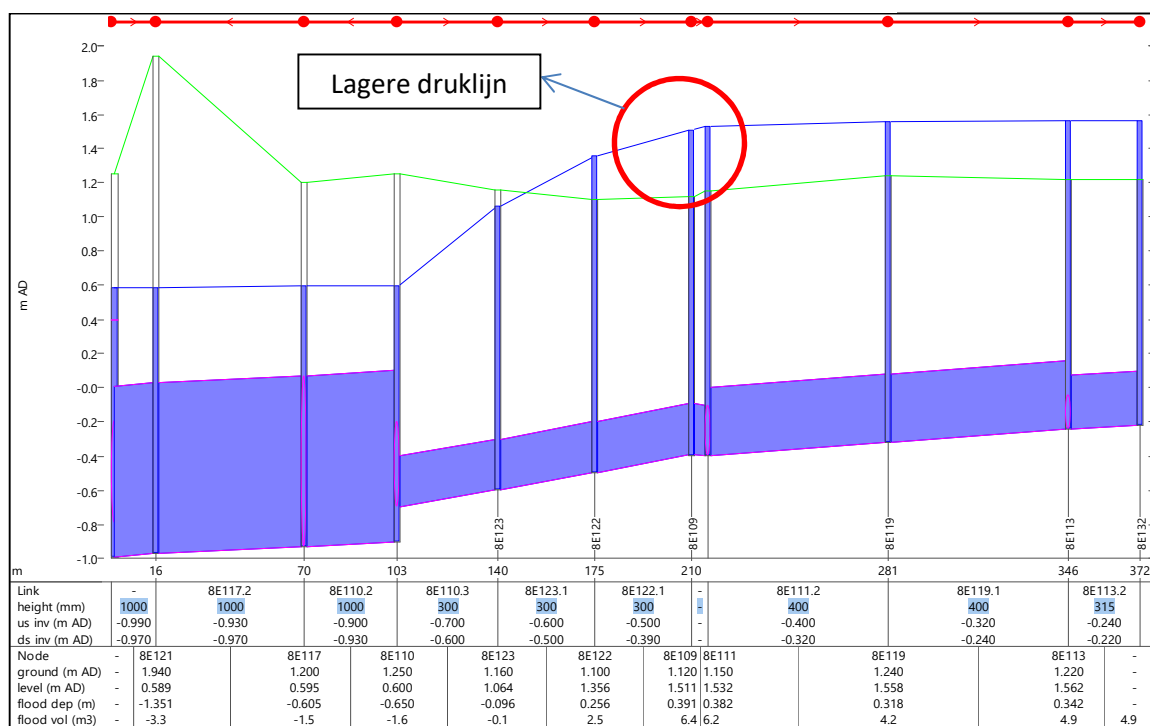
- Organisch materiaal (veen)
- Klei
- Zandige klei, leem of kleig fijn zand
- Zand niet gedifferentieerd
- Zand fijn
- Zand matig grof
- Zand grof
- Grind
- Schelpen
- Overig

Figuur 36: Boormonsterprofiel Zuidijk te Sint Philipsland (Geologische Dienst Nederland, z.d.)

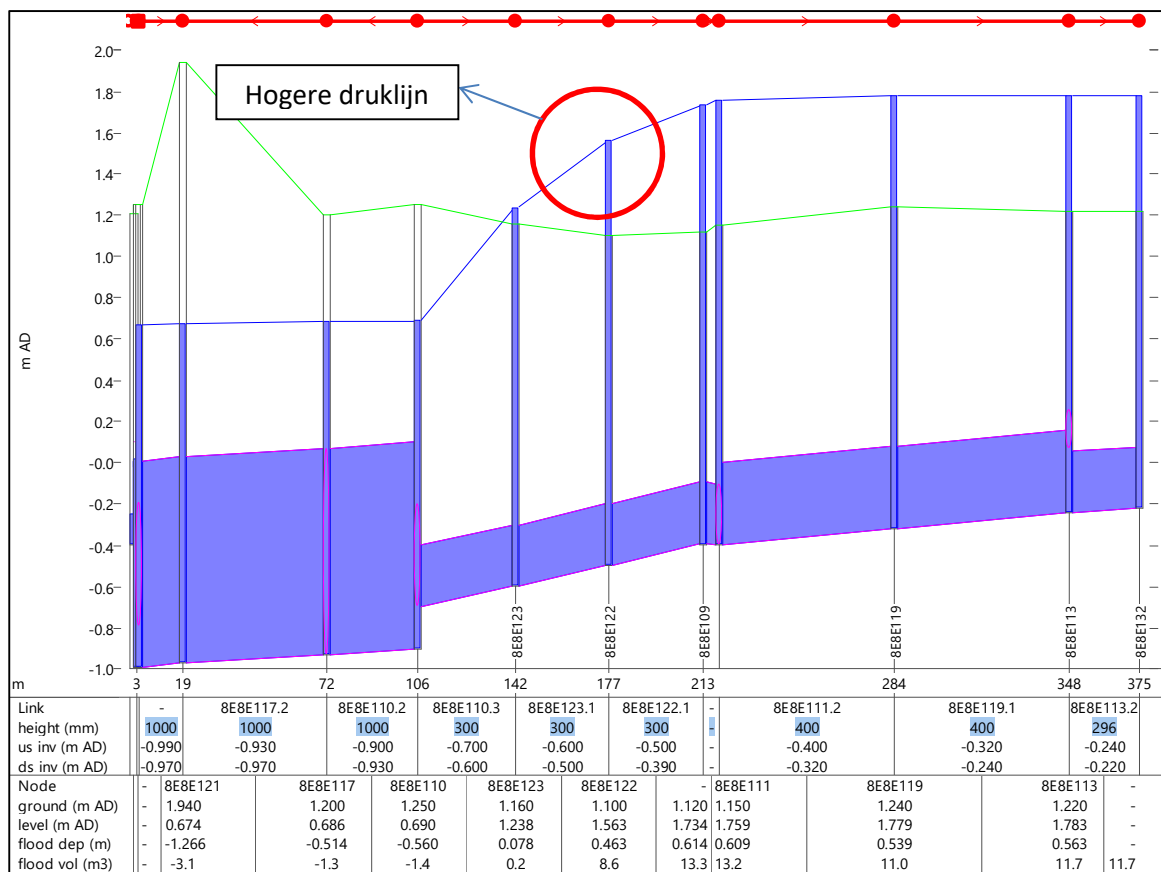
Bijlage 2 – Lengtedoorsnedes bui 08



Figuur 37: Overzichtsweggeve lengtedoorsnede Bedrijventerrein

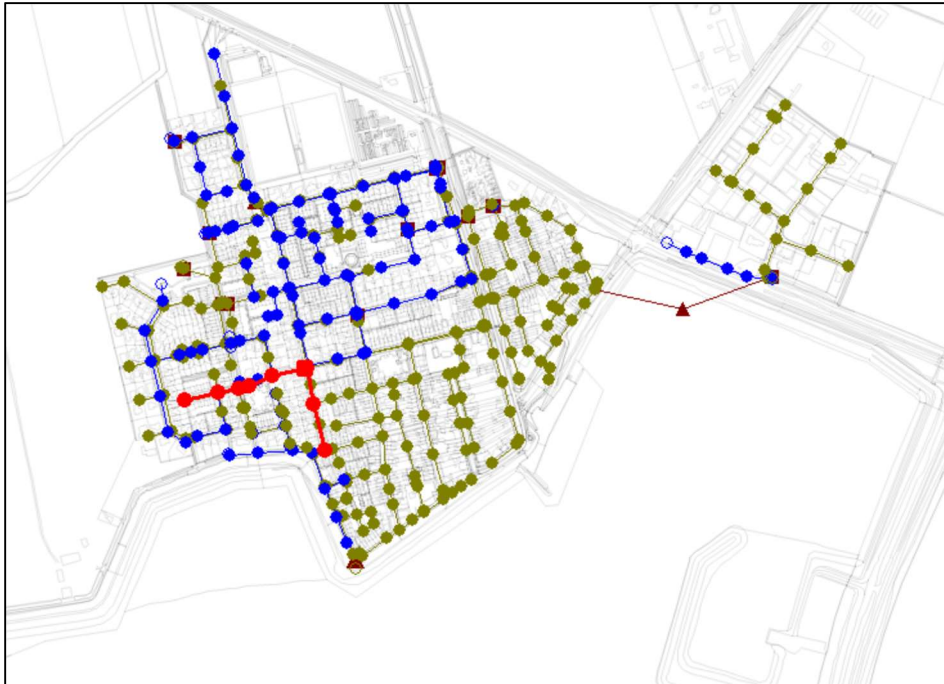


Figuur 38: Lengtedoorsnede water op straat Bedrijventerrein bij huidig model

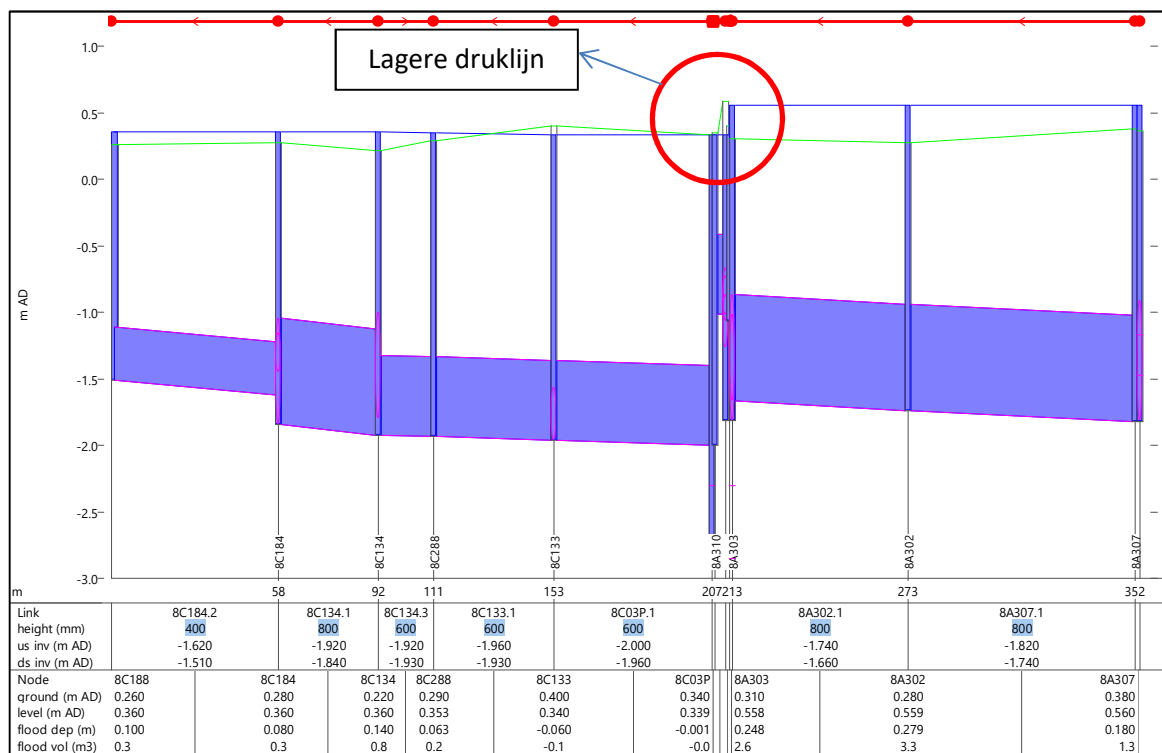


Figuur 39: Lengtedoorsnede water op straat Bedrijventerrein bij geactualiseerd model

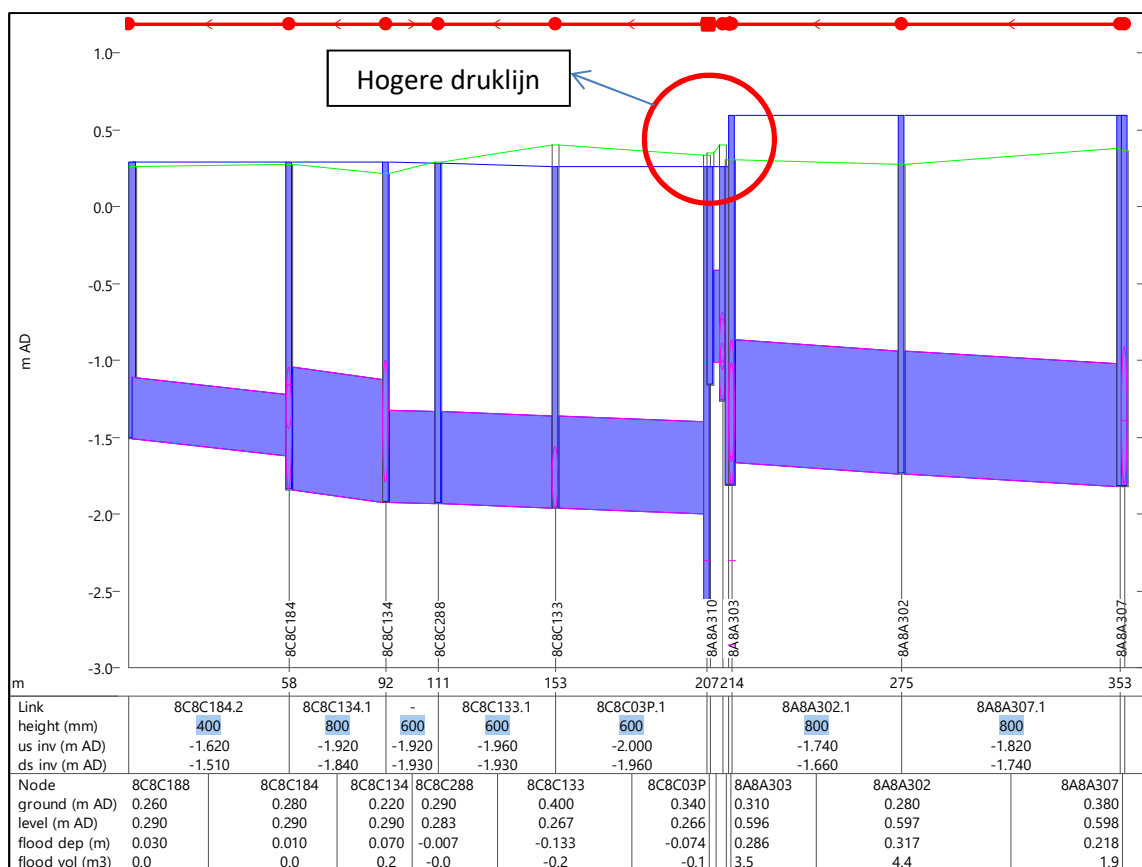
Bijlage 3 – Lengtedoorsnedes bui 09



Figuur 40: Overzichtssweergave lengtedoorsnede water op straat Plantaanstraat en Gladiolenstraat

