



Regenwaterafstroming, van 1D naar 2D

Een vergelijking van het 1D rioleringsmodel en het 2D afstromingsmodel in het programma InfoWorks ICM

Witteveen+Bos

Afstudeeropdracht Anika Steenstra & Neeltje Lamers
24 mei 2019

Project	Regenwaterafstroming, van 1D naar 2D
Opdrachtgever	Witteveen+Bos
Document	Bachelorscriptie
Status	Definitief
Datum	24 mei 2019
Referentie	Bachelorscriptie opleiding Civiele Techniek, Hogeschool van Arnhem en Nijmegen, te Arnhem
Projectcode	100036-06
Projectleider	ROEP
Projectdirecteur	MONH
Auteur(s)	Anika Steenstra (568733) & Neeltje Lamers (560915)
Gecontroleerd door	Marwin Jurjus (1 ^e begeleider) & Casper van der Giessen (2 ^e begeleider)
Goedgekeurd door	Paul Roeleveld
Adres	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Leeuwenbrug 8 Postbus 233 7400 AE Deventer +31 (0)570 69 79 11 www.witteveenbos.com KvK 38020751
Foto voorzijde	"De Charta 77-Vaart", Neeltje Lamers, april 2019

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie 'Regenwaterafstroming, van 1D naar 2D'. Het onderzoek voor deze scriptie naar tweedimensionaal (2D) modeleren is uitgevoerd bij advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos. Het is gemaakt door Anika Steenstra en Neeltje Lamers. In het kader van onze afstudeeropdracht voor de opleiding Civiele Techniek, met de afstudeerrichting infratechniek, aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen en in opdracht van stagebedrijf Witteveen+Bos. De afstudeerperiode is begonnen op 04 februari en afgerond op 28 mei 2019, er is een onderzoek uitgevoerd en een scriptie geschreven, de verdediging zal plaats vinden op 17 juni 2019.

Samen met onze stagebegeleider, Paul Roeleveld, is de onderzoeksvraag opgesteld voor deze scriptie. De onderzoeksvraag wordt samen met een aantal specifieke deelvragen in deze scriptie verder geformuleerd en beantwoord. Het onderzoek dat is uitgevoerd was complex en had zijn tegenslagen, maar we hebben er bloed, zweet, tranen en plezier in gestoken. Tijdens dit onderzoek waren onze stagebegeleider, Paul Roeleveld, en onze begeleiders vanuit de opleiding, Marwin Jurjus en Casper van der Giessen, hulpvaardig. Zij hebben ons onze grenzen laten zien en ons geholpen om deze grenzen te verleggen.

Bij deze willen wij graag onze begeleiders hartelijk bedanken voor de fijne samenwerking tijdens deze vier maanden. Ook willen we onze collega's bedanken bij Witteveen+Bos voor de fijne sfeer en de collegialiteit. In het bijzonder Harry van Mameren en Steven el Kajjal, voor de goede begeleiding.

Ook willen wij ook onze vrienden en familie bedanken voor de mentale ondersteuning en de wijze raad die ze ons hebben mee gegeven tijdens dit proces. Daarnaast willen we graag elkaar bedanken voor het delen van tranen en glimlachen door het proces heen. We zijn elkaar dankbaar dat we de scriptie samen tot een succes hebben gebracht en dat we dit samen mochten doen. Wij kijken terug op een leuke en plezierige tijd.

Wij wensen u veel leesplezier toe en hopen dat u er iets van opsteekt.

Anika Steenstra & Neeltje Lamers

Deventer, 16 mei 2019

SAMENVATTING

Het advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos maakt voor het berekenen van waterafvoer gebruik van het programma InfoWorks ICM. InfoWorks ICM is een computerprogramma dat momenteel voornamelijk op eendimensionaal (1D) niveau gebruikt wordt, voor het modeleren van voorspellingen voor de beweging van water in het rioolstelsel. Witteveen+Bos wil de nauwkeurigheid van een tweedimensionale (2D) afstromingsmodellering als koppeling aan een 1D rioleringsmodel gaan afwegen. Met behulp van een 2D afstromingsmodellering kan de afstroming over het oppervlakte (beter) nagebootst worden. Door het creëren van inzicht in het maken en integreren van het 1D rioleringsmodel en het 2D afstromingsmodel, is het mogelijk om de nauwkeurigheid van de uitkomsten door de toevoeging van het maaiveld af te wegen. Om de veranderingen in de uitkomsten van de verschillende modellen te kunnen toetsen wordt gebruik gemaakt van een 'pilotgebied' Zuiderpolder, een polder ten oosten van het centrum van Haarlem. Er is gekozen voor het gebied Zuiderpolder omdat hier in het verleden een model is opgesteld van het huidige rioolstelsel, op basis van meetresultaten in het gebied in de bemalingsgebieden Schalkwijk en Zuiderpolder (HLM534-2). Het model Zuiderpolder is een kleinschalig, losstaand en overzichtelijk model, waardoor de berekeningen minder tijdrovend zijn en de afwijkende uitkomsten duidelijk in kaart te brengen zijn.

