



Het 1D Hydraulisch Functioneren van D-Hydro Urban

Brian Barbieri
Bachelor thesis
Opleiding Milieukunde
Avans Hogeschool

Colofon

Dit advies rapport is bedoeld voor Antea Group over het project; het 1D hydraulisch functioneren van D-Hydro Urban, dat uitgevoerd is voor het TKI project: DEL060 11200948 D-HYDRO Suite, Urban. Dit project is uitgevoerd als afstudeerstage bij Avans Hogeschool in opdracht voor Antea Group.

Auteur:	Brian Barbieri
Studentennummer	2087419
Studie en studiejaar:	ESSET 4
Hogeschool:	Avans hogeschool Lovensdijkstraat 61-63 4818 AJ Breda
Opdrachtgever:	Antea Group Zutphenseweg 31-D 7418 AH Deventer
Afstudeercoördinator Avans:	Ilse Rovers
Stage begeleider Avans:	Wilfred Kleinjan
Stage begeleiders Antea Group:	Benno Steentjes Niels IJsseldijk
Datum:	12/06/2018
Versie:	1.00
Contact adres:	brian.barbieri@anteagroup.com bbarbier@avans.nl

Abstract

Klimaatverandering zorgt voor een groot aantal gevallen van wateroverlast bij Nederlandse gemeenten, waarbij het rioolstelsel de hoge intensiteit van neerslag gebeurtenissen niet meer aankan. Het inzetten van simulatiemodellen is een effectieve maatregel voor het voorkomen van wateroverlast. In vele modellen wordt de riolering (1d) en het maaiveld (2d) apart berekend. Een koppeling tussen 1D en 2D simulatie zorgt mogelijk voor een betere afspiegeling van de werkelijkheid. Dit is al mogelijk met de huidige, door Antea in gebruik genomen, softwarepakketten, maar door een hoge rekentijd is dit een inefficiënt proces. Met het nog in ontwikkeling zijnde D-Hydro Urban is de hoop gevestigd op een model dat effectiever de effecten van regenbuien in stedelijk gebied kan simuleren. In dit onderzoek worden daarom de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban gevalideerd en gekeken of de software klaar is voor een koppeling met de 2D functionaliteiten.

Dit onderzoek bestond uit vier fases, waarbij in de eerste fase werd gekeken of 1D modellen vanuit de oude 1D modeleringsoftware (Sobek) konden worden omgezet naar een formaat dat in D-Hydro Urban berekend kon worden. De volgende fase hield in dat de 1D objecten, uit D-Hydro Urban, die zich in een rioolstelsel bevinden, werden gevalideerd met een aan de hand berekende oplossing en Sobek. In de derde fase van dit project werden kleine teststelsels, zoals het didactisch stelsel, opgebouwd/geïmporteerd om te valideren of de interacties tussen de objecten in 1D naar behoren werken. Tijdens de laatste fase van dit onderzoek zijn de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban getoetst op de casus Brielle.

In de eerste fase is bevonden dat de conversiesoftware het mogelijk maakt om de in Sobek bestaande modellen om te zetten naar een formaat dat geschikt is voor D-Hydro Urban, maar er zijn nog veel handmatige handelingen nodig om een model rekenend te krijgen.

Uit de validatie van de objecten en het eerst geteste teststelsel bleek, dat in een aantal gevallen D-Hydro Urban beter presteerde dan Sobek, wanneer vergeleken met de analytische oplossing. Wel had D-Hydro Urban moeite met het juist simuleren van gemalen en doorlaten met een kleine breedte. In de resultaten uit het didactisch stelsel kwam ook naar voren dat de berging in de kunstwerken voor foutmarges zorgde tussen D-Hydro Urban en Sobek.

Tijdens het toetsen van de casus Brielle bleek dat de D-Hydro Urban en Sobek modellen tot de zelfde conclusies kwamen. Hier zorgde eveneens dat problemen met de berging in de kunstwerken voor lagere waterniveaus zorgde. Wanneer verbeteringen worden doorgevoerd die ervoor zorgen dat de Sobek modellen volledig automatisch worden berekend in D-Hydro Urban en de problemen met de berging met de kunstwerken wordt verholpen is D-Hydro Urban klaar om gekoppeld te worden met het 2D model.

Voorwoord

Dit rapport is opgesteld als afstudeeropdracht voor mijn HBO opleiding Milieukunde, bij Avans Hogeschool in Breda. Met trots presenteer ik de scriptie van mijn afstudeeropdracht bij Antea Group over het 1D hydraulisch functioneren van D-Hydro Urban. Als onderzoeker voor dit project ben ik zeer tevreden over het verloop van de afstudeerperiode. Ik heb met veel enthousiasme en motivatie aan de opdracht gewerkt waardoor een mooi eindresultaat is neergezet.

Ten eerste wil ik graag Benno Steentjes, Niels IJsseldijk en de andere collega's bij adviesgroep beheer bedanken voor het begeleiden en aanbieden van deze afstudeerstage. Ook wil ik graag Brian Kapitein bedanken voor de fijne samenwerking tijdens dit project en wens ik hem veel plezier toe bij zijn nieuwe baan binnen Antea Group.

Binnen Deltares wil ik erg graag Didrik Meijer bedanken voor de fijne samenwerking en vele uren die gespendeerd zijn aan het perfectioneren van de modellen. De rest van de programmeurs/modellereurs binnen Deltares ik ook bedanken voor het ontwikkelen van dit innoverende product. Vanuit Avans Hogeschool wil ik graag Wilfred Kleinjan bedanken voor de algemene begeleiding voor het hopelijk behalen van mijn bachelor diploma. Als laatste wil ik iedereen bedanken die de erg behulpzame feedback hebben geleverd op mijn scriptie.

Deventer, juni 2018

Brian Barbieri

Student HBO Milieukunde

Avans Hogeschool

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
1.1.	Doelstellingen	2
1.2.	Leeswijzer	2
2.	Theoretisch kader	3
2.1.	Klimaatverandering.....	3
2.2.	Wateroverlast modellen	4
2.2.1.	Statisch modelleren	4
2.2.2.	1D modelleren	4
2.2.3.	2D modelleren	4
2.2.4.	1D-2D modelleren.....	5
2.3.	Casus Brielle.....	5
2.3.1.	Recent onderzoek	5
2.3.2.	Neerslaggebeurtenissen	6
2.3.3.	Huidige situatie	7
2.3.4.	Hydraulisch functioneren van de Vesting tot 2010.....	8
3.	Onderzoeksmethode	9
3.1.	Valideren objecten.....	10
3.1.1.	Leidingen.....	10
3.1.2.	Overstorten.....	12
3.1.3.	Doorlaten	13
3.1.4.	Gemalen.....	14
3.2.	Valideren kleine stelsels.....	15
3.2.1.	Diamant stelsel.....	15
3.2.2.	Didactisch stelsel.....	16
3.3.	Casus Brielle	17
4.	Onderzoeksresultaten & Discussie.....	18
4.1.	Valideren objecten.....	18
4.1.1.	Leidingen.....	18
4.1.2.	Overstorten.....	20
4.1.3.	Doorlaten	21
4.1.4.	Gemalen.....	22
4.2.	Valideren kleine stelsels.....	23
4.2.1.	Diamant stelsel.....	23
4.2.2.	Didactisch stelsel.....	24
4.3.	Casus Brielle	26
4.4.	Conversie & D-Hydro Urban software.....	32

5. Conclusie.....	33
6. Advies & aanbevelingen.....	34
7. Bibliografie.....	35
Appendices	I
Appendix I Voorgestelde oplossingen uit het vorig uitgevoerde onderzoek casus Brielle.....	I
Appendix II Stroomdiagram methodiek.....	III
Appendix III De parameters van het leidingenmodel.....	IV
Appendix IV De parameters van het overstortmodel.....	V
Appendix V De parameters van het doorlaatmodel.....	VI
Appendix VI De parameters van de limietmodellen voor de parameters van de doorlaat	VII
Appendix VII De parameters van het gemalenmodel.....	VIII
Appendix VIII De parameters van het diamantstelsel	VIII
Appendix IX Uitgebreide visualisatie van het didactisch stelsel.....	XI
Appendix X Visualisatie van het didactisch stelsel in Sobek.....	XII
Appendix XI Beschrijving substelsels didactisch stelsel.....	XIII
Appendix XII Script voor aanmaak van putdebieten	XIV
Appendix XIII Script voor aanmaken van putnamen in output CSV van D-Hydro Urban.....	XV
Appendix XIV Script voor het maken van de putgrafieken.....	XVI
Appendix XV Duurzaamheid analyse.....	XVII
Appendix XVI Putten per probleemgebied voor modellen casus Brielle	XVIII
Appendix XVII Script voor de GUI van de conversie software	XX
Appendix XVIII Resultaten diamant stelsel per put	XXIV
Appendix XIX Validatie Bui08 op het didactisch stelsel.....	XXV
Appendix XX Vergelijking resultaten van Bui08 op de casus Brielle in de huidige situatie tussen D-Hydro Urban en Sobek.....	XXXII
Appendix XXI Vergelijking resultaten van de 50 mm bui op de casus Brielle in de huidige situatie tussen D-Hydro Urban en Sobek	XXXIII
Appendix XXII Maximale waterstanden voor berekening huidige situatie met de 80 mm bui	XXXIV
Appendix XXIII Vergelijking resultaten van de 80 mm bui op de casus Brielle in de huidige situatie tussen D-Hydro Urban en Sobek	XXXV
Appendix XXIV Vergelijking resultaten van Bui08 op de casus Brielle in de situatie tot 2010 tussen D-Hydro Urban en Sobek.....	XXXVI
Appendix XXV Vergelijking resultaten van de 50 mm bui op de casus Brielle in de situatie tot 2010 tussen D-Hydro Urban en Sobek.....	XXXVII
Appendix XXVI Maximale waterstanden voor berekening situatie voor 2010 met de 80 mm bui	XXXVIII
Appendix XXVII Vergelijking resultaten van de 80 mm bui op de casus Brielle in de situatie tot 2010 tussen D-Hydro Urban en Sobek.....	XXXIX

Afkortingenlijst

Afkorting	Betekenis
AHN	Algemeen Hoogtebestand Nederland
AWZI	Afvalwaterzuiveringsinstallatie
BGT	Basisregistratie Grootchalige Topografie
BRP	Basisrioleringsplan
DWA	Droogweerafvoer
EAFM	Absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing
EAS	Absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing
FM	Flexible Mesh
GIS	Geografisch Informatie Systeem
GUI	Generated User Interface
GWSW	Gegevenswoordenboek Stedelijk Water
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
SUF-HYD	Standaard Uitwisselings Formaat HYDraulische rioleringsberekeningen
TKI	Topconsortium voor Kennis en Innovatie
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu

1. Inleiding

Als gevolg van veranderingen in het klimaat, zoals de KNMI klimaat scenario's onder meer laten zien, nemen de neerslaggebeurtenissen qua intensiteit toe (Hurk, et al., 2014). Bij de voorspelde extreme buien kan het rioolstelsel in vele gemeenten het aanbod van hemelwater niet aan, wat wateroverlast veroorzaakt (Have & Wit, 2017). Hierdoor is er dus behoefte vanuit gemeenten om de kans en het effect van hevige neerslag op het stedelijke gebied te voorspellen en overlast te reduceren. Hiervoor heeft Antea Group de dienstlijn PluviAG ontwikkeld. PluviAG is opgebouwd om op diverse detailniveaus de effecten van extreme regenval te voorspellen (Ijsseldijk & Steentjes, 2016). Afhankelijk naar de vraag en behoefte van de gemeente wordt gekozen welk detailniveau wordt ingezet.

Eén van de eerste detailniveaus is het statistisch voorspellen van regenval door bijvoorbeeld te kijken naar hoogteverschillen in het maaiveld. Een hoger detailniveau is het dynamisch berekenen van regen overlast, softwarepakketten zoals het door Deltares ontwikkelde Sobek en D-Hydro worden binnen PluviAG ingezet om dynamisch de effecten van extreme regenval te voorspellen. Sobek maakt gebruik van 1D berekeningen, wat inhoudt dat het de bewegingen van water kan simuleren binnen het riool. Met D-Hydro worden de 2D vraagstukken opgelost, waarmee op een hoge resolutie de waterbewegingen op het maaiveld in een stadskern of wijk worden gesimuleerd. Via D-Hydro kan dus worden gesimuleerd wat de gevolgen zijn van hevige regenval op het maaiveld, maar niet de afstroming naar het riool.

Een uitkomst hierop is een 1D-2D, dit is een integraal model, waarbij zowel de riolering (1D) als het maaiveld (2D) tegelijkertijd worden doorgerekend en dus ook invloed op elkaar uitoefenen. Dit type model is de volgende stap in de ontwikkeling van PluviAG en is op dit moment al in gebruik bij Antea Group door middel van Sobek. Aangezien Sobek al sinds 1993 in ontwikkeling is, loopt de software tegen zijn grenzen aan, waardoor onder andere berekeningen op grootte schaal niet mogelijk zijn door een te lange rekentijd (Henckens & Engel, 2017). Hierdoor is er behoefte aan een nieuw rekenmodel dat niet alleen snel kan rekenen op een grote schaal, maar eveneens betrouwbaar en gebruiksvriendelijk is. Bovendien is er behoefte dat dit model rekening houdt met het uniforme taalgebruik uit het Gegevenswoordenboek Stedelijk Water (GWSW) (Stichting RIONED, 2018).

Vanuit een samenwerkingsproces tussen Antea Group, Deltares, AVRI, waterschap Rivierenland, gemeente Brielle en gemeente Berg en Dal wordt invulling gegeven aan deze behoefte (Meijer, 2017). Deze samenwerking is onderdeel van het Topconsortium voor Kennis en Innovatie (TKI) Deltatechnologie dat bestaat uit meerdere publiek-private kennis- en innovatieprogramma's, die het doel hebben om kennis en innovaties te bevorderen op het gebied van de waterkwantiteit, de waterkwaliteit van oppervlaktewateren en de bescherming tegen hoogwater (Waterbouwers, 2017). Uit dit samenwerkingsverband is D-Hydro Urban ontstaan, waarbij Deltares de taak heeft om de nieuwe software te ontwikkelen en Antea Group de opgave deze software te testen en te valideren, zodat D-Hydro Urban zich ontwikkelt tot een betrouwbaar, gebruiksvriendelijk en snel werkend software pakket dat effectief de effecten van extreme regenval kan voorspellen.

Dit onderzoek gaat zich bezig houden met de eerste stappen binnen de ontwikkeling van dit softwarepakket. Een van de belangrijke voorwaarden voor een goed werkend 1D/2D model is dat de 1D functionaliteiten naar behoren werken. Een validatie van deze 1D functionaliteiten is daarom essentieel voordat de koppeling met 2D plaatsvindt. De 1D functionaliteiten worden daarnaast niet alleen gevalideerd, maar er wordt onder andere gekeken of de functionaliteit even waardevol is als Sobek door ze te toetsen op een casus. Als laatste is dit rapport bedoeld als advies rapport, om aanbevelingen door te geven voor verbeteringen binnen de ontwikkeling van D-Hydro Urban.

1.1. Doelstellingen

Om beter inzicht te krijgen of de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban correct functioneren is de hoofddoelstelling van dit onderzoek om binnen 20 weken de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban te toetsen. Om dit doel te bereiken zijn de volgende subdoelen opgesteld:

- Toetsen van de opgebouwde conversie software voor het omzetten van 1D modellen vanuit Sobek naar D-Hydro Urban;
- Het valideren van de rioolobjecten in D-Hydro Urban;
- Het valideren van de interactie tussen deze objecten in test rioolstelsels in D-Hydro Urban;
- Toepassen van de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban op de casus Brielle.

Hiernaast worden in dit project verbetermogelijkheden aangedragen voor de verdere ontwikkeling van D-Hydro Urban.

1.2. Leeswijzer

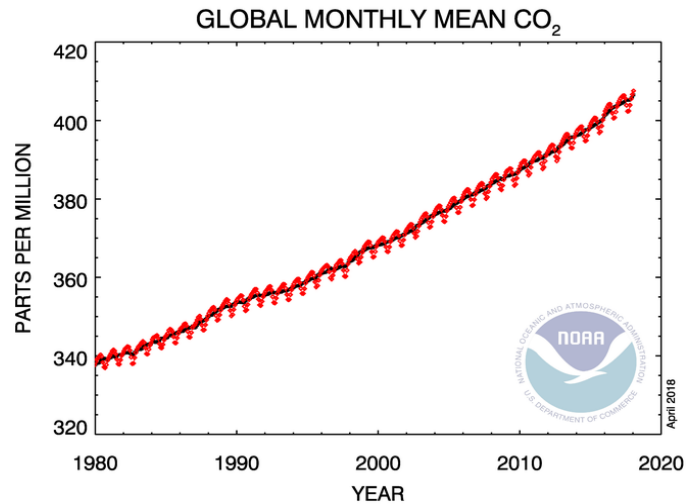
Dit rapport is als volgt opgebouwd:

- Het volgende hoofdstuk bevat het theoretische kader van dit onderzoek. In hoofdstuk 2 is als eerste het verband tussen de toename van wateroverlast en klimaatverandering uiteengezet. Vervolgens is er achtergrondinformatie beschreven over de verschillende types wateroverlastmodellen die besproken en/of gebruikt zijn binnen dit onderzoek. Binnen dit hoofdstuk wordt onder andere het eerdere, door Antea Group uitgevoerde onderzoek over de casus Brielle beschreven. Hierin worden de problemen binnen de casus verklaard en welke methodes zijn gebruikt om deze problemen op te lossen.
- Hoofdstuk 3, de onderzoeksmethode, beschrijft de verschillende methodes die zijn gebruikt om de onderzoeksresultaten te vergaren. Het hoofdstuk is opgedeeld in vier onderdelen, het eerste onderdeel beschrijft hoe de verschillende, in een rioolstelsel te vinden objecten zijn gevalideerd. Het tweede onderdeel beschrijft de validatie van meerdere teststelsels en het derde onderdeel beschrijft de toepassing van de 1D functie op de casus Brielle. Het laatste deel beschrijft de methode die is gebruikt om kwaliteit van de conversie en D-Hydro Urban software te toetsen om aanbevelingen aan te dragen voor verbeteringen in de kwaliteit van de software. Het volgende onderdeel beschrijft
- Als vervolg op de onderzoeksmethode, beschrijft hoofdstuk 4 de onderzoeksresultaten van deze studie en bevat daarom dezelfde structuur als hoofdstuk 0, maar daarentegen beschrijft dit hoofdstuk de bevindingen die zijn gevonden binnen dit project. In dit hoofdstuk worden niet alleen de bevindingen beschreven, maar ook zijn in de hoofdstuk verbanden tussen de resultaten gelegd en gediscussieerd.
- De conclusie van de onderzoeksresultaten kan worden gevonden in hoofdstuk 4.4.
- De aanbevelingen rondom de 1D functionaliteiten en de verdere ontwikkelingen van D-Hydro Urban worden gegeven in het laatste hoofdstuk, Advies & aanbevelingen.

2. Theoretisch kader

2.1. Klimaatverandering

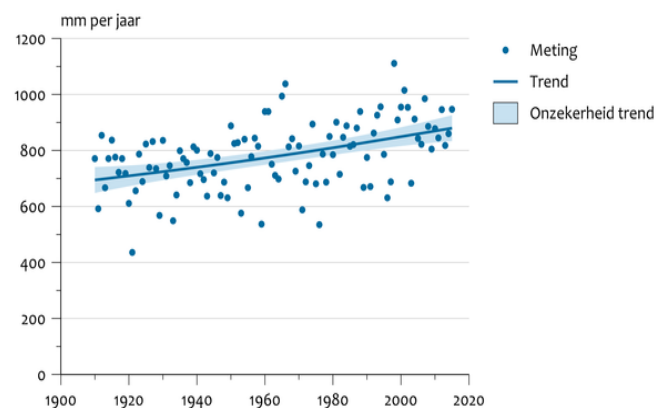
Verschillende factoren, zoals de afstand tussen aarde en zon, de activiteit van de zon, en de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer bepalen het klimaat op aarde. Broeikasgassen zijn moleculaire stoffen zoals koolstofdioxide (CO₂), waterdamp (H₂O), ozon (O₃), methaan (CH₄), distikstofoxide (N₂O) en gehalogeneerde koolwaterstoffen in de atmosfeer en zorgen voor het vasthouden van straling vanuit de zon en aarde (PBL, RIVM, & WUR, 2016). Dit natuurlijke broeikaseffect zorgt voor leefbaarheid op aarde. Antropogene activiteiten, zoals het wereldwijd gebruik van fossiele brandstoffen, zorgen voor een toename van deze broeikasgassen, zoals te zien is voor de concentratie CO₂ in Figuur 1. Studies vanuit het IPCC zijn zo goed als zeker dat deze toename van broeikasgassen een stijging in de wereldwijde temperatuur veroorzaakt en het klimaat doet veranderen (Field, et al., 2014).



Figuur 1 maandelijkse wereldwijde CO₂ niveau tussen 1980 en 2018 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018)

De KNMI klimaat scenario's laten zien dat door de gevolgen van klimaatverandering de neerslaggebeurtenissen in Nederland qua intensiteit gaan toenemen (Hurk, et al., 2014). Oorzaken zijn onder andere de waargenomen temperatuurverandering en de daaruit volgende sterke opwarming van de Noordzee die veranderingen brengt in overheersende windrichting en luchtvochtigheid in Nederland. Het warmteiland-effect boven stedelijk gebied zorgt ten slotte ook voor meer neerslag, doordat de warme lucht en hoge concentratie condensatiekernen de processen die neerslag doen ontstaan bevorderen (CBS, PBL, RIVM, & WUR, 2016). Onder andere het Planbureau voor de leefomgeving en de KNMI laten zien dat de hoeveelheid neerslag in Nederland met 27% is toegenomen in de laatste 106 jaar, zoals te zien is in Figuur 2. Ook het recente rapport van de STOWA uit 2018 laat zien dat de intensiteit van extreme buien sinds 2004 met acht tot twaalf procent zijn toegenomen en indiceert dat de intensiteit en mogelijk ook de clustering van extreme buien afhangt van de zogenoemde dauwpunt temperatuur, de temperatuur waarop er nog net geen condensatie in de atmosfeer optreedt. Hoe verder de temperatuur boven de 17.5 °C stijgt, des te meer waterdamp zich in de atmosfeer bevindt en er meer potentie ontstaat voor extreme neerslag (Beersma, Versteeg, & Hakvoort, 2018).

Hoeveelheid neerslag



Bron: PBL.

PBL/mrt16
www.dlo.nl/nlo50806

Figuur 2 de jaarlijkse neerslagsom in Nederland in de periode 1910-2015 (CBS, PBL, RIVM, & WUR, 2016)

De rioolstelsels in Nederland zijn ontworpen op een gemiddelde afvoercapaciteit van 20 mm per uur (Broks, Frankfort, Nieuwaal, & Wensem, 2017). Bij de voorspelde extreme buien kan wateroverlast ontstaan omdat het rioolstelsel het aanbod aan hemelwater niet aankan (Have & Wit, 2017). Uit onderzoek, uitgevoerd door de stichting RIONED, blijkt dat de meeste Nederlandse gemeenten last hadden van zware regenbuien die wateroverlast veroorzaakten (Stichting RIONED, 2015). Daarnaast is eveneens de publieke acceptatie van water-op-straat, dat tijdelijke hinder van wateroverlast inhoudt, afgenomen (Luijtelaar, 2008).

In Nederland legt de Waterwet gemeenten een zorgplicht op voor het afvloeien van overtollig hemelwater en het mogelijk gevolg hiervan, wateroverlast in stedelijk gebied (Mols & Schut, 2012) (Vaan, 2015). Hierdoor is er dus behoefte vanuit gemeenten om de effecten van (toekomstige) extreme neerslagsituaties te voorspellen en het resultaat van aanpassingen aan het stedelijk gebied te simuleren.

2.2. Wateroverlast modellen

De dienstlijn PluviAG heeft op verschillende niveaus modellen beschikbaar om deze behoefte van de gemeenten in te vullen. De verschillende modellen zijn in staat om een zo realistisch mogelijk beeld te geven van de effecten van extreme neerslag op stedelijk gebied en de effecten van aanpassingen aan riool of milieu na te bootsen.

2.2.1. Statisch modelleren

Eén van de lagere niveaus om wateroverlast te kunnen voorspellen is het gebruik van statische modellen. Dit maakt het mogelijk om door middel van bijvoorbeeld de AHN2 en basisregistraties zoals BGT, wateroverlast in kaart te brengen. Om deze analyse uit te voeren, gebruikt men verschillende tools die te vinden zijn in de GIS software, dit leidt tot extra inzichten in de mate van wateroverlast door extreme neerslaggebeurtenissen (Dijk, Straatman, Meulen, & Kluck, 2011).

2.2.2. 1D modelleren

Tot nu toe wordt het merendeel van de berekening binnen PluviAG uitgevoerd met het door Deltares ontwikkelde Sobek. Sobek wordt ingezet voor 1D vraagstukken en is ontwikkeld om het hydraulisch functioneren voor zowel oppervlaktewater als riolering dynamisch te modelleren. Sobek kan bijvoorbeeld worden ingezet bij het ontwikkelen van nieuwe waterwegen/rioolstelsels en het analyseren en aanpassen ervan. De 1D functionaliteit werkt met zogeheten connecties en knopen, waarbij connecties bijvoorbeeld de watergangen en leidingen zijn en de knopen de gemalen, putten en duikers voorstellen. Sobek bevat verschillende modules, zoals de Sobek RR module om regenval op verschillende types oppervlakte na te bootsen voor een realistischere representatie van regenval. Het grootste probleem van Sobek in het modelleren van het riool is vooral dat het water boven het riool uitstijgt niet goed gemodelleerd kan worden, omdat water dat zich boven de putdeksel bevindt op dat punt blijft hangen en zich niet verspreidt naar andere locaties.

Sobek wordt beschouwd als de standaard in watersysteem modellering binnen Nederland doordat het wordt toegepast door de waterschappen, Rijkswaterstaat, vele gemeenten, advies- en ingenieursbureaus, aannemers (MKB) en onderwijsinstellingen. Eén van de nadelen van het gebruik van Sobek is dat de software niet open source is, waardoor aan gebruik software licentie- en beheerkosten verbonden zijn (Henckens & Engel, 2017).

2.2.3. 2D modelleren

D-Hydro is de opvolger van diverse softwarepakketten, waaronder Sobek van Deltares en wordt ingezet voor dynamische maaiveldberekeningen, oftewel 2D vraagstukken (Henckens & Engel, 2017). Het doel van de D-Hydro software is het op een hoge resolutie simuleren van de waterbewegingen op het maaiveld in een stadskern of wijk als gevolg van hevige regenval. Via de D-Hydro software worden processen als infiltratie, afstroming naar het riool en evaporatie gesimuleerd. Bij 2D simulaties werkt men met raster data. Hierin is elke raster cel een bepaald stuk oppervlakte op de kaart van het interesse gebied, waar berekeningen op uitgevoerd worden.

Het softwarepakket is ontwikkeld voor vakspecialisten en niet-specialisten, zoals modellers, consultants, technici, aannemers, beleidsmakers en bestuurders die betrokken zijn bij ontwerp, uitvoering en beheer van riool en waterwegen. D-HYDRO is daarom de verbeterde, open source versie, van de modelsoftware die de meeste Nederlandse modellers altijd gebruikt hebben, en biedt nieuwe en snellere functionaliteiten, zoals op basis van de oude vertrouwde modellen (Henckens & Engel, 2017). D-Hydro maakt daarnaast gebruik van de Delta Shell Graphical User Interface (GUI) dat gericht is op gebruik door modellers, adviseurs en ingenieurs (Deltares, 2016).

2.2.4. 1D-2D modelleren

Voor een mogelijk realistischere representatie van de werkelijkheid is 1D-2D modellering. 1D-2D modellering koppelt het rioolmodel met het maaiveldmodel. Hierdoor is er interactie tussen beide modellen mogelijk. De 1D en 2D wateroverlastmodellen die op dit moment worden gebruikt, zijn beperkt omdat het 1D-2D aspect niet mogelijk is of de rekentijd voor het model op grote schaal uitermate hoog is en hierdoor bijna onmogelijk uit te voeren. Het 1D-2D model dat in dit onderzoek in ontwikkeling is, wordt D-Hydro Urban genoemd en is een toekomstige extensie van de in hoofdstuk 2.2.3 besproken D-Hydro software en maakt onder andere gebruik van de Flexible Mesh (FM) rekenkern, dat snel en accuraat 1D-2D modellen kan berekenen (Henckens & Engel, 2017). Het voordeel van FM is dus een korte rekentijd en het simuleren van relevante waterstromen in samenhang met een model dat het juiste detailniveau heeft voor elk component in de waterbalans. Met deze techniek kan de klimaatbestendigheid van grote gebieden dus snel en betrouwbaar worden getoetst. Zoals in de inleiding is vermeld, is D-Hydro Urban op dit moment in ontwikkeling en is dit onderzoek daar een onderdeel van (Meijer, 2017).

2.3. Casus Brielle

2.3.1. Recent onderzoek

Voor het beschermen van haar inwoners tegen de ongewenste gevolgen van regen- en afvalwater, draagt de gemeente Brielle de zorg om dit water op een juiste manier in te verzamelen en te verwerken. Dit houdt onder andere in dat de gemeente er naar streeft om wateroverlast, mogelijk veroorzaakt door klimaatverandering, te preveniëren. Om dit streven te verwezenlijken heeft de gemeente zich begin 2017 uitgesproken inzicht te willen verkrijgen in de gevoeligheid van haar stedelijk gebied, als mede de gevoeligheid van haar 81 kilometer aan gemengd en gescheiden riool, voor wateroverlast.

Om de gemeente een helder beeld te geven, waar binnen het gemeentelijk gebied al mogelijke knelpunten liggen, heeft Antea Group een gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, door middel van een statistische analyse, waarbij met hoogtegegevens werd vastgesteld waar overtollig hemelwater zich mogelijk verzameld, alsmede door het 1D en 2D berekenen van dit project gebied (Steentjes & Scherpenisse, 2018). Antea Group keek in dit onderzoek eveneens naar de effecten van wijzigingen aan de riool vanuit het in 2010 opgestelde Basisrioleringsplan (BRP). In dit uitgevoerde onderzoek is vooral gekeken naar het projectgebied dat in Figuur 3 te zien is, de zogeheten Vesting van Brielle.

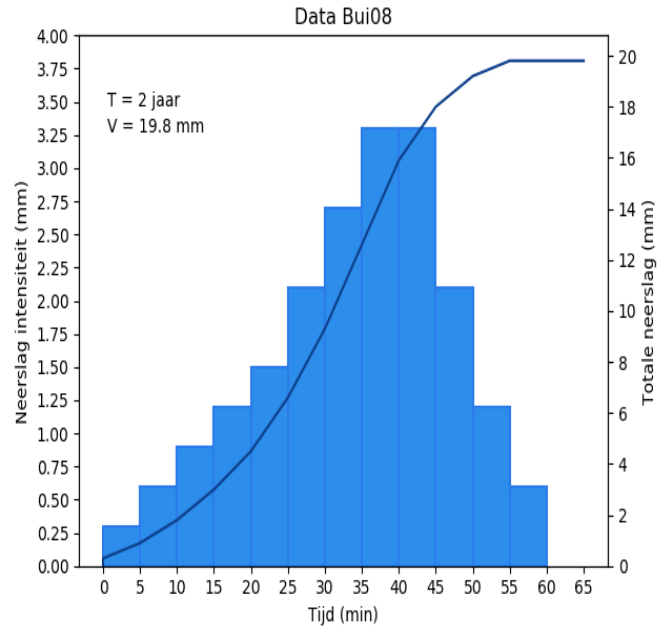


Figuur 3 de Vesting van Brielle

2.3.2. Neerslaggebeurtenissen

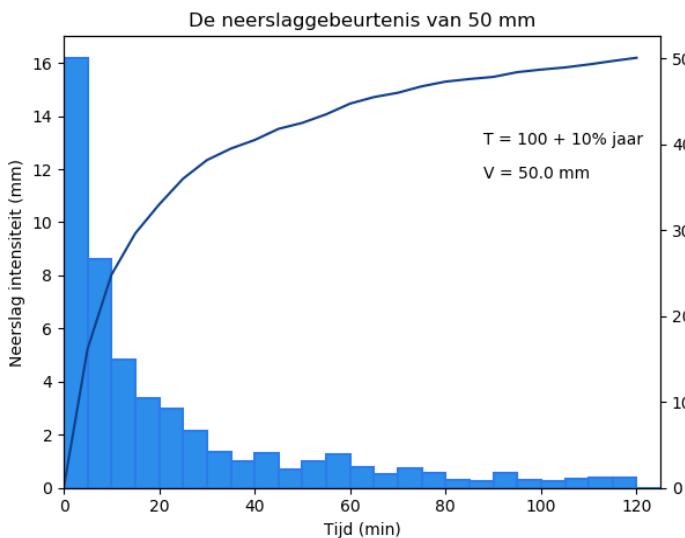
Om een goed beeld te krijgen van het hydraulisch functioneren van het rioolstelsel zijn er tijdens de 1D en 2D berekeningen met meerdere typen neerslaggebeurtenissen gerekend. Een landelijk veel toegepaste standaard bui vanuit de Leidraad Riolering waarbij net geen 20 mm in een uur valt, een intensievere bui van 50 mm in twee uur en een langere bui waarbij 80 mm in 48 uur valt (Clemens, van Luijtelaa, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004).

De neerslaggebeurtenis van iets minder dan 20 mm in een uur wordt onder andere Bui08 genoemd en is door het ministerie van VROM en de stichting RIONED in een leidraad opgezet met als doel het uniformeren van hydraulische berekeningen aan rioolstelsels (Clemens, van Luijtelaa, Voorhoeve, Zuidervliet, & Beenen, 2004). Deze leidraad beschrijft de eisen, uitgangspunten en randvoorwaarden die gesteld worden aan hydraulische berekeningen van de riolering en bevat tien verschillende neerslaggebeurtenissen die voor het grootste deel gebaseerd zijn op de analyses van vijftien minuten neerslagreeksen die zijn waargenomen in De Bilt tussen 1955 en 1979. Bui08 kan worden beschreven als een bui die eens in de twee jaar voor kan komen, wat men een herhalings-tijd van twee jaar noemt. Figuur 4 laat de hoeveelheid neerslag zien per 5 minuten over de totale duur van een uur en hieruit kan worden opgemaakt dat de piek van deze bui zich achter in de neerslaggebeurtenis bevindt.

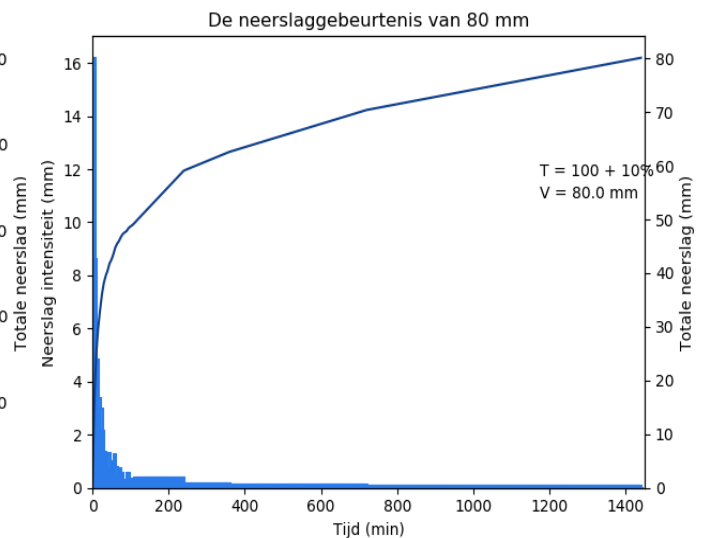


Figuur 4 neerslag hoeveelheden per tijdvak van 5 minuten over een uur voor Bui08

De algemene regel in een KNMI onderzoek uit 2014 is dat een toename van vijftien procent in neerslagintensiteit een halvering van de herhalings-tijd betekent (Hurk, et al., 2014). Zo is een bui die in de huidige situatie eens per 100 jaar optreedt, na het doorzetten van de klimaatverandering, een bui die eens per 50 jaar voorkomt (Luijtelaa, 2014). Hierom is de 50 mm bui een neerslaggebeurtenis die onder andere $T = 100$ wordt genoemd, omdat deze bui eens in de 100 jaar voorkomt. Door de bui een 10% hogere intensiteit te geven is er rekening gehouden met het verkorten van halverings-tijd door klimaatverandering. Het opvallende aan de 50 mm bui, zoals is te zien in Figuur 6, is dat de intensiviteit het hevigst is in het begin van de bui. De 80 mm bui is in principe hetzelfde als de 50 mm bui, met in het begin een hoge piek, het verschil met de 50 mm bui is dat de neerslaggebeurtenis van 80 mm 22 uur langer doorgaat met een lage intensiteit zoals te zien is in Figuur 5.