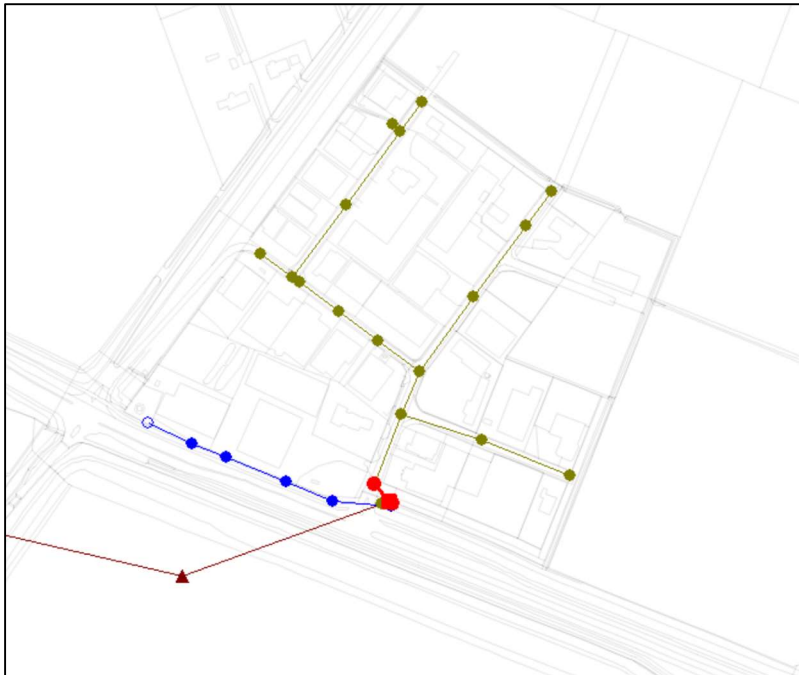


Figuur 41: Lengtedoorsnede water op straat Plataanstraat en Gladiolenstraat bij huidig model

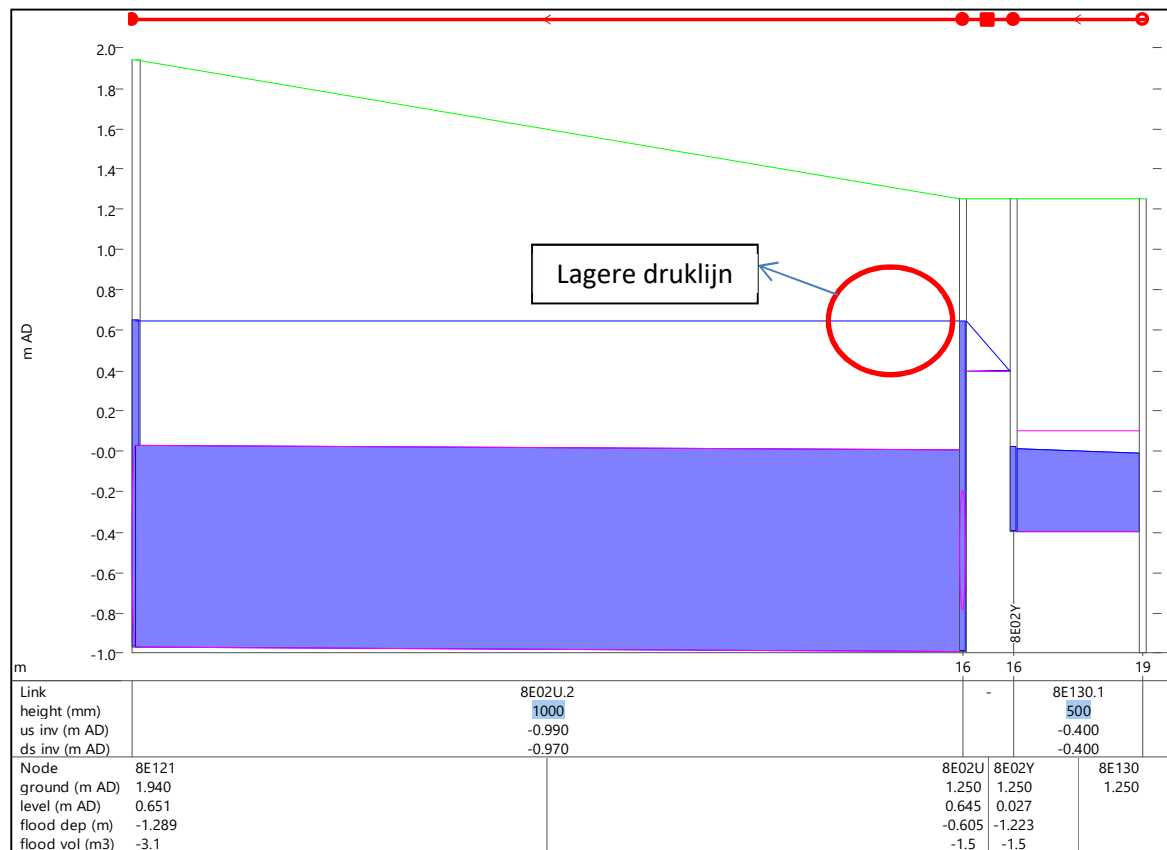


Figuur 42: Lengtedoorsnede water op straat Plantaanstraat en Gladiolenstraat bij geactualiseerd model

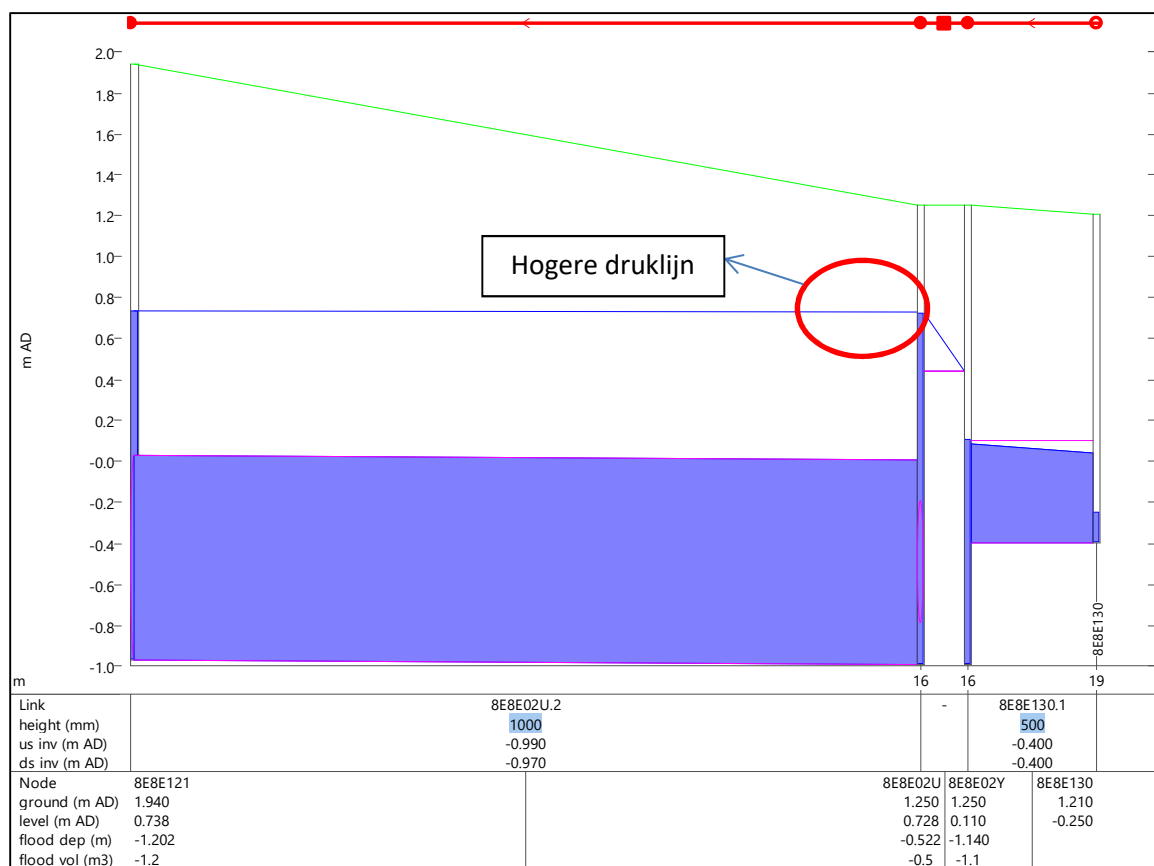
Bijlage 4 – Lengtedoorsnedes reeksberekening