Het doel van dit onderzoek is om de uitkomsten van het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model te vergelijken, ten opzichte van de meetresultaten in het gebied. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *"Wat is de verhouding tussen de uitkomsten van het geïntegreerde tweedimensionale afstromingsmodel met een rioleringsmodel ten opzichte van de meetresultaten in het gebied en het afzonderlijk gevalideerde eendimensionale rioleringsmodel in het programma InfoWorks ICM?"*

Met behulp van het geïntegreerde 2D model kan er gekeken worden naar de afstroming bij verschillende neerslaggebeurtenissen op het maaiveld. Door het geïntegreerde 2D model zal naast de veranderingen door de koppeling van de modellen ook een diepere kijk gegeven worden in de verhoging in intensiteit van buien, ten gevolge van de klimaatveranderingen naar voorspellingen door het KNMI.

Om inzicht te krijgen in dit vraagstuk zijn er verschillende deelvragen opgesteld die beantwoord en toegevoegd worden in de verschillende hoofdstukken van deze scriptie. Voordat er inhoudelijk op het onderzoek wordt ingegaan is het van belang om de basisprincipes van het programma InfoWorks ICM onder de knie te krijgen. Dit gebeurt met behulp van het afzonderlijk opbouwen van een 1D rioleringsmodel en een 2D afstromingsmodel. Het is mogelijk om een iteratief proces uit te voeren tussen de twee modellen door de modellen aan elkaar te koppelen. Met behulp van het pilotgebied Zuiderpolder wordt inzichtelijk gemaakt hoe de uitkomsten van de berekening uitvallen, ten opzichte van de meetresultaten in het gebied. Door op een aantal vaste punten uitkomsten te vergelijken, in putten en pompen, kan het 1D rioleringsmodel bijgesteld worden zodat de uitgangspunten nagenoeg overeen komen met de werkelijke situatie, ook wel de validatie genoemd. Als het 1D rioleringsmodel volledig opgesteld is kan het 2D afstromingsmodel toegevoegd worden. Hiervoor zullen meerdere stappen doorlopen moeten worden voordat een koppeling plaats kan vinden. Zo zal er een hoogtekaart ingevoegd worden waarbij verschillende oppervlaktes gedefinieerd zijn, zodat de hoeveelheid infiltratie en afstroming bepaald kan worden per oppervlak. Daarnaast kunnen kolken, die het water op straat naar de riolering voeren, gekoppeld worden aan het straatoppervlakte en de dichtstbijzijnde rioolput. Wanneer het model volledig opgesteld en gekoppeld is, kan er een simulatie van een bui worden nagebootst. Dit gebeurt met behulp van een bui die gemeten is in het gebied. Met behulp van de standaard buien worden de gevolgen door de toename in de intensiteit van de bui inzichtelijk gemaakt in het gebied. Met behulp van de verschillende uitkomsten kunnen de resultaten beschreven worden.

Uit de resultaten is gebleken dat het geïntegreerde 2D model een overschatting van de hoeveelheid water in het rioolstelsel geeft ten opzichte van het gevalideerde 1D rioleringsmodel en de gemeten resultaten in het gebied. Een verklaring van de overschatting in het geïntegreerde 2D model kan in verschillende onderdelen gevonden worden. Bijvoorbeeld, de verliesposten van regenwater in het afstromingsgebied zijn in beide modellen verschillend en er ontbreekt informatie over de aangenomen vlakken. Daarnaast zorgt de toename van de intensiteit van de buien over Zuiderpolder voor een minimale toename in de belasting van het rioolstelsel. De geringe toename van water in het rioolsysteem is te beredeneren doordat er veel watergangen en groen aanwezig zijn in het gebied, dit zorgt voor retentie op het oppervlakte. Vervolgonderzoek zou uitwijzen of deze aannames correct zijn.

ABSTRACT

The engineering company Witteveen+Bos uses the program InfoWorks ICM for the calculation of water drainage. InfoWorks ICM is a computer program that is currently used on an one dimensional (1D) level to predict the flow movements of water in a sewer system. Witteveen+Bos wants to evaluate the accuracy of an integrated two dimensional (2D) runoff model. The runoff of water on the surface is simulated with a 2D runoff model, this will give an insight at the accuracy gained by the model. With the use of the pilot area Zuiderpolder, a polder laying east of the city centrum Haarlem, different outcomes of the validated 1D model and the integrated 2D model can be compared. The area Zuiderpolder is suitable as an pilot area because the model sewer system was already created for a former project (HLM534-2). Another advantage of Zuiderpolder is that it is a small area with an isolated sewer system, because of this the calculations are less time-consuming and dissimilarities in the results of the different models are also easier to distinguish.