Figuur 6 neerslag hoeveelheden voor de bui van 50 mm

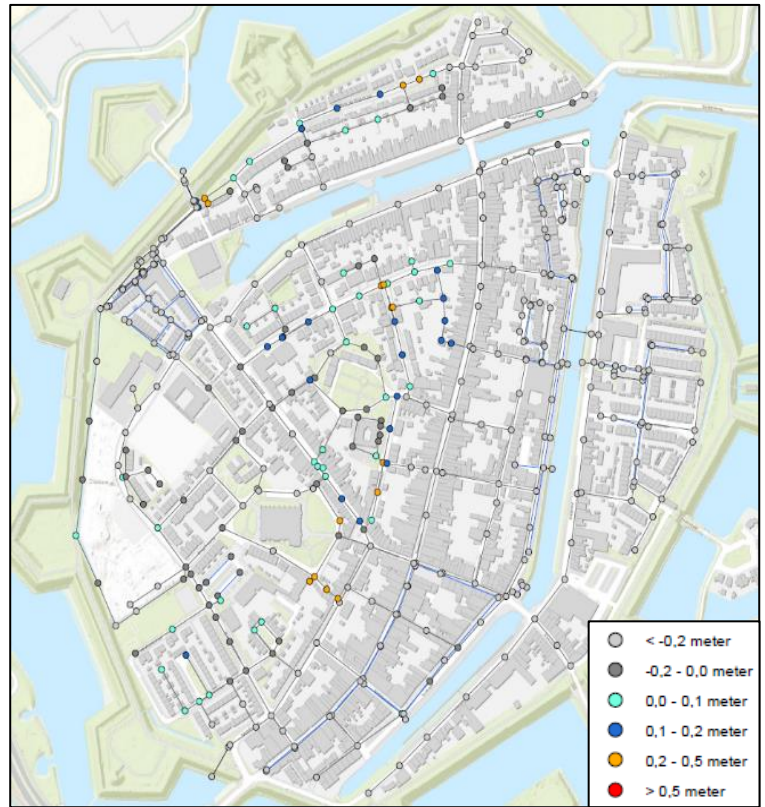


Figuur 5 neerslag hoeveelheden voor de bui van 80 mm

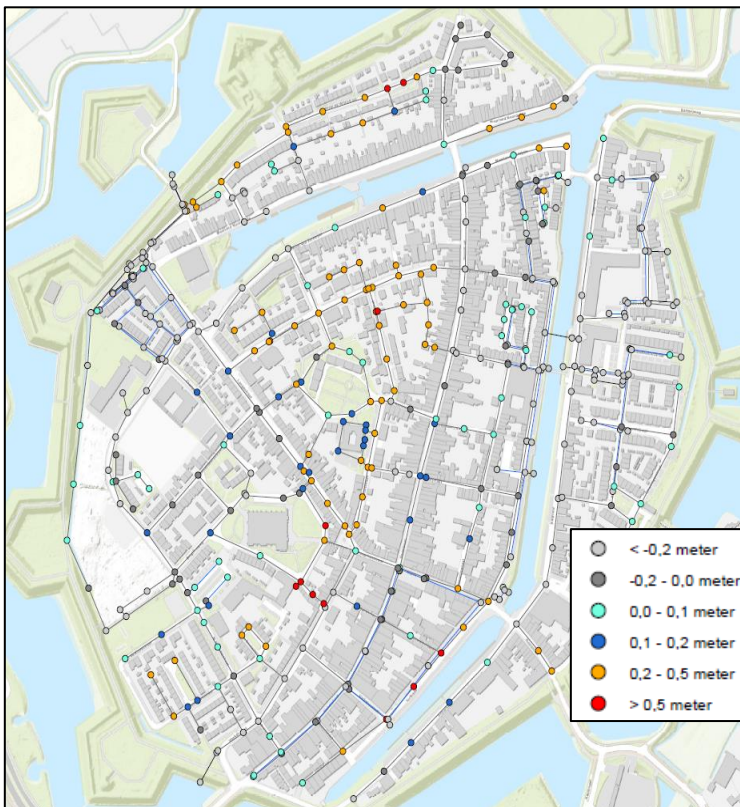
2.3.3. Huidige situatie

Tijdens de als eerste uitgevoerde statische analyses is onder meer bevonden dat binnen de Vesting er zich drie mogelijke locaties bevinden die gevoelig zijn voor water-op-straat situaties. Eén hiervan ligt binnen het noordelijke gedeelte van de Vesting, rondom de Witte de Withstraat. De andere twee locaties liggen in de kern van de Vesting, namelijk bij de Wellerondom en de Coppelstockstraat /Geuzenstraat. Dit kwam ook overheen met wat de gemeente in de praktijk ervaart.

De 1D analyse met Bui08 op de Vesting van Brielle laat een situatie zien die aardig op die van de statische analyses lijkt, waarbij vooral rondom de stads kern de riolering onvoldoende in staat is om het hemelwater op tijd af te voeren en water-op-straat te voorkomen. Het gaat hier vooral om de Wellerondom, Kaatsbaan en Vrouwenhoflaan zoals te zien is in Figuur 7, de verklaring hiervoor is waarschijnlijk omdat deze locaties een van de laagste punten zijn in hun omgeving.



Figuur 7 de resultaten van de huidige situatie berekend met Bui08 in het door Antea Group vorige uitgevoerde onderzoek



Figuur 8 de resultaten van de huidige situatie berekend met de 50 mm bui in het door Antea Group vorige uitgevoerde onderzoek

In berekeningen die zijn doorgerekend met de in twee uur durende 50 mm bui zijn meerdere locaties te vinden waarbij water-op-straat lag, zoals te zien is in Figuur 8. Dezelfde locaties als bij Bui08 komen onder water te staan, alsmede de omliggende straten, zoals de steeg het heultje, die het regenwater niet op tijd af weten te voeren. Dit komt door depressies in het maaiveld die bijvoorbeeld de Vrouwenhoflaan een verschil betreft van één tot twee meter over een afstand van 100 meter.

Bij de berekeningen met de 80 mm bui vindt dezelfde piekafvoer aan het begin plaats, omdat deze twee buien de eerste twee uur identiek aan elkaar zijn. De resultaten die daarom in Figuur 8 te zien zijn, gelden daarom tevens voor de 80 mm bui.

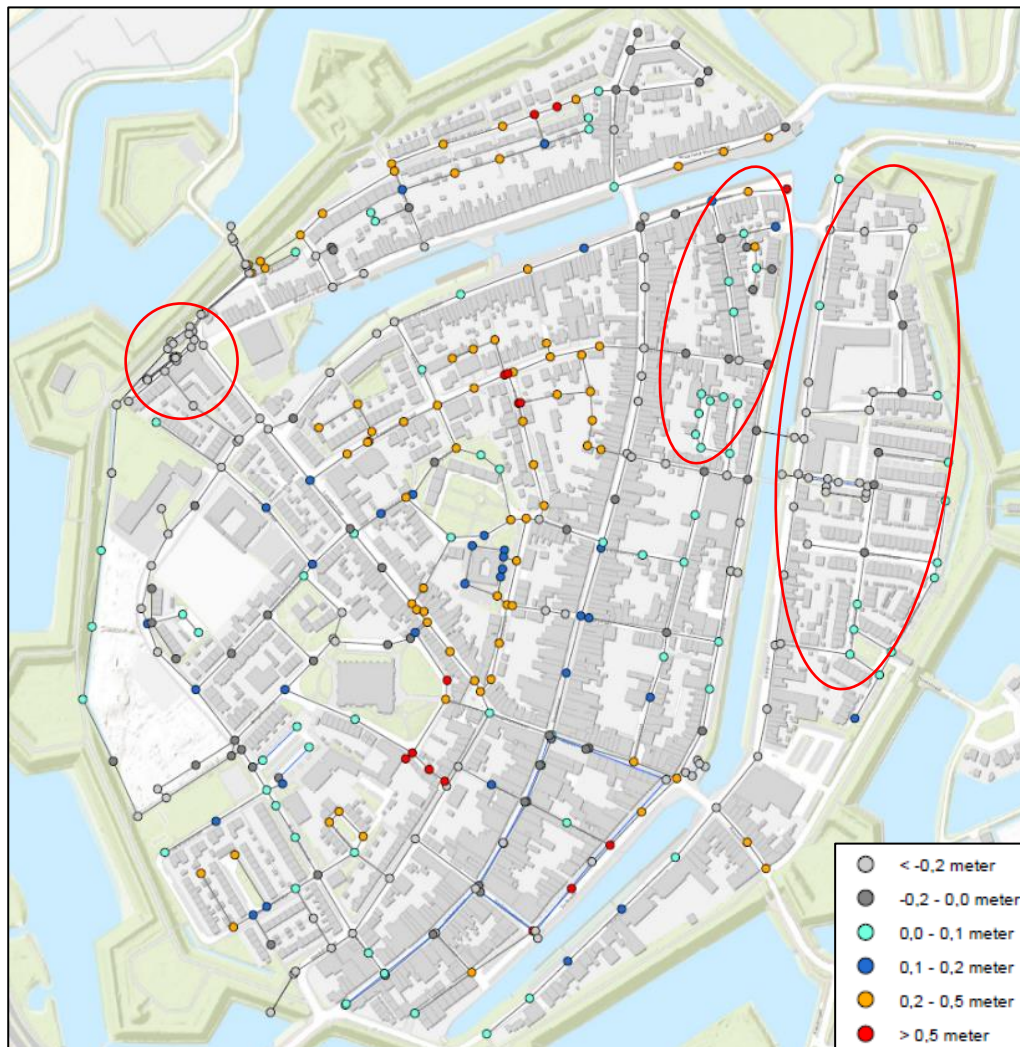
Bij het 2D doorrekenen van de Vesting is gebruik gemaakt van de 50 mm bui, omdat de assumptie was gemaakt dat het riool Bui08 wel kan verwerken. Tijdens deze dynamische maaiveldanalyse werd desgelijks water-op-straat berekend, onder meer in het Wellerondom en de straten Sint Cathatijnehof, Kaatsbaan, Coppelstockstraat, Vrouwenhoflaan, Kaaistraat en Witte de Withstraat. In het onderzoek zijn een aantal oplossingen voorgesteld die wateroverlast binnen de Vesting verminderen, deze zijn te vinden in Appendix I.

2.3.4. Hydraulisch functioneren van de Vesting tot 2010

Zoals al eerder is vermeld in hoofdstuk 2.3.1, is in het vorige onderzoek mede gekeken naar de effecten van de sinds 2010 uitgevoerde wijzigingen aan de riolering van de gemeente Brielle. Deze wijzigingen bestonden vooral uit het aansluiten van het verharde oppervlak van meerdere locaties op het hemelwater riool. In dit gedeelte van het onderzoek waren weer dezelfde typen buien doorgerekend als in het doorrekenen van de huidige situatie, dit is gedaan om beide situaties te vergelijken.

Bij de berekening rondom Bui08 kon worden afgeleid dat de afkoppeling van het gemengd riool geen invloed hebben op de water-op-sstraat situaties in het oostelijk en westelijk deel van de Vesting. Dit werd verklaard door dat na de maatregelen het water nog steeds naar de lager liggende gebieden stroomt.

Eveneens in de situatie tot aan 2010 gaven de bui van 50 mm en 80 mm dezelfde resultaten weer. Zoals in Figuur 9 is te zien dat de kern van de Vesting gevoelig is voor een water-op-sstraat situatie. Bij de door rode cirkels omringde gebieden zijn de laatste jaren afkoppelmaatregelen genomen, waardoor er in vergelijking met de situatie na 2010, een verschil is te zien tussen het aantal putten waar water-op-sstraat staat. Welke straten dit precies zijn wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 3.3.



Figuur 9 de resultaten van de situatie voor 2010 berekend met de 50 mm bui in het door Antea Group vorige uitgevoerde onderzoek

3. Onderzoeksmethode

Algemene methodiek

In dit hoofdstuk zijn de methodes en middelen beschreven die gebruikt zijn om tot de resultaten te komen die de volgende deelvragen van dit onderzoek beantwoorden; het toetsen van de opgebouwde conversie software, het valideren van rioolobjecten en teststelsels en het toetsen van de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban op de casus Brielle. Alle processen die in dit onderzoek waren uitgevoerd zijn gevisualiseerd in een stroomdiagram in Appendix II.

Om de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban te testen moesten de verschillende objecten en teststelsels gevalideerd worden met de modellen die zijn opgebouwd in het Sobek softwarepakket. Voordat de 1D validatie kon worden uitgevoerd met D-Hydro Urban moesten eerst de verkregen software modellen vanuit Sobek worden geconverteerd naar een formaat dat in de D-Hydro Urban software gebruikt kon worden. Het was daarom noodzakelijk dat de via Deltares verkregen conversiesoftware honderd procent van het Sobek model wist om te zetten naar D-Hydro Urban.

Het omzetten van het formaat waarin de modellen vanuit Sobek waren geëxporteerd, het Standaard Uitwisselings Formaat HYDraulische rioleringsberekeningen (SUF-HYD), werd gedaan aan de hand van twee, via Deltares verkregen, Python scripts. Het eerste script zorgde er voor dat het model vanuit Suf-HYD formaat, werd geconverteerde naar meerdere CSV bestanden die ook wel het GWSW formaat worden genoemd. In de omzetting hiervan werd gecontroleerd of alle data die het SUF-HYD bestand bevatten, wel in deze CSV bestanden terecht kwam en of de data op de juiste plek terecht kwam. Om de modellen te gebruiken in D-Hydro Urban werd een tweede script gebruikt, die de GWSW bestanden inlas en vervolgens overzette naar een formaat dat door D-Hydro Urban ingelezen werd. Dit script werd ook gecontroleerd op fouten in het overzetten van het model.

Wanneer de modellen succesvol werden overgezet, was begonnen met het testen van de 1D functionaliteiten, dit werd in drie fases gedaan, waarin steeds grotere modellen werden getest. De eerste twee fases bestonden uit validatie, waarbij eerst belangrijke objecten werden gevalideerd die in het rioolstelsel voorkomen en vervolgens werden twee teststelsels getest om de interactie tussen deze objecten te valideren. In laatste fase van dit onderzoek werd de casus Brielle behandeld. Zoals in hoofdstuk 2.3 is beschreven, zijn er in een vorig door Antea Group uitgevoerd onderzoek, modellen opgebouwd die onder verschillende omstandigheden de neerslaggevoeligheid van de Vesting van Brielle testen. Om te testen of de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban naar behoren werken, werden dezelfde modellen daarnaast in D-Hydro Urban gesimuleerd. In de eindfase van dit onderzoek kon dus worden geconcludeerd of de 1D functionaliteiten naar behoren werkten om in grotere modellen gebruikt te worden en daarom gereed is om gekoppeld te worden met de 2D functionaliteiten.

Tijdens dit onderzoek werd constant op een recursieve manier samengewerkt met Deltares. Waarbij met de vergaarden resultaten feedback werd gegeven aan Deltares die daarop de benodigde aanpassingen deden aan de D-Hydro Urban of conversie software. De uitkomsten van dit proces zijn de eindresultaten die in dit onderzoek zijn gepubliceerd. Het analyseren en visualiseren van uitkomst in dit onderzoek werd gedaan met behulp Excel, de Pandas, Numpy, Matplotlib en Seaborn modules in Python en QGIS.

Validatie methodiek

De twee validatie fases, de objecten en teststelsels waren in Sobek opgebouwd of geïmporteerd met behulp van de 1DFLOW (URBAN) en RR (Rainfall-Runoff) module, de 1DFLOW module wordt gebruikt om de rioleringsmodellen te genereren en de RR module om in de modellen rekening te houden met de regenval

op de gebieden rondom de putten, wanneer er geen gebruik werd gemaakt van inspectie putten met een vast debiet.

Wanneer de modellen waren opgebouwd zijn per model verschillende metingen in Sobek verricht van bijvoorbeeld waterniveau of het verhang over een object in het stelsel. De data dat vanuit de metingen werd opgeslagen om later te gebruiken in de validatie tussen de softwarepakketten.

De volgende stap is om de in Sobek opgebouwde modellen om te zetten naar het formaat wat gebruikt kan worden in D-Hydro Urban, door middel van de conversiescripts. Nadat de modellen geschikt waren voor D-Hydro Urban waren hier alsmede de resultaten van verzameld. Door beide resultaten te hebben verzameld in CSV bestanden, met behulp van de Panoply software, kon de absolute fout tussen de rekenmodellen worden berekend. Aan de hand van deze absolute fout werd bepaald in welke omstandigheden en op welke momenten de D-Hydro Urban software nog niet naar wens functioneerde. Zoals al eerder is genoemd contact kon worden gezocht met Deltares om deze fouten vervolgens uit de software te krijgen.

De resultaten uit D-Hydro Urban kwamen niet altijd met Sobek overeen, zelfs na meerdere aanpassingen aan de software. Aan de hand van expert judgement vanuit Deltares werd bepaald dat Sobek niet altijd de juiste resultaten weergeeft door het gedateerde rekenmodel. Hierom werd voor elk model ook een analytische oplossing berekend. De analytische oplossing is een met de hand berekend oplossing en is gebaseerd op de literatuur dat gevonden was over het object. Aan de hand hiervan werd geconcludeerd of de fout in het rekenmodel van D-Hydro Urban zat of in Sobek. Een analytische oplossing was er niet voor het didactische stelsel en de casus Brielle, omdat deze stelsels te complex zijn om met de hand door te rekenen. Wel kan het didactisch stelsel gevalideerd worden aan de hand van de gevonden documentatie rondom het didactisch stelsel (RIONED, VROM, & RIZA, 1995).

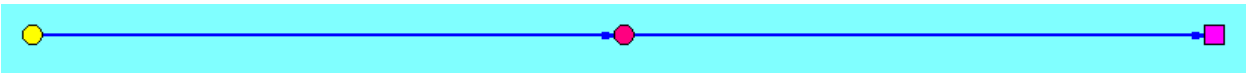
Alleen wanneer de afwijking tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing klein genoeg was, kon begonnen worden met de volgende fase in het onderzoek. De mate waarin de objecten of stelsels in D-Hydro Urban mochten afwijken tot Sobek of de analytische oplossing werd bepaald door middel van de expert judgement van Deltares. In situaties waarbij de afwijking tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing groot bleef na aanpassingen aan de software, werd bijvoorbeeld een model gemaakt, waarin verschillende waardes van de parameter die fouten veroorzaakten konden worden getest. In deze tests werd gekeken naar wat de uiterste waardes waren, waarop de parameters een zo'n klein mogelijke foutmarge veroorzaakten. Deze data kon worden meegenomen in de latere fases van het onderzoek.

3.1. Valideren objecten

Voor een naar behoren werkende 1D functie van D-Hydro Urban moeten de verschillende objecten die zich in een rioolstelsel bevinden worden gevalideerd. Om een functionerend rioolstelsel te modelleren zijn de putten en leidingen essentieel en werden daarom als eerst gevalideerd. Hierop volgende de overstorten, doorlaten en gemalen omdat zij veelvuldig langskomen in de volgende fases, de teststelsels en casus Brielle. Al deze objecten zijn met verschillende parameters getest die ook in de realiteit voorkomen.

3.1.1. Leidingen

De leidingen zijn een belangrijk element in het rioolstelsel en een cruciaal onderdeel in het verdere onderzoek en was daarom de eerste stap in de validatie van de objecten. Het model dat in Sobek was opgezet bestaat uit een inspectieput met injectie, wat een put inhoudt waaraan een constant of variabel debiet werd verbonden. Aan deze put zat een leiding met verhard oppervlak die vervolgens verbonden was met een standaard inspectieput. Deze inspectieput was vervolgens verbonden met een uitlaat, waar het water het systeem weer uit kon stromen, zoals te zien is in Figuur 10.



Figuur 10 voorbeeld van één van de zeven leidingen die zijn opgebouwd in Sobek, waarbij links de inspectieput met injectie is te zien en rechts de uitlaat.

Voor dit model waren zeven leidingen gebruikt met verschillende parameters. De gebruikte parameters in dit validatie proces waren het verschil in inkomend debiet, de diameter van de leidingen en het waterpeil bij uitlaat van het systeem. De exacte parameters die waren gebruikt om de leidingen te valideren zijn te vinden in Appendix III. In Appendix III is daarnaast een foto toegevoegd van hoe een rioolleiding er in de werkelijkheid uitziet.

Nadat het model opgebouwd was, was dit model voor een uur met tijdstappen van een minuut gesimuleerd in Sobek en waren de resultaten hiervan gecontroleerd op mogelijke afwijkingen die niet overeenkomen met de opgebouwde hypothese voor elke leiding, bijvoorbeeld wanneer een groter debiet op een leiding staat dan gewoonlijk, dan zou het waterpeil eveneens moeten toenemen. Vervolgens is het model na conversie geëxporteerd naar D-Hydro Urban waar het model onder dezelfde omstandigheden gesimuleerd was.

Zoals in het begin van dit hoofdstuk al beschreven was, was voor alle objecten de analytische oplossing berekend. Om de waterniveaus analytisch te berekenen moest eerst het wrijvingsverlies tussen de putten worden berekend door middel van Vergelijking 1:

Vergelijking 1 de vergelijking van Darcy-Weisbach om het wrijvingsverlies te berekenen (Vereniging VPB, 2008).

$$H_w = \left(\frac{L}{C^2}\right) \left(\frac{Q^2}{A^2 r}\right)$$

Hierin is:

H_w	Wrijvingsverlies (m)
L	Leidinglengte (m)
C	Weerstandscoefficiënt van de leiding (-)
Q	Debiet door de leiding (m^3/s)
A	Oppervlakte van de leiding (m^2)
r	Hydraulische straal (ronde gevulde leidingen) (m)

Omdat de weerstandscoefficiënt afhankelijk is van de wandruwheid, is Vergelijking 2 gebruikt om de weerstandscoefficiënt te berekenen:

Vergelijking 2 de vergelijking voor het berekenen van de weerstandscoefficiënt (Vereniging VPB, 2008).

$$C = 18 \log(12r/k)$$

Hierin is:

C	Coëfficiënt van Chézy ($m^{0.5}/s$)
r	Hydraulische straal (ronde gevulde leidingen) (m)
k	K-waarde, wandruwheid (mm)

Alle leidingen in dit experiment bestaan uit ronde leidingen van beton en daarom waren in deze berekeningen k-waardes van 0.003 gebruikt. Nadat het wrijvingsverlies was berekend zijn de water hoogtes berekend bij de putten. Om de water hoogte in de middelste put te berekenen was het waterniveau bij de uitlaat opgeteld met het wrijvingsverlies en de waterhoogte bij de put met injectie werd berekend, door het waterniveau bij de middelste put op tellen met het wrijvingsverlies.

Nadat voor alle putten de waterhoogtes waren berekend, werden de absolute fouten berekend tussen de analytische waterhoogtes en de waterhoogtes die verkregen waren vanuit Sobek en D-Hydro Urban. Omdat de analytische oplossing wordt gezien als norm over hoe een leiding zich in de realiteit gedraagt, zijn aan de hand van de absolute fouten tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing de leidingen gevalideerd. De D-Hydro Urban resultaten waren hiernaast nog met Sobek vergeleken om te zien of D-Hydro Urban beter presteert als Sobek.

3.1.2. Overstorten

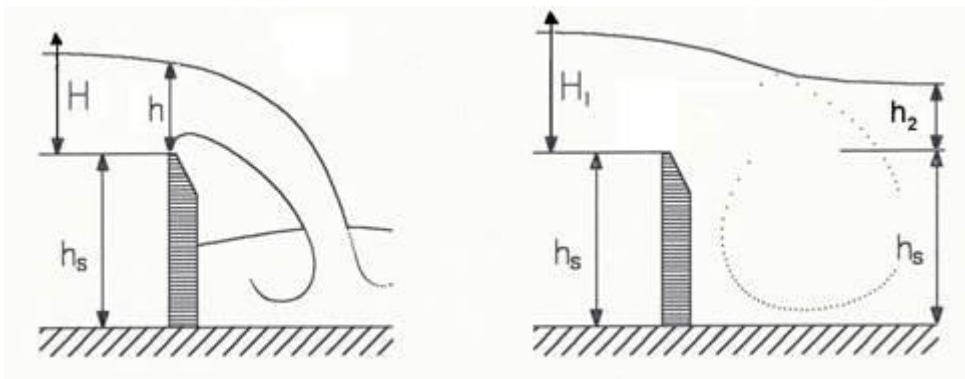
De overstort is een belangrijk onderdeel van het riool en komt in de vele grotere stelsels voor en het was dus belangrijk dat dit object eveneens naar behoren functioneert in D-Hydro Urban. Dit model bestond uit 11 verschillende experimenten, waarbij aan de inspectieputten met debiet, leidingen verbonden waren, die vervolgens met een externe overstort verbonden waren, zoals te zien is in Figuur 11. Elk overstortmodel had verschillende parameters, zoals het debiet bij de inspectieput, drempelhoogte, breedte en coëfficiënt van de overstort en als laatste het waterpeil aan de andere kant van de overstort. Voor de exacte parameters die zijn gebruikt om de overstorten te valideren en een foto van hoe een overstort eruit ziet in de werkelijkheid, zie Appendix IV.



Figuur 11 voorbeeld van één van de elf overstorten die zijn opgebouwd in Sobek, waarbij links de inspectieput met injectie is te zien en rechts interne overstort.

Voor het valideren van dit object werd in beide softwaremodellen het verhang verzameld. Het verhang is in het verlies aan hoogte over de gehele lengte van de overstort. Het verhang was daarnaast nog berekend via de analytische oplossing.

Om het verhang over de overstort analytisch te berekenen moet eerst gekeken worden of de parameters een situatie veroorzaken waarin de overstort volkomen of een onvolkomen was (Vereniging VPB, 2008). Bij een volkomen overstort ligt het waterniveau achter de overstort onder de drempelhoogte van de overstort en bij een onvolkomen overstort ligt deze boven de drempelhoogte van de overstort en heeft dit invloed op de stroming boven de overstort, zoals te zien is in Figuur 12.



Figuur 12 de twee verschillende situaties waarin een overstort zich kan bevinden, met links een volkomen overstort en rechts een onvolkomen overstort.

Voor het analytisch berekenen van een onvolkomen overstort werd Vergelijking 3 gebruikt:

Vergelijking 3 de vergelijking voor het berekenen van verhang over een onvolkomen overstort (Vereniging VPB, 2008).

$$H = \left(\frac{Q}{(m * B * 1.7)} \right)^{\frac{2}{3}} + h$$

Hierin is:

H	Verhang over de overstort (m)
Q	Debiet over de overstort (m ³ /s)
m	Afvoercoëfficiënt (-)
B	Breedte van de overstort (m)
h	Hoogte van de overstort (m)

Om de analytisch de oplossing te vinden voor het berekenen het verhang over een volkomen overstort werd Vergelijking 4 gebruikt:

Vergelijking 4 de vergelijking voor het berekenen van verhang over een volkomen overstort (Vereniging VPB, 2008).

$$H_I = \left(\frac{Q}{m * B * h_2 * \sqrt{2 * g}} \right)^2 + h_2$$

Hierin is:

H _I	Verhang over de overstort (m)
h ₂	Waterniveau ten opzichte van drempelniveau aan de benedenstroomse zijde (m)
Q	Debiet over de overstort (m ³ /s)
m	Afvoercoëfficiënt (-)
B	Breedte van de overstort (m)
h	Hoogte van de overstort (m)
g	Versnelling van de zwaartekracht (m/s ²) (≈9,81)

Na het verzamelen van de resultaten vanuit Sobek en de analytische oplossing konden de resultaten uit D-Hydro Urban worden gevalideerd.

3.1.3. Doorlaten

Als onderdeel van het didactisch stelsel was het noodzaak om eveneens de doorlaten te valideren. Hetzelfde soort model werd zowel voor de doorlaten gebruikt als voor de overstorten, met een inspectieput met debiet en een leiding die deze keer verbonden werd met een externe doorlaat in plaats van een overstort, zoals te zien is in Figuur 13. Net als bij de vorige objecten zijn er verschillende parameters gevalideerd, de parameters die in het doorlaatmodel zijn gevalideerd zijn het debiet op de inspectieput, de breedte van de doorlaat en het afvoercoëfficiënt. Voor de exacte parameters die zijn gebruikt om de doorlaten te valideren zie Appendix V. Daarnaast is hierin een foto te zien van hoe een doorlaat er in de werkelijkheid uitziet. Voor het valideren van de doorlaten werd wederom het verhang gemeten.



Figuur 13 voorbeeld van één van de zeven doorlaatmodellen die zijn opgebouwd in Sobek, waarbij links de inspectieput met injectie is te zien en rechts de interne doorlaat.

Wanneer het verhang in beide softwarepakketten constant was geworden, werd het vergeleken met de analytische oplossing. Voor het berekenen van het verhang over de opening was aan de hand van de analytische oplossing Vergelijking 5 gebruikt:

Vergelijking 5 Berekening van het debiet in de doorlaat (Vereniging VPB, 2008).

$$H = \left(\frac{Q}{\mu W \sqrt{2g}} \right)^2$$

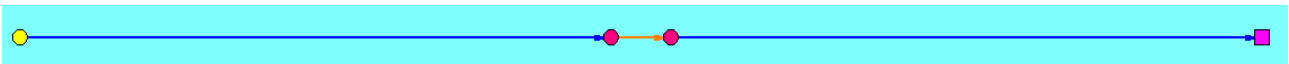
Hierin is:

H	Verhang over de opening (m)
W	Breedte van de doorlaat (m)
μ	Afvoercoëfficiënt (-)
g	Versnelling van de zwaartekracht (m/s ²) ($\approx 9,81$)
Q	Debiet in de doorlaat (m ³ /s)

Na het verzamelen van de resultaten vanuit Sobek en de analytische oplossing konden de resultaten uit D-Hydro Urban worden gevalideerd. Omdat uit de resultaten van dit experiment bleek dat een aantal parameters hoge absolute fouten vertoonden, werd aan de hand van een limietmodel gekeken bij welke waardes deze fouten op traden, zodat de modellen in de latere fases van dit onderzoek worden gecontroleerd of zij buiten de parameterwaardes vallen die fouten veroorzaken. Het limietmodel dat aan de hand hiervan opgebouwd was en de parameters die bij dit model horen zijn te zien in Appendix VI.

3.1.4. Gemalen

Als belangrijk object voor het rondpompen van water in het stelsel waren de gemalen als eerst opgebouwd in Sobek. Aan tien leidingen werd in het midden een gemaal geplaatst waar verschillende parameters aan verbonden waren. Net als bij het leidingenmodel zat voorin het stelsel een inspectieput met injectie en aan de achterkant van de leiding een uitlaat, zoals te zien is in Figuur 14. De verschillende parameters die zijn gebruikt in dit model waren het debiet op de inspectieput, het pompcapaciteit van het gemaal, de putgrootte, de aan- en uitslag peilen van het gemaal, de kant van de controle sensor van het gemaal en het waterniveau bij de uitlaat. Voor de exacte parameters die zijn gebruikt om de gemalen te valideren zie Appendix VII. Hierin is een foto te zien van hoe een gemaal er in de werkelijkheid uit ziet.



Figuur 14 voorbeeld van één van de tien gemaalmodellen die zijn opgebouwd in Sobek, waarbij naast een inspectieput met injectie en een uitlaat, in het midden van het model twee inspectie putten liggen met hiertussen het gemaal.

Voor de validatie tussen de rekenmethodes waren de waterniveaus gemeten in Sobek en D-Hydro Urban. Uit het waterniveau werd geanalyseerd wanneer het gemaal aan- en uitsloeg. Om te analyseren of de gemalen correcte aan- en uitslagpeilen hadden, werd een analytische oplossing gebruikt. Om analytisch te berekenen hoeveel minuten het gemaal erover doet om aan te slaan vanaf uitslagpeil was Vergelijking 6 gebruikt:

Vergelijking 6 tijd in minuten tot aanslaan van het gemaal

$$t = \frac{(ON - OFF)}{Q_{in} * 60}$$

Hierin is:

t	Tijd (min)
ON	Aanslagpeil (m)
OFF	Uitslagpeil (m)
Q_{in}	Inkomend debiet (m ³ /s)

Om de analytisch de oplossing te vinden voor het berekenen van het aantal minuten dat het gemaal erover doet om uit te slaan vanaf het aanslagpeil was Vergelijking 7 gebruikt:

Vergelijking 7 tijd in minuten tot uitslaan van het gemaal

$$t = \frac{(ON - OFF)}{(Q_{in} - Q_{gem}) * 60}$$

Hierin is:

t	Tijd (min)
ON	Aanslagpeil (m)
OFF	Uitslagpeil (m)
Q_{in}	Inkomend debiet (m^3/s)
Q_{gem}	Pompcapaciteit van het gemaal (m^3/s)

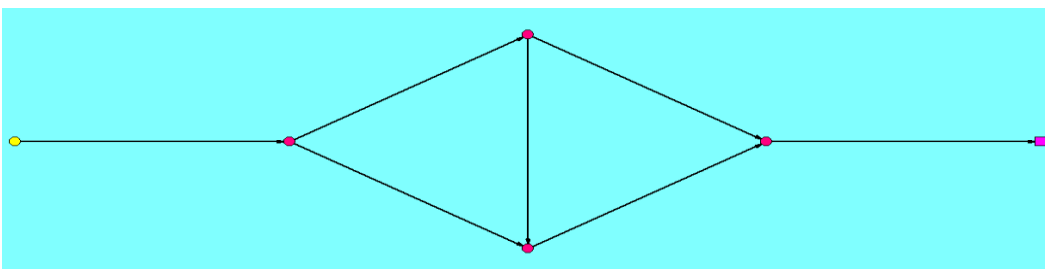
Na de analytische oplossing te hebben berekend, waren de aan- en uitslagtijden vergeleken met de verkregen resultaten uit Sobek en D-Hydro Urban. Voor gemalen die bijvoorbeeld geen uitslagpeil hadden omdat het inkomend debiet hoger was dan de pompcapaciteit van het gemaal, werd deze hypothese alleen getoetst door te kijken welk van de twee methodes het snelst het aanslagpeil bereikt.

3.2. Valideren kleine stelsels

Wanneer de objecten met succes waren gevalideerd, werd er met complexere modellen gewerkt, die wel nog een kleinere schaal hadden dan de casus Brielle, zodat een juiste interactie tussen verschillende objecten gevalideerd kon worden. Het diamant stelsel is hierom bedoeld om de interactie tussen leidingen te berekenen en te valideren. Het didactisch stelsel is een klein rioolstelsel met een grote diversiteit aan objecten om zo veel mogelijk in de praktijk voorkomende situaties na te simuleren. Dit stelsel is dus belangrijk als laatste validatie voordat de 1D functionaliteit wordt toegepast op de casus.

3.2.1. Diamant stelsel

Het diamant stelsel bestaat uit een horizontaal ruitvormig stelsel, zoals te zien is in Figuur 15. Het doel van dit stelsel is om te valideren of de interactie tussen de leidingen naar behoren werkt, onder verschillende omstandigheden zoals een verschil in diameter of ruwheid in één van de leidingen. De opbouw van het stelsel in Sobek begon, zoals te zien is in Figuur 15, met een inspectieput met injectie en een standaardleiding van 50 meter die zich vervolgens bij een standaard inspectieput afsplitst in twee standaard leidingen met een lengte van 50 meter die weer met standaard inspectieputten verbonden waren. Hierna verbonden deze twee armen zich weer bij een standaard inspectieput. Tussen deze putten lag nog wel een leiding die essentieel was in dit model, omdat hier geen water doorheen hoort te stromen in een situatie waarbij beide armen gelijk zijn in diameter en weerstand. De laatst genoemde inspectieput wordt vervolgens weer verbonden via een standaard leiding met uitlaat. Met dit model zijn 10 verschillende testen uitgevoerd met verschillende parameters. De parameters die gebruikt waren tijdens deze testen waren het debiet op de putten met injectie, diameter van verschillende leidingen, type leiding en een verschil in weerstanden in de leidingen. Voor de exacte parameters die waren gebruikt om het diamant stelsel te valideren zie 0.