Figuur 43: Overzichtswaergave lengtedoorsnede overstort 8E02U

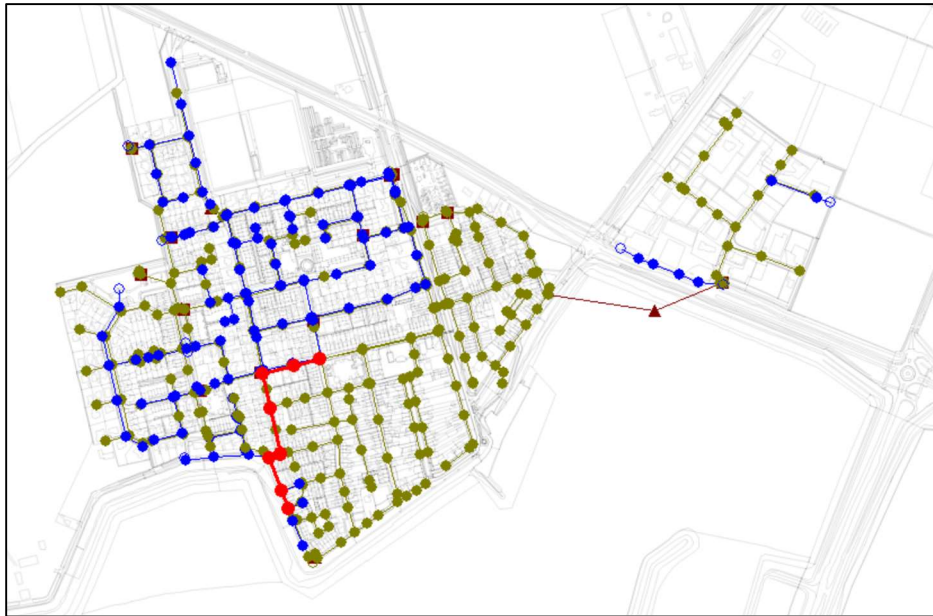


Figuur 44: Lengtedoorsnede overstort 8E02U huidig model

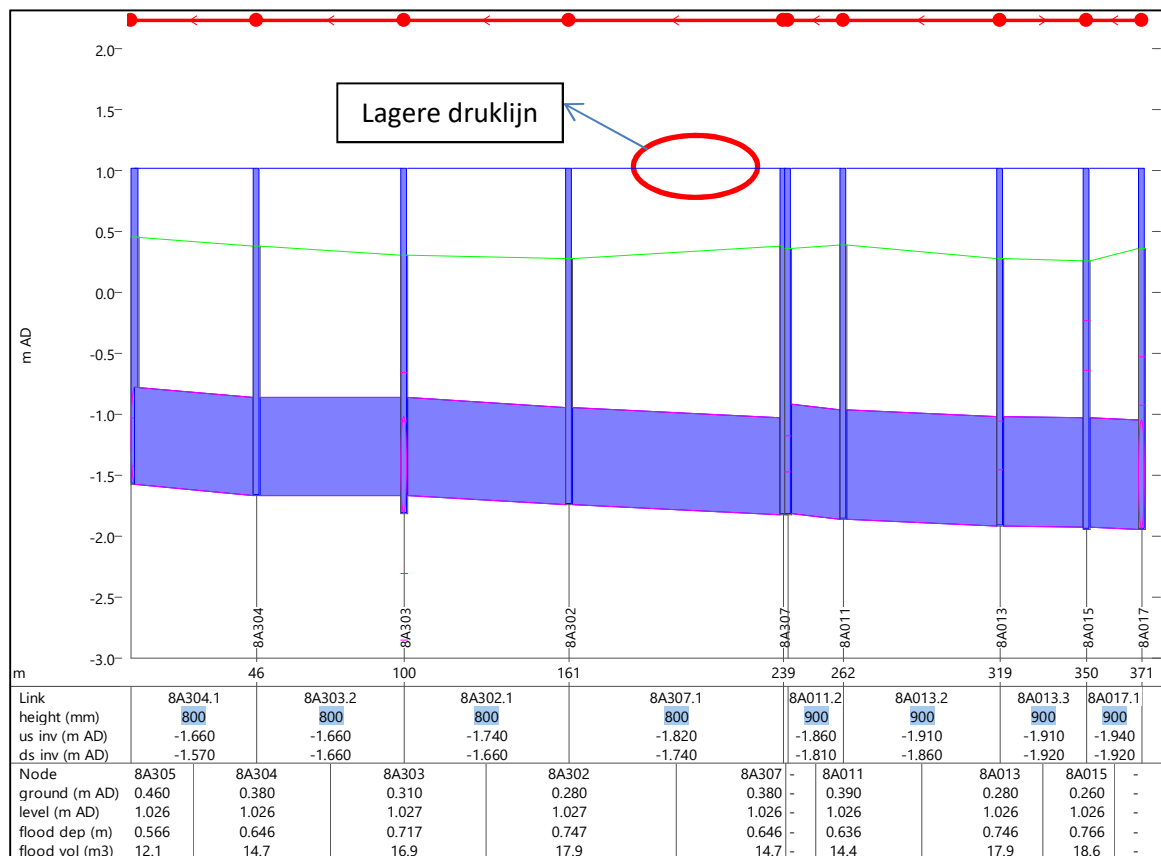


Figuur 45: Lengtedoorsnede overstort 8E02U geactualiseerd model

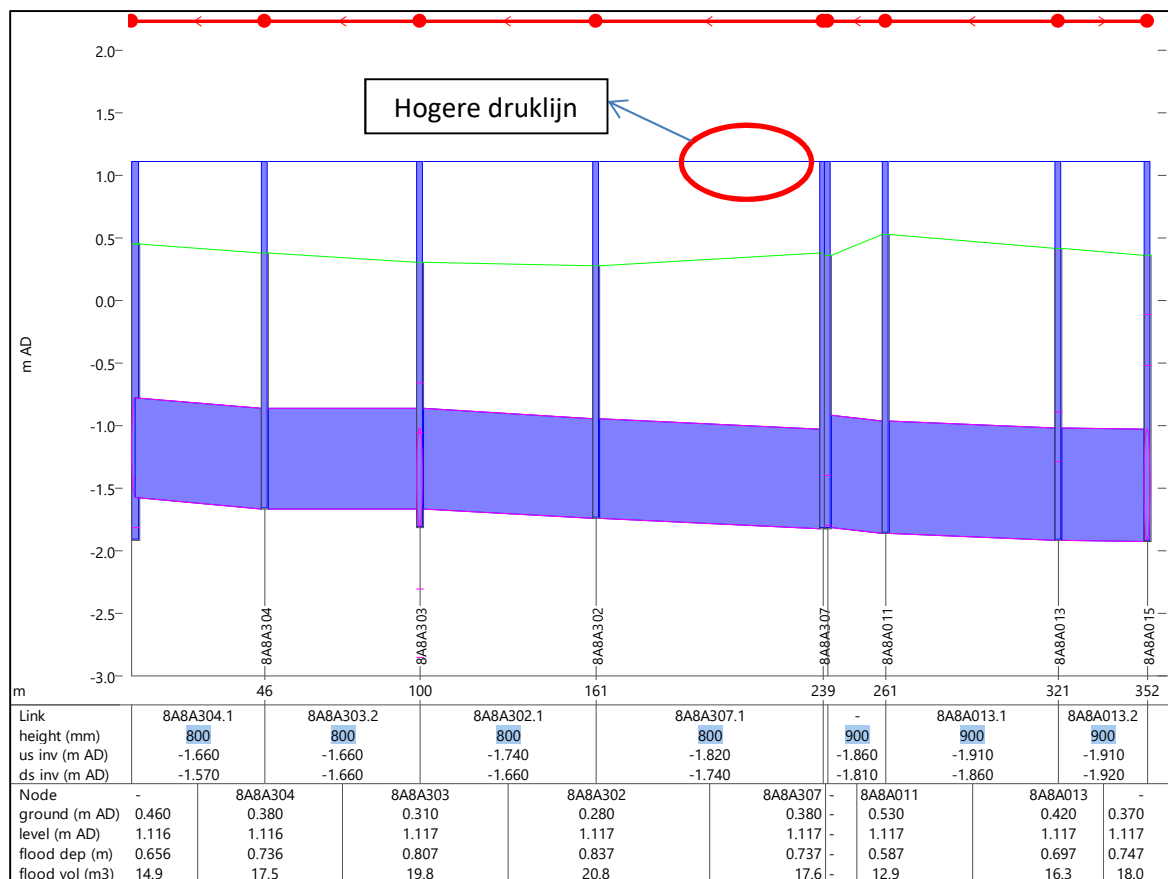
Bijlage 5 – Lengtedoorsnedes bui 'Tholen'



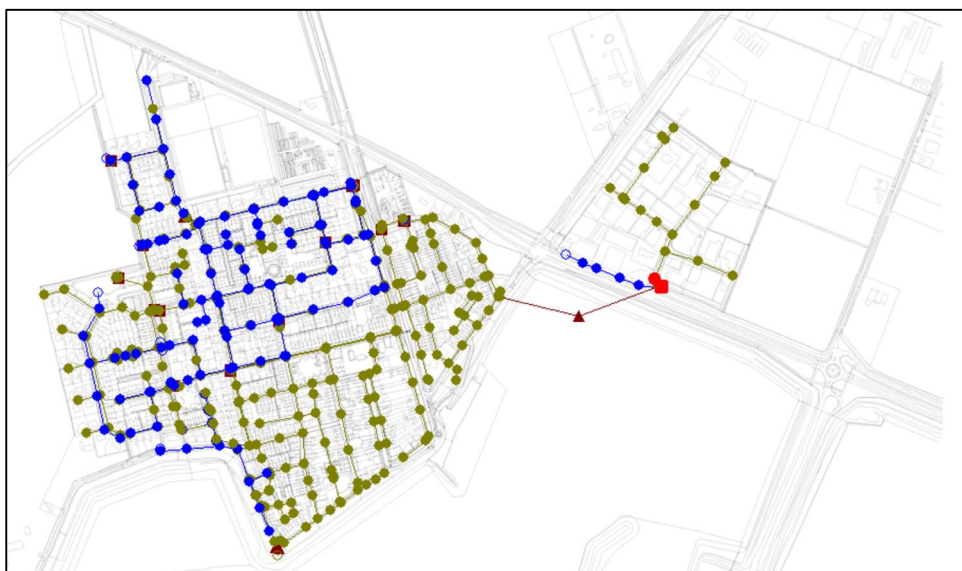
Figuur 46: Overzichtsweggeve lengtedoorsnede water op straat Schoolstraat, Gladiolenstraat, Deldensestraat en Zuiddijk



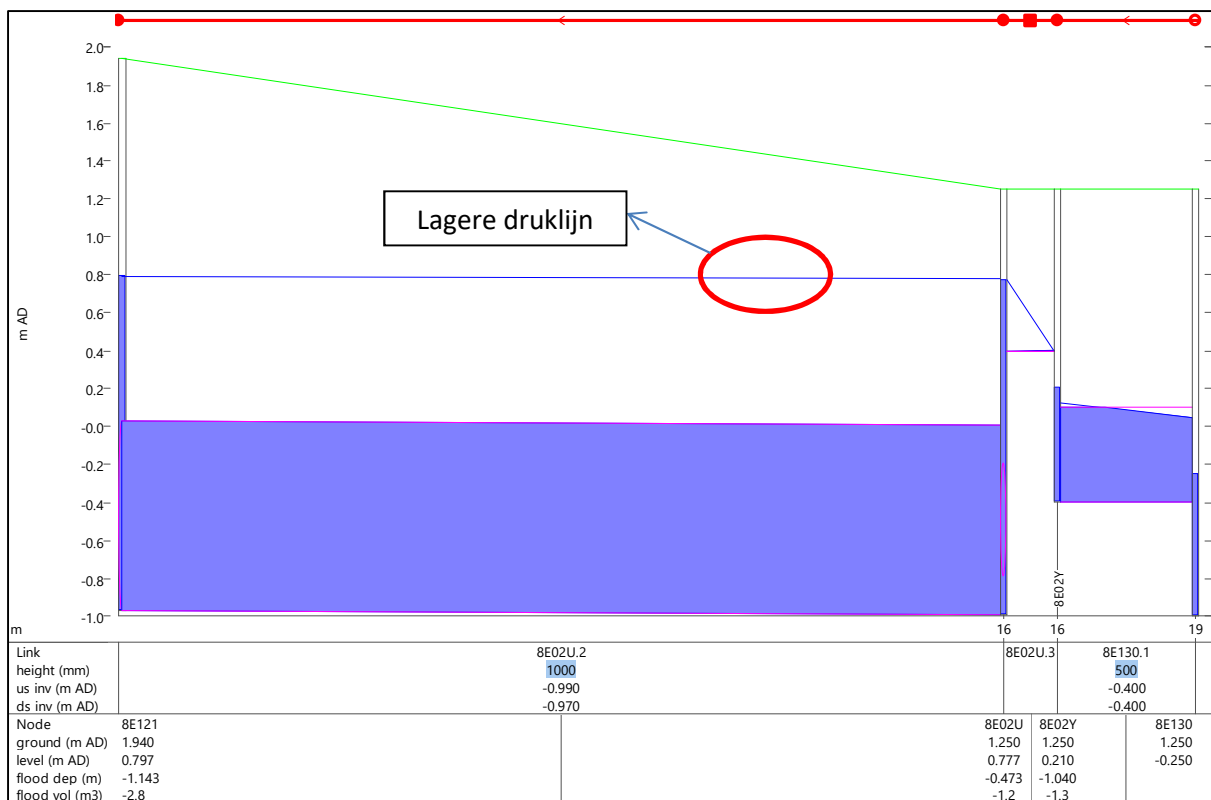
Figuur 47: Lengtedoorsnede water op straat Schoolstraat, Gladiolenstraat, Deldensestraat en Zuiddijk bij huidige model



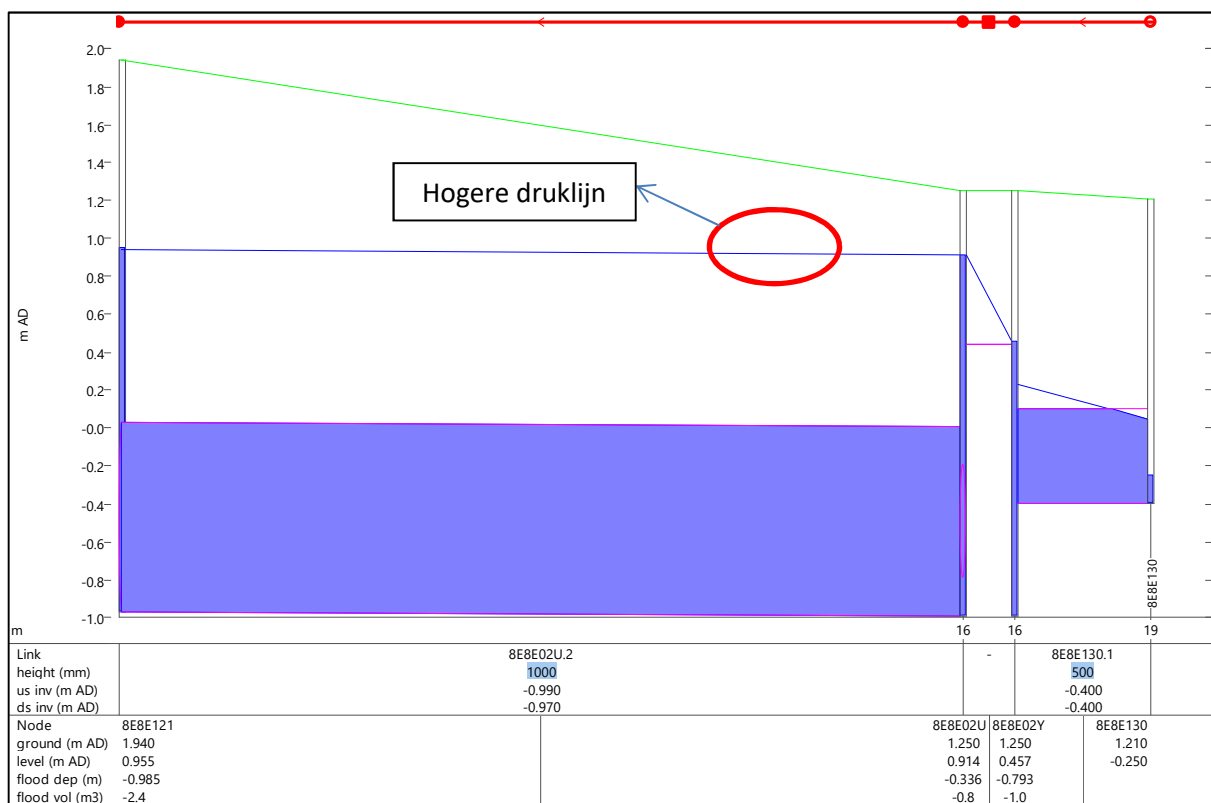
Figuur 48: Lengtedoorsnede water op straat Schoolstraat, Gladiolenstraat, Deldensestraat en Zuidijk bij geactualiseerd model