The purpose of this research is to examine the differences in the results given by the validated 1D sewer model and the integrated 2D model, in comparison to the results of the measurements in the area. Therefore the main question has been formulated as: *"What is the difference between the results from the integrated 2D model and the sewer model in comparison to the measurement results in the area and the individual 1D sewer model in the program Infoworks ICM?"*

The runoff on the surface can be simulated with an integrated 2D model by different precipitation events. The integrated 2D model can also be used to have a closer look at the increase of the precipitation intensity caused by the climate change that is predicted by Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

To get a more detailed answer on the main question, different sub-questions are drafted. These sub-questions will be answered in the various chapters of this thesis. To get deeper into the subject it is important to know more about the fundamental principles of the program. This will be done by building an independent 1D sewer model and a 2D runoff model. By integrating these two models it is possible to iterate the input values of the two models. The results of the calculation will give more insight in the comparison with the sewer measurements by using the pilot area Zuiderpolder. The 1D sewer model can be adjusted by comparing the measurements in the sewer system on different locations, this is also known as the validation process. When the 1D sewer model is complete the 2D runoff model can be created. Before it is possible to combine the different models a few steps need to be taken. Street vents need to be included and defined in the 2D model to intergrade the two models. After the integration a rainfall event can be simulated on the model. This happens by using a rainfall event that was measured in the area. To get an insight at the increase of precipitation intensity manual rainfall events will be used to predict the increase of water on the surface. The outcome of these simulations will represent the results of this thesis.

The results show that the integrated 2D model gives an increase in the amount of water in the sewer system in comparison to the 1D sewer model and to the sewer measurements in the area. This is caused by the varied infiltration quantities in both models and incomplete information about the defined surfaces. When looking at the results of the increase in intensity of rainfall events it is noticeable that there is minimal growth in the velocity of water in the sewer system. The minimal difference in velocity in the sewer system can be explained by the function of the waterways and the green areas, these surfaces are more likely to infiltrate or hold the water and therefore decrease the intensity of the water on the surface and in the sewer system. A follow-up research is an inquiry, this will indicate if the assumptions are indeed correct.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

SAMENVATTING

ABSTRACT

FIGUREN- EN TABELLENLIJST

Figurenlijst

Tabellenlijst

BEGRIPPENLIJST

1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	2
1.2	Overbelasting van het systeem	4
1.3	Effect op het model	6
1.4	Probleem	6
1.5	Onderzoeksvraag	7
1.6	Methodologie	7
1.7	Leeswijzer	7
2	BASISPRINCIPES INFOWORKS ICM	8
2.1	Eendimensionaal rioleringsmodel	8
2.2	Tweedimensionaal afstromingsmodel	9
2.3	Verschil tussen het eendimensionaal en tweedimensionaal model	9
2.4	Iteratie en integratie	9
3	PROJECTGEBIED ZUIDERPOLDER	11
3.1	Rioolstelsel Zuiderpolder	11
3.2	NWRW4.3 model van Zuiderpolder	13
3.3	Gevalideerd model Zuiderpolder	13

4	REKENWIJZE	17
4.1	Toevoegen eendimensionaal rioleringsmodel	17
4.2	Toevoegen tweedimensionaal afstromingsmodel	18
4.3	De simulatie	20
4.3.1	Algemene parameters	20
4.3.2	2D parameters	23
5	RESULTATEN VAN DE VERGELIJKING	24
5.1	De uitkomsten van het tweedimensionale afstromingsmodel op de meetpunten	25
5.2	Het verschil in hoeveelheden	31
6	RESULTATEN VAN DE KLIMAATVERANDERING	33
6.1	Water-op-straat bij bui 08	33
6.2	Water-op-straat bij bui 09	34
6.3	Verschillen in waterhoogte in watergangen en weilanden	35
6.4	Invloed op de weg van de druppel	36
6.5	Veranderingen in de omgevingsfactoren door het klimaat	37
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	38
7.1	De conclusie voor de gemeten bui	38
7.2	De conclusie voor de standaard buien	38
7.3	Bruikbaarheid van de tweedimensionale afstromingsmodellering	39
7.3.1	Toevoegingen aan het programma	39
7.3.2	Gebruik van het programma	39
7.4	Aanbeveling	39
8	NAWOORD	41
9	BIBLIOGRAFIE	42
	Laatste pagina	44

BIJLAGEN

	Bijlagen hoofdverslag	Aantal pagina's
I	Invloed omgevingsfactoren en de neerslagintensiteit	17
II	De weg van de druppel	2
III	Weg van de druppel, diagram	3
IV	Actuele Hoogtedata Zuiderpolder	1
V	Grafieken van de eindresultaten	7
VI	Maximale gevolgen standaard bui 08 en 09	2
VII	Voor- en nadelen tabellen van de conclusie	2
	Bijlagen proces	
VIII	Agenda's vergaderingen	4
IX	Notulen vergaderingen	14
X	Urenverantwoording	11
XI	Groepsreflectie	2
XII	Individuele reflectie	2
XIII	Projectsamenvatting ABC-Jaarboek	1
XIV	Plan van aanpak	50

FIGUREN- EN TABELLENLIJST

In dit hoofdverslag wordt gebruik gemaakt van verschillende figuren en tabellen. De lijst hieronder bevat naam, titel en het paginanummer waar het figuur of de tabel gebruikt wordt in het verslag.