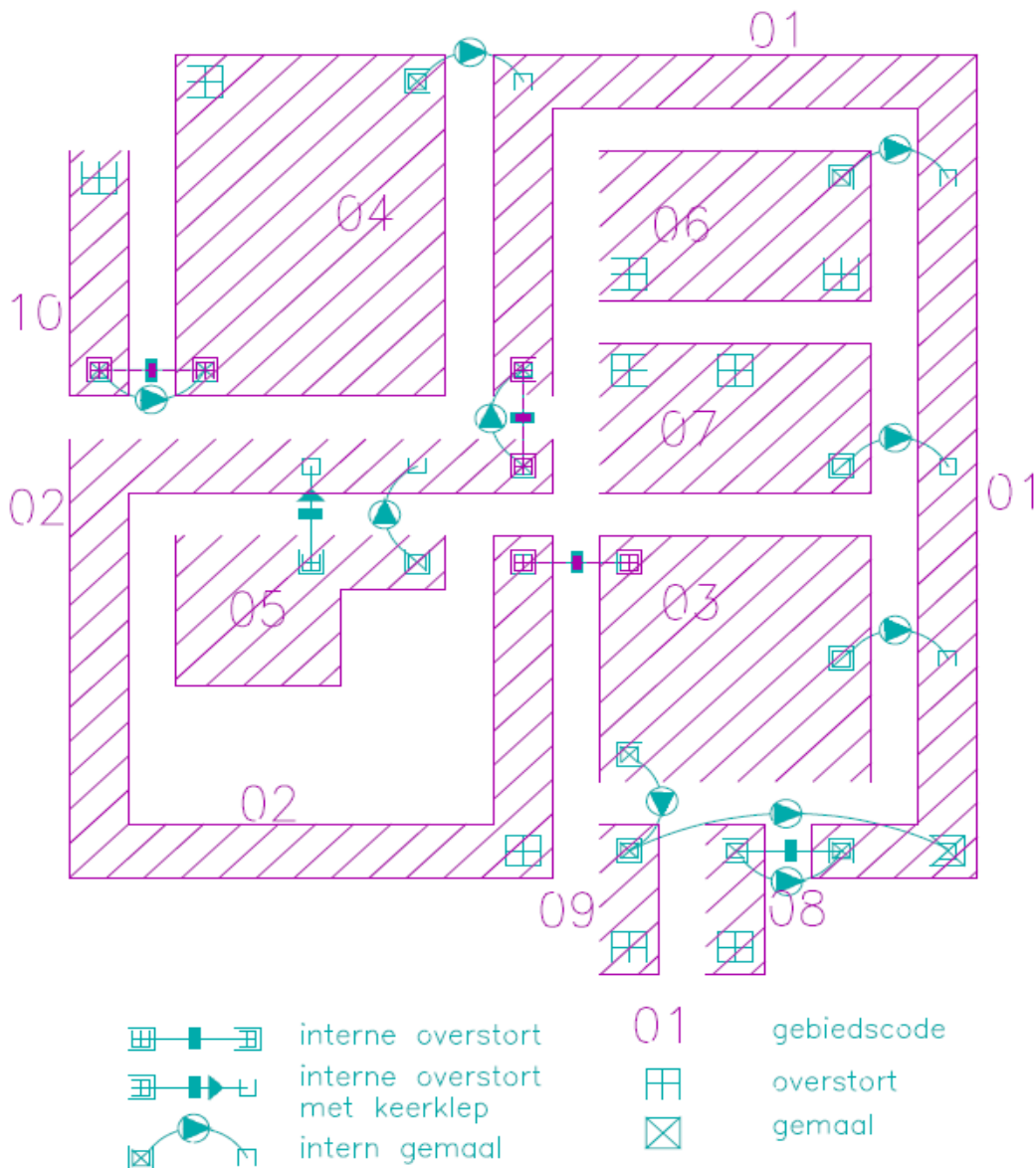
Figuur 15 voorbeeld van één van de die diamantstelsels die zijn opgebouwd in Sobek.

Om de analytische oplossing voor het diamant stelsel te berekenen werd gebruik gemaakt van Vergelijking 1 en Vergelijking 2, die eveneens waren gebruikt om het leidingenmodel te berekenen, dit omdat het stelsel zelf uit dezelfde objecten bestaat als het leidingenmodel.

3.2.2. Didactisch stelsel

Het didactische stelsel is in 1995 ontwikkeld ter ondersteuning van het gebruik van SUF-HYD bestandstype (RIONED, VROM, & RIZA, 1995). Het is een klein rioleringsstelsel met een grote diversiteit aan in de praktijk voorkomende situaties. Zo zitten in het didactisch stelsel verschillende bijzonderheden, zoals verschillende typen afvoerend oppervlak, leidingen met een verschil in vorm, diameter en afvoer- en bergingscapaciteit, hellende en vlakke gebieden en een groot aantal type objecten. Hierdoor is het stelsel uitermate geschikt om gebruikt te worden in allerlei hypothetische situaties, zoals het valideren van de D-Hydro Urban software. In het onderzoeksrapport over het didactisch stelsel staan de resultaten van de berekeningen met Bui08, dat is berekenend met het rekenprogramma EXTRAN/GM en werd geverifieerd aan de hand van metingen (RIONED, VROM, & RIZA, 1995). Aan de hand van dit rapport en de resultaten vanuit Sobek konden de gevonden resultaten vanuit D-Hydro Urban worden gevalideerd.

Het didactisch stelsel was opgesplitst in tien substelsels, zoals te zien is in Figuur 16. Door het opdelen van het stelsel konden fouten die na het valideren van de objecten nog in de software zaten eenvoudig achterhaald worden. Zoals al eerder is gemeld werden deze fouten dan doorgespeeld aan Deltares, zodat deze fouten uit de software konden worden gehaald. Een omschrijving over deze substelsels is te vinden in Appendix XI.



Figuur 16 de tien substelsels van het didactisch stelsel, de uitgebreide visualisatie van didactisch stelsel is te vinden in Appendix IX

In zowel het Didactisch stelsel als de casus Brielle werd geen gebruik meer gemaakt van putten met injectie maar van neerslaggebeurtenissen. Voor het valideren van het didactisch stelsel is gekozen voor Bui08, omdat deze neerslaggebeurtenis ook in het onderzoeksrapport over het didactisch stelsel voorkwam (RIONED, VROM, & RIZA, 1995). In hoofdstuk 2.3.2 is te zien hoe Bui08 eruit ziet. Voor het creëren van de neerslaggebeurtenissen in D-Hydro Urban was de data verzameld van de debieten, die in de modellen op de putten vallen, in een CSV bestand dat is geëxporteerd vanuit het model in Sobek. Via een Python script dat te vinden is in Appendix IX, waren, vanuit het CSV bestand, de benodigde bestanden gecreëerd, die ervoor zorgde dat op elke put een dynamisch debiet ligt. Bui08 werd twee uur lang berekend en had een initiële waterniveau van 30 cm. Het didactisch stelsel begon in de literatuur met een initieel droog rioolstelsel, dit is in dit onderzoek veranderd, omdat D-Hydro Urban onstabiel werd wanneer met een droog systeem werd gerekend. Voor een valide vergelijking werd Sobek eveneens berekend met een initiële waterniveau van 30 cm. De uitgebreide visualisatie van het didactisch stelsel, waarin bijvoorbeeld de putnummers en kunstwerken zijn weergegeven, is te vinden in Appendix IX. In Appendix X is te zien hoe het stelsel was opgebouwd in Sobek.

De eerste toetsing werd gedaan door middel van de maximale waterhoogtes per put te vergelijken tussen D-Hydro, Sobek en de literatuur. Vervolgens werd er bij elke put bekeken of deze op hetzelfde tijdstip het waterniveau bevatten als dat vanuit de resultaten die berekend zijn met Sobek. Om de resultaten rondom elke put in een grafiek weer te geven is het Python script gemaakt dat te vinden is in Appendix XIV.

Voor meer informatie over de methodiek rondom het didactisch stelsel, zoals leiding en object parameters, zie het eindrapport over het hydraulisch functioneren van het didactisch rioolstelsel, opgesteld door de Stichting RIONED, Ministerie VROM en de Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) (RIONED, VROM, & RIZA, 1995).

3.3. Casus Brielle

Na de kleine stelsels te hebben gevalideerd werden de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban getoetst door de casus Brielle door te rekenen. Het doel van dit gedeelte van het onderzoek was om te toetsen of D-Hydro Urban een eerder door Antea Group uitgevoerd onderzoek kon berekenen en identieke resultaten produceerde (Steentjes & Scherpenisse, 2018). Dit werd gedaan door te analyseren of de 1D berekeningen uitgevoerd door D-Hydro Urban overeen komen met de gevonden resultaten uit het vorige rapport, waar de 1D berekeningen waren berekend met Sobek.

De bestanden die zijn gebruikt voor het Sobek model en geconverteerd naar het D-Hydro Urban model waren verkregen vanuit het vorige door Antea Group uitgevoerde onderzoek. Hierin was riooldata verkregen vanuit het beheersysteem GBI van de gemeente Brielle. Voor het bepalen van het verhard oppervlakte wat het debiet op elke put bepaalde, werd een GIS analyse uitgevoerd op basis van de wegvlakken uit BGT en BAG-kaarten, met een peildatum van juni 2017. Vanuit de BGT en TOP10 kaarten is het ontvangend oppervlakte water vastgesteld. Data dat ontbrak is aangevuld en geïnterpoleerd door middel van terugkoppeling vanuit de gemeente en expert-judgement binnen Antea Group. Om het model rekenend te krijgen in D-Hydro Urban waren er nog een aantal putten bijgeplaatst, zodat de kunstwerken in het stelsel naar behoren werkten. Deze extra putten waren ook meegenomen in de Sobek berekeningen, zodat beide modellen identiek waren en het toetsen van D-Hydro Urban hierdoor eerlijk verliep.

Voor het toetsen van de casus Brielle waren in totaal zes verschillende modellen berekend, dit was gebaseerd op de 1D berekeningen van het vorige onderzoek door Antea Group uitgevoerd was. Voor de situatie van voor 2010 en de huidige situatie van de Vesting waren berekeningen uitgevoerd met Bui08, de 50 mm en de 80 mm bui, in zowel Sobek als D-Hydro Urban. Meer informatie over deze buien is te vinden in hoofdstuk 2.3.2. De situatie met de geadviseerde aanpassingen kon niet worden getoetst aangezien dit model alleen als 2D model was opgebouwd en hierdoor niet kon worden geïmporteerd als 1D model in D-Hydro Urban en Sobek. Alle modellen werden berekend met een initieel droog rioolstelsel.

Voor het toetsen van D-Hydro Urban werd als eerste stap de maximale water-op-sstraat situatie per put vergeleken met die berekend in Sobek. Om de maximale waarde op straat te berekenen is eerst het waterniveau van alle putten verzameld en gekeken wat het maximale waterpeil in de put was. Daarna is van deze waardes het maaiveld niveau, dat varieerde per put, afgetrokken, zodat bekend werd hoeveel water zich er zich boven het maaiveld bevond. Nadat alle maximale water-op-sstraat situaties waren verzameld, werd deze data geïmporteerd in een CSV bestand om weergegeven te worden in kaarten met behulp van QGIS, dit zodat eenvoudig de maximale waardes in D-Hydro Urban met die in Sobek konden worden vergeleken.

Vervolgens werd voor elk model gekeken naar de probleemgebieden uit het vorige onderzoek die besproken waren in hoofdstuk 2.3.3 en 2.3.4. Welke putten er bij deze probleemgebieden horen, is te vinden in Appendix XVI. In deze probleemgebieden waren een aantal putten uitgekozen die vervolgens aan de hand van grafieken geanalyseerd waren op verschillen in het waterpeil in de put tussen D-Hydro Urban en Sobek. Voor de situatie tot 2010 werd gekeken of de gebieden afgekoppeld waren, in de huidige situatie lagere waterstanden vertoonden.

4. Onderzoeksresultaten & Discussie

In dit hoofdstuk zijn de onderzoeksresultaten te vinden die in dit onderzoek verzameld zijn, daarnaast worden deze resultaten in dit hoofdstuk bediscussieerd. De eerste twee gedeeltes van dit hoofdstuk beschrijven de validatieresultaten van de D-Hydro Urban software. Het derde deel beschrijft en discussieert de gevonden resultaten tijdens het toetsen van D-Hydro Urban op de casus Brielle, hierin wordt de software vergeleken met een gedeelte van het eerder door Antea Group uitgevoerde onderzoek. Het laatste gedeelte van dit hoofdstuk bespreekt verbeterpunten die nog mogelijk zijn binnen de conversie en D-Hydro Urban software. In opdracht voor Avans is ook de duurzaamheid van Antea Group en dit onderzoek onderzocht, de resultaten hiervan zijn te vinden in Appendix XV.

4.1. Valideren objecten

In deze paragraaf zijn de resultaten en discussie rondom de validatie van de objecten te vinden. In dit hoofdstuk is dezelfde volgorde aangehouden als in hoofdstuk 3.1, waarbij eerst het leidingenmodel wordt besproken, vervolgens het overstort- en doorlaatmodel en als laatste het gemalenmodel. Voor elk object zijn in de resultaten drie rekenmethodes te zien, het object berekend met Sobek, D-Hydro Urban en de analytische methode, waarbij de objecten handmatig zijn berekend.

4.1.1. Leidingen

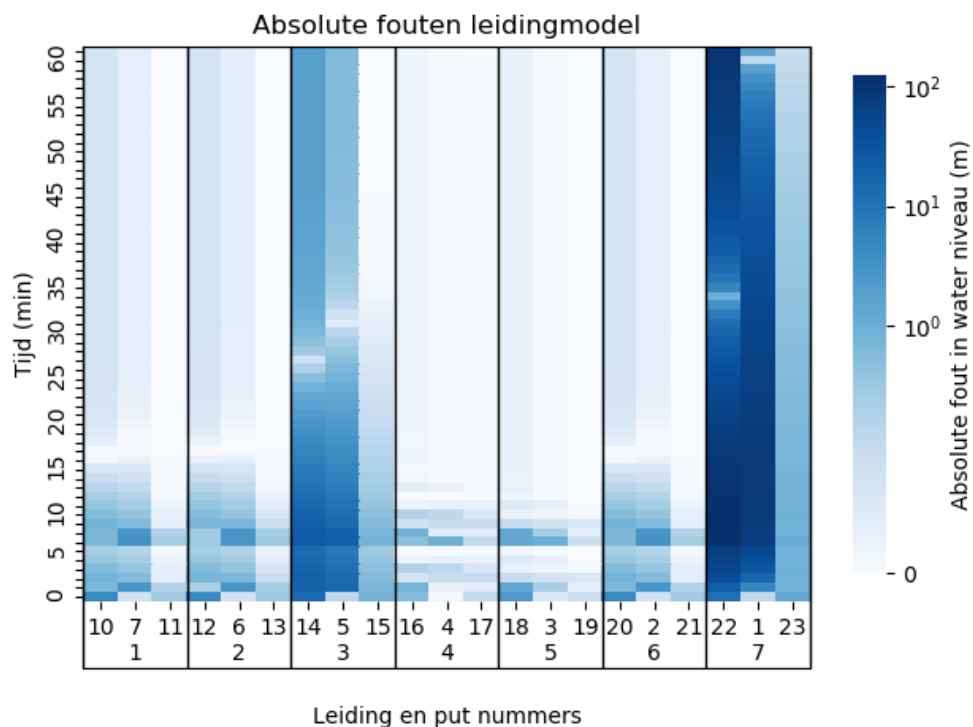
De gevonden waterniveaus per putnummer van het leidingenmodel in Sobek en D-Hydro Urban en de analytische oplossing zijn te vinden in Tabel 1. In Appendix II is te zien welke variabelen er aan welke putnummers verbonden zijn. In kolom drie in Tabel 1 staan welke bijzonderheden elke leiding bevat.

In de tabel is in de twee rechter kolommen te zien dat de absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing (EAS) hoger ligt dan tussen de analytische oplossing en D-Hydro Urban (EAFM). Als laatste is te zien dat wanneer er in de leidingen hoge waterniveaus voorkomen dat het verschil tussen Sobek en de analytische oplossing in grote mate toeneemt. Voor het resultaat van de leidingenmodel kan worden gezegd dat de afwijking tussen de analytische oplossing en Sobek groter is dan van dat tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing, waardoor D-Hydro Urban accuratere resultaten oplevert.

Tabel 1 gevonden absolute fouten in het waterniveaus per put tussen alle drie de rekenmethodes, waarbij EAFM staat voor de absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en staat EAS voor absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing.

Leiding nummer	Put nummer	Bijzonderheden	EAFM (m)	EAS (m)
1	22	Diameter van 200 mm in plaats van 500 mm.	0.00	417.10
	1		0.00	187.82
	23		0.00	0.79
2	20	Een normale diameter en debiet op de leiding.	0.00	0.03
	2		0.00	0.01
	21		0.00	0.00
3	18	Diameter van 1000 mm in plaats van 500 mm.	0.00	0.00
	3		0.00	0.00
	19		0.00	0.00
4	16	Een verlaagd debiet van 0.1 m ³ /s in plaats van 1 m ³ /s	0.00	0.01
	4		0.00	0.01
	17		0.00	0.01
5	14	Een verlaagd debiet van 3 m ³ /s in plaats van 1 m ³ /s	0.00	1.89
	5		0.00	0.63
	15		0.00	0.01
6	12	Een waterpeil van nul meter bij de uitlaat van het model	0.00	0.03
	6		0.00	0.01
	13		0.00	0.00
7	10	Een waterpeil van halve meter bij de uitlaat van het model	0.00	0.03
	7		0.00	0.01
	11		0.00	0.00

Figuur 17 toont de absolute fouten van de putten in het leidingenmodel tussen D-Hydro Urban en Sobek. De bovenste getallen op de x-as staan voor de putnummers, de getallen daaronder staan voor de leiding nummers. Op de y-as is de tijdsduur van de berekening te zien per vijf minuten.



Figuur 17 heatmap van de absolute fouten tussen Sobek en D-Hydro over een tijdreeks van 60 minuten in het leidingenmodel

Figuur 17 laat zien dat er vooral absolute fouten te vinden zijn in de eerste 15 minuten van de simulatie. Deze fouten zijn een paar centimeter en moeten daarom worden meegenomen in de latere verbetermogelijkheden voor de software. Zoals in Tabel 1 is te zien, toont Figuur 17 bovendien de hoge absolute fouten aan bij leiding model drie en zeven, dat te verklaren is doordat leiding drie een diameter van 200 mm heeft en dat er aan leiding zeven een debiet hangt dat hoger is dan gemiddeld, wat een verhoogd waterniveau veroorzaakt in beide leidingen. Zoals te zien was in Tabel 1 geeft de analytische oplossing ook hoge waarden voor deze twee leidingen, maar wijken de waarden in Sobek steeds meer af naar mate het waterniveau toeneemt.

De rekenmethode in Sobek maakt boven op volle putten gebruik van het Preissmann slot principe, dit is dan ook de oorzaak van de grote foutmarges tussen Sobek en de analytische oplossing (Ochoa-Rodríguez, et al., 2015). Het Preissmann slot is een lange dunne buis bovenop de leiding die er voor zorgt dat de leiding nooit kan vollopen. Sobek kan niet goed overweg met het rekenen van volle leidingen en dit principe zorgt ervoor dat de berekeningen wel mogelijk zijn, maar geven zeker bij hoge waterstanden, niet altijd een accurate oplossing. In de volgende fases binnen dit project moet dus rekening gehouden worden dat wanneer er in een model hoge waterstanden optreden in een leiding, D-Hydro Urban niet met Sobek kan worden vergeleken, omdat Sobek afwijkingen vertoont.

4.1.2. Overstorten

In Tabel 2 zijn de constante verhangwaardes te zien van alle drie de rekenmethodes die zijn gebruikt om de overstorten te valideren. Tijdens het analyseren van het verhang in D-Hydro Urban en Sobek is bevonden dat overstort tien een volkomen overstort is en de rest van de modellen onvolkomen. Deze bevinding is daarom meegenomen in de analytische oplossing van dit model. Zoals te zien is, komt het verhang over de overstort in D-Hydro Urban in grote mate overeen met de analytische oplossing en Sobek. De absolute fouten tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing zijn minder dan een centimeter en daarom verwaarloosbaar. De overstorten zijn hierom met succes gevalideerd en worden vervolgens gebruikt in de volgende fase van dit onderzoek.

Tabel 2 de gevonden absolute fouten van het verhang over de overstorten tussen alle drie de rekenmethodes, waarbij EAFM staat voor de absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en staat EAS voor absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing.

Overstort nummer	Bijzonderheden	EAFM (m)	EAS (m)
1	De overstort met alle basis waarde	0.001	0.001
2	Hoog debiet bij de overstort	0.003	0.002
3	Laag debiet bij de overstort	0.001	0.000
4	Een waterniveau van 0 meter vanaf stroomafwaartse grens in plaats van 1 meter	0.001	0.001
5	en waterniveau van 0.5 meter vanaf stroomafwaartse grens in plaats van 1 meter	0.001	0.001
6	Een afvoercoëfficiënt van 0.08 in plaats van 0.8	0.004	0.005
7	20 meter brede overstort in plaats van 2 meter	0.001	0.000
8	0.2 meter brede overstort in plaats van 2 meter	0.004	0.005
9	10 meter hoge overstort in plaats van 1 meter	0.003	0.001
10	0.1 meter hoge overstort in plaats van 1 meter	0.004	0.003
11	Een tweede overstort met alle basiswaarde	0.001	0.001

4.1.3. Doorlaten

De validatie tussen de analytische oplossing, D-Hydro Urban en Sobek is te zien in Tabel 3. Naast de doorlaat nummers staat wat voor afwijkende eigenschap de doorlaat heeft. Daarnaast staan de absolute fouten tussen D-Hydro Urban of Sobek en de analytische oplossing links in Tabel 3.

Tabel 3 de gevonden absolute fouten van het verhang per doorlaat tussen alle drie de rekenmethodes, waarbij EAFM staat voor de absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en staat EAS voor absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing

Doorlaat nummer	Bijzonderheden	EAFM (m)	EAS (m)
1	De doorlaat met alle basis waarde	0.00	0.08
2	Een afvoercoëfficiënt van 0.063 in plaats van 0.63	2.11	0.70
3	Een afvoercoëfficiënt van 6.3 in plaats van 0.63	0.12	0.37
4	Een 0.8 cm brede doorlaat in plaats van 78.5 cm	803.81	0.68
5	Een 19.6 cm brede doorlaat in plaats van 78.5 cm	0.00	0.00
6	Hoog debiet bij de doorlaat	0.00	1.07
7	Laag debiet bij de doorlaat	0.00	0.00

Zoals te zien is in Tabel 3 tonen de doorlaten in situaties met een lage doorlaatbreedte hoge absolute fouten, om deze reden is gekeken bij welke parameter waardes deze fouten op beginnen te treden, zodat de fouten rondom deze waardes in de toekomst worden opgelost en de doorlaten in de latere fases van dit onderzoek deze waardes niet bevatten. Het limietmodel dat aan de hand hiervan opgebouwd was en de parameters van dit model zijn te zien in Appendix VI. De resultaten hiervan zijn te zien in Tabel 4 en

Tabel 5. Hierin is te zien dat de afvoercoëfficiënt van de doorlaat niet meer voor fouten zorgt en zelfs dichter bij de analytische oplossing zit dan Sobek, dit is te verklaren doordat tussen het vergaren van de resultaten uit Tabel 3 en Tabel 4 een aantal verbeteringen aan de software zijn doorgevoerd die deze fout hebben opgelost. In het limietmodel voor de breedte van de doorlaat is nog wel te zien dat bij een doorlaatbreedte van onder de 0.1 meter de absolute fout toeneemt. In de vervolg fases van dit onderzoek moet daarom rekening worden gehouden dat de breedte van de doorlaten in de toekomstige modellen niet kleiner is dan 0.1 meter.

Tabel 4 de gevonden absolute fouten over het verhang per doorlaat tussen alle drie de rekenmethodes in het limietmodel voor de afvoercoëfficiënt van de doorlaat, waarbij EAFM staat voor de absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en staat EAS voor absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing

Afvoercoëfficiënt van de doorlaat (-)	EAFM (m)	EAS (m)
0.005	0.00	0.57
0.01	0.00	0.80
0.05	0.00	0.78
0.1	0.00	0.01
0.5	0.00	0.00
1	0.00	0.00
5	0.00	0.00

Tabel 5 de gevonden absolute fouten over het verhang per doorlaat tussen alle drie de rekenmethodes in het limietmodel voor de breedte van de doorlaat, waarbij EAFM staat voor de absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en staat EAS voor

Breedte van de doorlaat (m)	EAFM (m)	EAS (m)
0.05	141.40	3.89
0.1	0.15	0.37
0.2	0.16	0.37
0.4	0.11	0.37
0.6	0.00	0.01
0.8	0.00	0.00
1	0.02	0.00

absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing

4.1.4. Gemalen

In de validatie van het gemalenmodel heeft elk gemaal andere eigenschappen. Het eerste model had een hogere pompcapaciteit dan het inkomend debiet, hiervan zijn de snelheden van het uit- en aanslaan van het gemaal berekend en deze snelheden zijn te vinden in Tabel 6. Hierin is te zien dat de aan- en uitslagpeilen van het eerste gemaal in D-Hydro Urban dichter bij de analytische oplossing liggen dan Sobek dat doet. Hieruit kan dus opgemaakt worden dat wanneer er een lager inkomend debiet is dan de pompcapaciteit van het gemaal, D-Hydro Urban betere resultaten oplevert.

Tabel 6 gevonden tijden tussen aan- en uitslagpeilen van het eerste gemaal in het gemalenmodel

Methode	Analytische oplossing	Sobek	D-Hydro Urban
Tijd tot het aanslaan vanaf uitslagpeil (min)	6	15	8
Tijd tot het uitslaan vanaf aanslagpeil (min)	3	6	4

Het tweede gemaal had een pompcapaciteit die gelijk stond aan het inkomend debiet. In de vergaarde resultaten is daardoor te zien dat wanneer het aanslagpeil van het gemaal wordt bereikt dat het water niveau gelijk blijft. Het derde en vierde gemaal hadden een lagere pompcapaciteit dan het inkomend debiet en de hypothese, een constant oplopend waterniveau dat blijft oplopen wanneer het aanslagpeil is bereikt, was ook in de D-Hydro Urban resultaten te zien.

Het vijfde gemaal had dezelfde eigenschappen als het eerste gemaal, waarbij de pompcapaciteit groter was dan het inkomend debiet. Na het valideren van de resultaten was ook hier eenzelfde soort resultaat te zien als in het eerste gemaal.

In het zesde en zevende gemaal waren grootte van de put voor het gemaal getest. Dit bleek zoals verwacht invloed uit te oefenen op de daling van het waterniveau in het gemaal. Omdat in beide experimenten de pompcapaciteit gelijk stond aan het inkomend debiet, is daardoor in de vergaarde resultaten te zien dat het water niveau bij het gemaal gelijk blijft.

In de volgende twee modellen werd gekeken of de controle sensor vanaf de bezorgkant van het gemaal werkte, dit bleek niet zo te zijn. Dit is daarom meegenomen in de volgende fases van dit onderzoek, waarbij niet met dit type gemaal meer is gewerkt. Het laatste gemaal had dezelfde parameters als het zesde en zevende gemaal, met uitzondering het waterniveau bij de uitlaat, die 0.2 meter hoger lag. Dit verschil bleek in D-Hydro Urban geen invloed uit te oefenen, wat is gevalideerd doordat Sobek hetzelfde soort resultaten weergeeft.

In het gemalenmodel is dus bevonden dat de aansturing van pompen vanaf de bezorgkant nog niet optimaal werkt en is het belangrijk dat in het verdere onderzoek alleen met gemalen wordt gewerkt die aan de suctie kant pompen. Hiernaast was in bij alle gemalen te zien dat het waterpeil lager bleef dan in Sobek, dit komt door de bergingscapaciteit van het gemaal.

4.2. Valideren kleine stelsels

4.2.1. Diamant stelsel

De resultaten van de validatie van het diamant stelsel zijn te vinden in Tabel 7. In de eerste kolom zijn de diamant stelselnummers te vinden, waarvan het waterniveau gemeten is en in de kolom daarnaast welk bijzondere parameter dit stelselnummer had. In de laatste twee kolommen van Tabel 7 Tabel 18 zijn de absolute fouten te vinden tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en de absolute fouten tussen Sobek en de analytische oplossing. De waterniveaus per put zijn te vinden in Appendix XVI. Hierin is vooral te zien dat de in D-Hydro Urban berekende resultaten gemiddeld beter overheem komen met de analytische oplossing dan dat Sobek dit doet. De betere interactie tussen de leidingen in dit stelsel komt door het gebruik van de vernieuwde rekenmethodes die in D-Hydro Urban worden gebruikt, bijvoorbeeld door een alternatieve rekenmethode op de Preissmann slot methode die door Sobek wordt gebruikt (Ochoa-Rodríguez, et al., 2015). Uit het diamantstelsel wordt geconcludeerd dat er in D-Hydro Urban een betere interactie is tussen de leidingen dan in Sobek.

Tabel 7 Gevonden absolute fouten in waterniveau per diamantstelsel, waarbij EAFM staat voor de absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en staat EAS voor absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing.

Stelselnummer	Bijzonderheden	EAFM (m)	EAS (m)
1	Normaal stelsel	0.000	0.000
2	Laag inkomend debiet	0.000	0.000
3	Omgekeerde midden leiding	0.000	0.000
4	Hoog inkomend debiet	0.001	0.001
5	Rechter leiding in de bovenste arm heeft een diameter van 500 mm	0.000	0.000
6	Rechter leiding in de bovenste arm heeft een diameter van 1500 mm	0.000	0.000
7	Rechter leiding in de bovenste arm heeft een White-Colebrook weerstand van 0,03	0.000	0.000
8	Rechter leiding in de bovenste arm heeft een White-Colebrook weerstand van 0,0003	0.000	0.800
9	Alleen de middelste leiding heeft een diameter van 1000 mm	0.001	0.023
10	Alleen middelste leiding rond de rest is eivormig	0.014	0.033

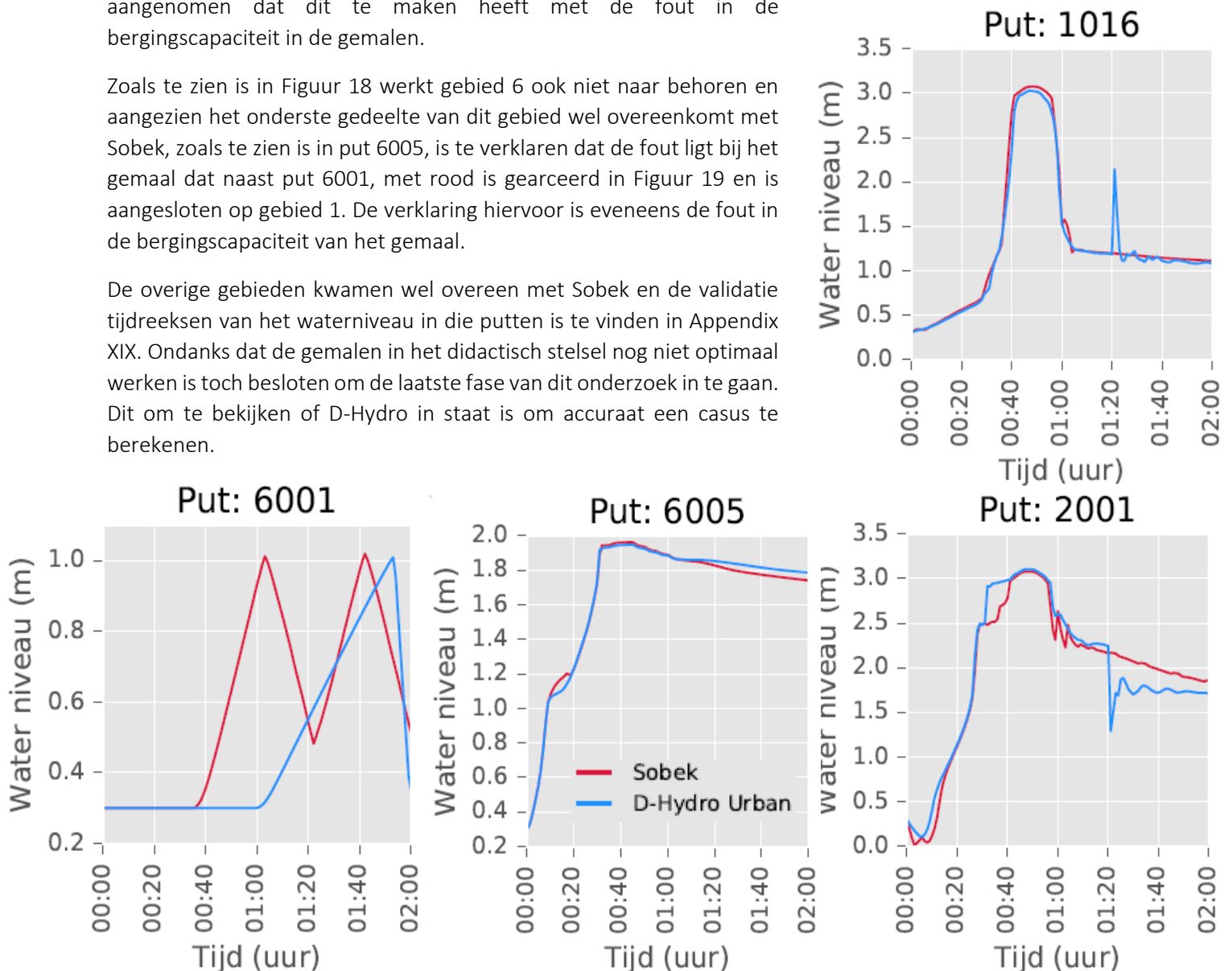
4.2.2. Didactisch stelsel

Het maximale waterniveau per put in het didactisch stelsel voor alle drie de rekenmethodes is te zien in Figuur 19. Opvallend hieraan is dat de maximale waterniveaus in Sobek en D-Hydro Urban in sommige gebieden, zoals gebied 10, tientallen centimeter hoger liggen dan de maximale waterstanden uit de literatuur (RIONED, VROM, & RIZA, 1995). Dit is te verklaren doordat beide rekenmethodes initieel begonnen met een waterstand in het stelsel van 30 cm, terwijl in de literatuur begonnen is met een droog stelsel. Waar gebied 10 ligt in het didactisch stelsel is terug te lezen in hoofdstuk 3.2.2. Wat wel is bevonden, is dat het gemiddeld maximale waterniveau in het stelsel bij D-Hydro Urban een aantal centimeter dichterbij de literatuur zit dan het door Sobek berekende model.

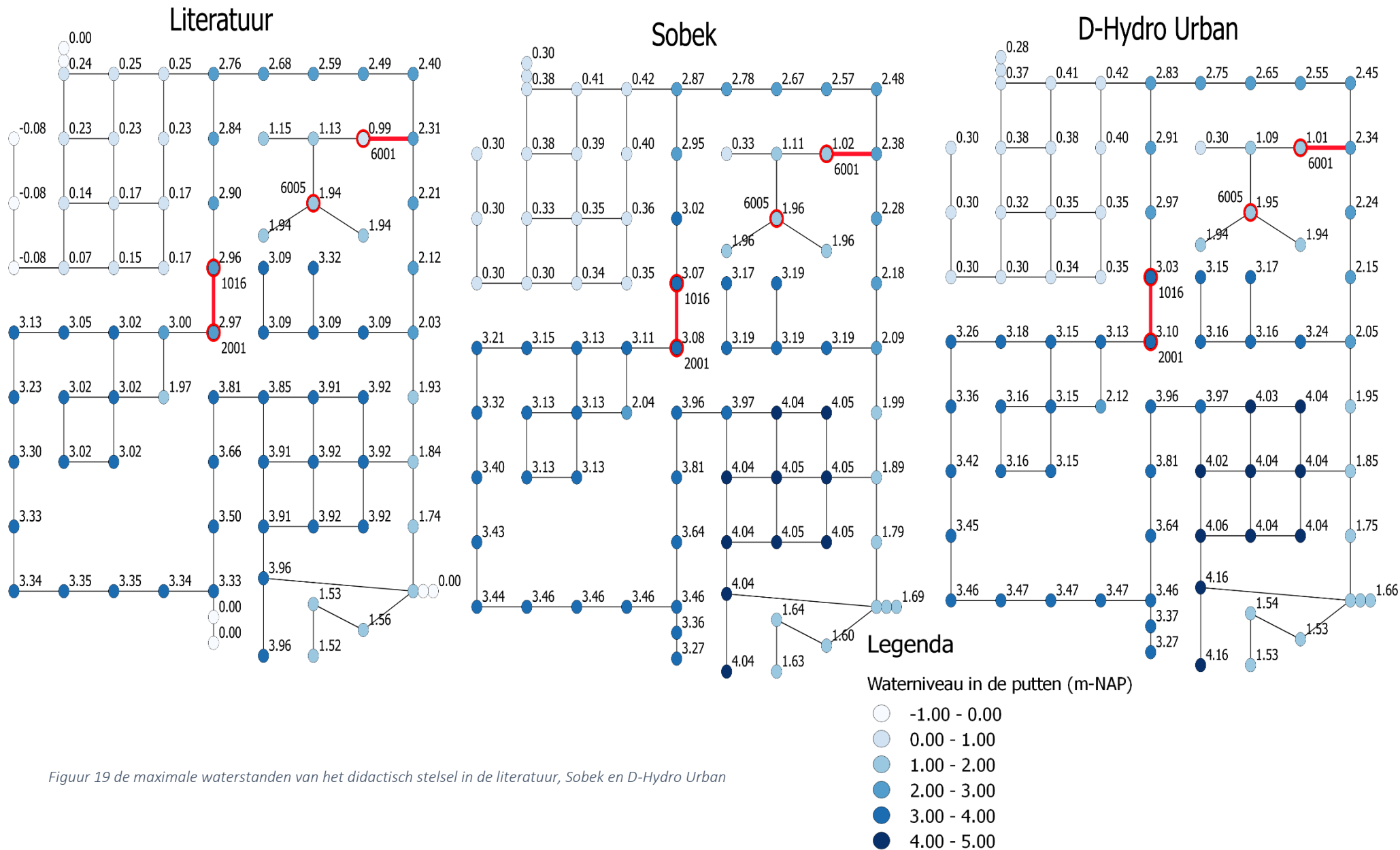
Uit het analyseren van de tijdreeksen van alle putten is bevonden dat in gebied 1 en 2, dat ook wel wordt beschreven als de kern van het didactisch stelsel, de waterstanden in zowel D-Hydro Urban als Sobek op hetzelfde moment hun piek bereiken. Wel is in deze tijdreeksen te zien dat in gebied 1 van het D-Hydro Urban de maximale waterstand wat lager ligt, dit komt door een verkeerd doorgerekende bergingscapaciteit in één van de aangrenzende kunstwerken. Daarnaast is in gebied 1, bij putnummer 1016 in Figuur 18, rond de 80^{ste} minuut een instabiliteit te zien, dat ervoor zorgt dat er teveel water uit gebied 2 wordt getrokken naar gebied 1. Deze instabiliteit wordt veroorzaakt door het gemaal dat tussen put 1016 en 2001 ligt, en met rood is gearceerd in Figuur 19. In gebied 8 lijkt deze instabiliteit ook rond de 80^{ste} minuut op te treden, er wordt aangenomen dat dit te maken heeft met de fout in de bergingscapaciteit in de gemalen.