Figuur 49: Overzichtsweggeve lengtedoorsnede overstort 8E02U

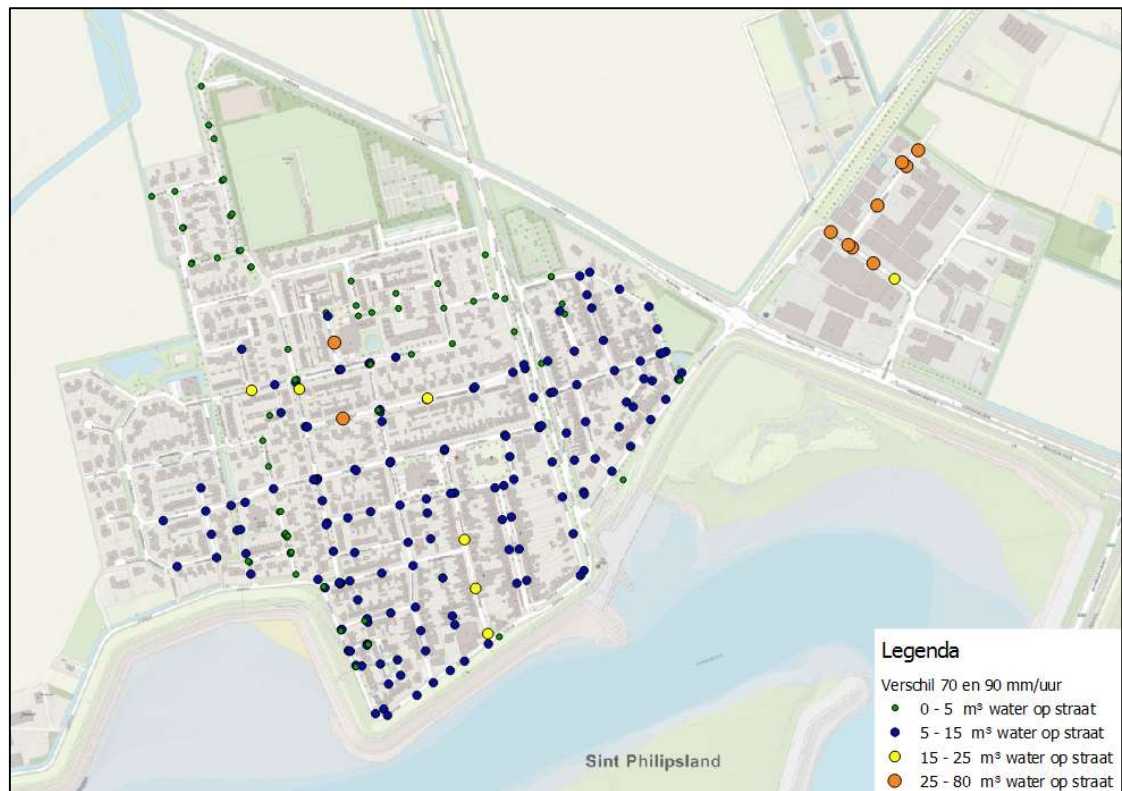


Figuur 50: Lengtedoorsnede overstort 8E02U bij huidig model

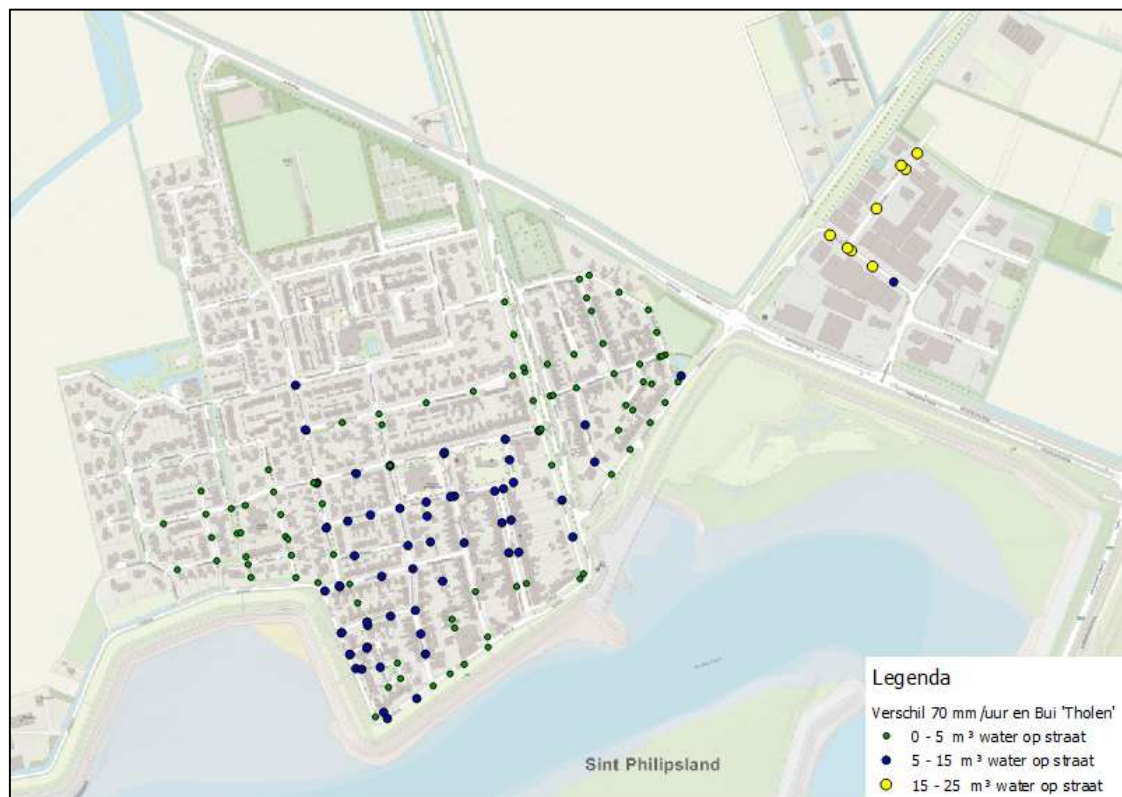


Figuur 51: Lengtedoorsnede overstort 8E02U geactualiseerd model

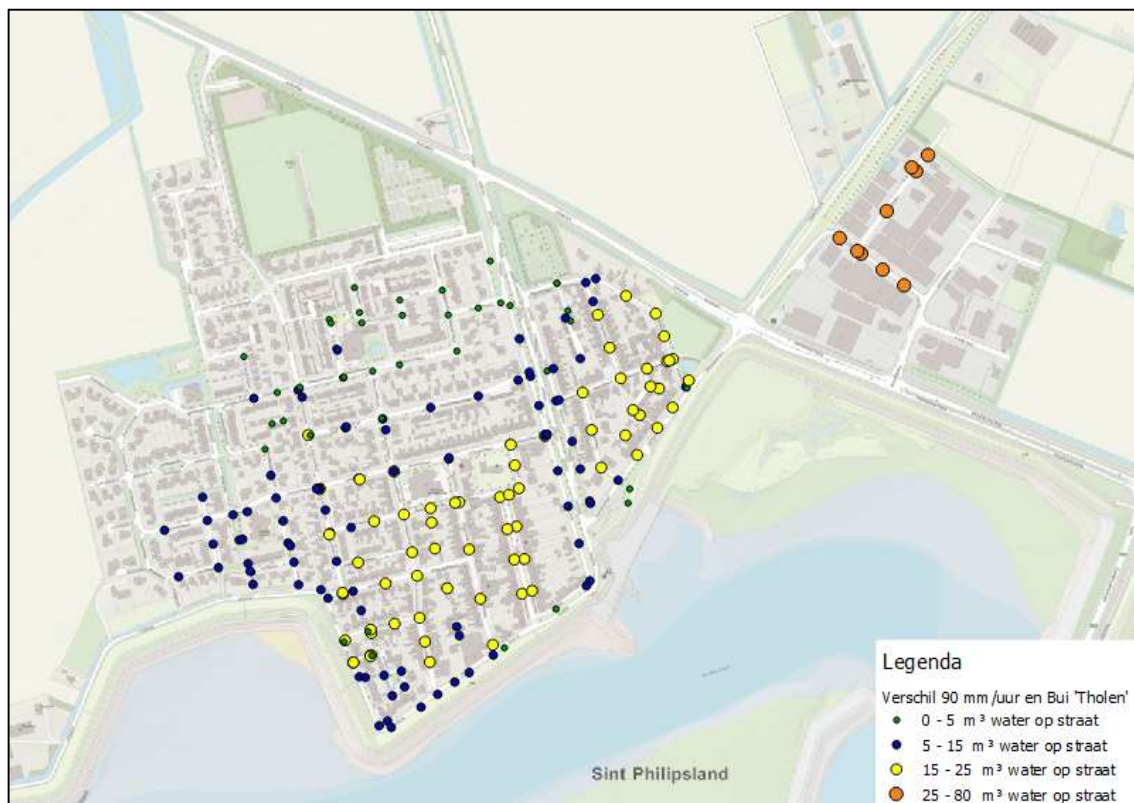
Bijlage 6 – Verschilkaarten extreme neerslag



Figuur 52: Verschil tussen hydraulische belasting van 70 mm/uur en bui 'Tholen'

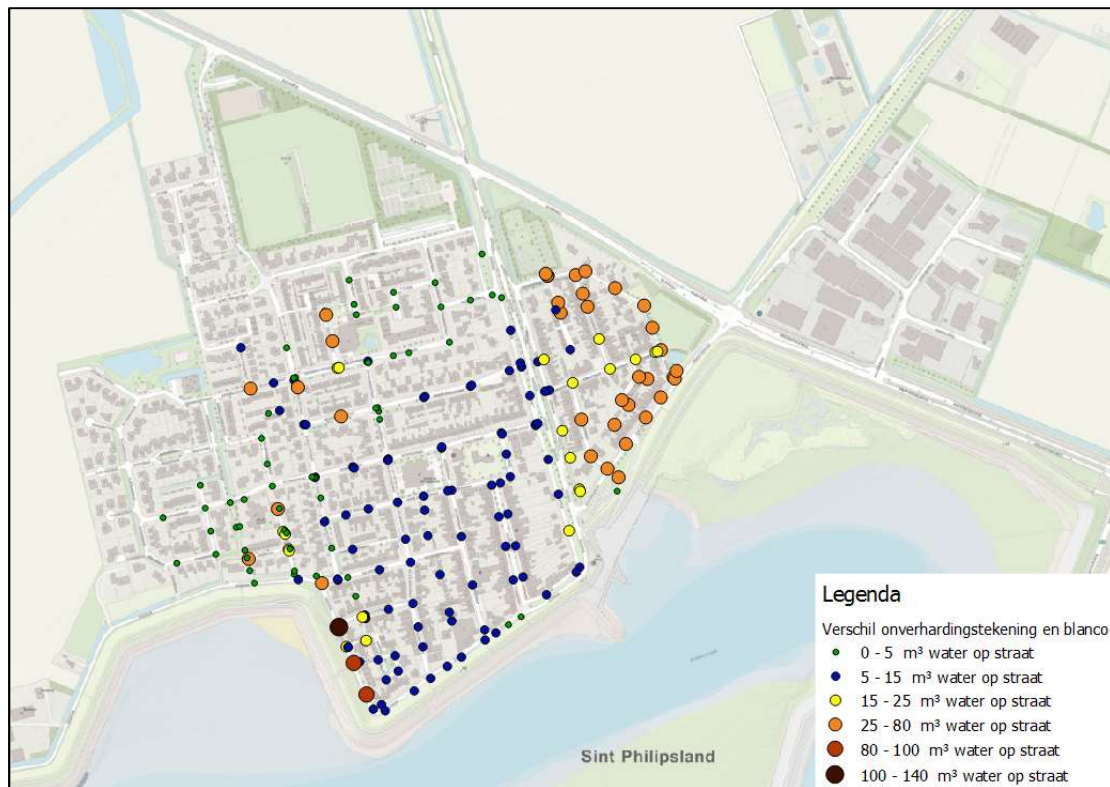


Figuur 53: Verschil tussen permanente hydraulische belasting van 70 & 90 mm/uur t.o.v. 70 mm/uur

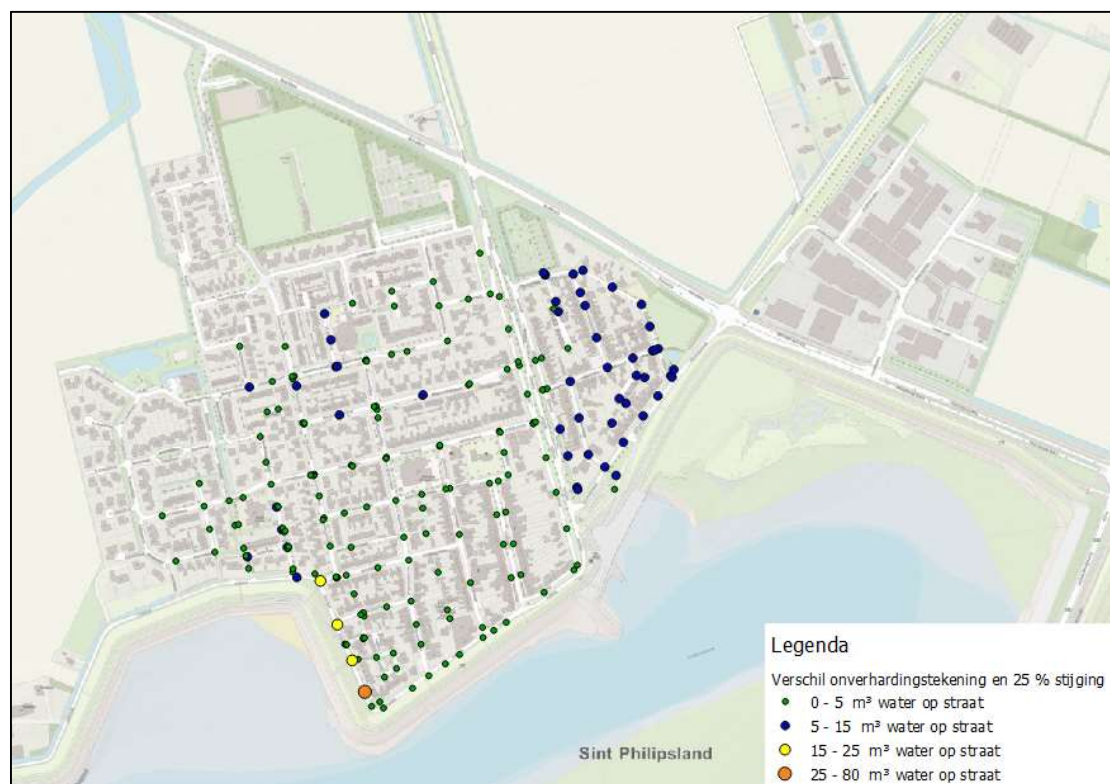


Figuur 54: Verschil tussen hydraulische belasting van 90 mm/uur en bui 'Tholen'