Figurenlijst

Figuur 1.1: Klimaatscenario's KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2014)	2
Figuur 1.2: Jaarmaximum van de neerslag (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut)	3
Figuur 1.3: Afstroming (Climate Protection Partnership Division, 2008)	3
Figuur 1.4: Verstening in achtertuinen in het rood omcirkelde huizenblok (Kadaster, 2017)	4
Figuur 1.5: Vasthouden, bergen en afvoeren (Ruimte met toekomst, 2013)	4
Figuur 1.6: Water-op-sstraat situatie (Luijtelaar, 2015)	5
Figuur 2.1: Schematische weergave rioleringsstelsel	8
Figuur 2.2: Dummy-subcatchments per put	8
Figuur 2.3: Mesh weergaven in InfoWorks ICM in bovenaanzicht met het ingeladen hoogtemodel (Pugh, 2012)	9
Figuur 2.4: Schematische weergave integrerend en iteratief proces	10
Figuur 3.1: Locatie pilotgebied (Maps, 2019)	11
Figuur 3.2: Rioolstelsel pilotgebied (rood) in projectgebied met locatie van de pomp richting de RWZI (blauw)	11
Figuur 3.3: Locaties hoogtemeters in rood	12
Figuur 3.4: De verschillende pompen, aangegeven op de kaart (blauw, rood en zwart) en overstorten (geel)	12
Figuur 3.5: Schematische weergave NWRW4.3 inloopmodel (Ministerie van Volkhuysvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1989)	13
Figuur 3.6: Niet gevalideerd model (boven), gevalideerd model (onder)in vergelijking tot de meetreeks in put zp-28015 in mm t.o.v. NAP (Dingemanse & van Mameren, 2018)	14
Figuur 3.7: Niet gevalideerd model (boven), gevalideerd model (onder)in vergelijking tot de meetreeks in put zp-28066c1.1 in m3/uur (Dingemanse & van Mameren, 2018)	16
Figuur 4.1: Proces verwijderen No-Data in ArcGis, boven ongefilterd en onder gefilterd	18
Figuur 4.2: Gegenereerde hoogteverschillen in de mesh	19
Figuur 4.3: Thiessen polygonen met putten (rood) en kolken (groen), zonder verhardingen	19
Figuur 4.4: Koppeling tussen de kolken (groen) en de putten en leidingen (rood), met gebouwen	19
Figuur 4.5: Instellingen van de run over het model voor bui HLM_2017-07-12_gem_EVAP	20
Figuur 4.6: Verloop gemeten neerslaggebeurtenis 12-7-2017 (Dingemanse & van Mameren, 2018)	21
Figuur 4.7: Run voor bui 08 en bui 09	22
Figuur 4.8: Standaard bui 08 & 09 in Leidraad Riolerings Module 2100 (van Luijtelaar, Voorhoeve, Zuidervliet, Beenen, & Clemens, 2007)	22
Figuur 4.9: Schematische weergave van de droogweerafvoer in het gebied Zuiderpolder	23
Figuur 4.10: 2D parameters voor de simulatie	23
Figuur 5.1: Bovenaanzicht Zuiderpolder, locaties meters	24
Figuur 5.2: Waterhoogte grafiek van put ZP-28066c1	26
Figuur 5.3: Grafiek van het debiet in put ZP-28066c1.1	28
Figuur 5.4: Debiet in de overstort per situatie. Boven: totaaloverzicht, Onder: vergrote weergave	29
Figuur 5.5: Waterhoogte grafiek van put ZP-28236c1	30
Figuur 6.1: Bovenaanzicht Zuiderpolder, rode stip geeft overlastlocatie aan (Maps, 2019)	33
Figuur 6.2: Locatie wateroverlast (Google Maps, 2017)	34
Figuur 6.3: Dwarsdoorsnede van kolk naar put bij maximaal moment bui 08	34
Figuur 6.4: Dwarsdoorsnede waterverloop kolk naar put bij bui 08 (boven) en bui 09 (onder)	35
Figuur 6.5: Bovenaanzicht watertoename in sloot bij bui 08 (links) en bui 09 (rechts)	35
Figuur 6.6: Bovenaanzicht bui 08 (boven) en bui 09 (onder)	36

Tabellenlijst

Tabel 1.1: Gemiddelde temperatuurstijging (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2015)	2
Tabel 5.1: Hoeveelheden bij de overstorten in de verschillende modelsituaties	31
Tabel 5.2: Horton waarden van de verschillende modellen (Dingemanse & van Mameren, 2018)	32

BEGRIPPENLIJST

In dit hoofdverslag wordt gebruik gemaakt van verschillende vaktermen, de verwijzingen zijn terug te vinden in de onderstaande tabel. In het verslag worden deze termen aangegeven in het *blauw* (van Ellen, Mol, Swart, & Moors, 2002) (Betekenisdefinitie, sd).