Zoals te zien is in Figuur 18 werkt gebied 6 ook niet naar behoren en aangezien het onderste gedeelte van dit gebied wel overeenkomt met Sobek, zoals te zien is in put 6005, is te verklaren dat de fout ligt bij het gemaal dat naast put 6001, met rood is gearceerd in Figuur 19 en is aangesloten op gebied 1. De verklaring hiervoor is eveneens de fout in de bergingscapaciteit van het gemaal.

De overige gebieden kwamen wel overeen met Sobek en de validatie tijdreeksen van het waterniveau in die putten is te vinden in Appendix XIX. Ondanks dat de gemalen in het didactisch stelsel nog niet optimaal werken is toch besloten om de laatste fase van dit onderzoek in te gaan. Dit om te bekijken of D-Hydro in staat is om accuraat een casus te berekenen.



Figuur 18 tijdreeksen van putten uit gebied 1, 2 en 6, doorgerekend met Bui08 in D-Hydro Urban en Sobek



Figuur 19 de maximale waterstanden van het didactisch stelsel in de literatuur, Sobek en D-Hydro Urban

4.3. Casus Brielle

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de eindtoetsing van de 1D functionaliteiten van D-Hydro Urban te vinden. In deze resultaten worden de 1D resultaten besproken uit de Sobek berekeningen op de casus Brielle in vergelijking met de uitkomsten van hetzelfde model in D-Hydro Urban.

Voor elk van de drie neerslaggebeurtenissen die in deze casus zijn berekend is een model gebruikt van het huidige rioolstelsel van Brielle en een model van hoe het stelsel er voor 2010 uit zag. Voor beide modellen is gekeken of de maximale waterhoogtes op straat dezelfde situatie schetsten, in zowel D-Hydro Urban als Sobek. Vervolgens is er een analyse gedaan over de probleem gebieden die in de huidige situatie voorkomen. Waar deze gebieden liggen en welke putnummers hier bij horen is te vinden in Appendix XVI. Daarnaast zijn hier de locaties te vinden waar na 2010 is afgekoppeld van het gemengd riool. Voor deze locaties zijn de kaarten van de situatie voor 2010 en de huidige situatie met elkaar vergeleken om te zien of ontkoppeling een meerwaarde heeft.

Bui08

Huidige situatie

In Figuur 21 is de maximale waterstand boven de puthoogtes te vinden bij Bui08 voor zowel D-Hydro Urban als Sobek. Op de kaart is goed te zien dat in het Wellerondom, de Kaatsbaan en de Vrouwenhoflaan last hebben van water-op-straat. Beide modellen tonen veel gelijkenissen, maar gemiddeld gezien zijn er meer water-op-straat situaties in het Sobek model. Wanneer vervolgens de putten op probleemlocaties geanalyseerd worden, zoals te zien is in Appendix XX, verschilt het waterpeil tussen de twee modellen, op enkele locaties, enkele centimeters. De oorzaak hiervan is het bergingsprobleem dat zich nog in D-Hydro Urban bevindt, wat ervoor zorgt dat het waterpeil tijdens de piekbelasting op het stelsel minder hard stijgt.

Situatie tot 2010

Wanneer de oude situatie (Figuur 20) wordt vergeleken met de huidige situatie (Figuur 21) is te zien dat voor de 20 mm in een uur bui, de afkoppeling van het gemengd riool nauwelijks effect heeft op de water-op-straat situatie. Dit komt vooral omdat de afkoppelingsmaatregelen niet bij de plekken zijn genomen die tijdens Bui08 last hadden van structurele wateroverlast, maar eerder op locaties waar het waterpeil niet boven de putdeksel komt tijdens een 20 mm bui. Daarnaast is ook hier weer een verschil in water-op-straat situaties te vinden tussen D-Hydro Urban en Sobek, waarbij vooral verschillen te zien zijn op locaties waar al water-op-straat ligt. Wel zijn dit maar een aantal locaties en schetst D-Hydro Urban in grote mate hetzelfde beeld als Sobek. In de probleemgebieden die omringd door een groot aantal overstorten en een gemaal vertoont de D-Hydro Urban software wel nog in het begin van de berekeningen instabiliteit. Deze instabiliteit heeft te maken met de problemen in de bergingscapaciteit en zou in een vervolgonderzoek moeten worden opgelost. De tijdreeksen van deze gebieden zijn te vinden in Appendix XXIV.

50 mm bui

Huidige situatie

De maximaal gemeten water-op-straat niveaus voor de 50 mm bui in de huidige situatie zijn te zien in Figuur 23. In vergelijking met de vorige bui is een toename te zien van het aantal putten waar water-op-straat plaatsvindt, dit komt door de hevigere intensiteit van de 50 mm bui in vergelijking met Bui08. Wanneer gekeken wordt naar het verschil tussen de 50 mm bui in D-Hydro Urban en Sobek valt op dat er in Sobek een hoger volume water-op-straat aanwezig is. Daarnaast is dit ook te zien in de analyse op de putten bij de probleemlocaties, waarbij elke put enkele centimeters extra water is te vinden in Sobek wanneer dit vergeleken wordt met D-Hydro Urban. De grafieken van deze analyse zijn te vinden in Appendix XXI.

Situatie tot 2010

In Figuur 22 is een duidelijker beeld te zien van de effecten die afkoppeling hebben gehad op het aantal water-op straat situaties. Wanneer Figuur 22 en Figuur 23 naast elkaar worden gelegd is te zien dat in de omgeving naast de Nieuwstraat en Molenstraat het water niveau onder de puthoogtes is gezakt, nadat de omgeving was afgekoppeld van het gemengd riool. Zowel D-Hydro Urban als Sobek laten dit zien, maar het D-Hydro Urban model laat gemiddeld weer een lager waterniveau zien. Uit de analyse van deze putten (Appendix XXV) kwam uit dat in beide situaties de bergingscapaciteit weer voor een lagere waterstand zorgt tijdens de piekbelasting op het systeem.

80 mm bui

Huidige situatie

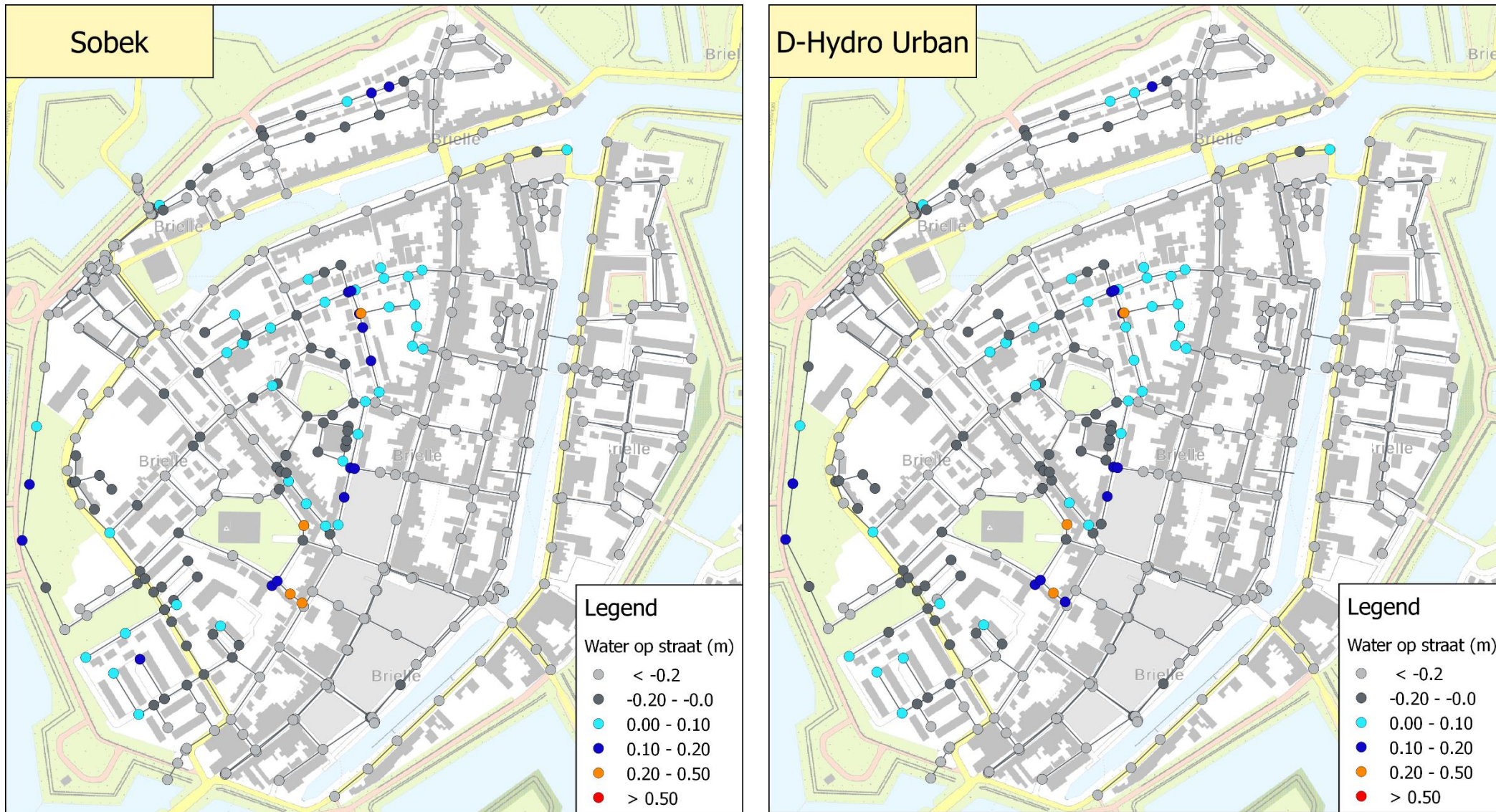
Uit het eerder uitgevoerde onderzoek bleek dat de maximale water-op straat niveaus voor de 80 mm bui, overeen kwamen met die van de 50 mm bui (Steentjes & Scherpenisse, 2018). Dit omdat het verschil tussen de neerslagebeurtenissen niet in de intensiteit zit, maar in de duur van de bui. De eerste twaalf uur van de 80 mm bui zijn identiek aan die van de 50 mm bui, zoals te zien in hoofdstuk 2.3.2. De piekbelasting op het rioolstelsel zou daarom identiek moeten zijn tussen de twee buien. Uit de resultaten van dit onderzoek komt naar voren dat beide buien identieke resultaten weergeven tijdens piekbelasting op het riool en komen hierom overeen met het vorige onderzoek.

Wanneer de probleem locaties vergeleken worden, blijkt er in de eerste twaalf uur wel een verschil te ontstaan na de piekbelasting op het riool, wanneer vergeleken met de 50 mm bui. Het lijkt er hierdoor naar dat wanneer het totale volume van de bui toeneemt, de fout in de berging ook toeneemt. Dit was onder andere te zien wanneer de grafieken van de putten van de 50 mm bui (Appendix XXI) en van de 80 mm bui (Appendix XXVII) naast elkaar gelegd werden.

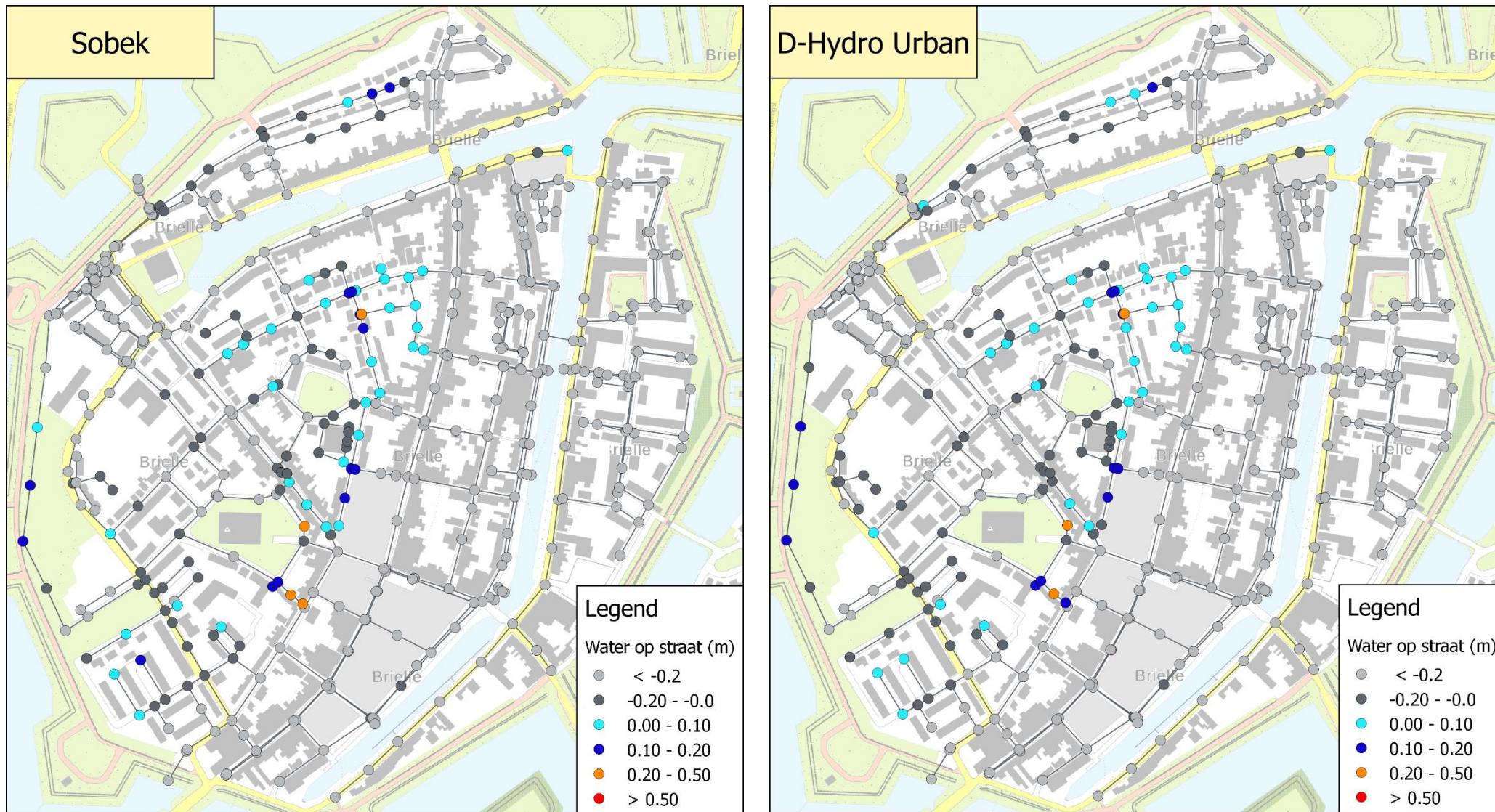
Situatie tot 2010

Net zoals voor de huidige situatie telt ook dat voor de situatie van voor 2010 de 80 mm bui qua intensiteit de zelfde maximale waterstanden toont als de 50 mm bui. Dit beeld is ook te zien nadat Figuur 22 en Appendix XXVI met elkaar vergeleken werden.

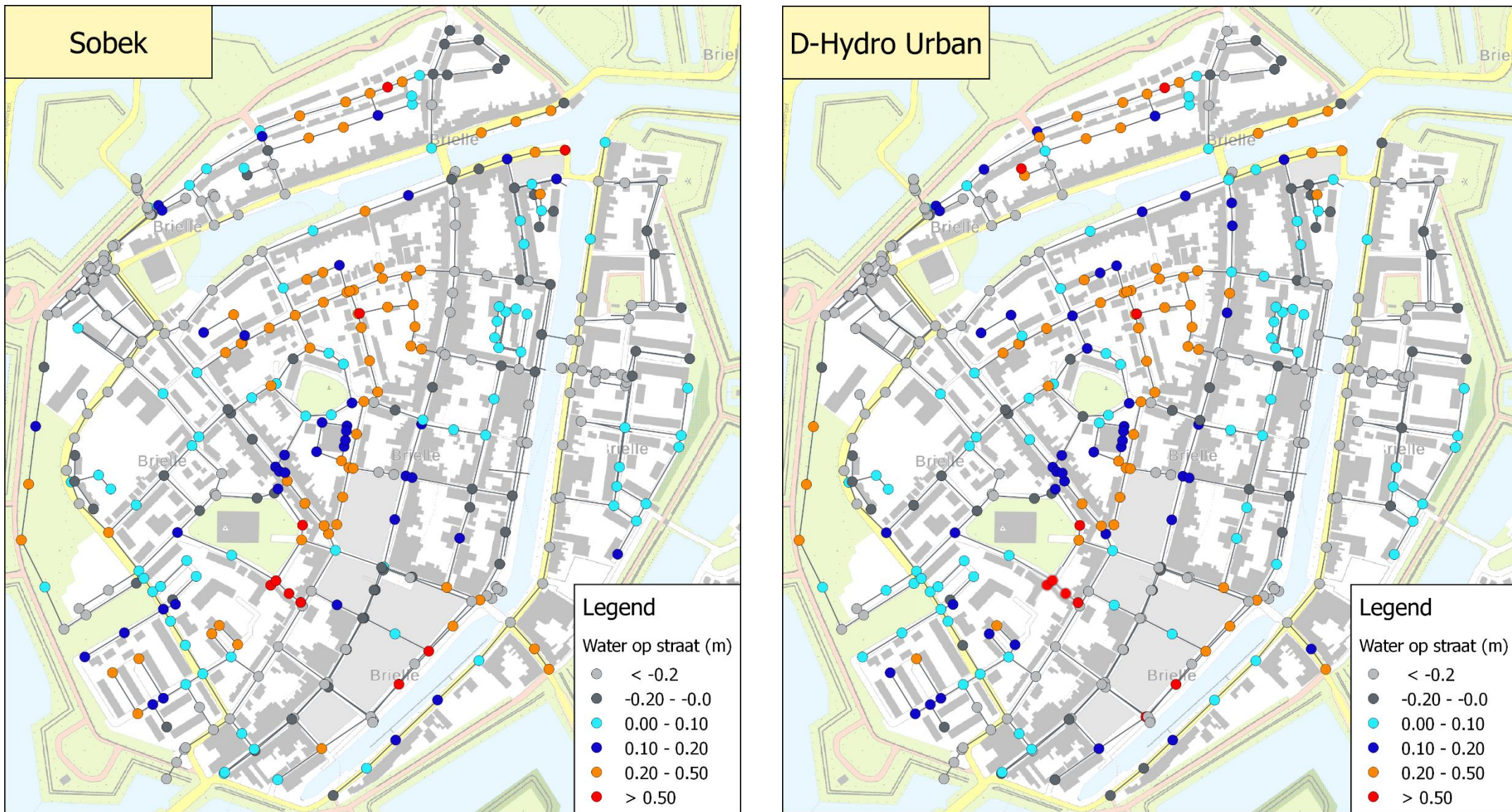
Zoals al eerder is besproken, laat ook deze situatie zien dat alle modellen nog last houden van problemen in de berging van de kunstwerken. In de toetsing op de situatie voor 2010 is wel een afname van de foutmarge tussen D-Hydro Urban en Sobek te zien, dit komt doordat er in het model van voor 2010, er zich minder losse stelsels in het model bevinden dan in het model van de huidige situatie. Wanneer dit probleem verholpen wordt, zou het waterniveau in D-Hydro Urban lichtelijk toenemen, waardoor hetzelfde niveau wordt bereikt als in Sobek. Daarnaast lost dit ook de instabiliteit die D-Hydro Urban in Bui08 vertoont op. Ondanks de verschillen die nog te vinden zijn tussen D-Hydro Urban en Sobek, laten beide modellen in alle zes de berekende modellen van de Vesting wel eenzelfde beeld zien. Dit houdt dus in dat na het oplossen van de fouten in de nieuwe software, de software klaar is om de 1D functionaliteiten te koppelen aan de 2D functionaliteiten en kan gestart worden met het testen van een integraal rekenend model.



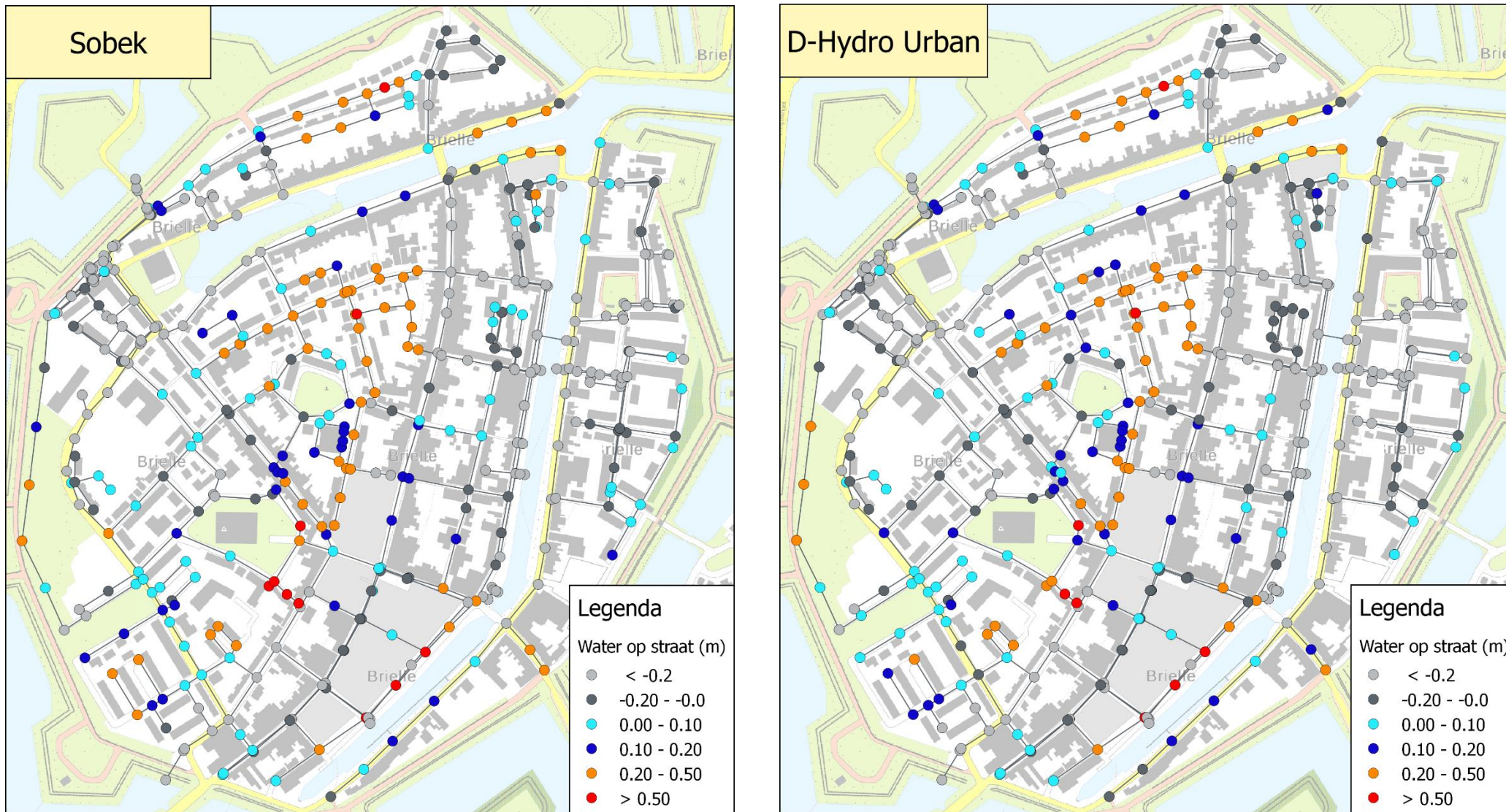
Figuur 20 de maximaal gemeten water op straat niveaus in de situatie voor 2010 van de Vesting Brielle die zijn berekend met Bui08 in D-Hydro Urban en Sobek



Figuur 21 de maximaal gemeten water op straat niveaus in de huidige situatie van de Vesting Brielle die zijn berekend met Bui08 in D-Hydro Urban en Sobek



Figuur 22 de maximaal gemeten water op straat niveaus in de situatie voor 2010 van de Vesting Brielle die zijn berekend met de 50 mm bui in D-Hydro Urban en Sobek



Figuur 23 de maximaal gemeten water op straat niveaus in de huidige situatie van de Vesting Brielle die zijn berekend met de 50 mm bui in D-Hydro Urban en Sobek

4.4. Conversie & D-Hydro Urban software

Conversie software

Tijdens het omzetten van de modellen, is veel informatie opgedaan over welke verbeterpunten de conversie software mogelijk eenvoudiger te maken. Het is mogelijk om modellen die zijn opgebouwd in Sobek om te zetten door middel van de twee, door Deltares geleverde Python scripts. Maar een volledig automatische overzetting is nog niet mogelijk, omdat er nog veel handmatige handelingen moeten worden ondernomen om een model op een juiste manier rekenend te krijgen. De volgende handelingen zorgen ervoor dat de complete automatische overzetting van de Sobek modellen niet mogelijk is:

- Nog geen automatische overzetting van debietwaardes van de gemalen vanuit Sobek naar D-Hydro Urban;
- Initiële waterniveau in het stelsel moet nog handmatig worden overgezet naar D-Hydro Urban;
- De conversie software zet alle kunstwerken nog in één bestand, wat er voor zorgt dat D-Hydro Urban het model niet juist berekend;
- Het aanmaken van de neerslag data op de putten wordt nu nog handmatig gedaan aan de hand van het Python script dat te vinden is in Appendix XII en niet automatisch in de door Deltares geleverde conversie software;
- De grensbestanden van de gemalen worden niet correct aangemaakt, waardoor deze in het D-Hydro Urban verkeerd worden neergezet en hierdoor de gemalen in sommige situaties de verkeerde kant op pompen;
- Voor putten zonder oppervlak wordt tijdens de conversie geen bestand aangemaakt (.pol bestand), dat er voor zorgt dat de put een debiet kan ontvangen, terwijl er mogelijk wel een DWA waarde aan de put zit, waardoor er wel een debiet op de put hoort te zitten;
- Grensbestanden worden niet automatisch aangemaakt voor uitlaten in een model, zodat pas wanneer deze handmatig zijn toegevoegd, er water het model uit kan stromen.

Hiernaast mist de conversie software nog een zekere mate van gebruiksvriendelijkheid, dit komt omdat er meerdere scripts aangeroepen moeten worden en er extra kennis nodig is over in welke folders de verschillende modelbestanden zich moeten bevinden. Om het gebruik van de Python scripts te vereenvoudigen is er tijdens dit onderzoek een GUI ontwikkeld, het script hiervan is te vinden in Appendix XVII.

D-Hydro Urban

Daarnaast is ook tijdens gebruik van D-Hydro Urban veel informatie opgedaan over wat er nog mist aan de software. Voor de D-Hydro Urban software zijn de volgende punten gevonden om de functionaliteiten of gebruiksvriendelijkheid te verbeteren:

- Een output bestand (NetCDF) met bijvoorbeeld waterniveaus uit D-Hydro Urban moet met behulp van de Panoply software worden omgezet naar een CSV bestand, waar vervolgens de putnummers aan de waterniveaus moeten worden gekoppeld door middel van het script dat te vinden is in Appendix XIII. Dit is een tijdrovend proces dat verbeterd kan worden door binnen de D-Hydro Urban software functionaliteiten toe te voegen, die het mogelijk maken om CSV output bestanden binnen de software te downloaden;
- Het opnieuw initialiseren van de modellen in de software zorgt er voor dat D-Hydro Urban stopt met werken, daarnaast zorgt een model met een initieel waterniveau van 0 meter er ook voor dat D-Hydro Urban stopt met werken.
- Tijdens dit onderzoek is ervoor de casus Brielle gekeken naar de maximale belasting op het stelsel. De functie om de maximale belasting te berekenen is wel te vinden in Sobek maar nog niet in D-Hydro Urban en moest daarom nog met de hand berekend worden. Het toevoegen van deze functie zou een meerwaarde hebben in de software.

Te verwachten is dat verschillende functionaliteiten binnen D-Hydro Urban gebruiksvriendelijker worden wanneer de software een GUI bevat, zoals de Delta Shell GUI die op dit moment in D-Hydro wordt gebruikt.

5. Conclusie

Validatie objecten

Uit de validatie van de objecten is geconcludeerd dat de resultaten uit D-Hydro Urban in grote mate overeen komen met de berekende resultaten uit Sobek en wanneer de objectmodellen uit D-Hydro Urban vergeleken worden met de analytische oplossing, deze niet alleen corresponderen, maar in een aantal objecten beter doen dan Sobek. De validatie van de objecten uit D-Hydro Urban en de analytische oplossing kwam niet overeen met doorlaten die een breedte hebben die kleiner is dan 0.1 meter en gemalen die pompten vanuit de bezorgkant van het gemaal. In de resultaten was daarnaast te zien dat bij sommige objecten de bergingscapaciteit in het object nog niet juist meegenomen werd in de berekeningen. Hier moest in de validatie van de teststelsels rekeningen worden gehouden, zodat de fouten in de objecten de volgende fase in dit onderzoek niet beïnvloeden.

Validatie teststelsels

Bij het valideren van het diamant stelsel is geconcludeerd dat de gevonden resultaten beter overeenkomen met de analytische oplossing dan dat Sobek dit doet. De betere interactie tussen de leidingen in dit stelsel komt door het gebruik van de vernieuwde rekenmethodes die D-Hydro Urban gebruikt.

Software fouten in het juist berekenen van de bergingscapaciteit van objecten zorgen ervoor dat D-Hydro Urban nog niet in dezelfde mate het didactisch stelsel doorberekent als Sobek. Hiernaast zorgt het vastlopen van de software, wanneer het systeem initieel droog staat, ervoor dat de maximale waarden in het systeem niet met precisie konden worden vergeleken met de literatuur, toch kon worden geanalyseerd dat de resultaten uit D-Hydro Urban beter met de literatuur overeen kwamen dan die van Sobek.

Toetsing casus Brielle

Voor de casus Brielle liet D-Hydro Urban eenzelfde resultaat zien als Sobek, waarbij een bui met hogere intensiteit voor meer water-op-sstraat zorgde en de afkoppingsmaatregelen enigszins zin hebben voor buien met een lagere intensiteit, maar zeker wanneer de buien intenser worden (50 mm), het aantal gevallen van water-op-sstraat na afkoppeling afneemt. Uit het toetsen van deze casus kan wel geleerd worden dat de kunstwerken in het model nog wat bergingsfouten veroorzaken, die voor een lager waterpeil zorgen en een instabiliteit in de berekeningen.

Omzetting en gebruiksvriendelijkheid

Uit het omzetten van de Sobek modellen naar modellen die in D-Hydro Urban te gebruiken zijn, is geconcludeerd dat de conversie software nog niet in staat is om automatisch een model volledig om te zetten. De conversie software mist nog een zekere mate van gebruiksvriendelijkheid, door de mate van het aantal handelingen dat uit moet worden gevoerd voordat een model volledig overgezet is. Nadat de software een model heeft overgezet naar het juiste formaat moeten er ook nog een aantal handelingen worden verricht om het model rekenend te krijgen.

Tijdens het gebruik van D-Hydro Urban is geconcludeerd dat de software nog een aantal functionaliteiten mist die de omgang met de software vergemakkelijken. Verschillende bugs die zich nog in de software bevinden verhinderen het berekenen van de modellen, zoals het vastlopen van D-Hydro Urban tijdens het berekenen van het didactisch stelsel, wanneer het systeem droog begint. Daarnaast zou een gebruiksvriendelijke GUI het gebruik van de software eenvoudiger maken. Als laatste kan de conclusie getrokken worden dat het invoeren van een export functie van de verkregen resultaten het vergaren van resultaten eenvoudiger maakt.

Na het oplossen van de bovengenoemde fouten in de nieuwe software, is D-Hydro Urban klaar om zijn 1D functionaliteiten te koppelen aan de 2D functionaliteiten en kan er begonnen worden met het testen van het integrale model.

6. Advies & aanbevelingen

Om een foutloze overzetting van 1D modellen uit Sobek naar D-Hydro Urban mogelijk te maken moeten de handmatige handelingen, die worden uitgevoerd om het model goed rekenend te krijgen, in D-Hydro Urban worden geautomatiseerd. De handmatige handelingen die nog moeten worden uitgevoerd staan opgesomd in hoofdstuk 4.4. Daarnaast wordt aangeraden om modellen direct om te zetten naar een formaat dat in D-Hydro Urban te berekenen is, zonder de tussenstap van het omzetten naar GWSW formaat. Om het omzetten van modellen makkelijker te maken wordt aangeraden om het converteerproces te integreren in D-Hydro Urban zelf, zodat binnen het programma omzetting van een Sobek model of een model in GWSW formaat, eenvoudig kan worden uitgevoerd.

Om D-Hydro Urban klaar te maken voor de 1D-2D koppeling moeten er in de berekeningen rondom de kunstwerken nog een aantal aanpassingen worden gedaan, zo werkt bij een bepaald parameters nog niet zoals in Sobek en is er een bergingsprobleem in de kunstwerken die er voor zorgt dat berekeningen op lagere waterniveaus uitkomen tijdens de piek van een bui en hogere waterniveaus na deze piek. Nadat deze fouten uit de software zijn gehaald, wordt geadviseerd om de software met een variatie aan casussen, met ieder andere eigenschappen, 1D door te rekenen, om er zeker van te zijn dat de 1D berekeningen binnen D-Hydro Urban valide verlopen.

Om het gebruik van D-Hydro Urban eenvoudiger te maken, wordt geadviseerd om eenzelfde GUI als D-Hydro, omdat deze als prettig wordt beschouwd door de vele modelleers die er gebruik van maken (Henckens & Engel, 2017). Tijdens dit onderzoek was het verzamelen van data vanuit D-Hydro Urban een langdurig proces, waarbij pas met bewerking met Panoply software en Python scripts de output bruikbaar was. In Sobek was dit proces een stuk eenvoudiger, waarna het berekenen van het model, de output bestanden gemakkelijk in CSV formaat gedownload konden worden. Het wordt hierom aanbevolen om voor D-Hydro Urban dezelfde functionaliteiten te gebruiken. Wanneer deze problemen worden verholpen, is D-Hydro Urban met succes gevalideerd en is het advies om de koppeling te maken naar 1D/2D.