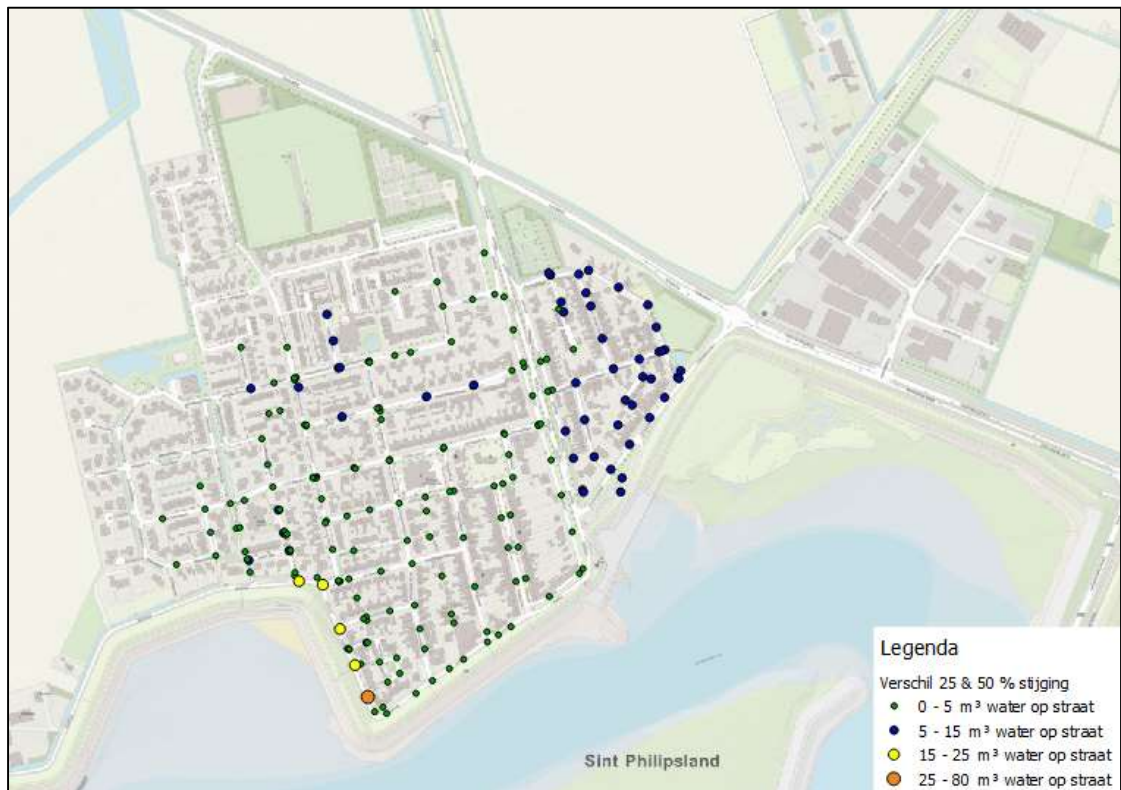
Bijlage 7 – Verschilkaarten hoeveelheid onverhard oppervlak



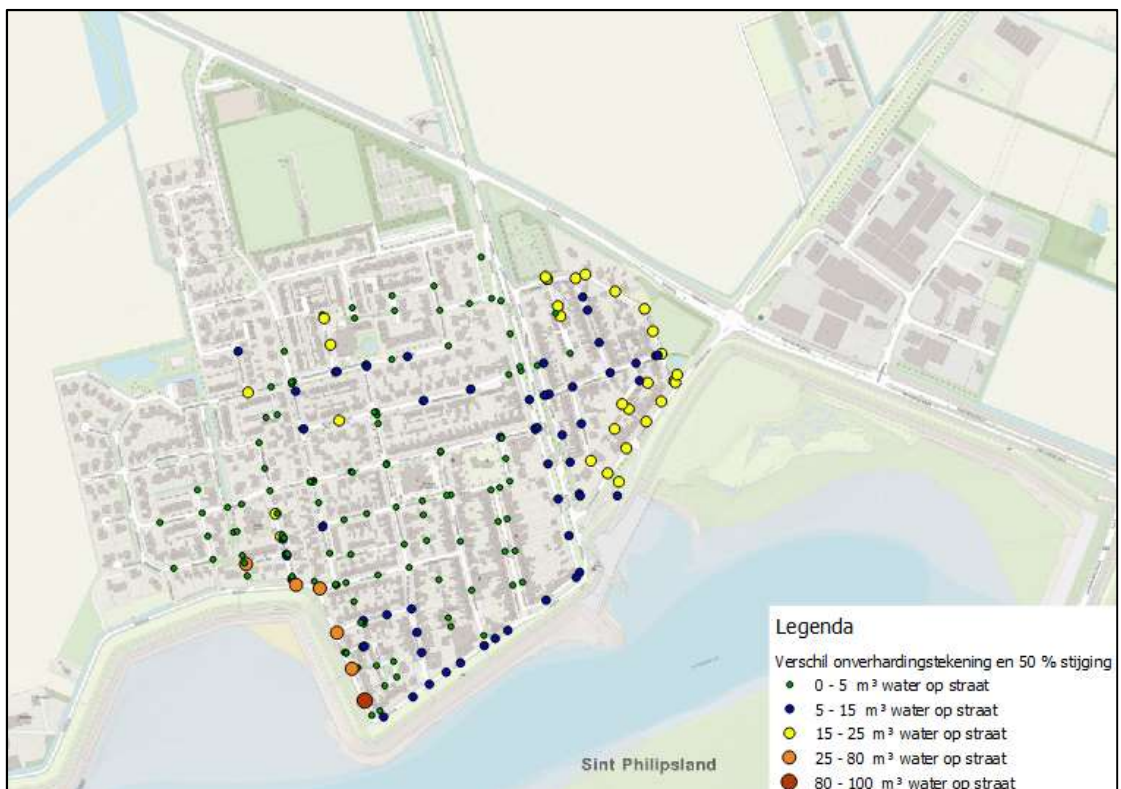
Figuur 55: Verschil tussen onverhardingstekening en 'alleen verhard'