Begrip	Uitleg
Afstroming	Het transport van water uit een bepaald (stroom-)gebied.
Afvoercapaciteit	De hoogste afvoer die onder bepaalde omstandigheden een waterloop/kunstwerk kan passeren
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
ArcGis	Programma voor het verwerken en genereren van kaartgegevens.
Bemalingsgebied	Een gebied waaruit het overtollige water door middel van een gemaal wordt verwijderd.
Bronneringswater	Opgepompt grondwater dat op de riolering of op het oppervlaktewater wordt geloosd.
Dauwpunt	De temperatuur waarbij condensatie kan optreden.
Debiet	Het vloeistofvolume dat per tijdseenheid door een doorsnede stroomt.
Debietmeter	Meetinstrument waarmee in een leiding het volume van de doorstromende vloeistof gemeten kan worden per tijdseenheid.
Drainagewater	Afvoer van water uit de bodem.
Droogweerafvoer (DWA)	Transport van vuil water door een rioolstelsel, bestemd voor vuilwater.
DTM	Digital Terrain Model, hoogtekaart die het maaiveld visualiseert.
Duiker	Kokervormige constructie (vaak een vrije waterspiegel), die twee waterlopen met elkaar verbindt
Eendimensionaal rioleringsmodel	Model waarin een vereenvoudiging van het rioolstelsel wordt gemaakt waarbij het water in een leiding of watergang in één richting stroomt.
Gemengd systeem	Transport van regen- en vuilwater door een rioolstelsel.
Hemelwaterafvoer (HWA)	Transport van regenwater door een rioolstelsel, bestemd voor regenwater.
Herhalingstijd	Het statische tijdsinterval waarin (hydrologische) gebeurtenissen een bepaalde grenswaarde overschrijden.
Hittestress/stedelijk hitte-eiland effect	Verhoging van de temperatuur in stedelijk gebied ten opzichte van het omliggend landelijk gebied.
Hydraulisch netwerk	Stroming in open en gesloten waterlopen.
Hydrologisch netwerk	Stroming van vloeistoffen
Infiltratiecapaciteit	De maximale waarde van de infiltratie-intensiteit die bij de gegeven omstandigheden (o.a. afhankelijk van het watergehalte) mogelijk is.
Inklinken	Een proces van volumevermindering van grond door verdroging of onttrekking van grondwater.
Inslagpeil	Waterpeil waarbij de pomp in werking treedt t.o.v. het Normaal Amsterdams Peil (NAP).
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, een organisatie van de Verenigde Naties om de risico's van klimaatverandering te evalueren.
Iteratie	Een herhalend proces van een discrete tijdstap.
Klimaatscenario's	Toekomstige voorspellingen van het mogelijke klimaat door het KNMI.
Kolk	Opvang van neerslag afkomstig van aangesloten oppervlaktes voor de afvoer van dit water naar de riolering. In een kolk worden meegevoerde bezinkbare stoffen in dit water laten bezonken.
Leidraad riolering	Naslagwerk voor rioleringsinformatie door de stichting Rioned.
Lekwater	Grondwater dat als gevolg van lekkages de riolering binnenkomt.
Luchtstromingspatroon	Verloop van hoge- en lagedrukgebieden in de atmosfeer.

Begrip	Uitleg
Luchtvochtigheid	De hoeveelheid vocht die zich in de atmosfeer bevindt.
Maaiveld	Hoogte van het terreinoppervlak, de hoogte waarover regenwater afstroomt.
Mesh	Een ondergrond opgebouwd uit driehoekjes, waaraan x-, y- en z-coördinaten gekoppeld zijn.
NAP	Normaal Amsterdams Peil, is de referentiehoogte ofwel peil waaraan hoogtemetingen in Nederland worden gerelateerd.
Neerslaggebeurtenis	Bui gebaseerd op gevallen neerslag.
Neerslagintensiteit	De neerslag gedeeld voor het tijdsinterval waarbinnen de neerslag valt.
NWRW4.3 inloopmodel	Dimensioneringswijze opgesteld op basis van de leidraad riolering door de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit Standaard, berekening van rioleringsstelsels volgens leidraad C2100.
Overstort	Een verlaagd stuk in een put dienende tot waterafvoer en ter voorkoming of beperking van water-op-straat elders.
PDOK	Publieke Dienstverlening Op de Kaart: stelt opendatasets beschikbaar vanuit de overheid met actuele geo-informatie.
Piekafvoer	Grote hoeveelheid water die in een bepaalde tijdseenheid afgevoerd wordt.
Piekbelasting	Grote hoeveelheid water die in een bepaalde tijdseenheid op een gebied valt.
Polder	Een gebied, dat door een waterkering beschermd is tegen water van buiten en waarbinnen het peil beheerst kan worden.
Polderpeil	Waterpeil t.o.v. NAP in een bemalingsgebied.
Pomp	Werktuig om water mee te verplaatsen.
QGIS	Open source geografisch informatiesysteem. Er kunnen geografische gegevens bekeken, bewerkt en geanalyseerd worden.
Randruwheid	Weerstand van het oppervlak.
Rasterafmetingen	Detail niveau van de hoogtekaart van Nederland.
Rioolput	Aangesloten aan het begin- of eindpunt van een of meer leidingen, vormt een inspectiepunt vanaf maaiveld.
Rioolvreemd water	Water dat niet thuishoort in het rioolstelsel.
'Spons'-effect	Water opnemend vermogen van de bodem.
Stroomsnelheid	De snelheid van een voortbewegende vloeistof in meters per seconde.
Systeemgrens	Het grenskader van de modellering.
Thiessen polygoon	Oppervlakte dat het invloed gebied van een vastgesteld object in de omgeving definieert.
Tweedimensionaal afstromingsmodel	Model waarin regenwaterafstroming over het maaiveld wordt gemodelleerd en waar het water in verschillende richtingen kan afstromen naar een lagergelegen niveau met de gemiddelde stroomsnelheid.
Uitslagpeil	Waterhoogte waarbij de pomp uit staat t.o.v. het NAP.
Valideren	Beoordeling van juistheid van de modelresultaten.
Vlakkenkaart	Kaart waarin de gegevens van het oppervlak verdeeld zijn in verschillende zones.
Vrij verval/ongestuwd	Vrije stroming zonder druk van rioolwater door het rioolstelsel met behulp van een flauwe helling in de rioolbuizen.
Watergebiedsplan	Richtlijnen voor het waterbeheer in een bepaald gebied opgesteld door het waterschap.
Winterpeil	Richtlijn grondwaterstand in de wintermaanden.
Zomerpeil	Richtlijn grondwaterstand in de zomermaanden.