7. Bibliografie

- Beersma, J., Versteeg, R., & Hakvoort, H. (2018). *Neerslagstatistieken voor korte duren*. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. Opgeroepen op 4 16, 2018
- Broks, K., Frankfort, H., Nieuwaal, K. v., & Wensem, J. v. (2017, 3). *De Natte Krant: Kenniskrant voor een Klimaatbestendige Stad*. NKWK. Opgeroepen op 4 26, 2018, van <http://www.stowa.nl/Upload/nieuws/Natte-Krant-KBS.pdf>
- CBS, PBL, RIVM, & WUR. (2016, 03 23). *Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910-2015*, 6. Opgeroepen op 04 20, 2018, van <http://www.clo.nl>: <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0508-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>
- Clemens, F. H., van Luijtelaar, H., Voorhoeve, H. J., Zuidervliet, J., & Beenen, A. S. (2004). *Module C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren*. Delft: n Stichting RIONED . Opgeroepen op 5 29, 2018
- Deltares. (2016). *1D/2D/3D Modellersoftware voor integrale wateroplossingen D-Hydro Suite*. Delft: Deltares.
- Dijk, E. v., Straatman, A., Meulen, J. v., & Kluck, J. (2011). *Combineren GIS-analyses en simulatiemodellen leidt tot extra inzicht in functioneren stedelijk watersysteem onder extreme neerslagcondities*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- Field, C., Barros, V., Dokken, D., Mach, K., Mastrandrea, M., Bilir, T., . . . White, L. (2014). *2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: World Meteorological Organization. Opgeroepen op 4 10, 2018, van https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-IntegrationBrochure_FINAL.pdf
- Have, M. t., & Wit, R. d. (2017). *NatteKrant; Kenniskrant voor een Klimaatbestendige Stad*. STOWA.
- Henckens, G., & Engel, W. (2017). *Benchmark inundatiemodellen*. Amerfoort: STOWA. Opgeroepen op 5 2, 2018, van <http://stowa.nl/upload/Publicaties%202017/STOWA%202017%2034%20v2.pdf>
- Hurk, B. v., Siegmund, P., (Eds), A. K., Attema, J., Bakker, A., Beersma, J., . . . Jilderda, R. (2014). *Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective*. De Bilt, The Netherlands.: Scientific Report WR2014-01. Opgeroepen op 2 5, 2018, van www.climatescenarios.nl
- Ijsseldijk, N., & Steentjes, B. (2016). *Wateroverlast voorspellen met integraal rekenmodel*. Opgehaald van anteagroup.nl: <https://www.anteagroup.nl/nl/diensten/beheer-en-data/wateroverlast-voorspellen-met-integraal-rekenmodel>
- Kuijken, W. (2018). *Deltaprogramma 2018*. Den Haag: het ministerie van Infrastructuur en Milieu en het ministerie van Economische Zaken;.
- Luijtelaar, H. v. (2008). *Regenwateroverlast in de bebouwde omgeving*. Ede: Stichting RIONED.
- Luijtelaar, H. v. (2014, 9 11). *Impacttest extreme buien*. Amersfoort, Utrecht, Nederland.
- Meijer, D. (2017, 4 1). *DEL060 11200948 D-HYDRO Suite, Urban*. Opgehaald van TKI Deltratechnologie: <https://www.tkideltatechnologie.nl/project/del060-11200948-d-hydro-suite-urban/>
- Mols, J., & Schut, M. (2012). *Gemeentelijke aansprakelijkheid bij wateroverlast*. Utrecht: Drukkerij Modern. Opgehaald van <http://edepot.wur.nl/196928>

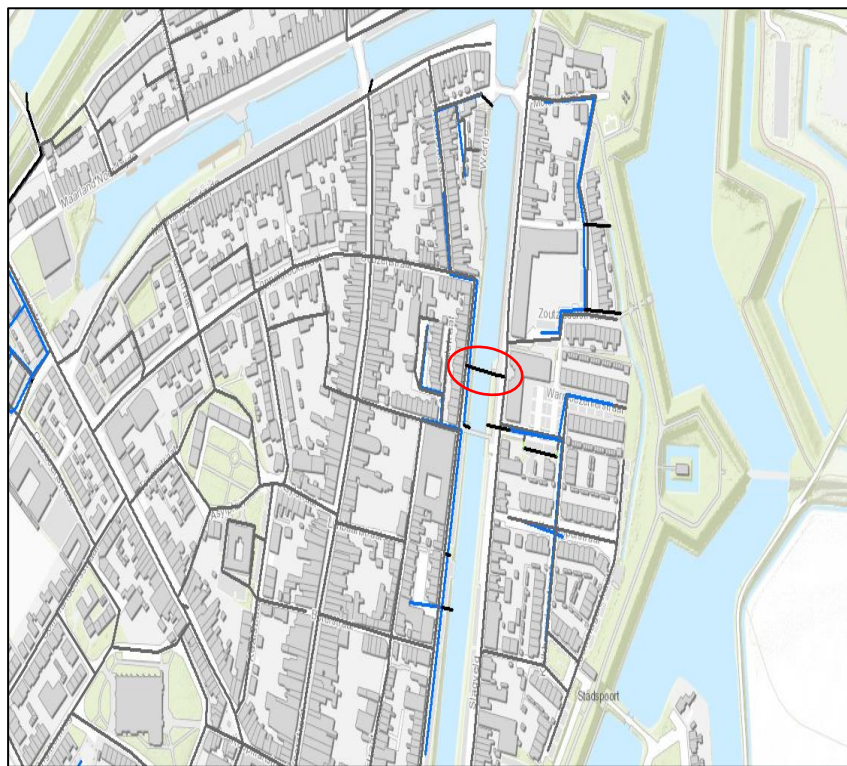
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018, 4). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*.
Opgehaald van <https://www.esrl.noaa.gov>: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_full.html
- Ochoa-Rodríguez, S., Onof, C., Maksimović, Č., Wang, L.-P., Willems, P., Assel, J. V., . . . Veldhuis, M.-C. t. (2015). *Urban pluvial flood modeling: current theory and practice*. Delft: RainGain.
- Oosten, T. v. (2018). *Duurzaamheid*. Opgehaald van <https://www.anteagroup.nl>:
<https://www.anteagroup.nl/nl/artikel/duurzaamheid>
- PBL, RIVM, & WUR. (2016, 10 26). *Inleiding tot het broeikas-effect*. Opgehaald van Compendium voor de Leefomgeving: <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0163-inleiding-tot-broeikas-effect>
- RIONED, VROM, & RIZA. (1995). *Rioleringsberekeningen: Hydraulisch functioneren Voorbeeldberekeningen 'didactisch rioolstelsel' Eindrapport*. De Bilt: DHV/Grontmij.
- Steenjens, B., & Scherpenisse, R. (2018). *Wateroverlast Brielle Statische en dynamische wateroverlastanalyses*. Deventer: Antea.
- Stichting RIONED. (2015). *Gemeentelijke aanpak regenwateroverlast*. Ede: Drukkerij Modern.
- Stichting RIONED. (2018, 01 01). *Gegevenswoordenboek Stedelijk Water*. Opgehaald van [gsw.nl/](http://data.gsw.nl/):
<http://data.gsw.nl/>
- Vaan, H. d. (2015). *De kunst van "Straatbouw & Straatwerk"*. Teteringen.
- Vereniging VPB . (2008). *Handboek Rioleringsstechniek*. Vereniging VPB . Opgehaald van
<http://betonplaza.nl/Documenten/Handboek%20Rioleringsstechniek.pdf>
- Waterbouwers, V. v. (2017). *Nederland...koploper in Deltatechnologie*. Opgehaald van tkideltatechnologie.nl:
<https://www.tkideltatechnologie.nl/>
- Westra, R., Oosten, T. v., Kuipers, G., & Bosma, S. (2017). *Maatschappelijk Jaarverslag 2016* . Antea Group.

Appendices

Appendix I Voorgestelde oplossingen uit het vorig uitgevoerde onderzoek casus Brielle

In het door Antea Group uitgevoerde onderzoek zijn twee maatregelen voorgesteld om de locaties binnen de Vesting die gevoelig zijn voor water-op-sstraat, zo nodig aan te passen zodat deze problemen zich niet meer voor doen (Steenjtes & Scherpenisse, 2018).

Tijdens dit onderzoek bleek dat de aanpassing aan het riool door het verkleinen of vergroten van de leiding die het oostelijke en westelijke deel van de Vesting verbindt, zoals rood omcirkelt in Figuur 24, geen significant effect heeft op het verminderen van water-op-sstraat situaties. De verklaring hiervoor was dat er maar een beperkt effect optreed doordat het maaiveld en de hoogteligging t.o.v. NAP van de binnen-onderkant-buis van de leiding circa één meter hoger liggen in het oostelijke deel van de Vesting dan in het westelijke deel, waar de water-op-sstraat situaties zich voordoen. Als tweede maatregel werd daarom in het vorige onderzoek naar een ander type maatregel gezocht.

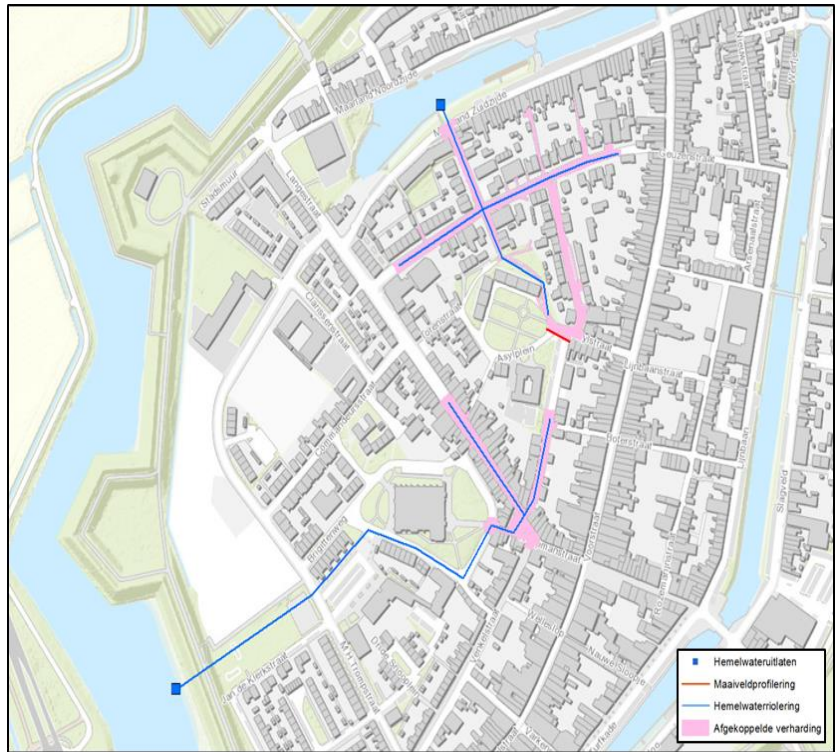


Figuur 24 de koppeling tussen het oostelijk en westelijk gelegen substelsel

Zoals is uitgelegd in de probleemstelling rondom de casus met betrekking op de huidige situatie, is vooral op te merken dat het meeste water-op-sstraat gevoelige locaties zich in de Vesting bevinden. Daarom werd geadviseerd om op deze locaties voor ontkoppeling op het gemengd riool te kiezen, aanleg van twee hemelwaterleidingen en herprofilering van het maaiveld zoals te zien is in Figuur 25.

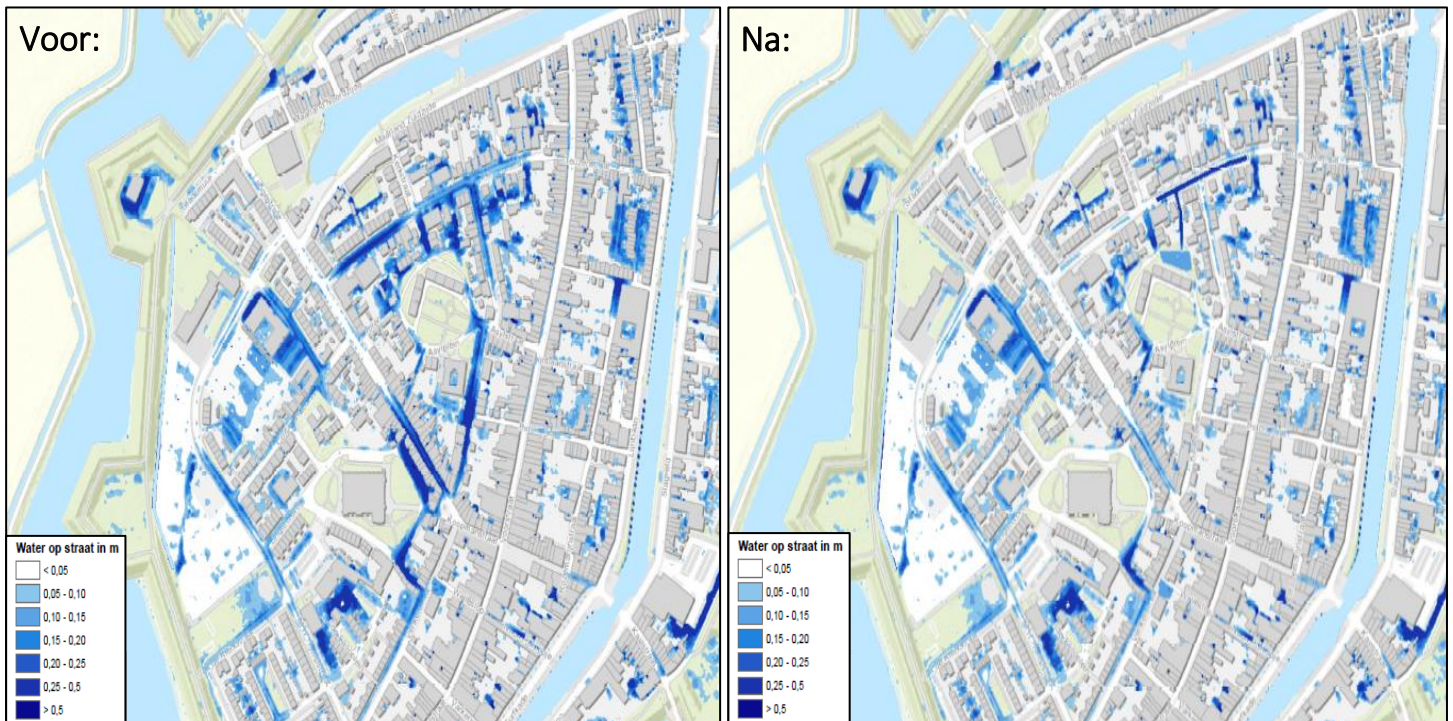
De in roze gearceerde gebieden beslaan 8.700 m² en zouden in deze maatregelen worden afgekoppeld en aangesloten worden op het hemelwaterstelsel. Dit zorgt er voor dat de maximale capaciteit van het gemengd riool op deze plekken minder snel wordt bereikt in geval van hevige neerslag.

In de 2D maaiveld analyse werd daarbij ondervonden dat hemelwater zich door het maaiveldprofiel liet afstromen naar de probleemgebieden, zoals de Vrouwenhoflaan en Kaatsbaan. Om dit te voorkomen werd voorgesteld om door bijvoorbeeld een verkeersdrempel te plaatsen, op de met rood aangegeven plaats in Figuur 25, waardoor de lokale maaiveld profilering hoog genoeg zou zijn om deze afstroming tegen te houden.



Figuur 25 geadviseerde maatregelen aan de Vesting van Brielle

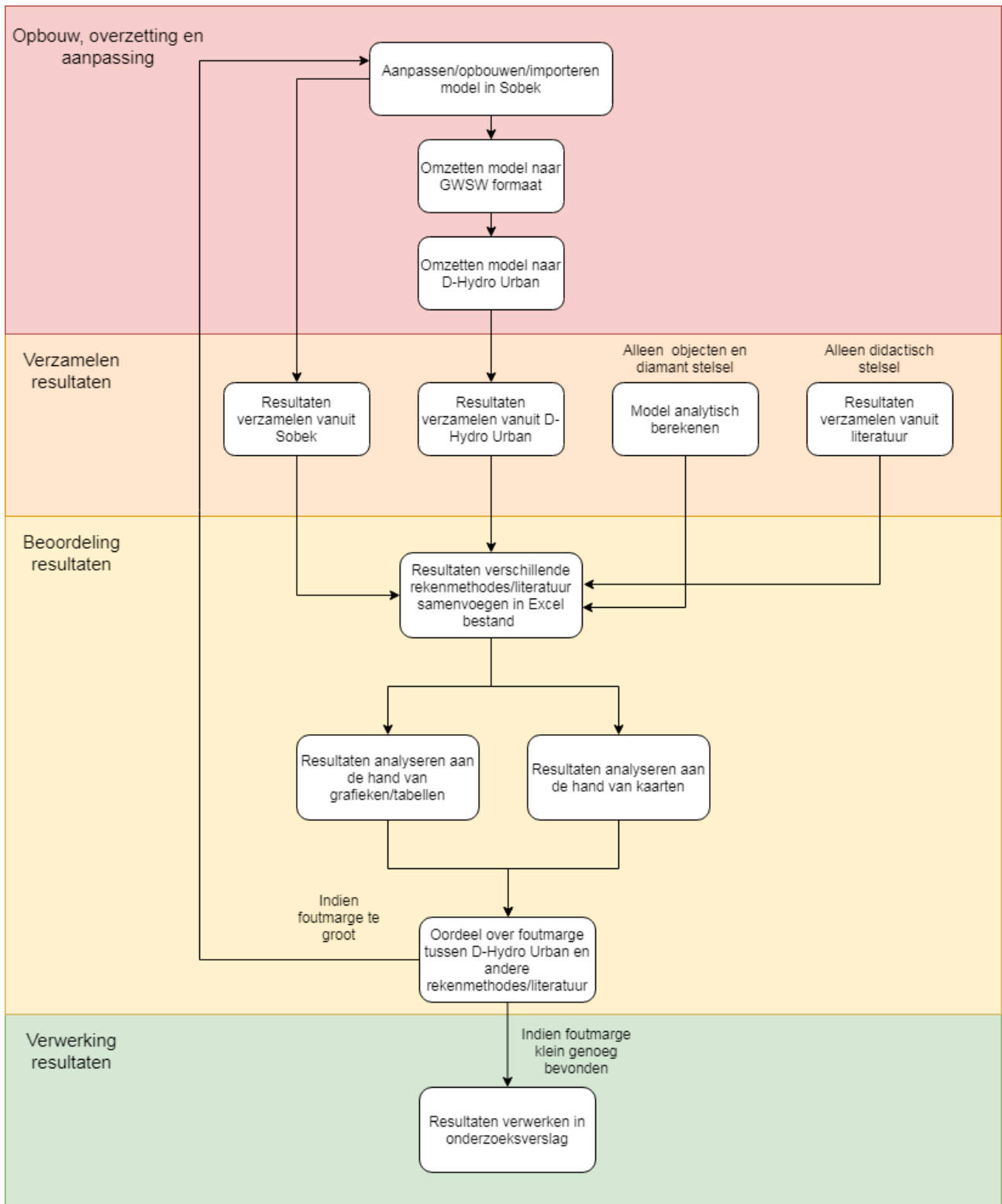
Zoals in Figuur 26 is te zien hadden de geadviseerde maatregelen de benodigde positieve effecten gehad op de water-op-straat situaties in de kern van de Vesting van Brielle, zo waren er bijvoorbeeld afnames in water niveau van wel 0.45 meter te zien rondom de Wellerondom en de Kaatsbaan.



Figuur 26 voor en na situatie van de Vesting van Brielle na de voorgestelde maatregelen

Appendix II Stroomdiagram methodiek

In Figuur 27 is het stroomdiagram te zien dat de werkzaamheden beschrijft die in hoofdstuk 3 beschreven zijn.



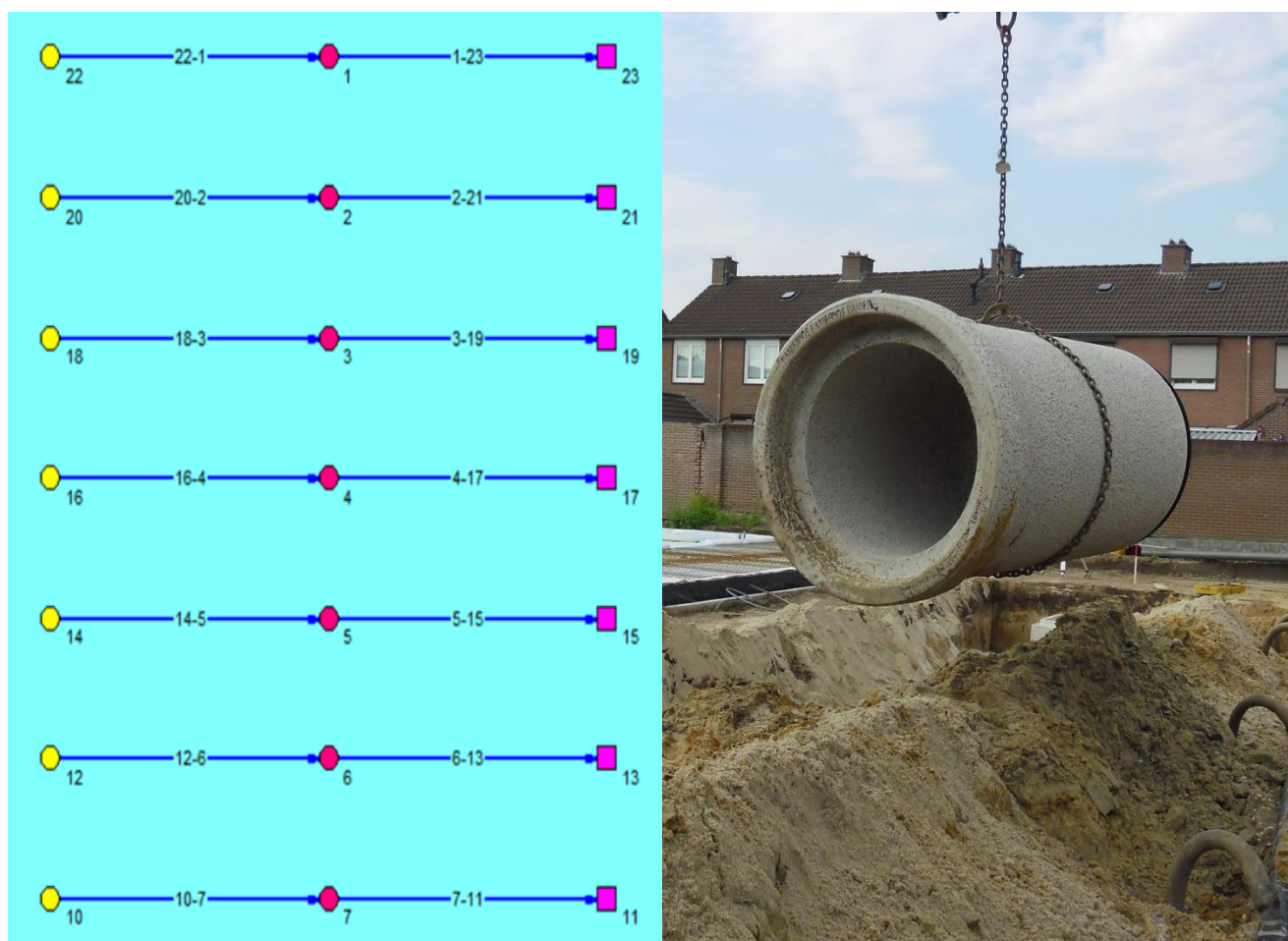
Figuur 27 stroomdiagram van de methode die is uitgevoerd voor het verkrijgen van de resultaten in dit onderzoek

Appendix III De parameters van het leidingenmodel

De parameters die gebruikt zijn in het leidingen model zijn te vinden in Tabel 8, een weergave van dit model met putnummers in Sobek is te zien in Figuur 28, hiernaast is ook te zien hoe dit type leiding er uit ziet in de werkelijkheid. In dit model is begonnen met het testen van de diameter van de leidingen door deze te verkleinen naar 300 mm of te vergroten naar 1000 mm. Hiernaast is ook het debiet wat op de injectieput valt getest met een debiet dat tien keer zo laag is als het standaard debiet van 1 m³/s of drie keer zo hoog. Bij de laatste twee leidingen is een verschil in waterpeil bij de uitlaat gevalideerd. Voor het simuleren van de leidingen in uitgegaan van een initiële waterstand in de leidingen van 0 meter voor de White-Colebrook wandruwheidswaarde van de leidingen in uitgegaan van 0.003.

Tabel 8 parameters van het leidingen model

Leiding nummer	Debiet (m ³ /s)	Waterpeil uitlaat vanaf bodem (m)	Diameter leiding (mm)	Totale lengte (m)	Verbonden putten
1	1	1	200	50	22-23
2	1	1	500	50	20-21
3	1	1	1000	50	18-19
4	0.1	1	500	50	16-17
5	3	1	500	50	14-15
6	1	0.5	500	50	12-13
7	1	0	500	50	10-11



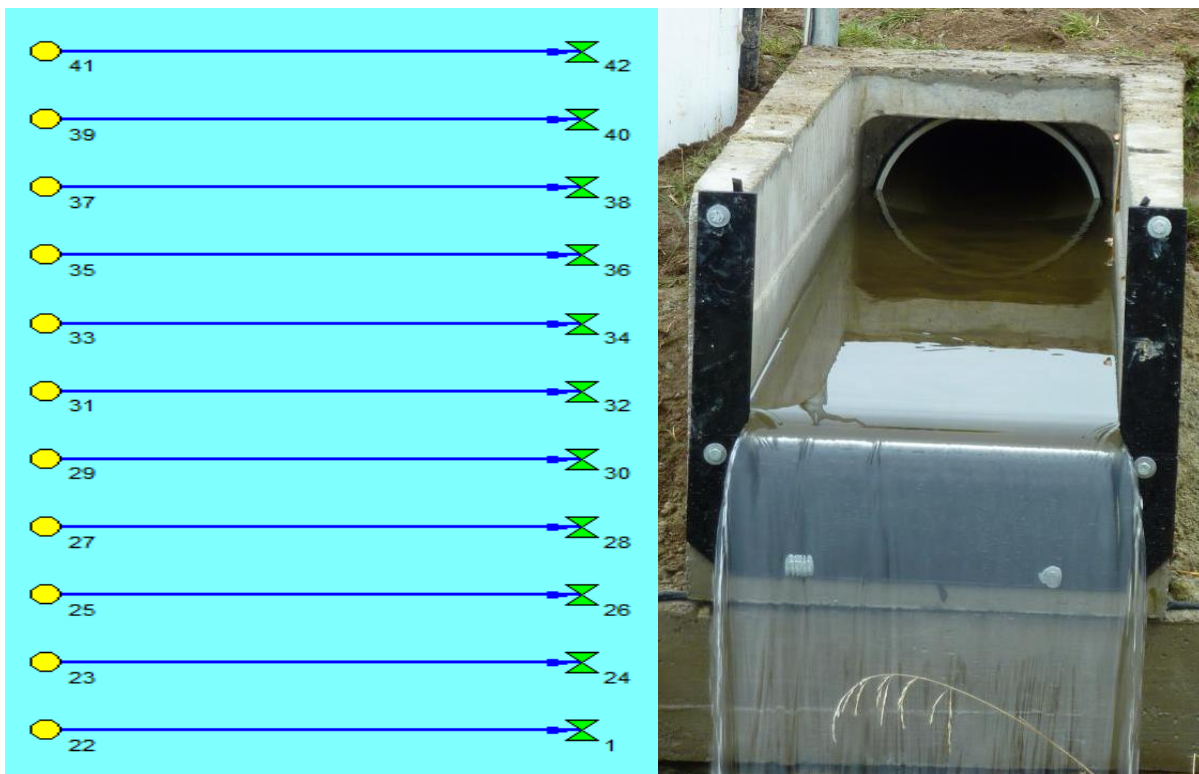
Figuur 28 een weergave van het volledige leidingenmodel in Sobek en een visualisatie van een betonnen rioolleiding in de werkelijkheid

Appendix IV De parameters van het overstortmodel

Zoals te zien is in Tabel 9 zijn de eerste drie modellen opgebouwd met drie inspectieputten met injectie een debiet van 0,1 t/m 3 m³/s. Bij de volgende twee modellen is het waterniveau bij de uitlaat getest met een lege uitlaat en een uitlaat met een water niveau van 0,5 meter. Bij het volgende model is een verschil in afvoercoëfficiënt getest. Voor de laatste modellen is een verschil in de breedte of hoogte van de overstort gevalideerd. In alle leidingen was een diameter van 1000 mm gebruikt. Voor de White-Colebrook wandruwheidswaarde van de leidingen in uitgegaan van 0.003 en is er gerekend met een model dat initieel droog stond. Een weergave van dit model in Sobek en de werkelijkheid is te zien in Figuur 29.

Tabel 9 de gebruikten parameters in het overstortmodel

Overstort nummer	Hoogte overstort (m)	Breedte overstort (m)	Afvoercoëfficiënt (-)	Waterniveau vanaf stroomafwaartse grens (m)	Debiet (m ³ /s)	Verbonden putten
1	1	2	0.8	1	1	41-42
2	1	2	0.8	1	3	39-40
3	1	2	0.8	1	0.1	37-38
4	1	2	0.8	0	1	35-36
5	1	2	0.8	0.5	1	33-34
6	1	2	0.08	1	1	31-32
7	1	20	0.8	1	1	29-30
8	1	0.2	0.8	1	1	27-28
9	10	2	0.8	1	1	25-26
10	0.1	2	0.8	1	1	23-24
11	1	2	0.8	1	1	22-1



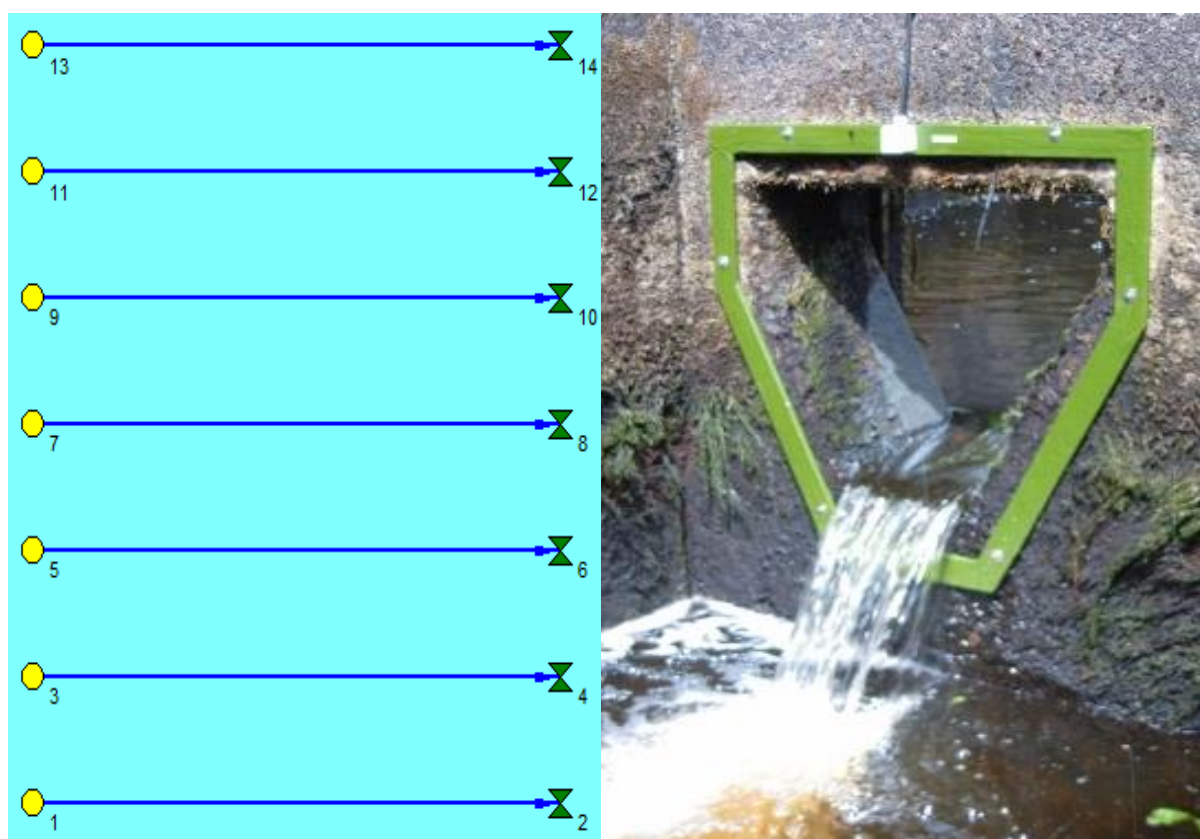
Figuur 29 visuele weergaven van het in Sobek opgebouwde overstortmodel en een visualisatie van een overstort in de werkelijkheid

Appendix V De parameters van het doorlaatmodel

In Tabel 10 zijn de parameters te zien die in het doorlaatmodel zijn gebruikt, die gevisualiseerd is in Figuur 30. Bij de eerste twee modellen is het afvoercoëfficiënt van de doorlaat getest. Bij de volgende twee modellen is de breedte van de doorlaar getest. Bij de laatste drie doorlaten is het debiet op de drie inspectieputten met injectie een debiet getest met een debiet van 0.1 t/m 3 m³/s. De hoogte van alle doorlaten stond op 2 meter, de grootte van de opening op 1 meter een contractie coëfficiënt van 1. Daarnaast is voor alle leidingen in het model een diameter van 1000 mm gebruikt, voor de White-Colebrook wandruwheidswaarde van de leidingen in uitgegaan van 0.003 en is er gerekend met een model dat een initieel waterniveau had van 1.3 meter.

Tabel 10 de gebruikten parameters in het doorlatenmodel

Doorlaat nummer	Debiet (m ³ /s)	Breedte van de doorlaat (m)	Afvoercoëfficiënt (-)	Verbonden putten
1	1	0.785	0.630	1-2
2	1	0.785	0.063	3-4
3	1	0.785	6.300	5-6
4	1	0.008	0.630	7-8
5	1	0.196	0.630	9-10
6	3	0.785	0.630	11-12
7	0.1	0.785	0.630	13-14



Figuur 30 visualisatie van het doorlaatmodel in Sobek en een visualisatie van een doorlaat in de werkelijkheid

Appendix VI De parameters van de limietmodellen voor de parameters van de doorlaat

In Tabel 11 en Tabel 12 zijn de parameters te zien die in de twee limiet modellen zijn gebruikt, waarmee is gekeken bij welke waardes aan doorlaat breedte en afvoercoëfficiënt er fouten absolute fouten optreden tussen de analytische oplossing en D-Hydro Urban. De hoogte van alle doorlaten stond op 2 meter, de grootte van de opening op 1 meter een contractie coëfficiënt waarde van 1. Daarnaast is voor alle leidingen in het model een diameter van 1000 mm gebruikt, voor de White-Colebrook wandruwheidswaarde van de leidingen in uitgegaan van 0.003 en is er gerekend met een model dat een initieel waterniveau had van 1.3 meter.