Figuur 56: Verschil tussen onverhardingstekening en stijging van 25 %

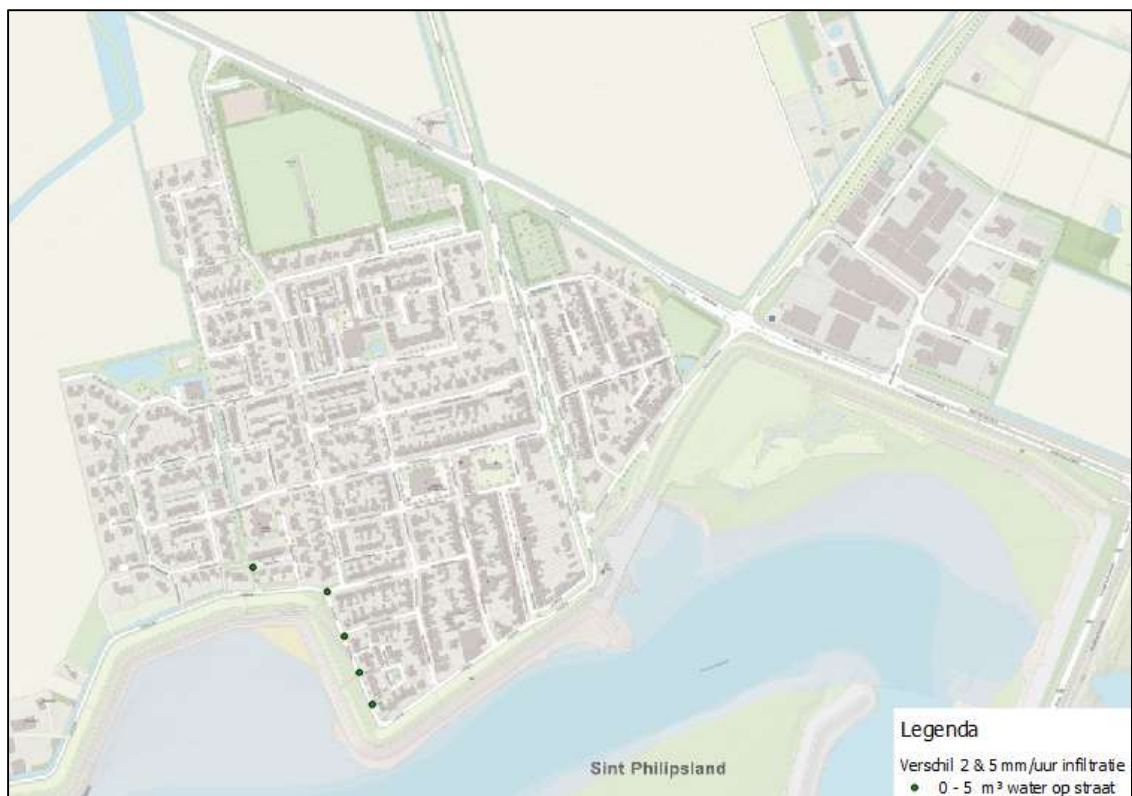


Figuur 57: Verschil tussen onverhardingstekening en stijging van 50 %

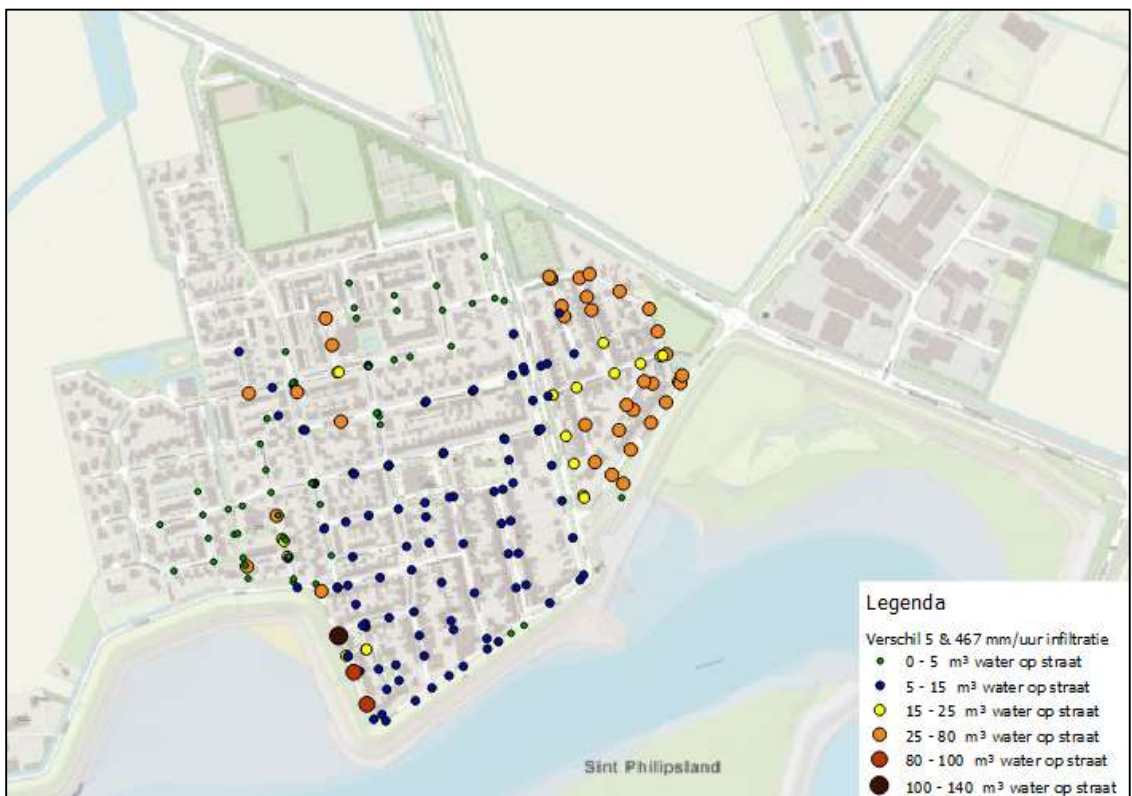


Figuur 58: Verschil tussen 25 & 50 % stijging in onverhard oppervlak

Bijlage 8 – Verschilkaarten infiltratiecapaciteit

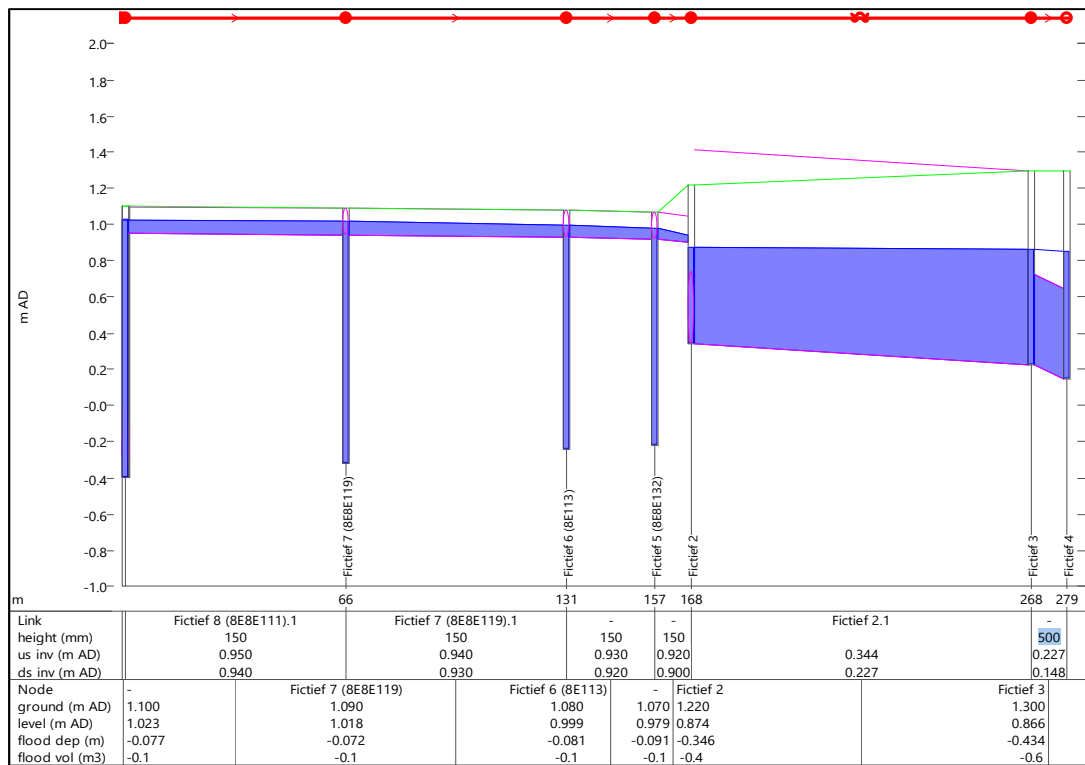


Figuur 59: Verschil tussen infiltratiecapaciteit van 2 & 5 mm/uur

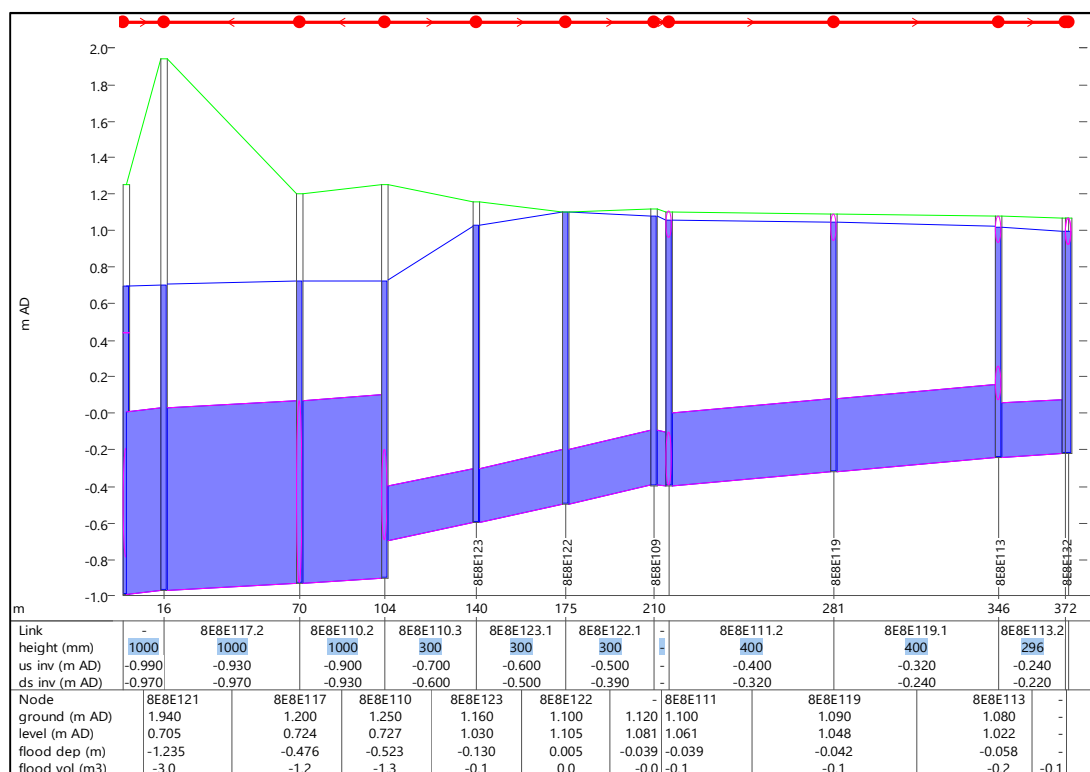


Figuur 60: Verschil tussen infiltratiecapaciteit van 5 & 467 mm/uur

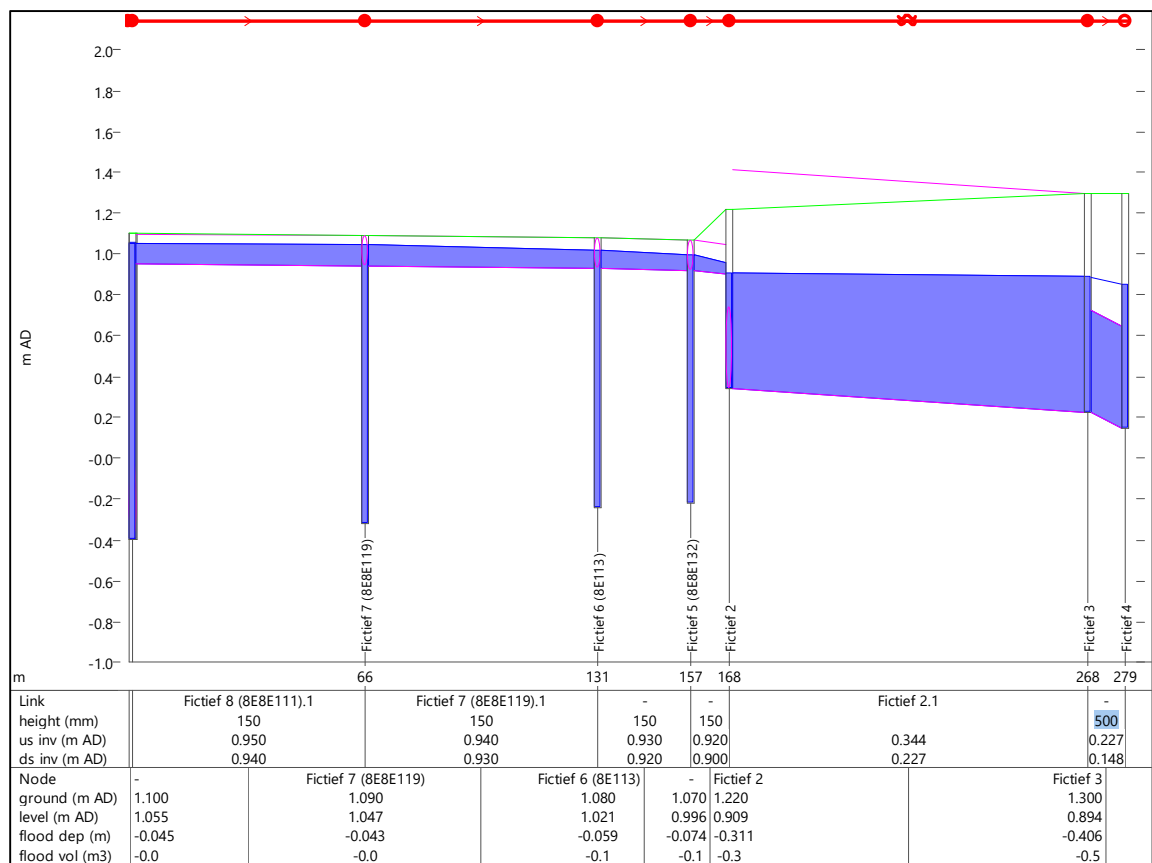
Bijlage 9 – Optimalisatiemaatregel Nijverheidsweg



Figuur 61: Lengtedoorsnede 'simulatie weg' bij hydraulische belasting met bui 08



Figuur 62: Lengtedoorsnede Nijverheidsweg & Kwekerijweg bij hydraulische belasting met bui 09