INLEIDING

Het advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos maakt voor het berekenen van waterafvoer gebruik van het programma InfoWorks ICM. InfoWorks ICM is een computerprogramma dat op eendimensionaal niveau (1D) gebruikt wordt voor het modeleren van voorspellingen voor de beweging van water over het oppervlakte en in het rioolstelsel. Witteveen+Bos wil het gebruik van *tweedimensionale (2D) afstromingsmodellering* gaan afwegen. Met behulp van dit model kan de *afstroming* over het *maaiveld* (beter) nagebootst worden. Door een verdere verdieping in dit onderwerp is het mogelijk om de toevoeging van het maaiveld af te wegen ten opzichte van de nauwkeurigheid van de uitkomsten. Daarnaast kunnen mogelijke knelpunten in de verbinding van het 1D en 2D model in kaart gebracht worden.

Door veranderingen in het klimaat en de omgeving wordt de hoeveelheid water die afstroomt over het maaiveld richting het rioolstelsel beïnvloedt. Zo zullen de neerslagpatronen in de toekomst veranderen en heeft de inrichting van de openbare ruimte een grote invloed op het verwerken van het regenwater. Door deze veranderingen in kaart te brengen kan er beter voorspeld worden hoe het regenwater verwerkt wordt in de omgeving. Dit kan uiteindelijk meegenomen worden in de verschillende factoren die het programma InfoWorks ICM meeneemt als uitgangspunten van een model. Het programma zet de verschillende factoren zoals de *infiltratiecapaciteit* en soorten oppervlakte om naar concrete rekenwaarden. Deze waarden beïnvloeden vervolgens de hoeveelheid regenwaterafstroming in de modelberekening.

Voor dit project is het huidige gebruik in twee modellen onder te verdelen, het standaard *NWRW4.3* inloopmodel en het *gevalideerde* model. Beide modellen worden gebruikt voor het doorrekenen van buien die in het gebied gevallen zijn. Als eerste is het NWRW4.3 inloopmodel berekend, deze uitkomsten zijn vergeleken met *debietmetingen* die gedaan zijn in de praktijk, in het projectgebied waarin gemodelleerd is. Door de uitkomsten van het gegenereerde model te vergelijken met de uitkomsten van de debietmetingen, kan er gekeken worden of er een realistische weergave is gemaakt van de werkelijkheid. Wanneer dit niet het geval is wordt er gekeken welke waarden van factoren in de berekening aangepast kunnen worden om zo een betere weerspiegeling van de werkelijkheid te krijgen, het model wordt gevalideerd. Hierbij wordt voornamelijk gekeken of de juiste aannames zijn gemaakt van de situatie in de praktijk, de waarden worden eventueel aangepast als er bijvoorbeeld een overschatting is gemaakt van de aanvoer. Na de juiste aanpassingen te maken in de factoren zal het gevalideerde model nagenoeg overeenkomen met de metingen in het gebied.

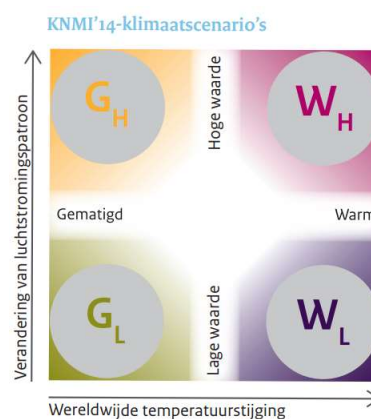
Het standaard NWRW4.3 inloopmodel en het gevalideerde model geven verschillende uitkomsten voor de *eendimensionale* (1D) *rioleringsberekening*. Door de afstroming over maaiveld toe te voegen aan de 1D berekening kan een geïntegreerd 2D model opgesteld worden. De uitkomsten van het opgestelde integrerende 2D model zijn ten opzichte van de eendimensionale rioleringsberekening nog onbekend. Hoe de uitkomsten van het geïntegreerde 2D model in verhouding staan tot het standaard NWRW4.3 inloopmodel en het gevalideerde model dient onderzocht te worden. Vragen hierbij zijn: kunnen er verschillen in uitkomsten ontstaan en hoe kan dit eventueel aangepast worden zodat het model nauwkeuriger wordt. De werking en de uitkomsten van het 2D afstromingsmodel zullen eerst onderzocht moeten worden zodat een geïntegreerd 2D model nauwkeuriger toegepast kan worden in actuele projecten. Zo kan de stroming van *hemelwater* over het maaiveld en de voortbeweging van rioolwater in de riolering

nauwkeuriger voorspelt worden bij verschillende buien die over het gebied berekend worden. Tijdens dit onderzoek zal hier dieper op in gegaan worden om zo het gebruik van 2D modellen te optimaliseren.