Tabel 11 het limiet model waarin de doorlaat breedte is getest

Doorlaat nummer	Breedte van de doorlaat (m)	Verbonden putten
1	0.005	1-2
2	0.010	3-4
3	0.050	5-6
4	0.100	7-8
5	0.500	9-10
6	1.000	11-12
7	5.000	13-14

Tabel 12 het limiet model waarin het afvoercoëfficiënt van de doorlaat is getest

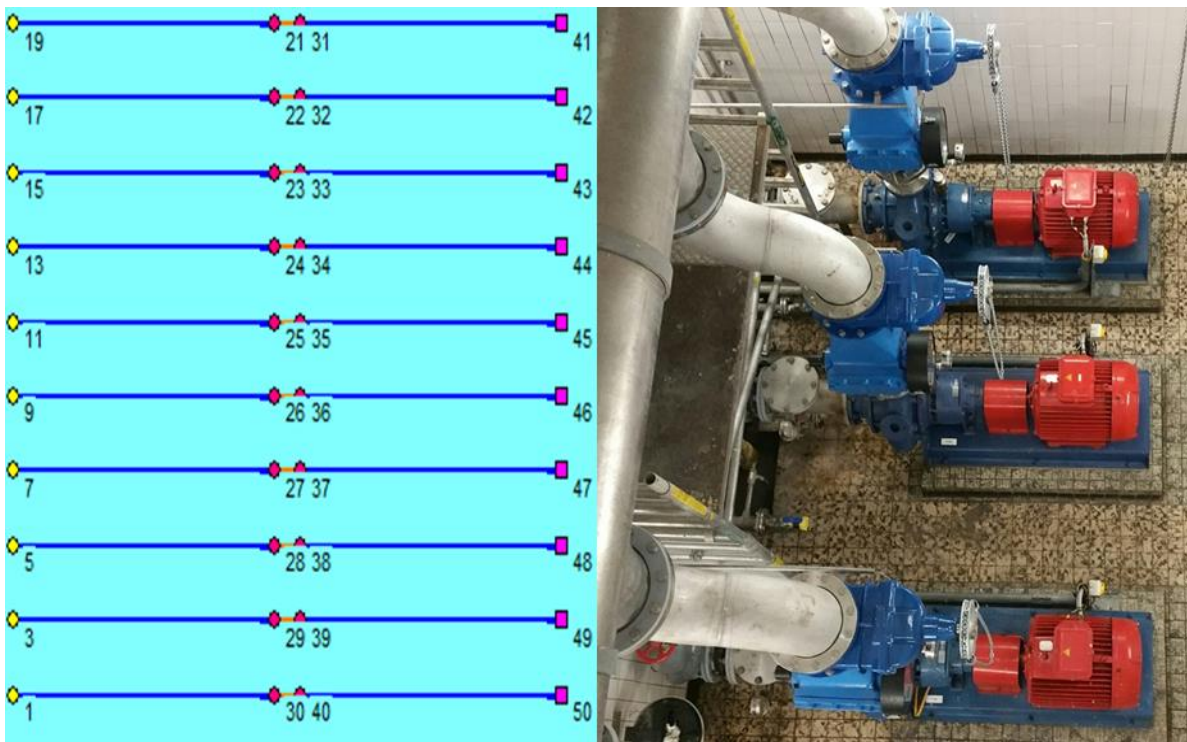
Doorlaat nummer	Afvoercoëfficiënt (-)	Verbonden putten
1	0.050	1-2
2	0.100	3-4
3	0.200	5-6
4	0.400	7-8
5	0.600	9-10
6	0.800	11-12
7	1.000	13-14

Appendix VII De parameters van het gemalenmodel

In Tabel 13 zijn de parameters te zien die in het gemalenmodel zijn gebruikt, die te zien is in Figuur 31. In dit model zijn ook als eerste de drie inspectieputten met injectie een debiet getest is van 0.0005 t/m 0.0015 m³/s. Hierdoor verschillen ook de aan- en uitslagpeilen van het gemaal De initiële waterstand in de stelsels was 0 meter en voor de White-Colebrook wandruwheidswaarde van de leidingen in uitgegaan van 0.003, hiernaast is voor alle leidingen een diameter gebruikt van 1000 mm. In het begin van de berekeningen stond het stelsel droog.

Tabel 13 de gebruikten parameters in het gemalenmodel

Gemaal nummer	Inkomend debiet (m ³ /s)	Pompcapaciteit van het gemaal (m ³ /s)	Putgrootte (m ²)	Aanslagpeil ten opzichte van N.A.P. (m)	Uitslagpeil ten opzichte van N.A.P. (m)	Kant controlesensor	Waterniveau uitlaat (m)	Verbonden putten
1	0.0005	0.0015	1	-2.22	-2.4	suctie	1.6	1-50
2	0.0015	0.0015	1	-1.86	-2.4	suctie	1.6	3-49
3	0.003	0.0015	1	-1.32	-2.4	suctie	1.6	5-48
4	0.0015	0.0005	1	-1.86	-2.4	suctie	1.6	7-47
5	0.0015	0.003	1	-1.86	-2.4	suctie	1.6	9-46
6	0.0015	0.0015	0.1	-1.86	-2.4	suctie	1.6	11-45
7	0.0015	0.0015	10	-1.86	-2.4	suctie	1.6	13-44
8	0.0015	0.0015	1	-2.4	-1.86	bezorg	1.6	15-43
9	0.003	0.0015	1	-2.4	-1.32	bezorg	1.6	17-42
10	0.0015	0.0015	1	-1.86	-2.4	suctie	1.8	19-41



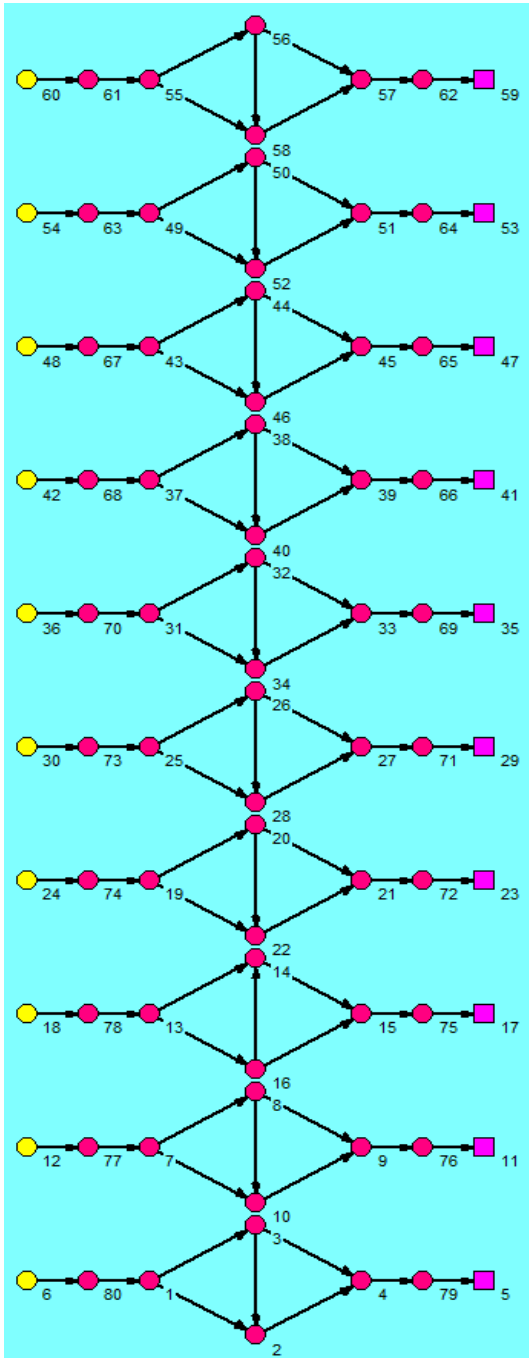
Figuur 31 visuele weergaven van het gemalenmodel dat is opgebouwd in Sobek

Appendix VIII De parameters van het diamantstelsel

In Tabel 14 zijn de gebruikte parameters te zien die zijn gebruikt in het diamantstelsel. Hier is te zien dat er met de eerste drie inspectieputten met injectie een debiet getest is van 0.1 t/m 3 m³/s, daarnaast is er ook een stelsel getest waar de midden leiding is omgekeerd om daar de effecten van te testen. De laatste parameters die zijn getest zijn getest op de rechter leiding getest van de bovenste arm van het stelsel, dat te zien is in Figuur 32. Hierbij is de diameter en de weerstand getest. Voor dit testmodel is er gerekend met een model dat initieel droog stond.

Tabel 14 de gebruikten parameters in het diamant stelsel

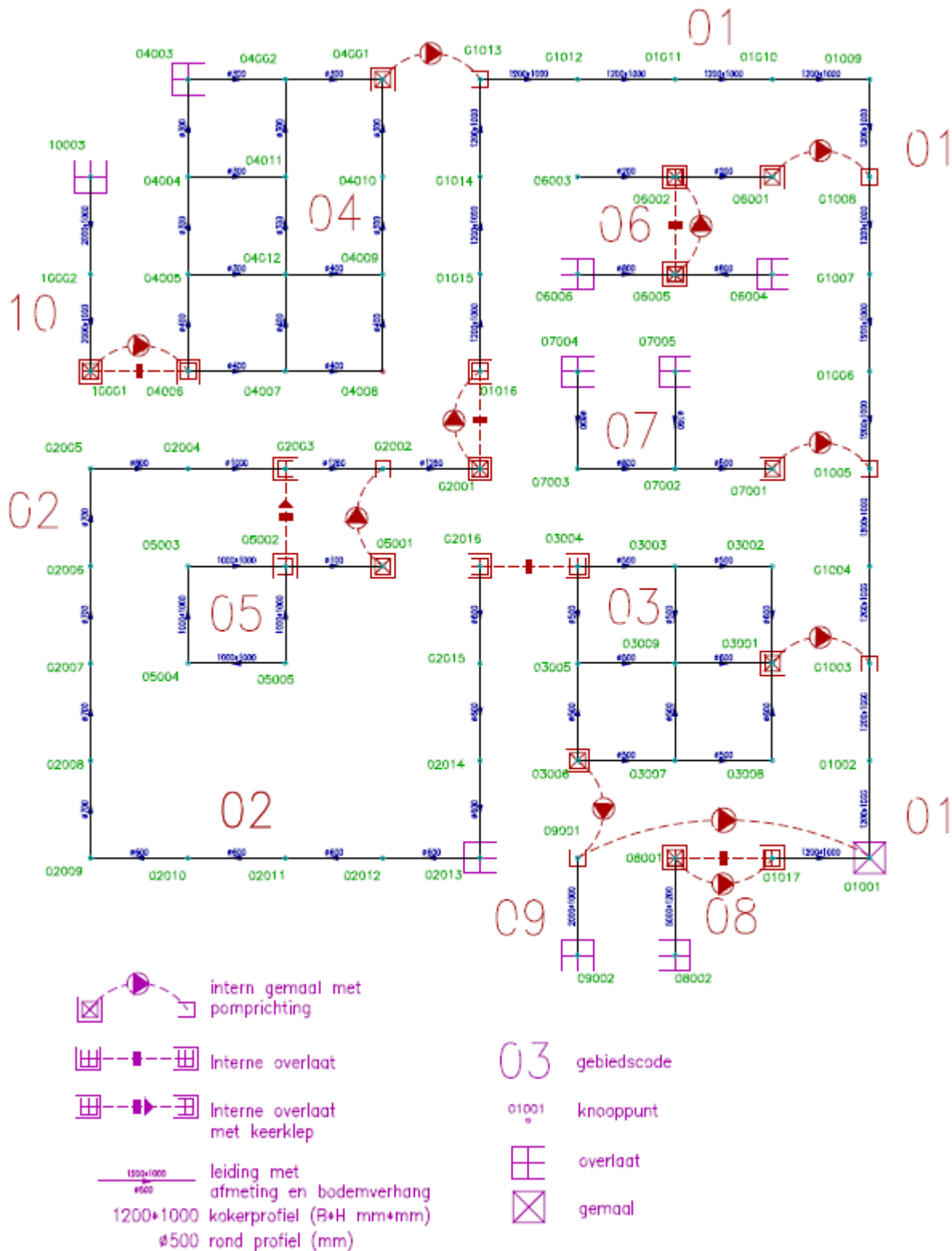
Diamant stelsel nummer	Verbonden putten	Debiet (m ³ /s)	Diameter (mm)	Weerstand (-)	Bijzonderheden
1	6-5	1	1000	0.003	Stelsel met alle basiswaarde
2	12-11	0.1	1000	0.003	
3	18-17	1	1000	0.003	omgekeerde midden leiding
4	24-23	3	1000	0.003	
5	30-29	1	1000	0.003	Rechter leiding van de bovenste arm heeft een diameter van 500 mm
6	36-15	1	1000	0.003	Rechter leiding van de bovenste arm heeft een diameter van 1500 mm
7	42-41	1	1000	0.03	Rechter leiding van de bovenste arm heeft een White-Colebrook weerstand van 0,03
8	48-47	1	1000	0.0003	Rechter leiding van de bovenste arm heeft een White-Colebrook weerstand van 0,0003
9	54-53	1	500	0.003	Alleen de middelste leiding heeft een diameter van 1000 mm
10	60-59	1	1000	0.003	Alleen middelste leiding rond de rest is eivormig



Figuur 32 visualisatie van de tien diamantstelsels in Sobek

Appendix IX Uitgebreide visualisatie van het didactisch stelsel

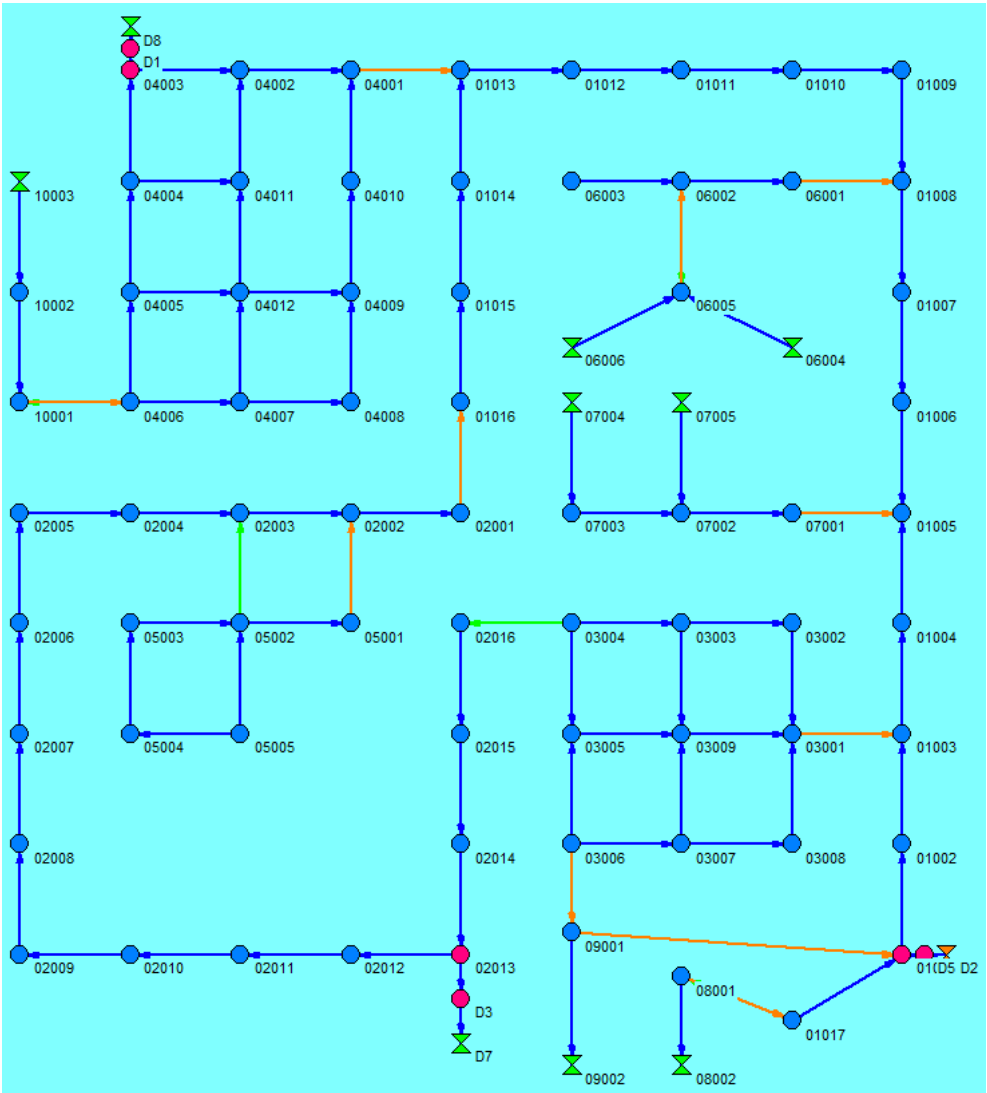
In Figuur 33 is de uitgebreide visualisatie te zien van het didactisch stelsel. Hierin zijn de 10 verschillende substelsels te zien. Daarnaast zijn in Figuur 33 alle putnummers te vinden, leiding diameters en verbonden objecten.



Figuur 33 uitgebreide visualisatie van het didactisch stelsel

Appendix X Visualisatie van het didactisch stelsel in Sobek

Zoals in Figuur 34 te zien is, was het didactisch stelsel bijna hetzelfde opgebouwd zoals beschreven is in de literatuur (RIONED, VROM, & RIZA, 1995). Om het model werkend te krijgen in D-Hydro Urban zijn nog wel aanpassingen gedaan aan het model. Ten eerste zijn een extra paar putten geplaatst voor de overstorten in gebied twee en vier en het gemaal in gebied één. Door deze aanpassingen functioneerde de objecten met minimale invloed op de werking van het model.



Figuur 34 visualisatie van het didactisch stelsel in Sobek

Appendix XI Beschrijving substelsels didactisch stelsel

De tien substelsels van het didactisch stelsel waren als volgt ingedeeld:

- Substelsels 1 kan worden gedefinieerd als een stelsel met een rioolgemaal dat afvloeit naar een Afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) en is samen met substelsel 2 de kern van het didactische stelsel, omdat deze twee stelsels het water van alle andere gebieden afvoeren naar het AWZI. Daarnaast bevat dit stelsel relatief weinig afvoerend oppervlak en een hoge berging.
- Substelsels 2 wordt door middel van onderbemaling leeggepompt naar substelsel 1 en is daarom een stuwgebied van gebied 1. Dit stelsel bevat daarnaast een externe hooggelegen overstort.
- Het hooggelegen substelsel 3 bevat een interne overstort naar gebied 2 en kent twee gemalen in de richting van gebied 1 en 9.
- Substelsel 4 is kenmerkend als laaggelegen vlak gebied met een gemaal naar gebied 1 en twee interne overstorten, met en zonder randvoorziening.
- Het vijfde substelsel bestaat uit een vlak gebied met een peilgeregeld gemaal dat door een te geringe kelderinhoud naar gebied twee pompt. Daarnaast bevat het stelsel nog een interne overstort naar gebied 2.
- Kenmerkend aan gebied 6 is een verbeterd gescheiden stelsel met een gemiddelde DWA belasting van 10 l/s. dit gebied door middel van een gemaal verbonden met gebied 1. Dit gebied is via een gemaal verbonden met gebied 1.
- Gebied 7 is een kunstmatig uitgestrekt industriegebied met twee externe overstorten en een gemiddelde DWA productie van 7 l/s. Eveneens is dit gebied door middel van een gemaal verbonden met gebied 1.
- Gebied 8 is bedoeld als bergbezinkvoorziening voor gebied 1 en staat hierdoor direct in verbinding met dit gebied door middel van een gemaal en overstort.
- Gebied 9 is niet alleen een randvoorziening voor gebied 1 maar ook voor gebied 3 en staat met deze gebieden in verbinding door middel van twee gemalen.
- Het laatste substelsel, gebied 10 is bedoeld als randvoorziening voor gebied 4 en staat hiermee in verbinding door middel van een gemaal en overstort.

Appendix XII Script voor aanmaak van putdebieten

Hieronder het gebruikte Python script om de neerslaggebeurtenis bestanden aan te maken, aan de hand van de gevonden .pol bestanden en putnummers in het uit Sobek verkregen neerslag bestand.

```

1. import glob, os
2. import pandas as pd
3. import tkinter as tk
4. from tkinter import filedialog
5.
6. root = tk.Tk()
7. root.withdraw()
8.
9. file_path = filedialog.askopenfilename(filetypes = (("xlsx File", "*.xlsx"),("All Files", "*
.*")),
10.                                     title = "Choose a file.")
11.     # opent .xls waar debiet data per put staat
12. timdata = pd.read_excel(file_path)
13.     # leest scel bestand in
14. timdata_cols = timdata.columns.tolist()
15.
16. a = file_path.rsplit('/', 1)[0]
17. files_found = []
18. os.chdir(a)
19. for file in glob.glob("*.pol"):
20.     # vindt alle .pol bestanden in werkmap
21.     files_found += [file[:-4]]
22.
23. tijd = timdata[timdata.columns[0]]
24.
25. for location in timdata_cols[1:]:
26.     # loop met alle putten
27.     for file in files_found:
28.         # loop met alle gevonden .pol bestanden
29.         if str(location) in file:
30.             # zoekt op of put een .pol bestand heeft
31.
32.             write_tim = open("{}_0001.tim".format(file), 'w')
33.             # maakt voor gevonden put een .tim bestand aan
34.
35.             timeline = (timdata[location])
36.             for i in range(len(timeline)):
37.                 write_tim.write('{} {} \n'.format(i, timeline[i]))
38.             # minuten, debiet
39.             write_tim.write('999999 0.0 ')
40.
41.             write_tim.close()
42.             print('Wrote {}'.format(file))
43.             break
44.
45. print('#####Finished#####')
```

Appendix XIII Script voor aanmaken van putnamen in output CSV van D-Hydro Urban

Hieronder is het script te vinden dat is gebruikt om putnamen boven de juiste kolommen te zetten in de CSV output van D-Hydro Urban.

```
1. import pandas as pd
2. import os
3. from tkinter import filedialog
4.
5.
6. file_path_csv = filedialog.askopenfilename(filetypes = (("csvFile", "*.csv"), ("All Files", "*.*")),
7.                                           title = "Choose csv file.")
8. file_path_ini = filedialog.askopenfilename(filetypes = (("node File", "*.ini"), ("All Files", "*.*")),
9.                                           title = "Choose a node.ini.")
10.
11. filename_w_ext = os.path.basename(file_path_ini)
12.
13. names = []
14. data = open(filename_w_ext, 'r')
15. lines = data.readlines()
16. data.close()
17.
18. for line in lines:
19.     if line.startswith('id'):
20.         line = line[5:-1]
21.         names.append(line)
22.
23. df = pd.read_csv(file_path_csv, sep=',', header=None, names=names)
24. df.sort_index(axis=1, inplace=True)
25.
26. #print(df.head())
27. cols = list(df.columns.values)
28.
29. new_list = []
30. for elem in cols:
31.     if elem.endswith('M'):
32.         new_list += [elem]
33.         cols.remove(elem)
34.
35. cols += new_list
36. print(cols)
37. df = df[cols]
38. print(df.head())
39. df.to_csv('output.csv', sep=',', index=False)
```

Appendix XIV Script voor het maken van de putgrafieken

```

1. import pandas as pd
2. import tkinter as tk
3. from tkinter import filedialog
4. import matplotlib.pyplot as plt
5. import matplotlib.dates as matdates
6. import matplotlib.backends.backend_pdf
7.
8. root = tk.Tk()
9. root.withdraw()
10. file_path = filedialog.askopenfilename(filetypes = (("xlsx File", "*.xlsx"), ("All Files", "*.*")),
11.                                     title = "Choose a file.")
12. sheets = ['Sobek', 'D-Hydro Urban', 'Sobek_storage', 'fm_30']
13. name_outputpdf = "Didactisch - Bui08 - finaltest.pdf"
14.
15. frames = []
16. for sheet in sheets:
17.     frames += [pd.read_excel(file_path, sheet_name=sheet)]
18. putten = frames[0].drop([frames[0].columns[0]], axis=1)
19. num_putten = list(putten)
20. tijd = frames[0].ix[:,0]
21.
22. minlocator = matdates.MinuteLocator(byminute=[0,20,40,60])
23. majorFmt = matdates.DateFormatter('%H:%M')
24. plt.style.use('ggplot')
25.
26. for i in range(len(num_putten)):
27.     if i%6 == 0:
28.         try:
29.             plt.figure(i)
30.             for j in range(6):
31.                 if not str(putten.columns[i+j]).endswith('_M'):
32.                     print(str(putten.columns[i+j]))
33.                     if not str(putten.columns[i+j]).startswith('tmp'):
34.                         ax = plt.subplot(231+j)
35.                         for frame in frames:
36.                             frame = frame.drop([frame.columns[0]], axis=1)
37.
38.                             ax.plot(tijd, frame.ix[:,i+j])
39.                             ax.set_title('Put: {}'.format(num_putten[i+j]))
40.                             ax.xaxis.set_major_locator(minlocator)
41.                             ax.xaxis.set_major_formatter(majorFmt)
42.                             ax.xaxis.set_ticks_position('bottom')
43.                             ax.yaxis.set_ticks_position('left')
44.                             ax.set_xlabel('Tijd (uur)')
45.                             ax.set_ylabel('Water niveau (m)')
46.
47.
48.                             if j == 0:
49.                                 ax.legend((sheets), fancybox=True, shadow=True, prop={'size': 6
50. }, bbox_to_anchor=(0.20, -0.3))
51.                             plt.setp(ax.xaxis.get_majorticklabels(), rotation=90)
52.                             plt.tight_layout()
53.             except Exception as e:
54.                 print(e)
55. figures = (list(map(plt.figure, plt.get_fignums())))
56. pdf = matplotlib.backends.backend_pdf.PdfPages(name_outputpdf)
57. for fig in figures:
58.     pdf.savefig( fig )
59. pdf.close()

```

Appendix XV Duurzaamheid analyse

Dit subonderzoek is geschreven in opdracht voor Avans, om de duurzaamheid van niet alleen Antea Group te beschrijven maar ook de duurzame kant van dit onderzoek.

Binnen het bedrijf

Antea Group streeft om binnen het bedrijf de “drie P’s”, People Planet en Profit, in balans te houden en is daarom druk bezig om zijn activiteiten te richten op People en Planet, die bovendien op korte- of lange termijn mogelijk bijdragen aan de winst. Dit omdat Antea Group een toonaangevende partner wil zijn bij het ontwikkelen en toepassen van duurzame en integrale oplossingen in onze leefomgeving (Oosten, 2018).

Het duurzaamheidsbeleid van Antea Group is ingericht in vijf pijlers, waarbij voor elke pijler strategieën, doelstellingen en acties zijn geformuleerd (Oosten, 2018):

- **Verantwoordelijkheid nemen** in niet alleen woorden maar ook in daden door duurzaamheid te verankeren in zijn bedrijfsstrategie. Deze strategie houdt in klimaatneutraal zijn en een stevige reducering in energieverbruik. Een voorbeeld van één van de activiteiten die via deze strategie zijn uitgevoerd is het gecertificeerd worden voor de hoogste trede van de CO₂-prestatieladder (Westra, Oosten, Kuipers, & Bosma, 2017);
- **Toonaangevend** zijn door klanten te helpen om klimaat neutraler te worden en/of de leefomgeving duurzaam in te richten. Daarnaast probeert Antea Group in zijn marketing, de duurzame aspecten van zijn activiteiten duidelijker belichten, zijn medewerkers en het bredere publiek betrekken bij duurzaamheid;
- **Partner** zijn door bewust te investeren in duurzame diensten en het verwachten van duurzaamheid van leveranciers. Antea Group wilt evenzo een partner zijn voor hun opdrachtgevers, het onderwijs en de arbeidsmarkt, door zijn kennis op dit gebied te delen en daardoor bij te dragen aan de ontwikkeling van de markt;
- **Ontwikkelen en toepassen van duurzame oplossingen** door samen met zijn klanten continue te zoeken naar duurzame wegen en oplossingen;
- **Trots** is de laatste pijler, omdat zijn medewerkers het kapitaal vormen van Antea Group, ziet Antea Group graag dat zij met trots en plezier hun werk uitvoeren. Antea Group probeert zijn medewerkers hierin te ondersteunen door medewerkers in te zetten op hun kwaliteiten, aandacht te geven aan duurzaamheid in de interne communicatie, door duurzaamheidsinitiatieven te delen met zijn medewerkers en het stimuleren innovatie.

Binnen het project

Bij duurzaamheid wordt vaak gedacht aan groene energie en plantaardige grondstoffen, maar bij de term duurzaamheid hoort evenzeer het inrichten van de omgeving met een lange termijn visie. Zoals al eerder is vermeld neemt de kans op wateroverlast toe door klimaat verandering en stelt het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie het verplicht om stedelijk gebied klimaatbestendig te maken (Kuijken, 2018). Dit project draagt bij aan de ontwikkeling van software dat wateroverlast kan modelleren, wat er voor kan zorgen dat wateroverlast bovendien niet alleen beter voorspelt kan worden maar er ook berekend kan worden welke maatregelen het meest effectief zijn. Door D-Hydro Urban kan mogelijk op een accurate manier worden ingeschat welke maatregelen de meest duurzame uitkomst bieden.

Appendix XVI Putten per probleemgebied voor modellen casus Brielle

Huidige situatie

Bui08

De gebieden met water-op straat en bijbehorende putnummers die in dit model plaats vonden, zijn te vinden in Tabel 15 en gevisualiseerd in Figuur 35.

Tabel 15 overlastgebieden en bijbehorende putnummers voor de huidige situatie doorberekend met Bui08

Overlastgebied	Putnummers
Wellerondom	1000001062, 1000001063
Kaatsbaan	1000001054, 1000001056
Vrouwenhoflaan	1000001313, 1000001315

50 mm bui

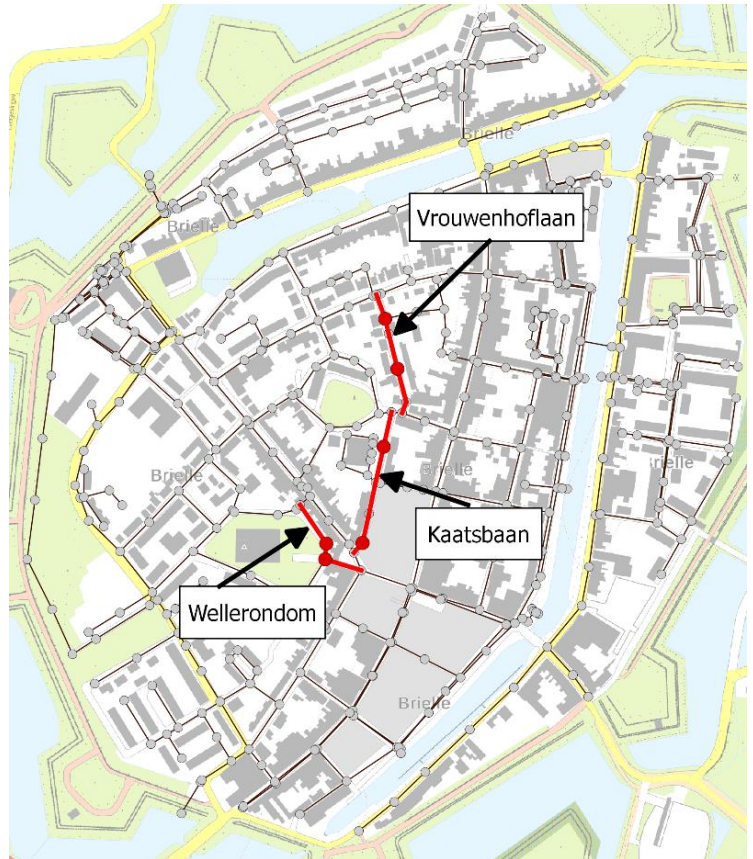
De gebieden met water-op straat en bijbehorende putnummers die in dit model plaats vonden, zijn te vinden in Tabel 16 en gevisualiseerd in Figuur 36.

Tabel 16 overlastgebieden en bijbehorende putnummers voor de huidige situatie doorberekend met de 50 mm bui

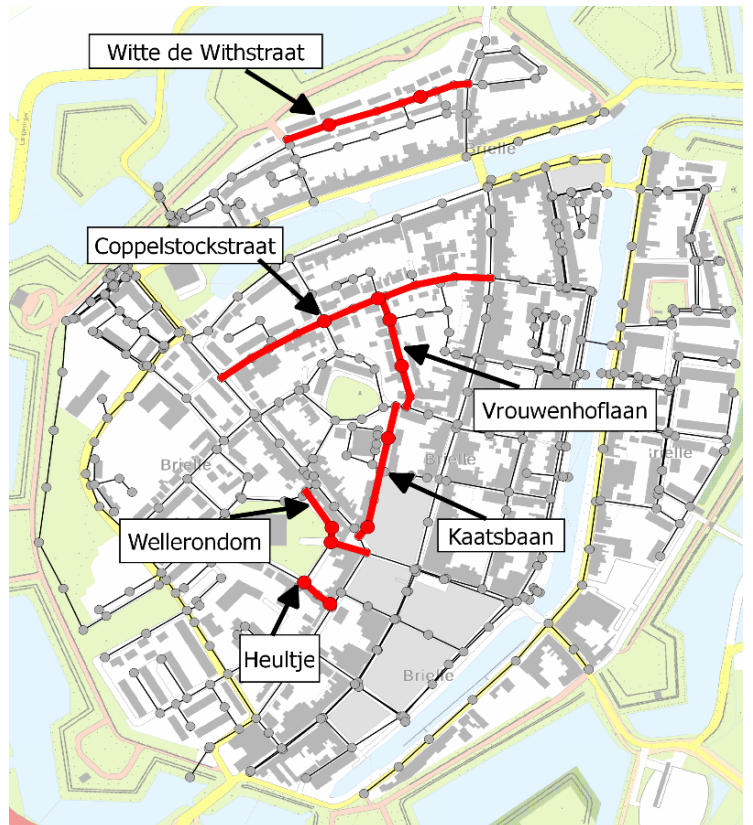
Overlastgebied	Putnummers
Wellerondom	1000001062, 1000001063
Kaatsbaan	1000001054, 1000001056
Vrouwenhoflaan	1000001313, 1000001315
Coppelstockstraat	1000001151, 1000001155
Heultje	1000001061, 1000001326
Witte de Withstraat	1000001183, 1000001259

80 mm bui

Uit het onderzoek in hoofdstuk 2.3 bleek dat de 80 mm bui dezelfde resultaten weergaf als de 50 mm bui, hierdoor werd in dit onderzoek ook aangenomen dat in dit model de in Tabel 16 weergegeven gebieden, last hadden van ernstig water-op straat.



Figuur 35 de locaties binnen de Vesting Brielle die te maken hadden met ernstig water op straat tijdens Bui08



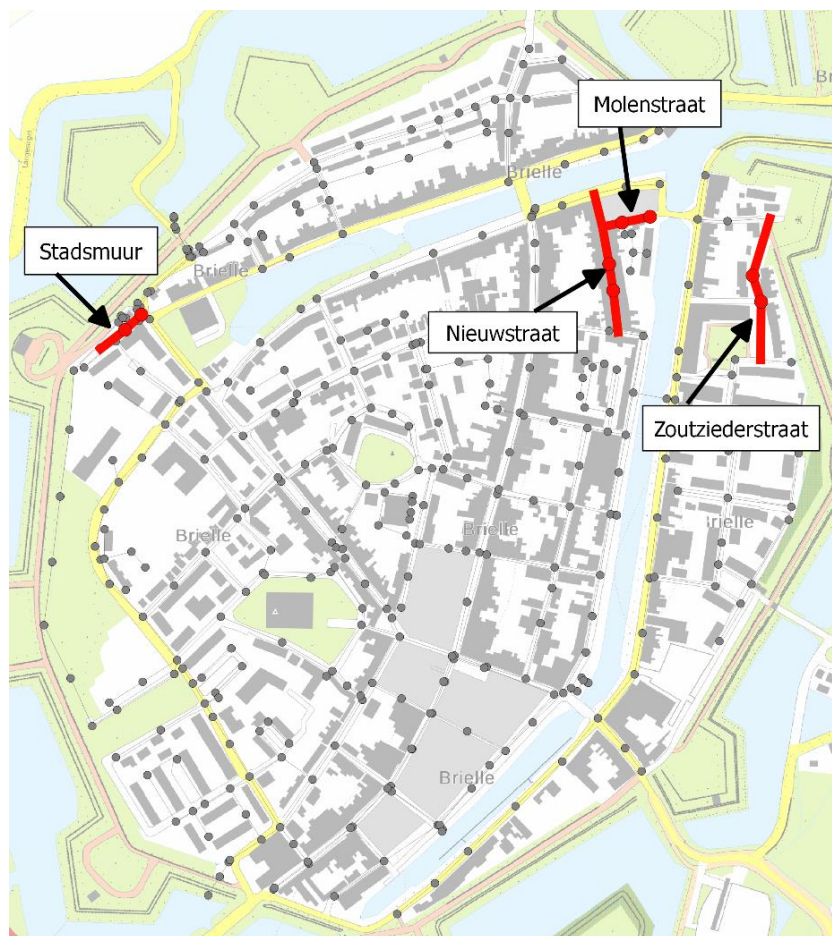
Figuur 36 de locaties binnen de Vesting Brielle die te maken hadden met ernstig water op straat tijdens de 50 en 80 mm bui

Situatie voor 2010

Voor de situatie voor 2010 was vooral gekeken naar de locaties waar afkoppingsmaatregelen zijn genomen. De putten in Tabel 17, bevonden zich in de locaties waar afkoppeling van het gemengd riool plaatsvond, zoals te zien is in Figuur 37 en waren geanalyseerd voor alle drie de neerslaggebeurtenissen in de situatie voor 2010.