Figuur 63: Lengtedoorsnede 'simulatie weg' bij hydraulische belasting met bui 09

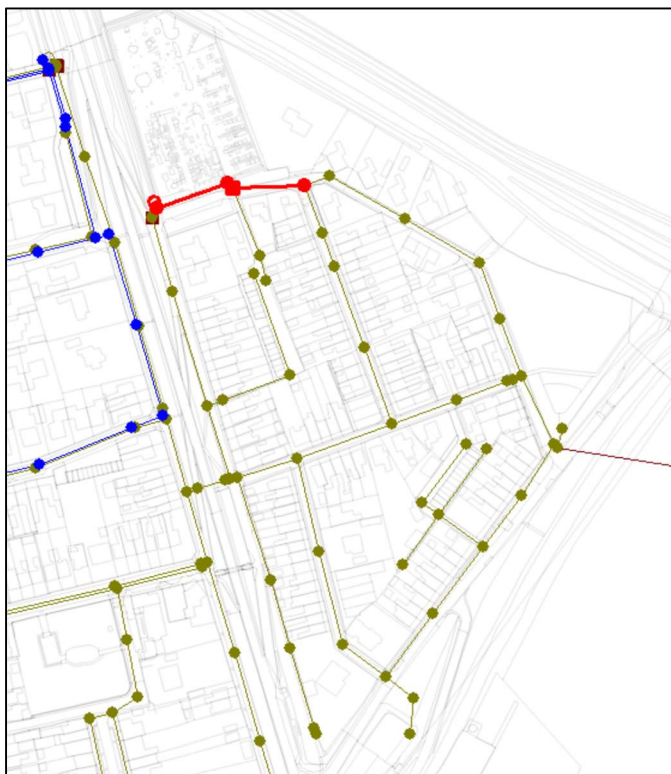


Figuur 64: Nijverheidsweg

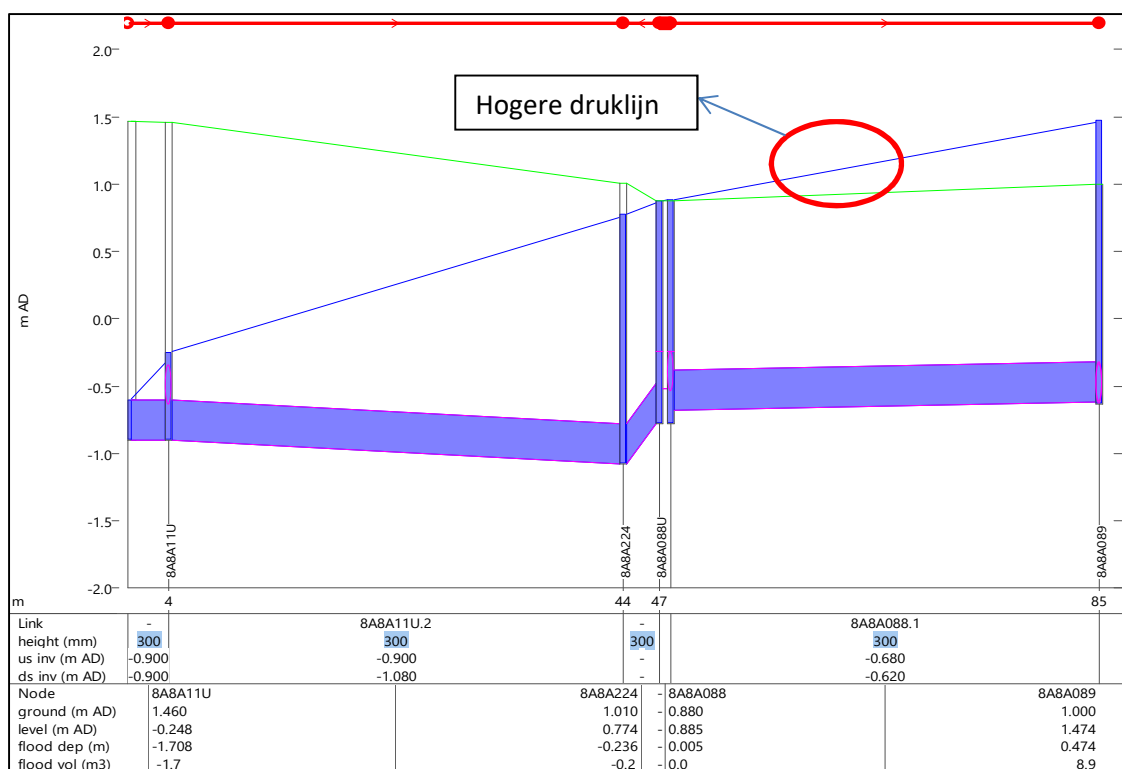


Figuur 65: Afvoerende watergang

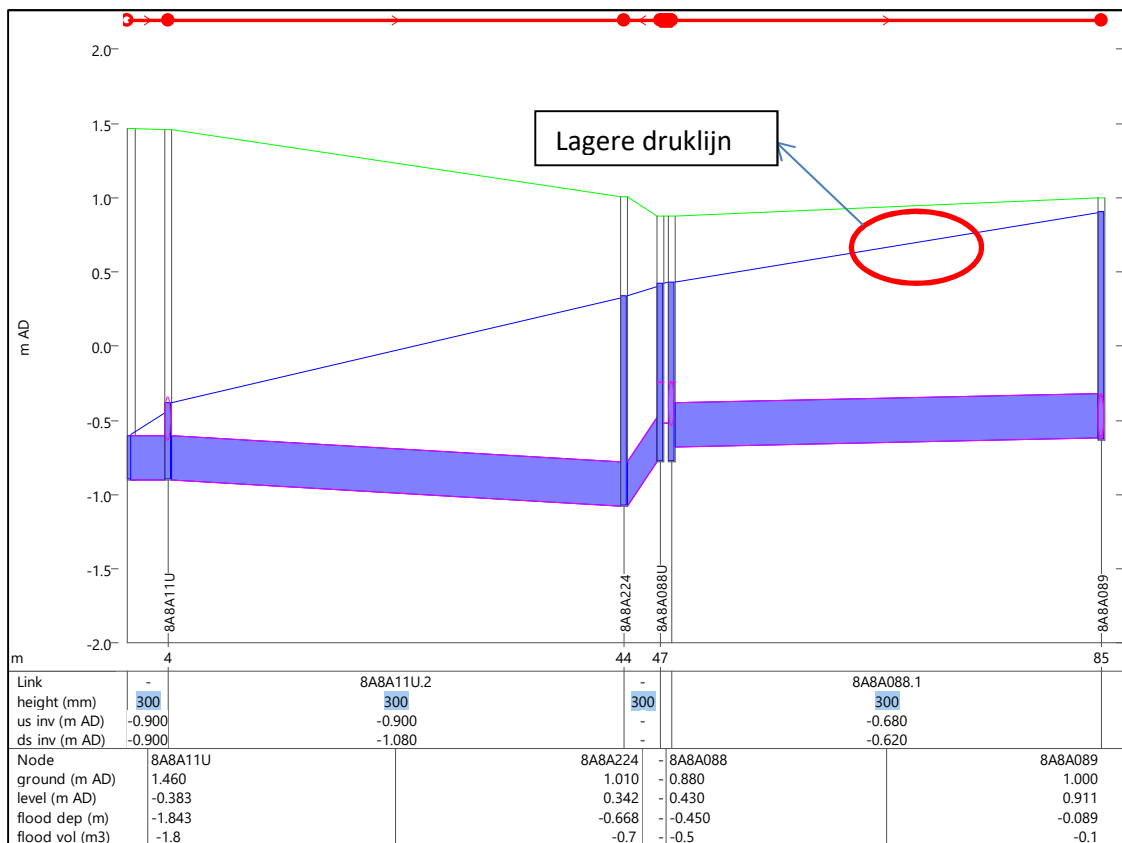
Bijlage 10 – Optimalisatiemaatregelen wijk achter Oostdijk



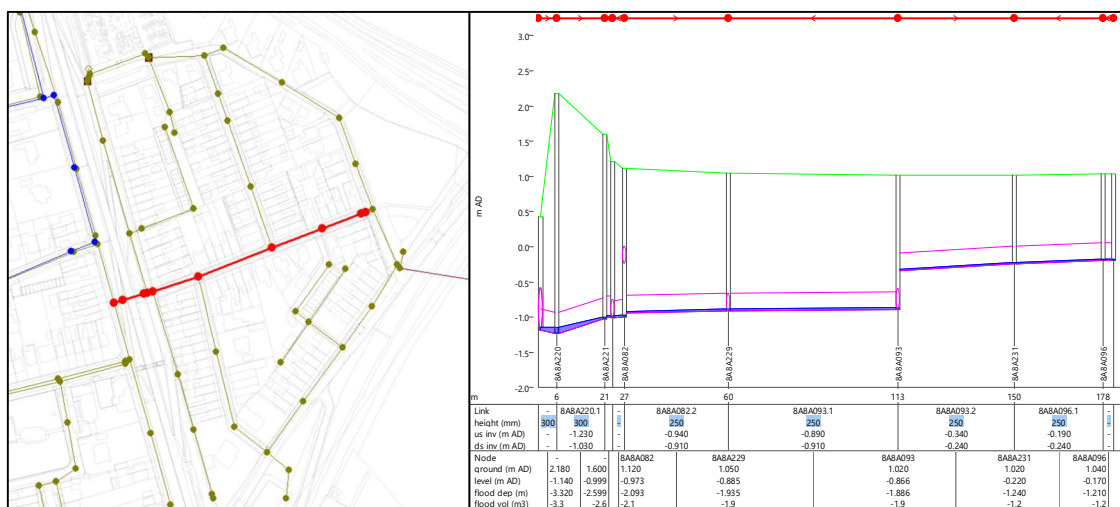
Figuur 66: Overzichtswaergave lengtedoorsnede uitsnede overstort 8A088



Figuur 67: Lengtedoorsnede uitsnede overstort 8A088 bij huidige situatie



Figuur 68: Lengtdoorsnede uitsnede overstort 8A088 met alle maatregelen



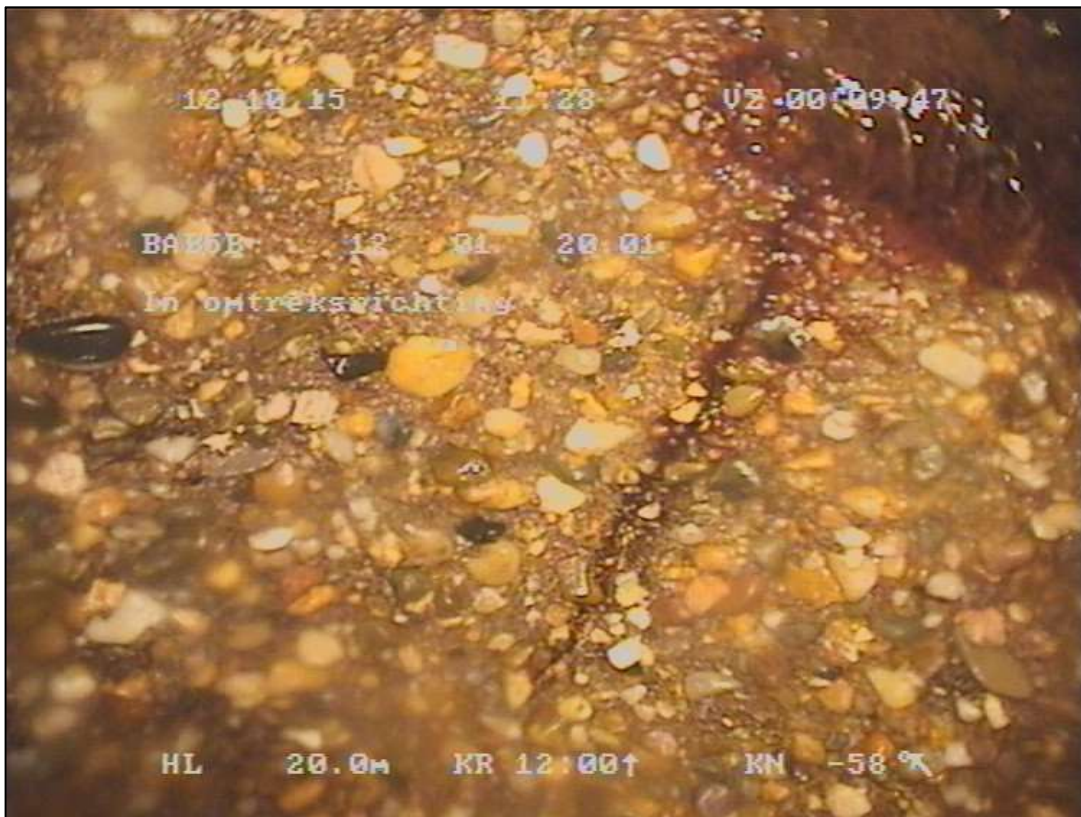
Figuur 69: Afvoerleiding van de wijk gelegen in de Emmastraat



Figuur 70: Emmastraat

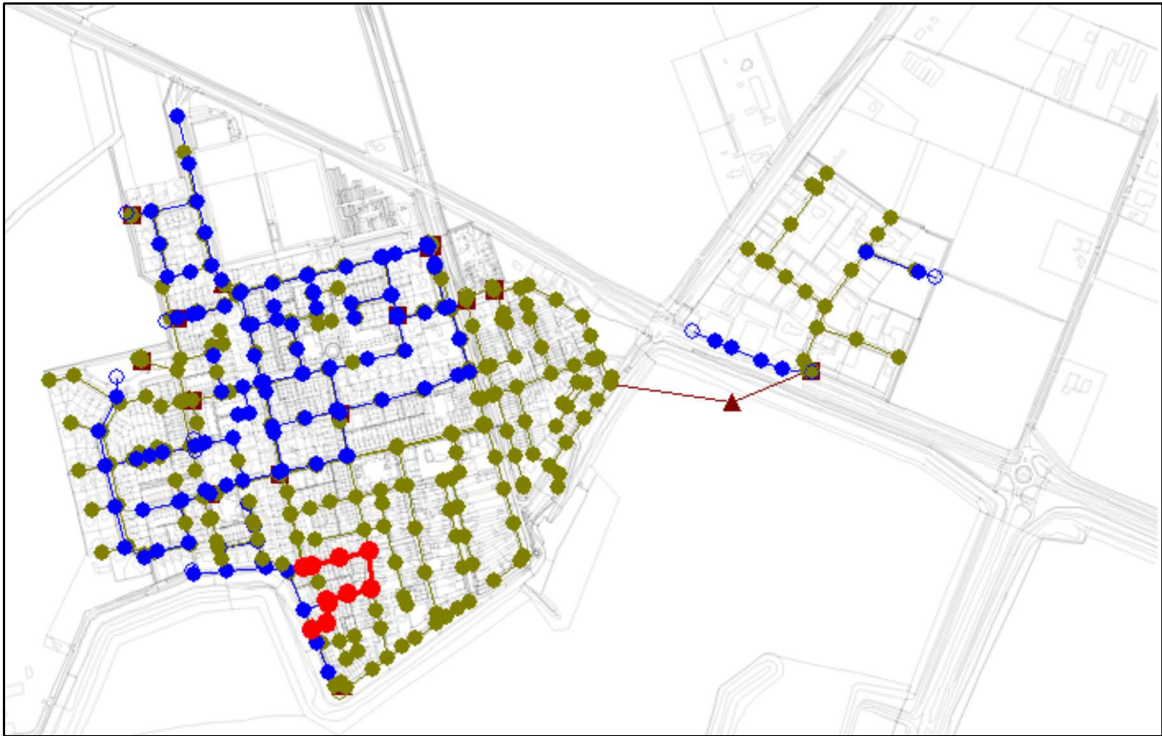


Figuur 71: Koppelingsplaats Emmastraat & Deensestraat

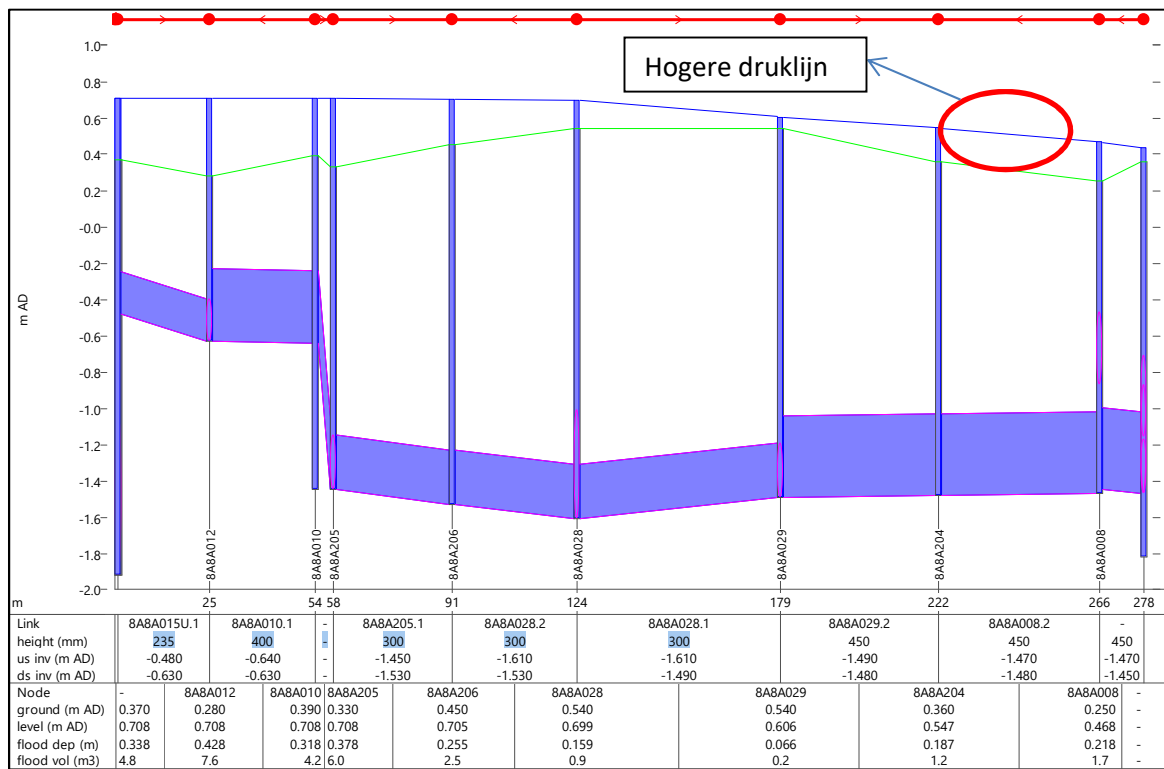


Figuur 72: Scheur in rioolbuis gelegen in de Emmastraat (M.J. Oomen Leidingtechniek B.V., 2015)