1.1 Aanleiding

Voordat er berekeningen aan de afvoer van regenwater gedaan kunnen worden, is het van belang om te kijken naar de mogelijke veranderingen die voorafgaan aan dit proces. Hier gaat het bijvoorbeeld om veranderingen in het afstroomgebied en de hoeveelheid water die afstroomt. Door deze veranderingen in kaart te brengen kan realistischer gekeken worden naar de gewijzigde invulwaarden die van invloed zijn op de dimensionering van water over straat.

Het klimaat is aan het veranderen, de effecten die deze veranderingen gaan meebrengen voor de 21^{ste} eeuw zijn moeilijk te voorspellen. Daarom heeft het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), vier mogelijke *klimaatscenario's* opgesteld gebaseerd op de klimaatassessments van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), te zien in Figuur 1.1. Deze scenario's zijn afhankelijk van een aantal factoren: het gebruik van fossiele energie, de focus op duurzaamheid, ongelijkheid in de wereld en rivaliteit tussen regio's (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2018). Deze factoren beïnvloeden twee variabelen die gebruikt worden in de klimaatscenario's van het KNMI: verandering van *luchtstromingspatronen* en wereldwijde temperatuurstijging. Op basis van deze twee variabelen zijn de vier verschillende voorspellingen uitgesplitst. Voor elk scenario is een voorspelling uitgewerkt waarin de temperatuurstijging is vastgelegd, de stijging rond 2050 varieert van 1,0 tot 2,3 °C, te zien Tabel 1.1 .



Figuur 1.1: Klimaatscenario's KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2014)

	Gemiddelde temperatuur (°C) rond 2050 (2036-2065)	Stijging t.o.v. referentie periode (°C)	Gemiddelde temperatuur (°C) rond 2085 (2071-2100)	Stijging t.o.v. referentie periode (°C)
Scenario G _L	11.1	+ 1.0	11.4	+ 1.3
Scenario G _H	11.5	+ 1.4	11.8	+ 1.7
Scenario W _H	12.1	+ 2.0	13.4	+ 3.3
Scenario W _L	12.4	+ 2.3	13.8	+ 3.7

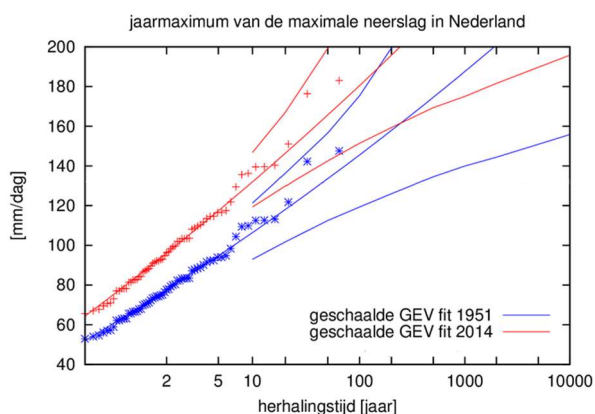
Tabel 1.1: Gemiddelde temperatuurstijging (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Intituut, 2015)

De aarde warmt steeds verder op, zoals te zien in Tabel 1.1, dit heeft gevolgen op de *neerslagintensiteit*. De toenemende temperatuur zorgt ervoor dat de *luchtvochtigheid* toeneemt waardoor uiteindelijk de neerslag intensiteit per graad 2% zal stijgen. Als de luchtvochtigheid toeneemt kan er meer waterdamp opgeslagen worden voordat er verzadiging in de lucht optreedt. Als de lucht volledig verzadigd is met waterdamp wordt dit het *dauwpunt* genoemd, hierdoor ontstaan wolken. Des te warmer de lucht is hoe meer waterdamp, druppels en ijskristallen, de lucht kan bevatten. Als de omgeving warmer is zal het dauwpunt sneller bereikt worden (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2017)

Om de veranderingen in de neerslagintensiteit in kaart te brengen heeft het KNMI in 2014 de neerslagmetingen van het jaar 1951 en 2014 met elkaar vergeleken. In de grafiek van Figuur 1.2 is te zien dat in 2014 buien met een grotere intensiteit vaker voorkomen.

De gevallen neerslag wordt door het KNMI in kaart gebracht met behulp van gecorrigeerde radarbeelden. Deze beelden bestaan uit de metingen van de twee radarstations en 325 grondmeters door het land (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, sd). Deze twee meetwijze worden gecombineerd om een absolute bepaling van neerslag in een tijdsperiode te kunnen weergeven. De radarbeelden alleen geven namelijk niet nauwkeurig genoeg weer hoeveel neerslag er gevallen is op een bepaalde locatie. Een afwijking in de meetresultaten wordt vaak veroorzaakt door de afstand die de signalen afleggen of door verstoringen in de lucht door meteorologische veranderingen. De metingen met behulp van grondstations zijn onvolledig omdat ze niet de volledige bui kunnen meten.