Tabel 17 gebieden waarin is afgekoppeld en bijbehorende putnummers

Afgekoppeld gebied	Putnummers
Stadsmuur	1000001531, 1000001716
Molenstraat	1000001292, 1000001293
Nieuwstraat	1000001130, 1000001131
Zoutziederstraat	1000001291, 1000001350



Figuur 37 de locaties waar daken zijn afgekoppeld van het gemengd riool

Appendix XVII Script voor de GUI van de conversie software

```

1.  from tkinter import Tk, Label, Button, filedialog, Entry, Radiobutton, StringVar, IntVar, ttk
2.  import xlwt
3.  import xlrd
4.  import sys, os
5.  import StartGWSW, StartFM
6.  import glob
7.
8.  class Converter:
9.      def __init__(self, master):
10.         self.master = master
11.         master.title("Converter")
12.         master.geometry('1000x400')
13.
14.         self.paths = {}
15.
16.         self.v = IntVar()
17.         self.v.set(0)
18.
19.         self.content = StringVar()
20.         self.content.set("combined")
21.
22.         self.widgets(master)
23.
24.         def widgets(self, master):
25.             '''loads widgets on frame'''
26.
27.             self.HYD2GWSW(master)
28.
29.             ttk.Separator(master, orient="vertical").grid(row=0, column=3, rowspan=7, sticky='nw
se')
30.
31.             self.GWSW2FM(master)
32.
33.             ttk.Separator(master, orient="vertical").grid(row=0, column=6, rowspan=7, sticky='nw
se')
34.
35.             self.pli_combinder(master)
36.
37.             self.close_button = Button(master, text="Close", command=master.quit)
38.             self.close_button.grid(row=12, column =0, columnspan = 9, sticky='nwse' )
39.
40.             def GWSW2FM(self, master):
41.                 '''loads widgets related to GWSW to FM'''
42.                 self.label = Label(master, text="GWSW to FM")
43.                 self.label.grid(row=0, column =3 , columnspan=3 ,sticky='nwse')
44.
45.                 self.path_label = Label(master, text='No work directory selected.' )
46.                 self.path_label.grid(row=1, column =4, columnspan=2, sticky='nwse')
47.
48.                 self.path_button = Button(master, text="Select work directory", command= lambda: sel
f.open_d('work_dir', self.path_label))
49.                 self.path_button.grid(row=1, column =3, sticky='nwse')
50.
51.                 self.inp_dir_gsw_label = Label(master, text='No directory selected.' )
52.                 self.inp_dir_gsw_label.grid(row=2, column =4 , columnspan=2, sticky='nwse' )
53.
54.                 self.inp_dir_gsw_button = Button(master, text="Open input directory", command= lamb
da: self.open_d('inp_dir_gsw', self.inp_dir_gsw_label))
55.                 self.inp_dir_gsw_button.grid(row=2, column =3 , sticky='nwse')
56.
57.                 self.outp_dir_gsw_label = Label(master, text='No directory selected.' )
58.                 self.outp_dir_gsw_label.grid(row=3, column =4 , columnspan=2, sticky='nwse' )
59.
60.                 self.outp_dir_gsw_button = Button(master, text="Open output directory", command= la
mbda: self.open_d('outp_dir_gsw', self.outp_dir_gsw_label))
61.                 self.outp_dir_gsw_button.grid(row=3, column =3, sticky='nwse' )

```

```

62.
63.         self.convert_gsw_button = Button(master, text="Convert to FM", command= self.conver
t_gsw)
64.         self.convert_gsw_button.grid(row=5, column =3, columnspan= 3, sticky='nwse')
65.
66.         def HYD2GWSW(self, master):
67.             '''loads widgets related to HYD to GWSW'''
68.             self.label = Label(master, text="HYD to GWSW")
69.             self.label.grid(row=0, column =0 , columnspan=3, sticky='nwse')
70.
71.             self.inp_hyd_label = Label(master, text='No file selected.' )
72.             self.inp_hyd_label.grid(row=1, column =1 , columnspan=2, sticky='nwse')
73.
74.             self.inp_hyd_button = Button(master, text="Choose .hyd file", command= lambda: self.
open_f('inp_hyd', self.inp_hyd_label, [( 'HYD File' , '*.hyd')]))
75.             self.inp_hyd_button.grid(row=1, column =0, sticky='nwse')
76.
77.             self.xls_path_label = Label(master, text='No excel file selected.' )
78.             self.xls_path_label.grid(row=2, column =1 , columnspan=2, sticky='nwse')
79.
80.             self.xls_path_button = Button(master, text="Open paths file", command= lambda: self.
open_f('excel', self.xls_path_label, [( 'Microsoft Excel 97-2003-werkblad' , '*.xls')]))
81.             self.xls_path_button.grid(row=2, column =0 , sticky='nwse')
82.
83.             self.inp_dir_label = Label(master, text='No directory selected.' )
84.             self.inp_dir_label.grid(row=3, column =1 , columnspan=2, sticky='nwse' )
85.
86.             self.inp_dir_button = Button(master, text="Open input directory", command= lambda: s
elf.open_d('inp_dir', self.inp_dir_label))
87.             self.inp_dir_button.grid(row=3, column =0 , sticky='nwse')
88.
89.             self.outp_dir_label = Label(master, text='No directory selected.' )
90.             self.outp_dir_label.grid(row=4, column =1 , columnspan=2, sticky='nwse' )
91.
92.             self.outp_dir_button = Button(master, text="Open output directory", command= lambda:
self.open_d('outp_dir', self.outp_dir_label))
93.             self.outp_dir_button.grid(row=4, column =0, sticky='nwse' )
94.
95.             self.convert_button = Button(master, text="Convert to GWSW", command= self.convert_h
yd)
96.             self.convert_button.grid(row=5, column =0 , columnspan= 3, sticky='nwse')
97.
98.             def pli_combinder(self, master):
99.                 '''loads widgets related to combining pli/pol files'''
100.                 self.label_pli = Label(master, text="Combine all pli/pol files")
101.                 self.label_pli.grid(row=0, column =6 , columnspan=3, sticky='nwse')
102.
103.                 self.inp_dir_button_pli = Button(master, text="Open work directory", command= lambda
: self.open_d('pli_path', self.inp_dir_label_pli))
104.                 self.inp_dir_button_pli.grid(row=1, column =6 , sticky='nwse')
105.
106.                 self.inp_dir_label_pli = Label(master, text='No directory selected.' )
107.                 self.inp_dir_label_pli.grid(row=1, column =7 , columnspan=2, sticky='nwse' )
108.
109.                 self.name_label = Label(master, text='Fill in new file name: ' )
110.                 self.name_label.grid(row=2, column =6 , columnspan=2, sticky='nw' )
111.
112.                 self.en = Entry(master, textvariable=self.content)
113.                 self.en.grid(row=2, column =7 , columnspan=2, sticky='nwse' )
114.
115.                 self.convert_button = Button(master, text="Combine all pli files", command= self.com
bine)
116.                 self.convert_button.grid(row=5, column =6 , columnspan= 3, sticky='nwse')
117.
118.                 for text, mode in [(".pli", 0), (".pol", 1)]:
119.                     self.radio = Radiobutton(master, text=text,
120.                                             variable=self.v, value=mode)
121.                     self.radio.grid(row=3, column =6+mode, sticky='nwse')
122.

```



```

123.     def combine(self):
124.         '''Combines all .pli files'''
125.         if self.v.get() == 1:
126.             file_format = 'pol'
127.         else:
128.             file_format = 'pli'
129.
130.         df_out_filename = '{}\{}.{}'.format(self.paths['pli_path'], self.content.get(), file
_format)
131.         read_files = glob.glob('{}\*.{}'.format(self.paths['pli_path'] + '*.{', file_fo
rmat))
132.
133.         with open(df_out_filename, 'w') as fout:
134.             for f in read_files:
135.                 with open(f, "r") as infile:
136.                     fout.write(infile.read())
137.                     fout.write('\n')
138.         print('Combined!')
139.
140.     def open_f(self, file_type, lbl_name, type):
141.         '''Writes filename to the self.path dictionary'''
142.         file_selected = filedialog.askopenfilename(filetypes=type)
143.         self.paths[file_type] = file_selected
144.         lbl_name.config(text=file_selected)
145.
146.     def open_d(self, dir_type, lbl_name):
147.         '''Writes path of directory to the self.path dictionary'''
148.         folder_selected = filedialog.askdirectory()
149.         self.paths[dir_type] = folder_selected
150.         lbl_name.config(text=folder_selected)
151.
152.     def convert_hyd(self):
153.         '''starts the converting hyd procedure'''
154.         if None in (self.paths['inp_hyd'], self.paths['inp_dir'], self.paths['outp_dir']):
155.             return 'empty list'
156.         print('Converting...')
157.
158.         path_path = self.paths['excel']
159.
160.         workbook = xlrd.open_workbook(path_path)
161.         sheet = workbook.sheet_by_index(0)
162.
163.         keys = [sheet.cell_value(row, 0) for row in range(sheet.nrows)]
164.         values = [sheet.cell_value(row, 1) for row in range(sheet.nrows)]
165.         excel_dic = dict(zip(keys, values))
166.
167.         excel_dic['Name'] = 'Location'
168.         excel_dic['Input'] = (self.paths['inp_dir']+'/'').replace('/', '\\')
169.         excel_dic['Result'] = (self.paths['outp_dir']+'/'').replace('/', '\\')
170.         excel_dic['Hyd_path'] = (self.paths['inp_hyd']).replace('/', '\\')
171.
172.         workbook = xlwt.Workbook()
173.         sheet = workbook.add_sheet('test')
174.
175.         for i in range(len(keys)):
176.             sheet.write(i, 0, keys[i])
177.             sheet.write(i, 1, excel_dic[keys[i]])
178.
179.         workbook.save(path_path)
180.
181.         StartGWSW.H2G(self.paths['excel'])
182.
183.     def convert_gsw(self):
184.         '''starts the converting GWSW procedure'''
185.         self.paths['outp_dir_gsw'] = os.path.split(self.paths['outp_dir_gsw'])[1]
186.         print("Starting!")
187.         StartFM.Runner(self.paths['work_dir'], self.paths['inp_dir_gsw'], self.paths['outp
_dir_gsw'])
188.

```

```
189.     if __name__ == "__main__":  
190.         root = Tk()  
191.         my_gui = Converter(root)  
192.         root.mainloop()
```

Appendix XVIII Resultaten diamant stelsel per put

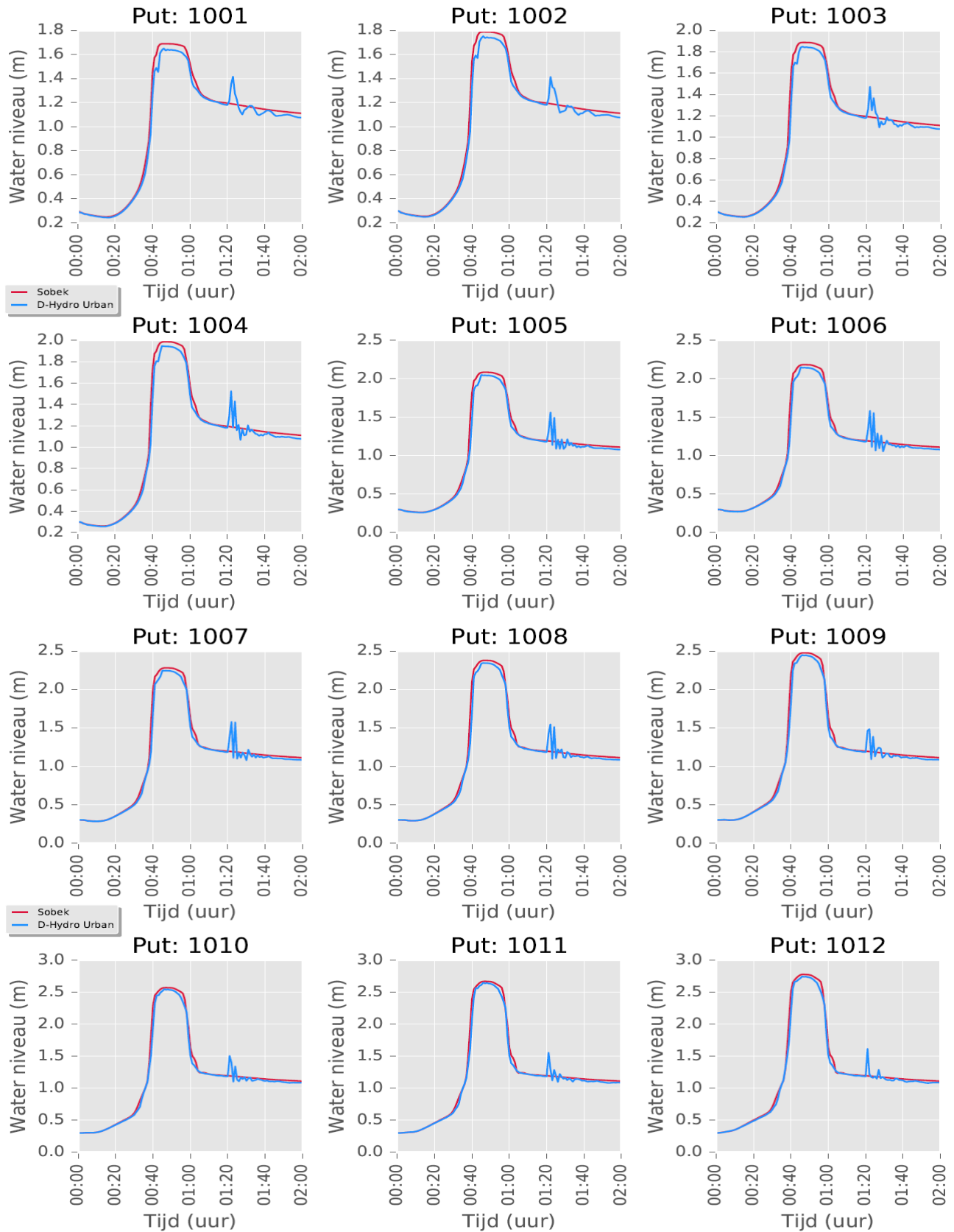
In Tabel 18 zijn de resultaten per put en diamantstelsel nummer weergegeven met daarnaast het maximale waterniveau per rekenmethode. De laatste twee kolommen laten de absolute fout zien tussen de twee software modellen en de analytische oplossing.

Tabel 18 gevonden waterniveaus per put voor alle drie de rekenmethodes plus de absolute fouten hierover, waarbij EAFM staat voor de absolute fout tussen D-Hydro Urban en de analytische oplossing en staat EAS voor absolute fout tussen Sobek en de analytische oplossing.

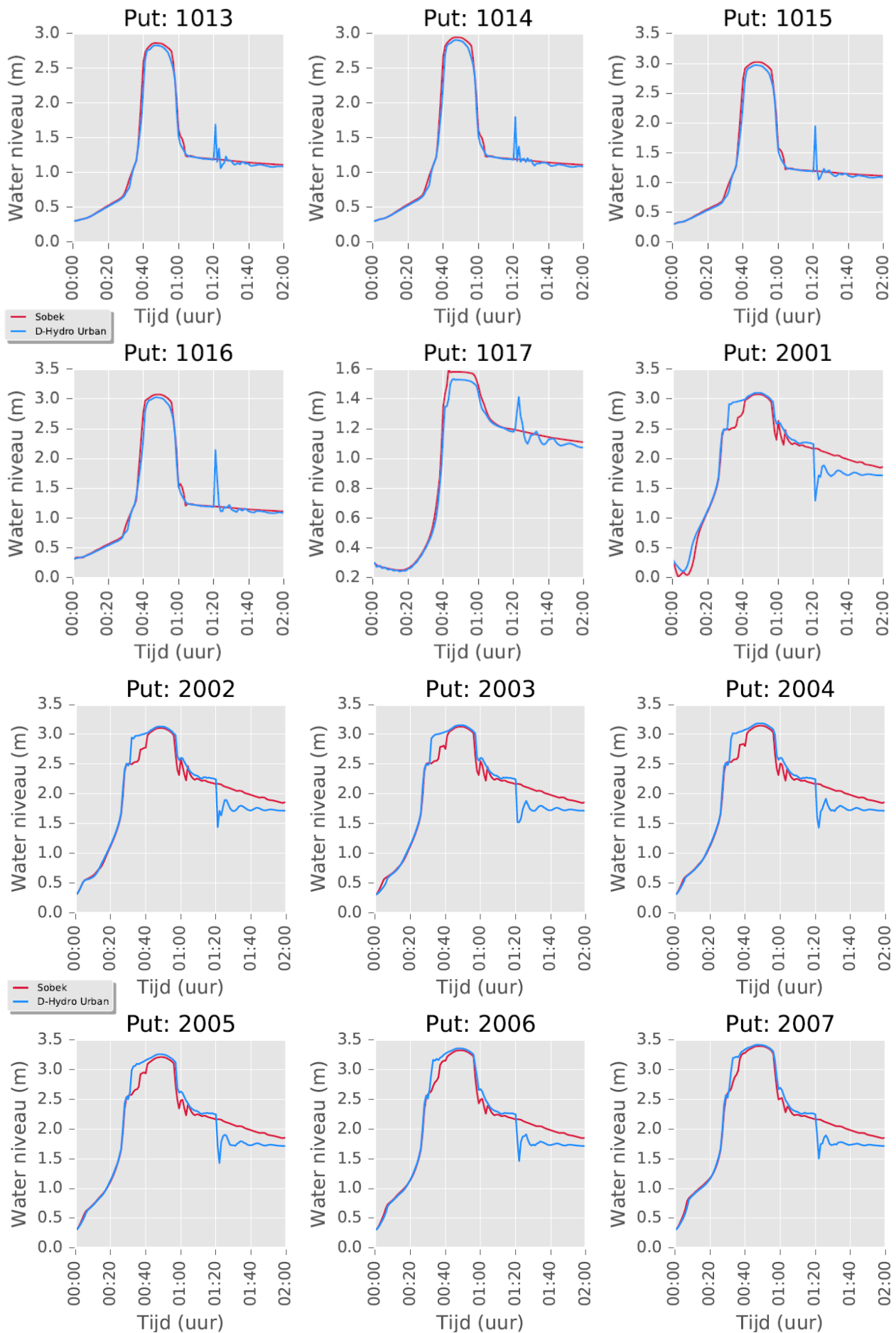
Stelselnummer	Putnummer	Analytische oplossing (m)	Sobek (m)	D-HYDRO URBAN (m)	EAFM	EAS
1	5	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	79	1.056	1.056	1.056	0.000	0.000
	3	1.111	1.111	1.111	0.000	0.000
	2	1.139	1.139	1.139	0.000	0.000
	4	1.139	1.139	1.139	0.000	0.000
2	11	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	76	1.001	1.001	1.001	0.000	0.000
	9	1.001	1.001	1.001	0.000	0.000
	8	1.001	1.001	1.001	0.001	0.000
	10	1.001	1.001	1.001	0.000	0.000
3	17	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	75	1.056	1.056	1.056	0.000	0.000
	15	1.111	1.111	1.111	0.000	0.000
	14	1.139	1.139	1.139	0.000	0.000
	16	1.139	1.139	1.139	0.000	0.000
4	23	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	72	1.500	1.500	1.501	0.001	0.000
	21	2.001	2.000	2.002	0.001	0.001
	20	2.251	2.250	2.252	0.001	0.001
	22	2.251	2.250	2.252	0.001	0.001
5	29	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	71	1.056	1.056	1.056	0.000	0.000
	27	1.111	1.111	1.111	0.000	0.000
	26	1.204	1.203	1.203	0.001	0.001
	28	1.192	1.192	1.193	0.001	0.000
6	35	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	69	1.056	1.056	1.056	0.000	0.000
	33	1.111	1.111	1.111	0.000	0.000
	32	1.117	1.119	1.119	0.002	0.001
	34	1.122	1.122	1.122	0.000	0.000
7	41	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	66	1.056	1.056	1.056	0.000	0.000
	39	1.111	1.111	1.111	0.000	0.000
	38	1.152	1.152	1.152	0.000	0.000
	40	1.151	1.151	1.151	0.000	0.000
8	47	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	65	1.056	1.056	1.056	0.000	0.000
	45	1.111	1.111	1.111	0.000	0.000
	44	1.1314	1.131	1.132	0.001	0.000
	46	1.1318	1.132	1.132	0.000	0.000
9	53	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
	64	3.198	3.190	3.199	0.001	0.008
	51	5.396	5.368	5.397	0.001	0.028
	50	6.495	6.455	6.496	0.001	0.040
	52	6.495	6.455	6.496	0.001	0.040
10	59	2.000	2.000	2.000	0.000	0.000
	62	2.021	2.051	2.039	0.018	0.029
	57	2.043	2.085	2.061	0.018	0.042
	56	2.054	2.101	2.071	0.017	0.048
	58	2.054	2.101	2.071	0.017	0.048

Appendix XIX Validatie Bui08 op het didactisch stelsel

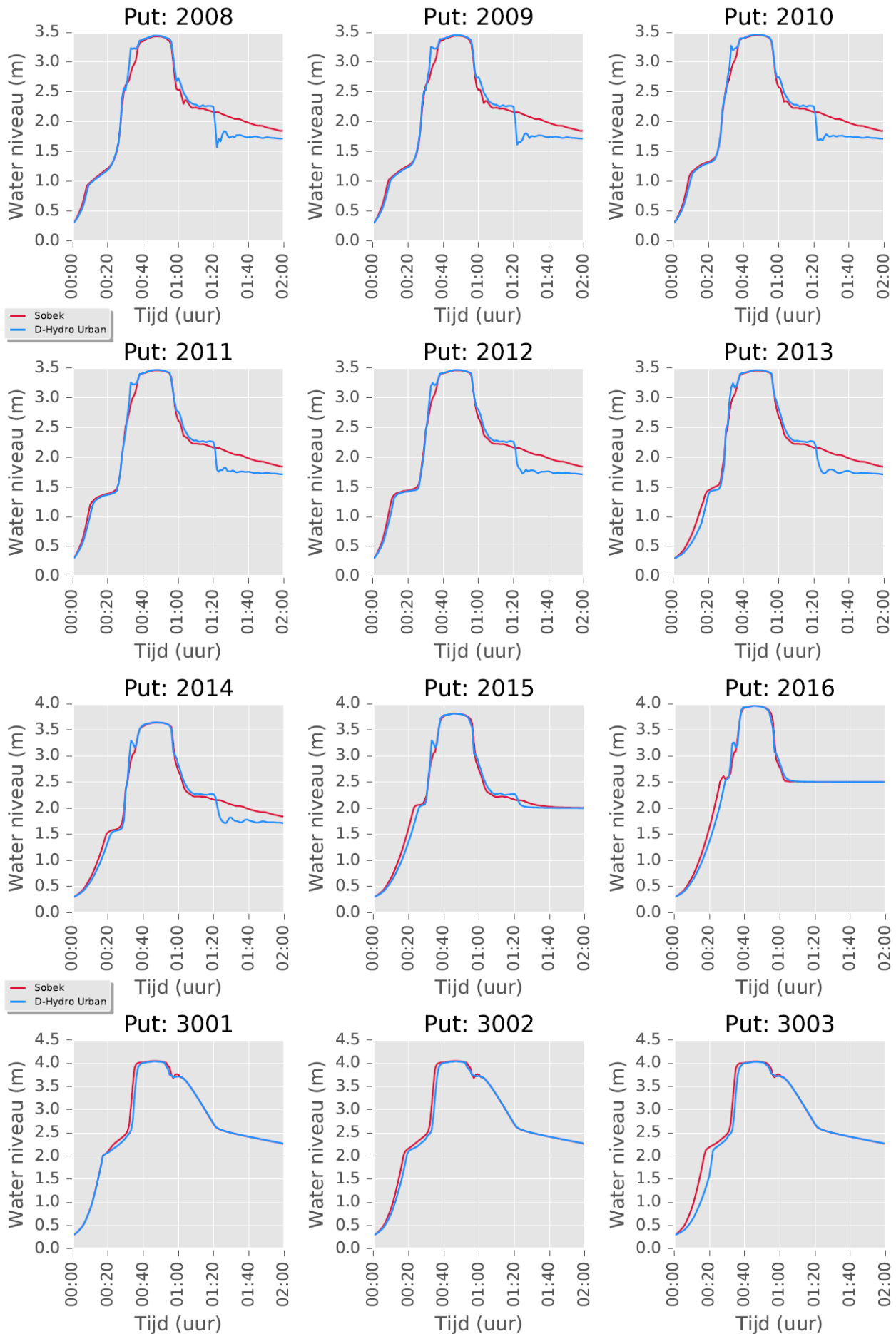
In deze appendix zijn alle waterniveaus van de putten in het didactisch stelsel te vinden, berekend over een tijdreeks van 2 uur met bui 08.



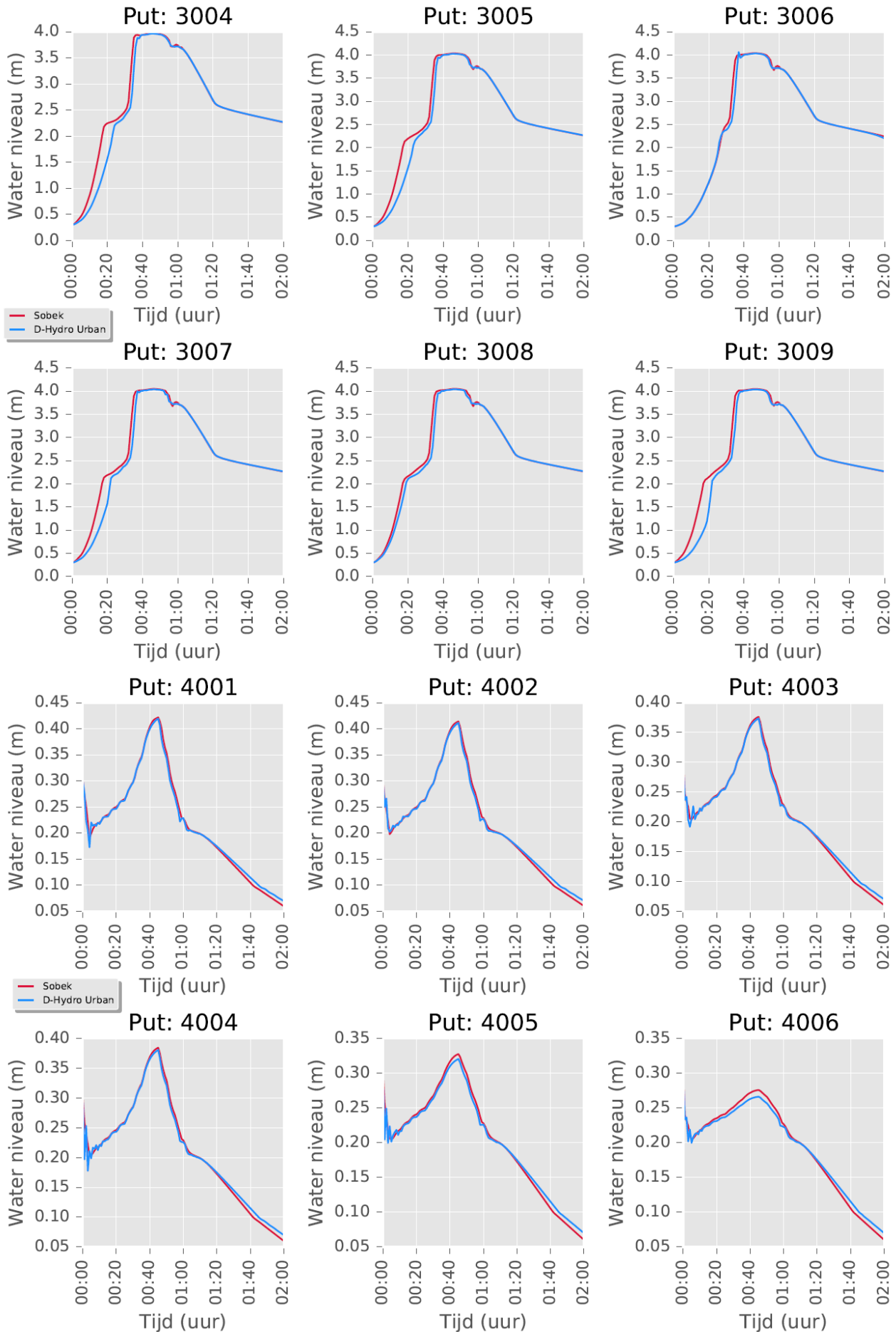
Figuur 38 put 1001 t/m 1012 van het didactisch stelsel



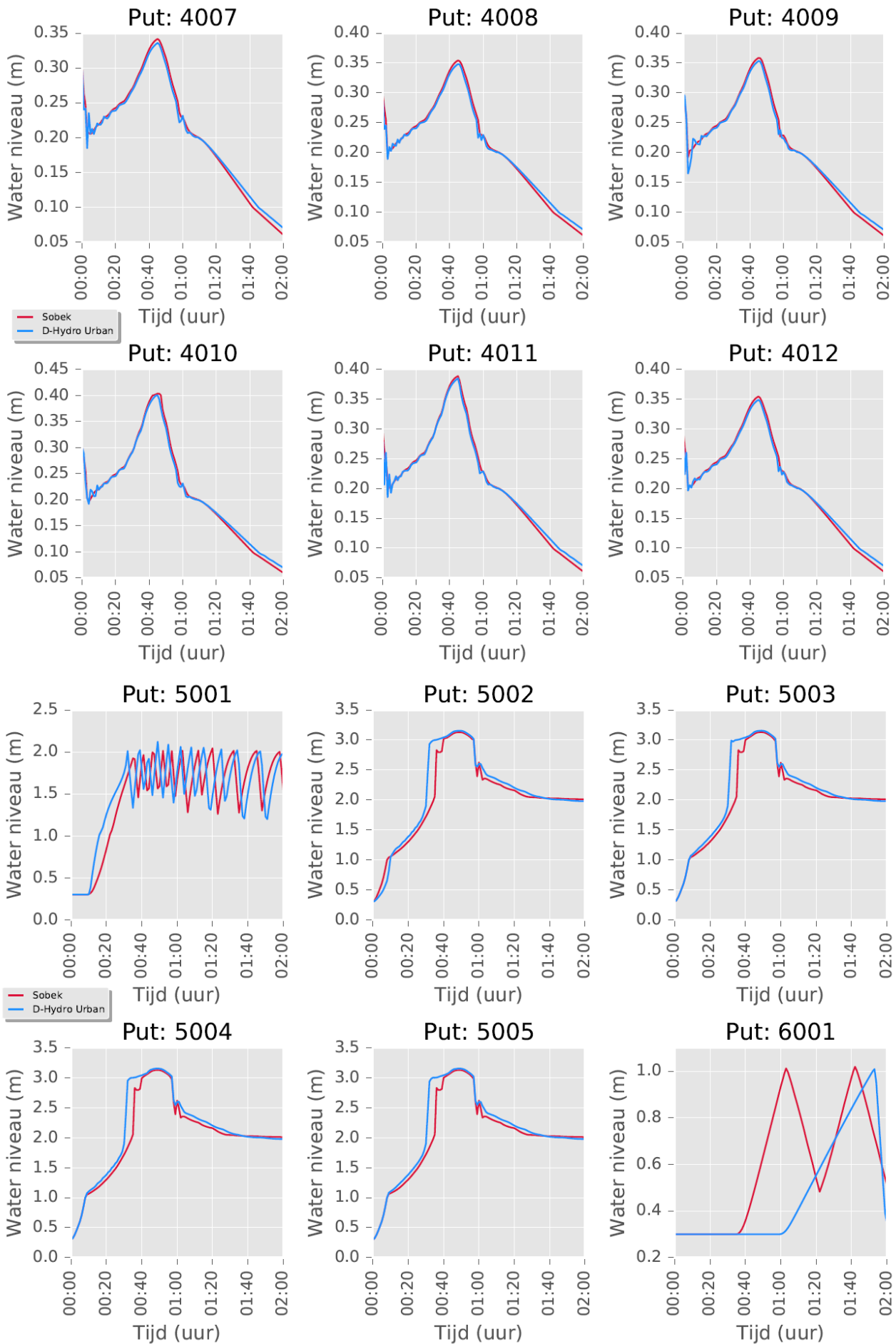
Figuur 39 put 1013 t/m 2007 van het didactisch stelsel



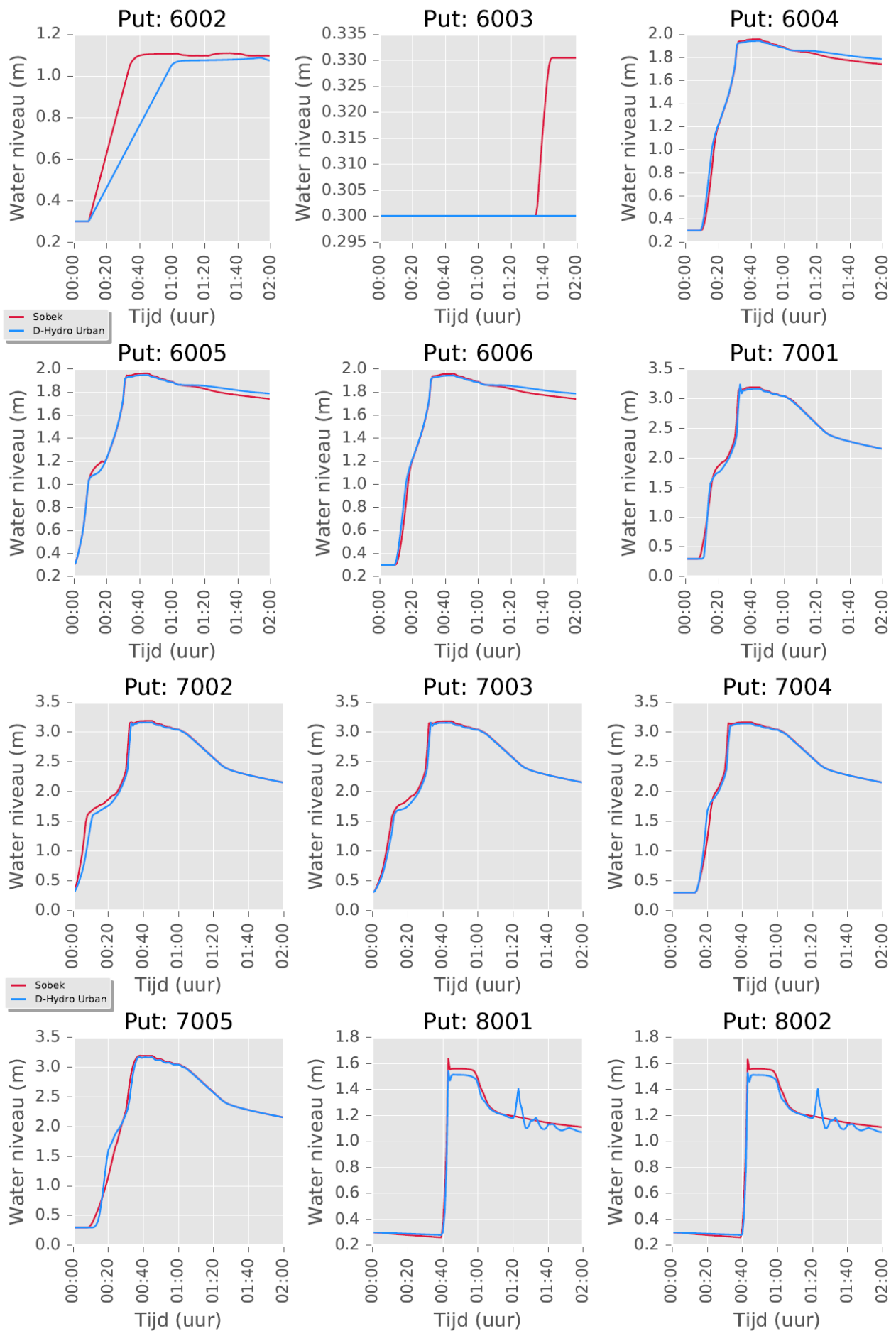
Figuur 40 put 2008 t/m 3003 van het didactisch stelsel