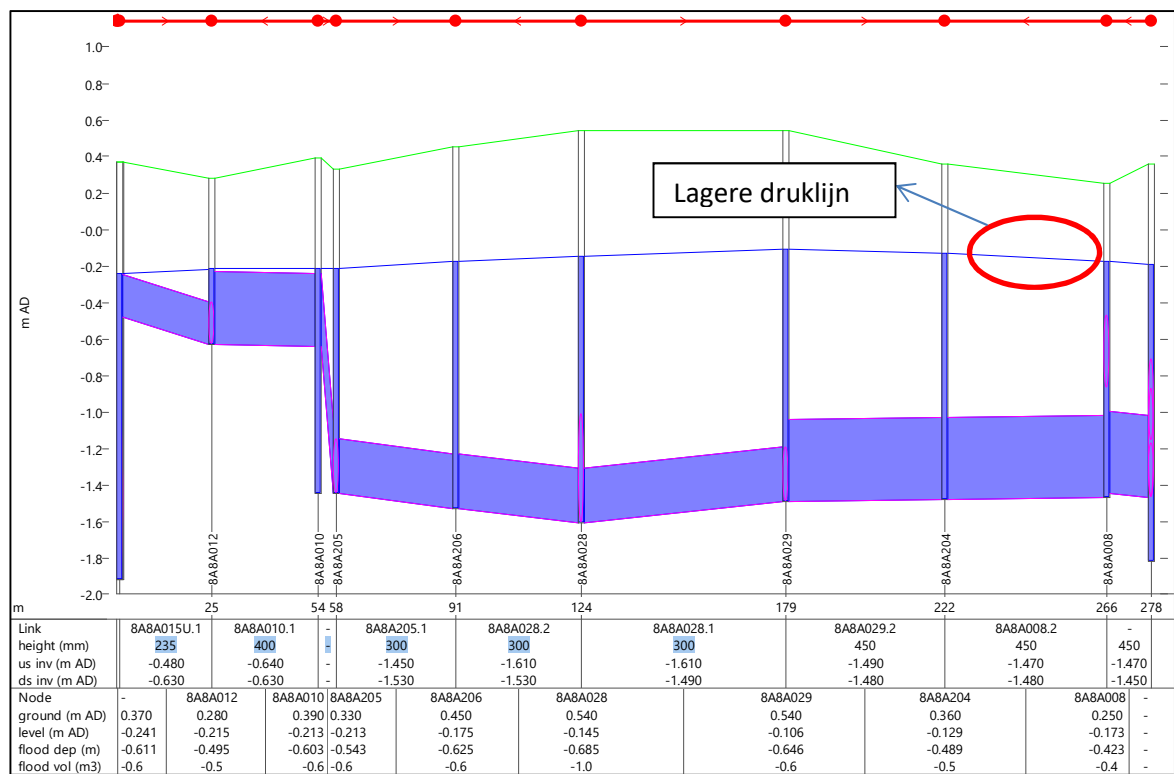
Bijlage 11- Optimalisatiemaatregel Zuiddijk



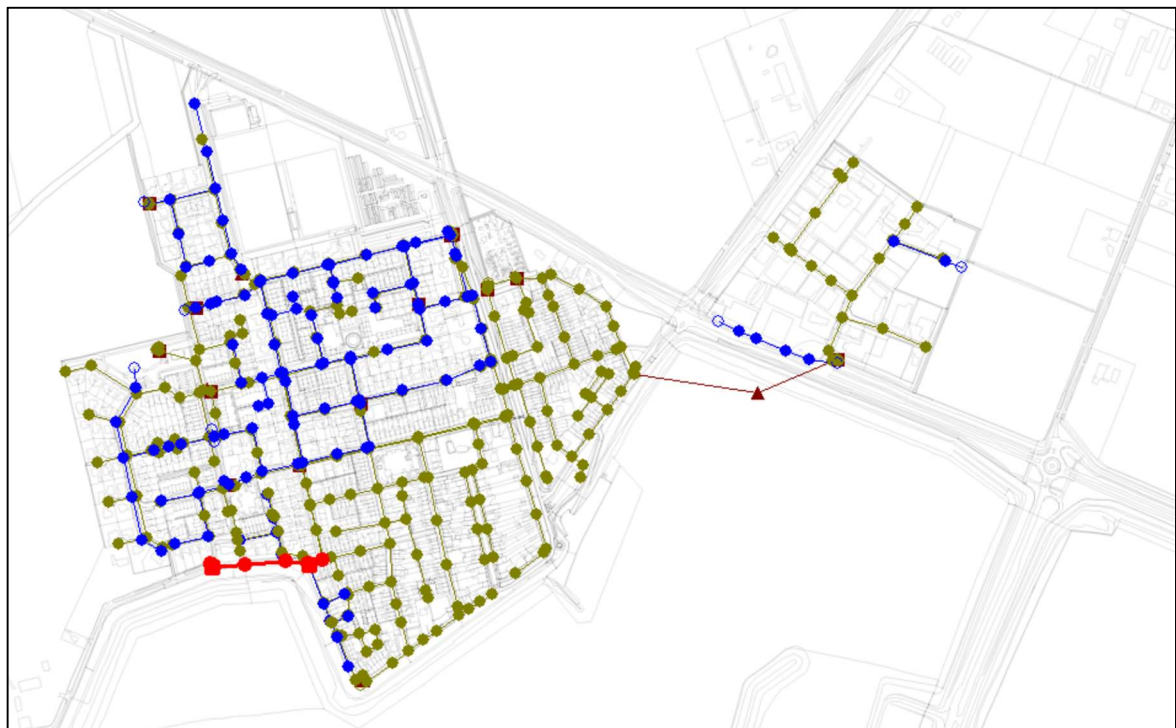
Figuur 73: Overzichtsweggeve lengtedoorsnede Hengelsestraat, Wilhelminastraat en Deldenstraat



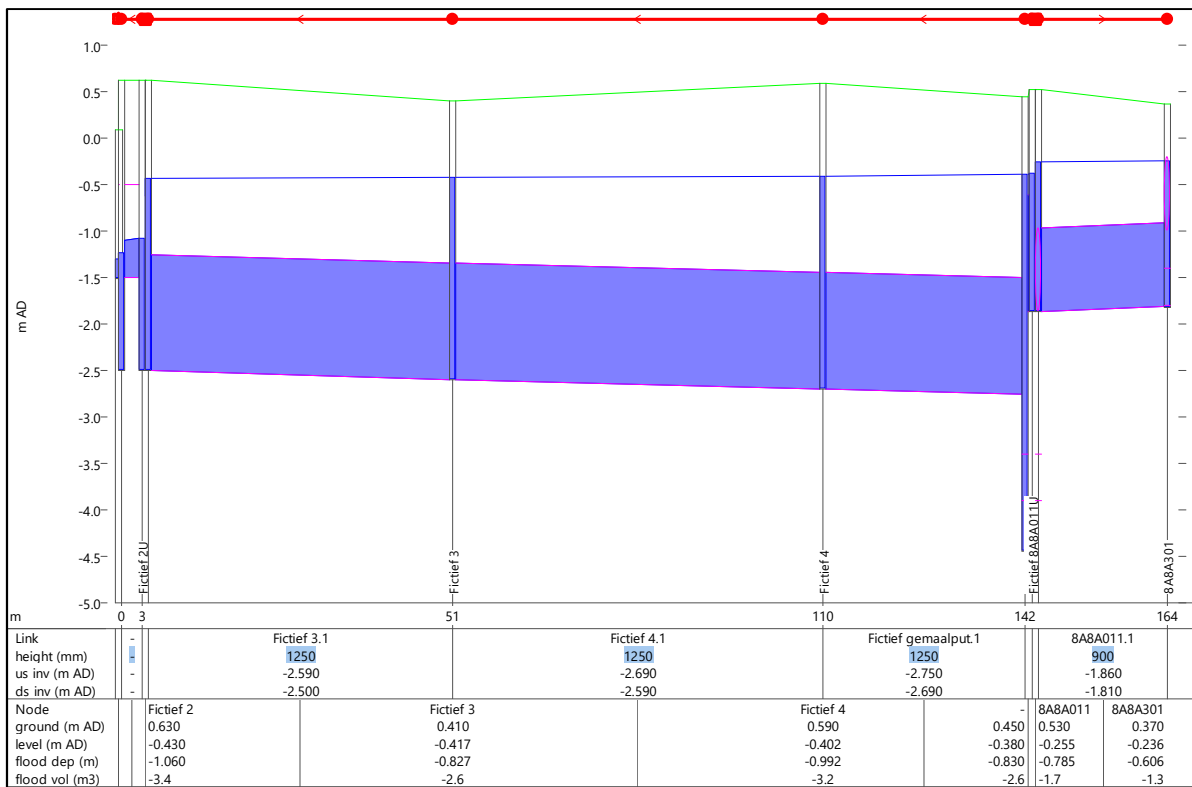
Figuur 74: Lengtedoorsnede Hengelsestraat, Wilhelminastraat en Deldenstraat bij hydraulische belasting bui 09 met inloopbui in de standaard situatie met één BBR



Figuur 75: Lengtedoorsnede Hengelsestraat, Wilhelminastraat en Deldenstraat bij hydraulische belasting bui 09 met inloopbui in nieuwe situatie met twee BBR's



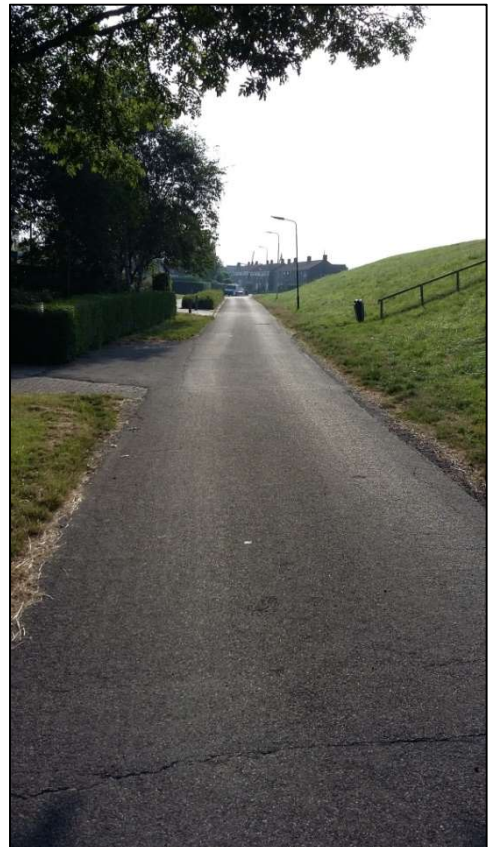
Figuur 76: Overzichtswaergave lengtedoorsnede nieuwe BBR met achterliggende leiding gelegen aan de Zuidijk



Figuur 77: Lengtedoorsnede nieuwe BBR met hydraulische belasting bui 09 met inloopbui

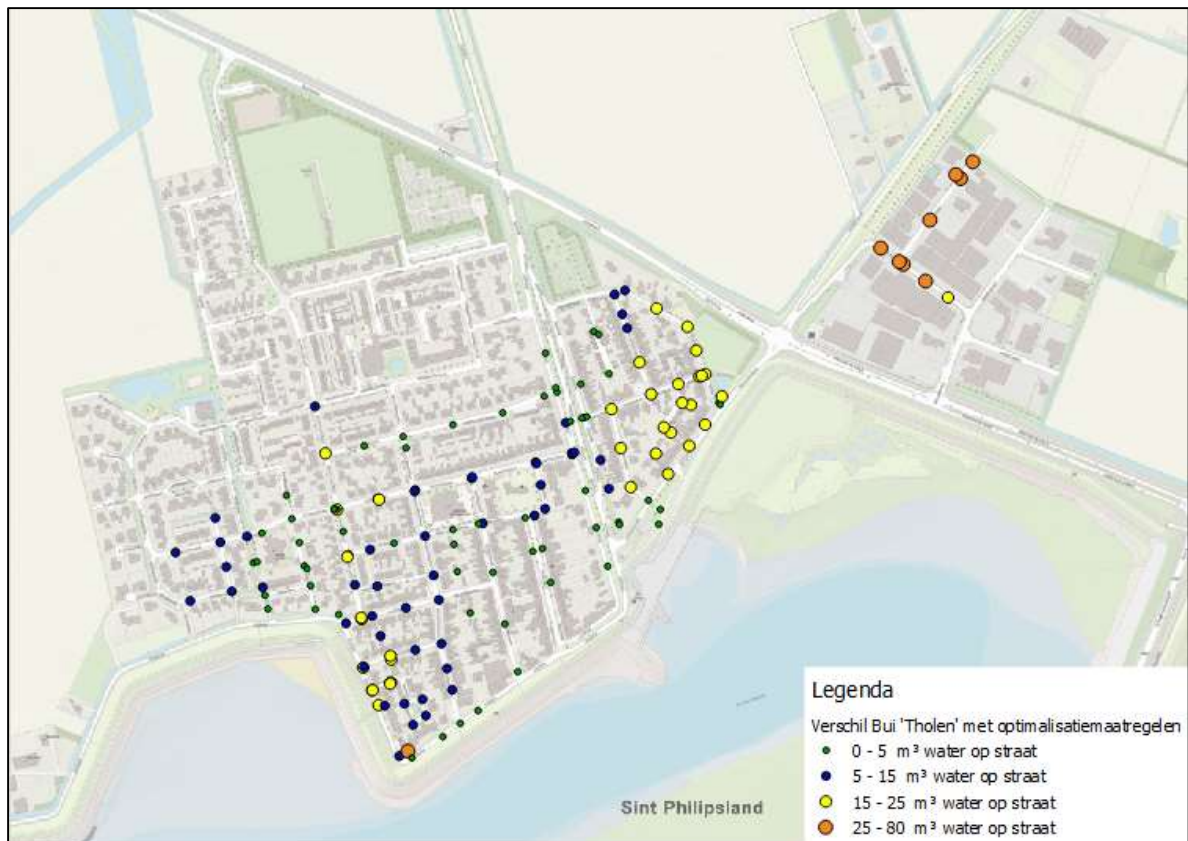


Figuur 78: Locatiefoto Watergang



Figuur 79: Locatiefoto Zuiddijk

Bijlage 12 – Effect optimalisatiemaatregelen



Figuur 80: Verschilkaart tussen bui 'Tholen' in standaard situatie en bui 'Tholen' met optimalisatiemaatregelen