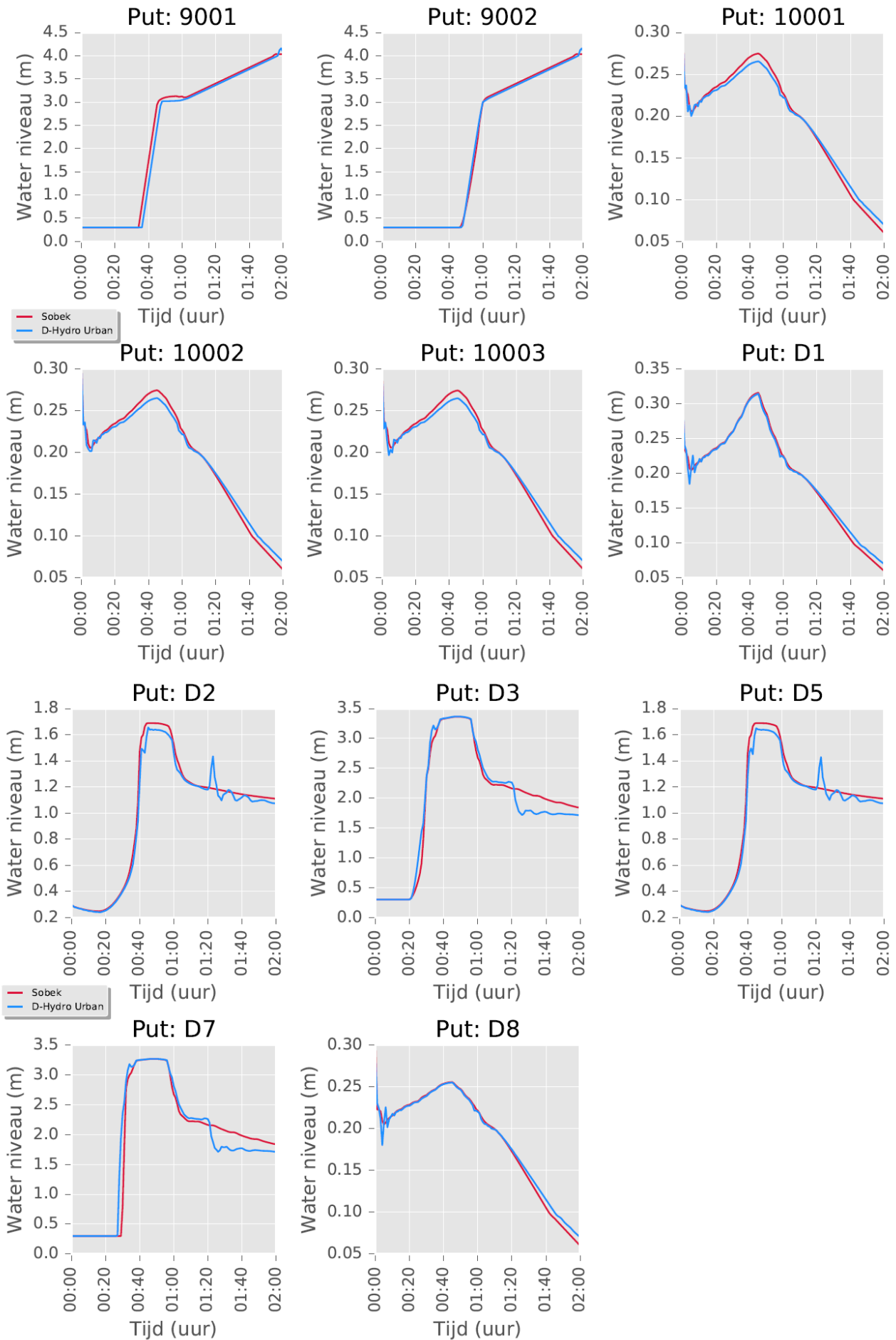
Figuur 42 put 3004 t/m 4006 van het didactisch stelsel



Figuur 43 put 4007 t/m 6001 van het didactisch stelsel



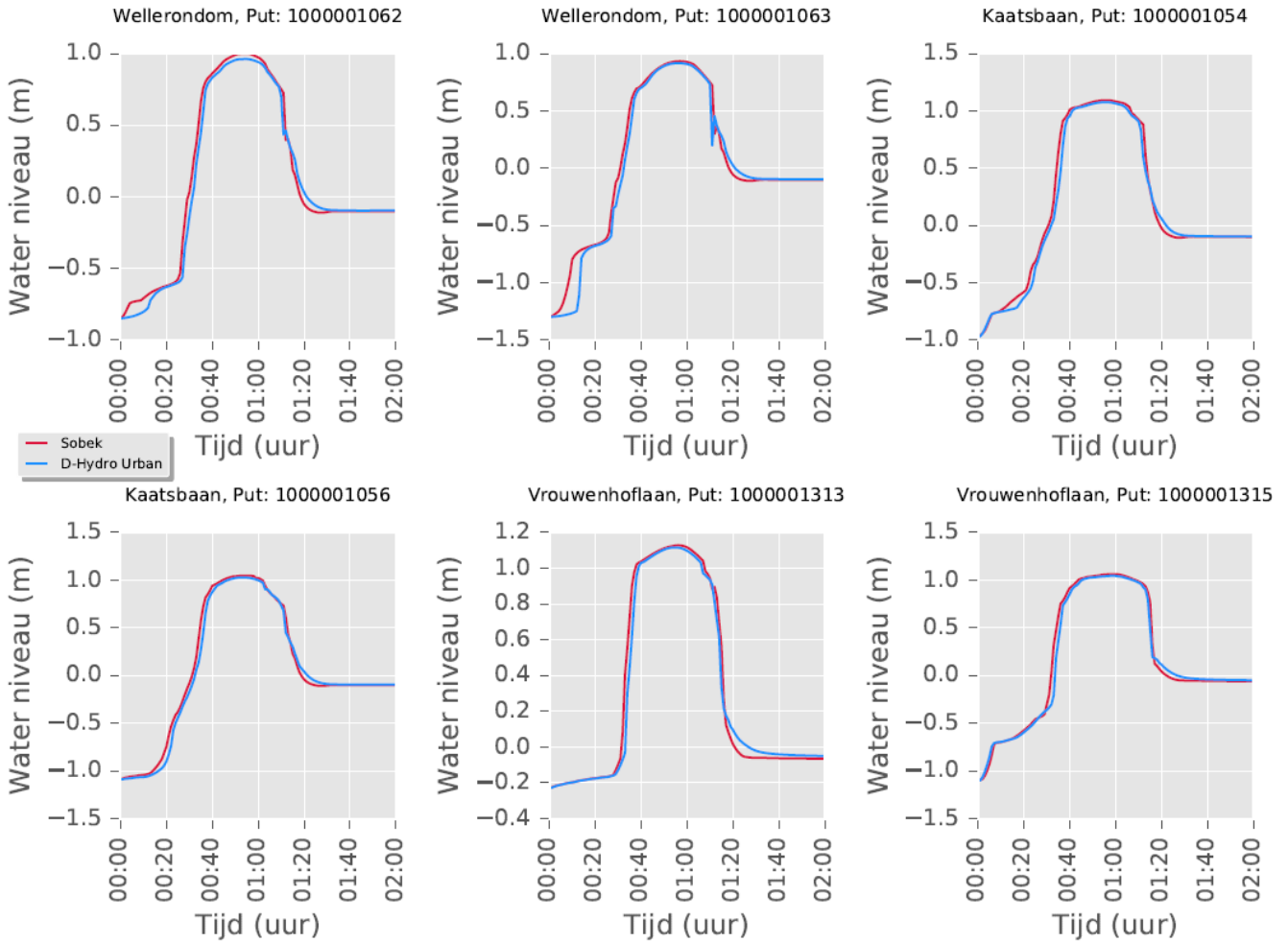
Figuur 44 put 6002 t/m 8002 van het didactisch stelsel



Figuur 45 put 9001 t/m D8 van het didactisch stelsel

Appendix XX Vergelijking resultaten van Bui08 op de casus Brielle in de huidige situatie tussen D-Hydro Urban en Sobek

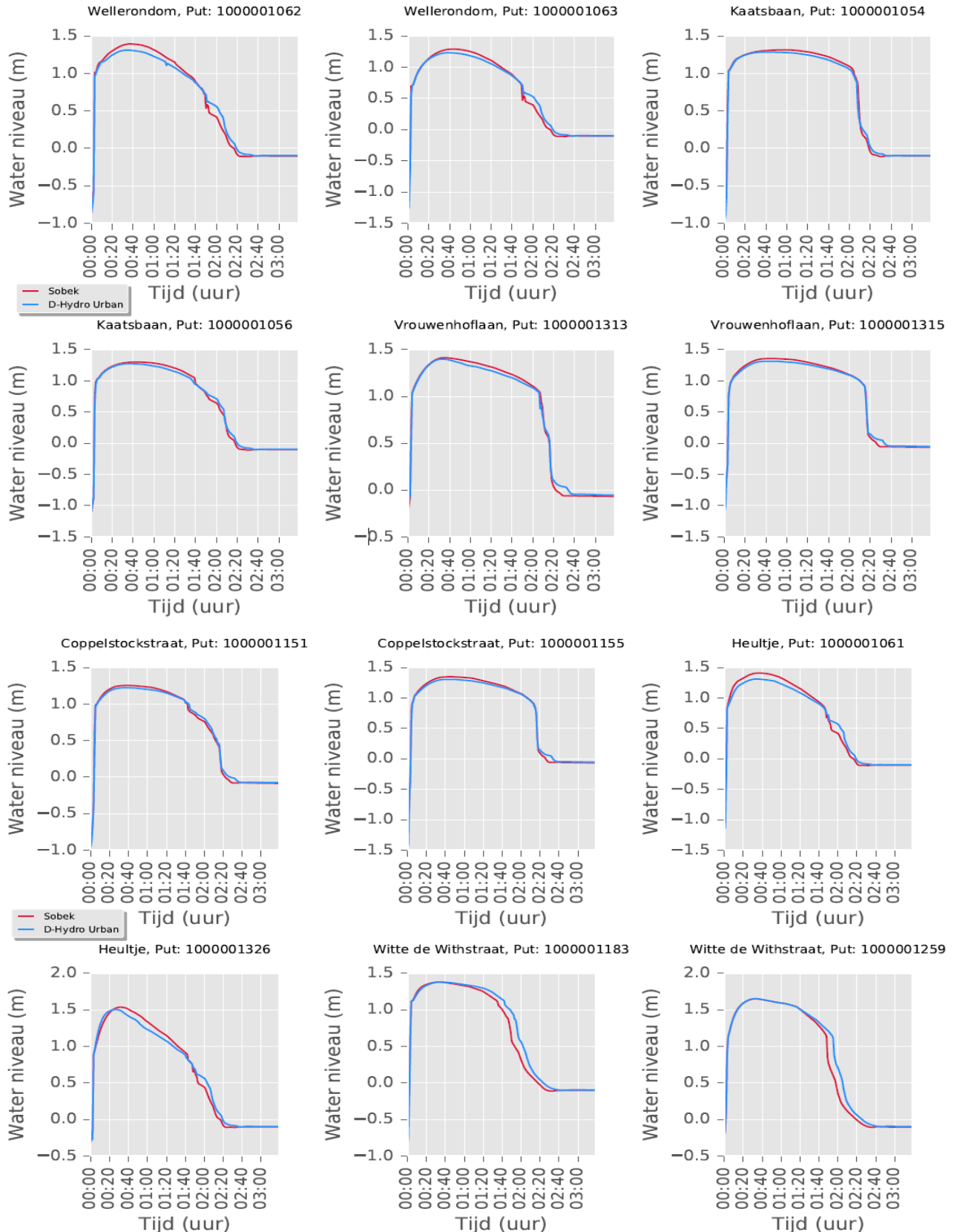
In Figuur 46 zijn de verschillen in waterniveau te zien tussen D-Hydro Urban en Sobek in de putten waarvan bekend was dat ze met water-op straat situaties te maken hebben. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met de Vesting Brielle in de huidige situatie en is berekend met Bui08.



Figuur 46 de verschillen in waterniveau tussen D-Hydro Urban en Sobek op de casus Brielle in de huidige situatie die berekend is met Bui08

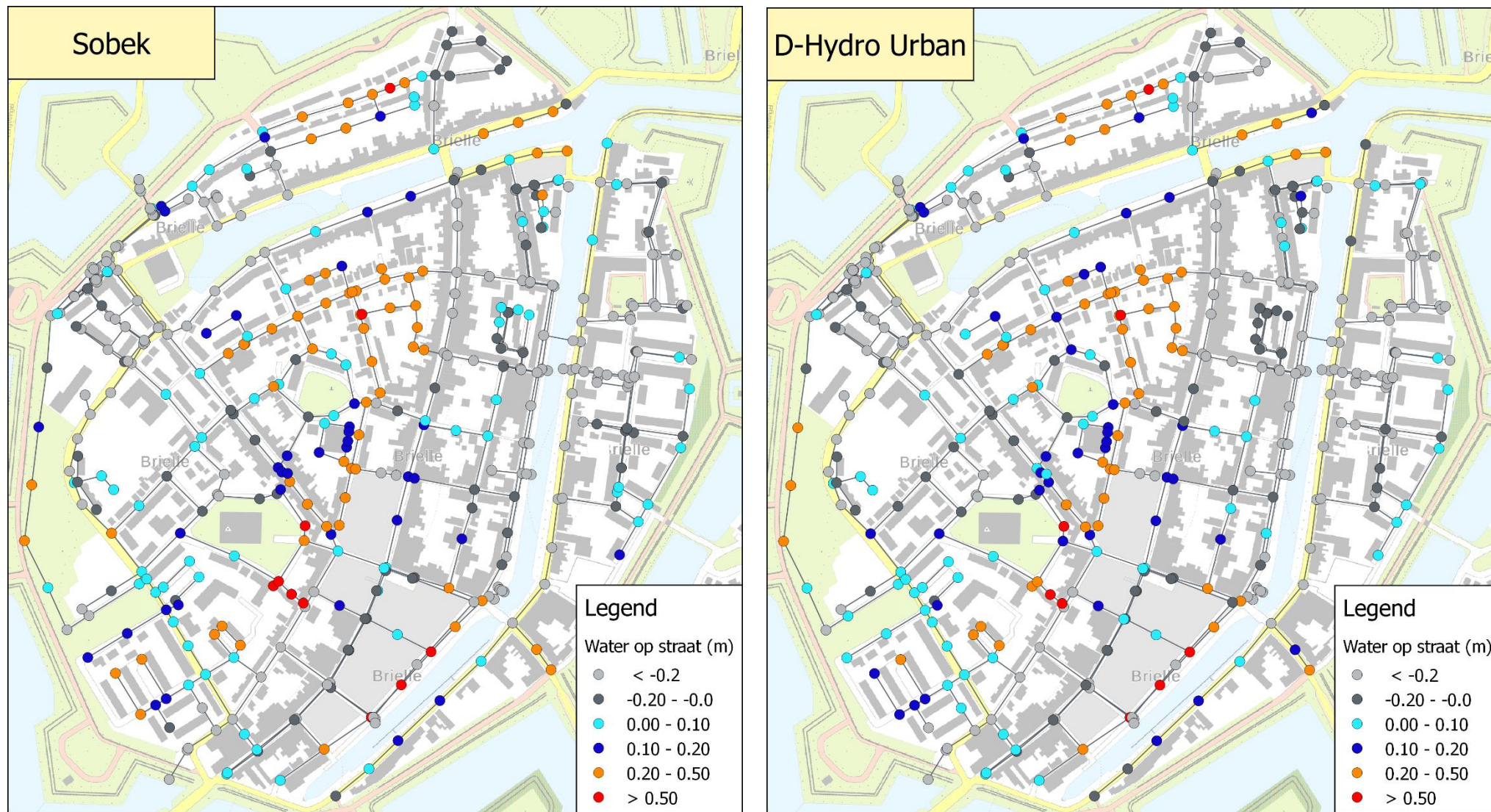
Appendix XXI Vergelijking resultaten van de 50 mm bui op de casus Brielle in de huidige situatie tussen D-Hydro Urban en Sobek

In Figuur 47 zijn de verschillen in waterniveau te zien tussen D-Hydro Urban en Sobek in de putten waarvan bekend was dat ze met water-op straat situaties te maken hebben. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met de Vesting Brielle in de huidige situatie met de 50 mm bui.



Figuur 47 de verschillen in waterniveau tussen D-Hydro Urban en Sobek op de casus Brielle in de huidige situatie die berekend is met de 50 mm bui

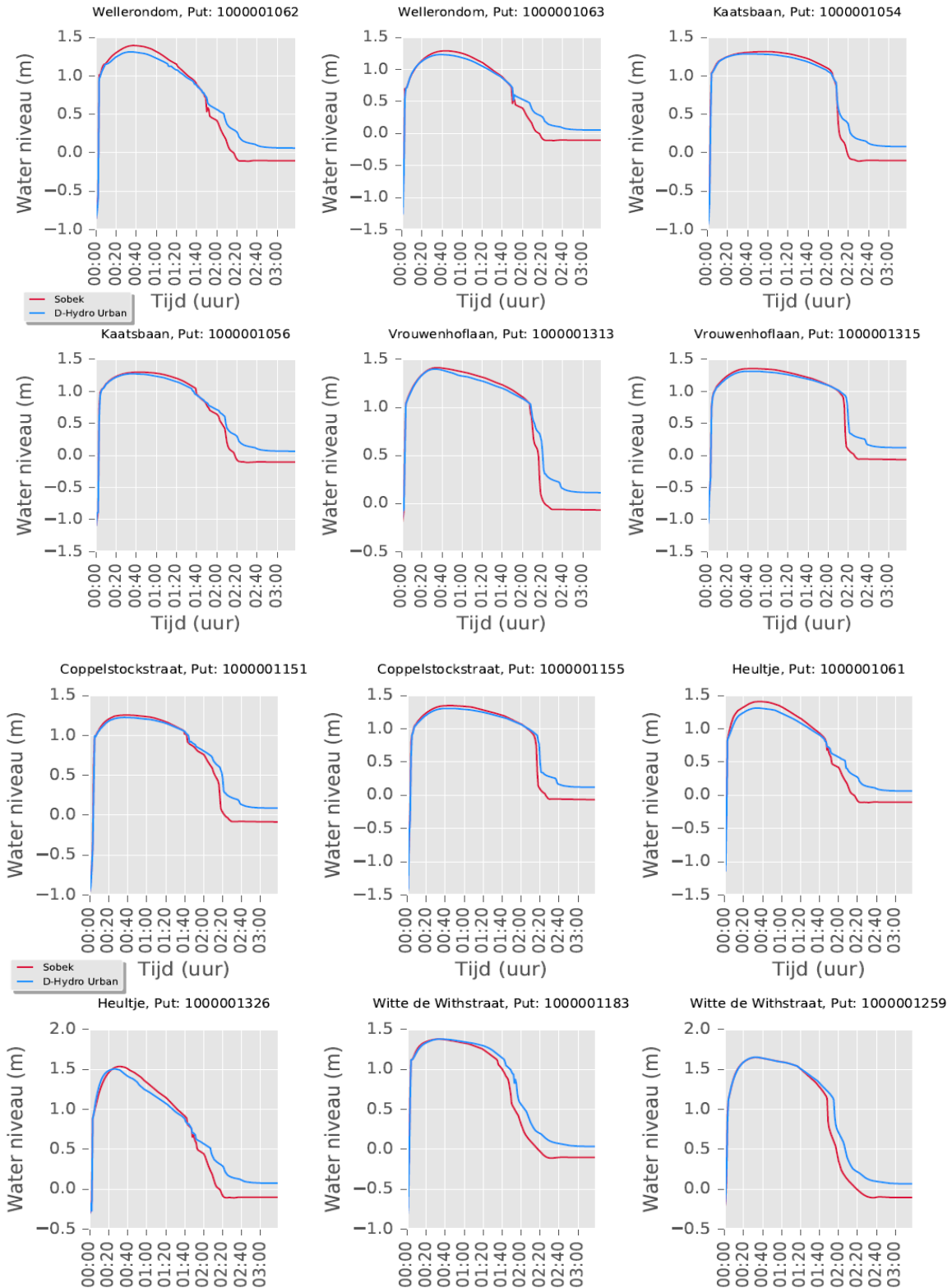
Appendix XXII Maximale waterstanden voor berekening huidige situatie met de 80 mm bui



Figuur 48 de maximaal gemeten water op straat niveaus in de huidige situatie van de Vesting Brielle die zijn berekend met de 80 mm bui in D-Hydro Urban en Sobek

Appendix XXIII Vergelijking resultaten van de 80 mm bui op de casus Brielle in de huidige situatie tussen D-Hydro Urban en Sobek

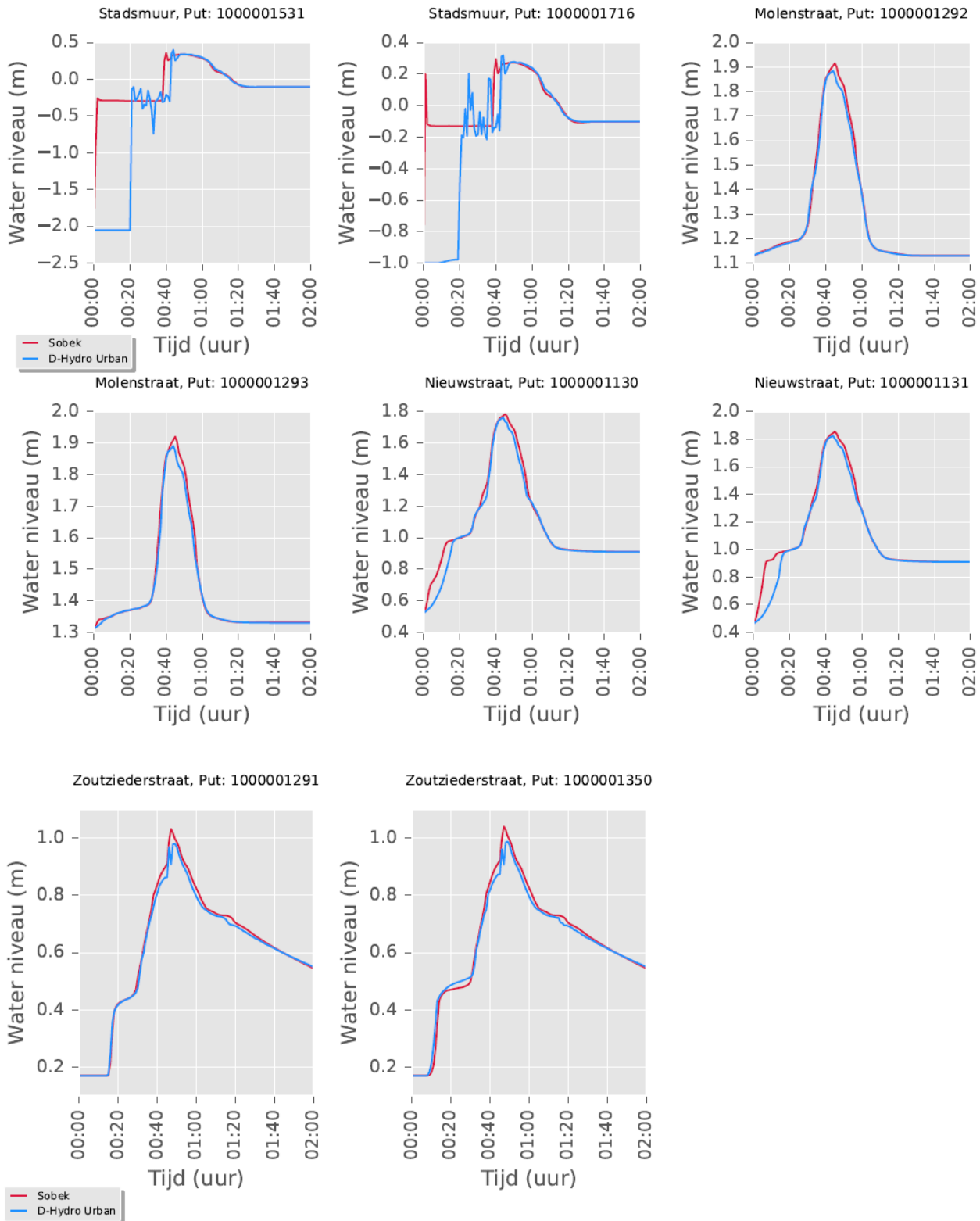
In Figuur 49 zijn de verschillen in waterniveau te zien tussen D-Hydro Urban en Sobek in de putten waarvan bekend was dat ze met water-op straat situaties te maken hebben. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met de Vesting Brielle in de huidige situatie met de 50 mm bui.



Figuur 49 de verschillen in waterniveau tussen D-Hydro Urban en Sobek op de casus Brielle in de huidige situatie die berekend is met de 80 mm bui

Appendix XXIV Vergelijking resultaten van Bui08 op de casus Brielle in de situatie tot 2010 tussen D-Hydro Urban en Sobek

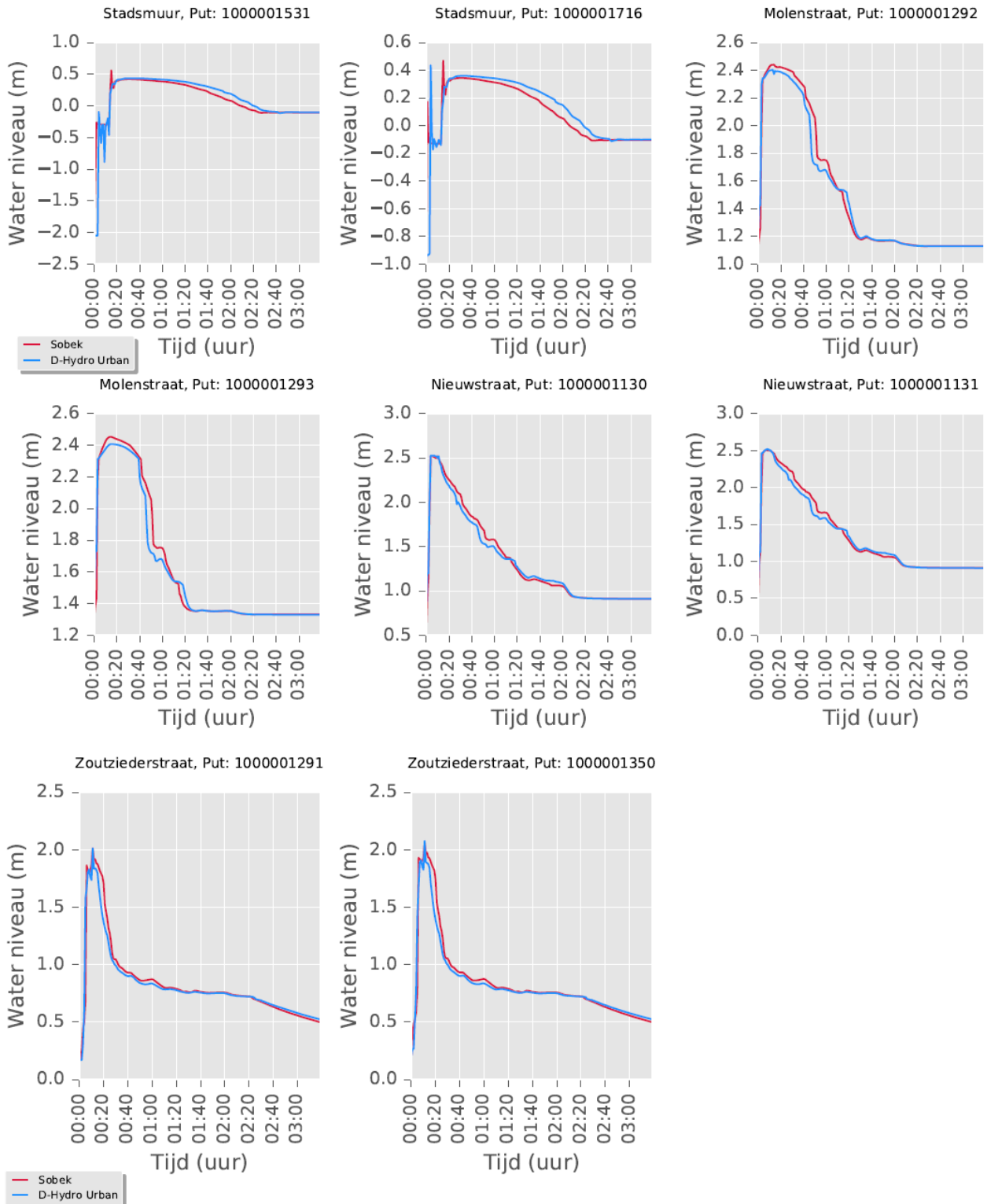
In Figuur 50 zijn de verschillen in waterniveau te zien tussen D-Hydro Urban en Sobek in de putten waar rondom, in de toekomst afkoppeling van het gemengd riool zou plaats vinden. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met de Vesting Brielle in de situatie voor 2010 en is berekend met Bui08.



Figuur 50 de verschillen in waterniveau tussen D-Hydro Urban en Sobek op de casus Brielle in de situatie voor 2010 die berekend is met Bui08

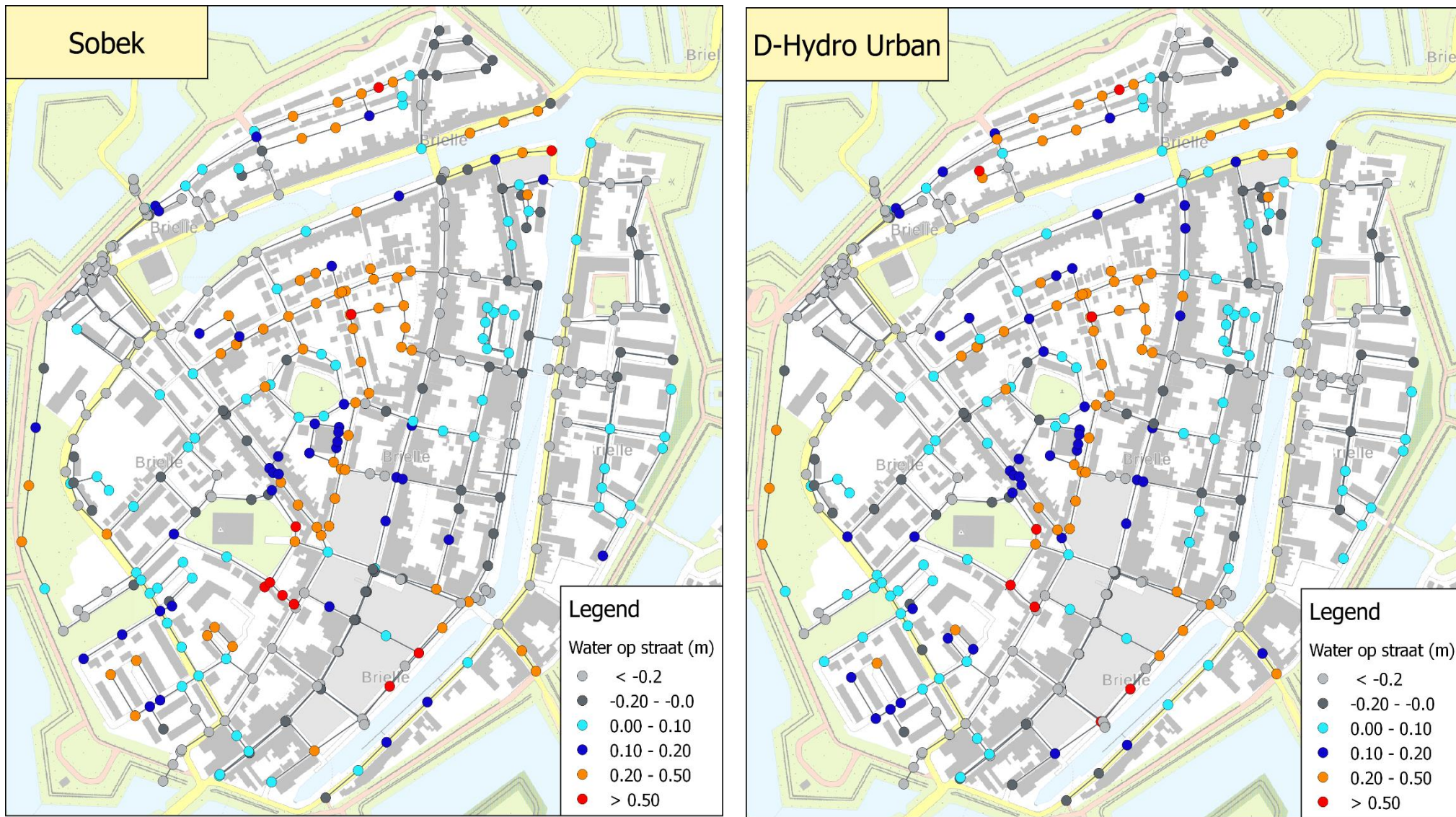
Appendix XXV Vergelijking resultaten van de 50 mm bui op de casus Brielle in de situatie tot 2010 tussen D-Hydro Urban en Sobek

In Figuur 51 zijn de verschillen in waterniveau te zien tussen D-Hydro Urban en Sobek in de putten waar rondom, in de toekomst afkoppeling van het gemengd riool zou plaats vinden. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met de Vesting Brielle in de situatie voor 2010 en is berekend met de 50 mm bui.



Figuur 51 de verschillen in waterniveau tussen D-Hydro Urban en Sobek op de casus Brielle in de situatie voor 2010 die berekend is met de 50 mm bui

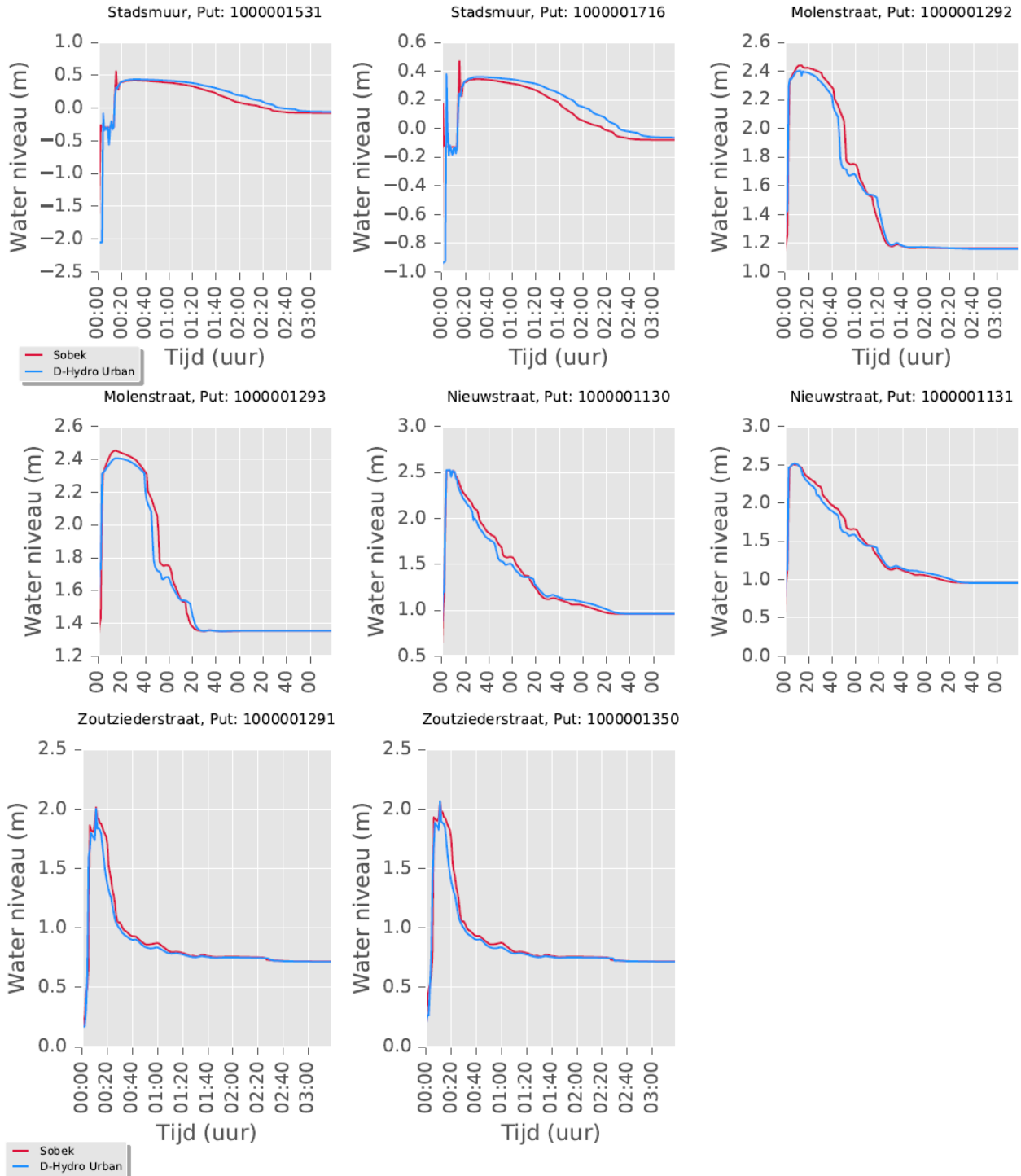
Appendix XXVI Maximale waterstanden voor berekening situatie voor 2010 met de 80 mm bui



Figuur 52 de maximaal gemeten water op straat niveaus in de situatie voor 2010 van de Vesting Brielle die zijn berekend met de 50 mm bui in D-Hydro Urban en Sobek

Appendix XXVII Vergelijking resultaten van de 80 mm bui op de casus Brielle in de situatie tot 2010 tussen D-Hydro Urban en Sobek

In zijn de verschillen in waterniveau te zien tussen D-Hydro Urban en Sobek in de putten waar rondom, in de toekomst afkoppeling van het gemengd riool zou plaats vinden. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met de Vesting Brielle in de situatie voor 2010 en is berekend met de 80 mm bui.



Figuur 53 de verschillen in waterniveau tussen D-Hydro Urban en Sobek op de casus Brielle in de situatie voor 2010 die berekend is met de 80 mm bui