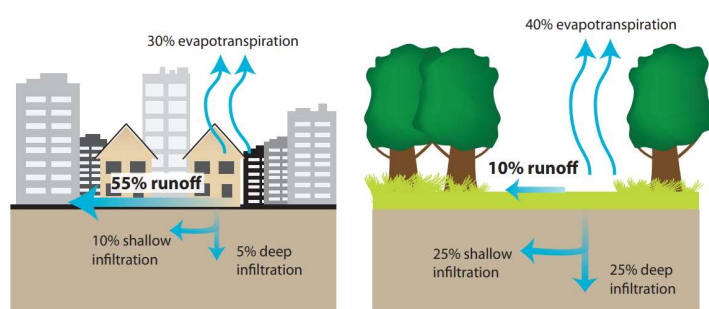
Door de combinatie van deze twee meetmethoden kan de intensiteit precies in kaart gebracht worden (Koorn, 2013). Uiteindelijk vormt het KNMI met deze beelden een neerslagkaart die de som van de gevallen neerslag in de afgelopen 24 uur weergeeft. Deze kaarten worden bijvoorbeeld door het waterschap gebruikt om waterpeilen te bepalen (Krajenbrink, 2010).



Figuur 1.2: Jaarmaximum van de neerslag (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut)

De veranderingen in de intensiteit van de buien hebben effect op het afvoersysteem, de effecten verschillen in de zomer en de winter. Korte hevige neerslag in de zomermaanden zal zorgen voor veel regenwater dat in één keer afgevoerd moet worden, hierdoor ontstaat er een *piekbelasting* op het rioolstelsel. Het rioolstelsel wordt ontworpen op een maximale *afvoercapaciteit*. Wanneer de intensiteit van de buien toeneemt, kan het afvoersysteem overbelast raken, waardoor het resterende water grotendeels op straat zal blijven staan. In de winter zullen juist langdurige buien meer voorkomen, de langdurige buien zorgen ook voor een overbelasting van het rioolstelsel maar op een andere wijze. Door de constante neerslag raakt het afvoersysteem voor een langdurige periode belast waardoor het water in de omgeving kan blijven staan. Hierdoor kan wateroverlast ontstaan doordat water in het rioolstelsel niet afgevoerd kan worden richting andere gebieden (Linden, 2018).

Niet alleen grote hoeveelheden neerslag zorgen voor problemen bij de afvoer van regenwater, maar ook droogte. Als het een lange periode droog is geweest, zal de grondwaterstand zakken door een tekort aan neerslag. Hierdoor zal de bodem langzaam *inklinken* en verliest het zijn *'spons'-effect*. De bodem zorgt er normaal voor dat water kan infiltreren en verdampen maar als het



Figuur 1.3: Afstroming (Climate Protection Partnership Division, 2008)

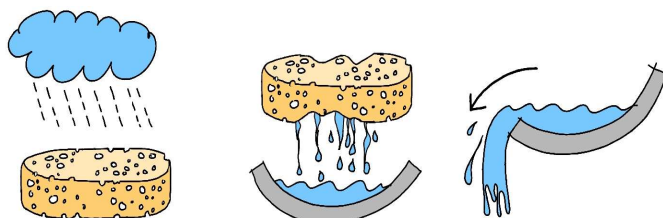
te lang droog heeft gestaan zal het water niet meer in de bodem kunnen infiltreren (Snellen, 2011). Zo stroomt het water af over het maaiveld richting het rioolstelsel en er ontstaat een grote *piekafvoer*, dit principe is te zien in Figuur 1.3.

Niet alleen de klimaatverandering heeft invloed op het oppervlakte van de piekafvoer, ook de mens draagt hieraan bij. Het kadaster heeft de mate van verstening in Groningen en Katwijk in kaart gebracht. Hieruit blijkt dat het particulier terrein steeds meer aan het verstenen is. De verstening is tussen 1998 en 2013, van 4% tot 18% toegenomen (Kadaster, 2017). Met de hoeveelheid verstening neemt ook de hoeveelheid planten parallel af, een voorbeeld te zien in Figuur 1.4. De combinatie van deze twee factoren zorgt voor wateroverlast en *hittestress* in de omgeving. Hierdoor ontstaat hetzelfde effect als een uitgedroogde bodem, doordat er meer water afstroomt ontstaat er een grotere piekafvoer.



Figuur 1.4: Verstening in achtertuinen in het rood omcirkelde huizenblok (Kadaster, 2017)

Om het regenwater van deze tuinen mee te nemen in de totale capaciteit zal het riool op veel plekken opnieuw gedimensioneerd moeten worden. De toename van de totale capaciteit zorgt voor hogere kosten en is hierdoor niet altijd een ideale oplossing. Een oplossing wordt gevonden in het terugdringen van verstening. Als één huishouden verstening tegen zou gaan is dit niet genoeg om de piekafvoer te verminderen. Een verschil in de hoeveelheid regenwaterafvoer kan pas gecreëerd worden als er een grootschalige aanpak van het probleem plaats vindt (Bosch, 2013). Daarom is het belangrijk om water zolang mogelijk vast te houden door bijvoorbeeld groen te planten in de tuin zodat het kan infiltreren in de bodem. Het principe dat hierbij aangehouden wordt is vasthouden, bergen en afvoeren, te zien in Figuur 1.5.



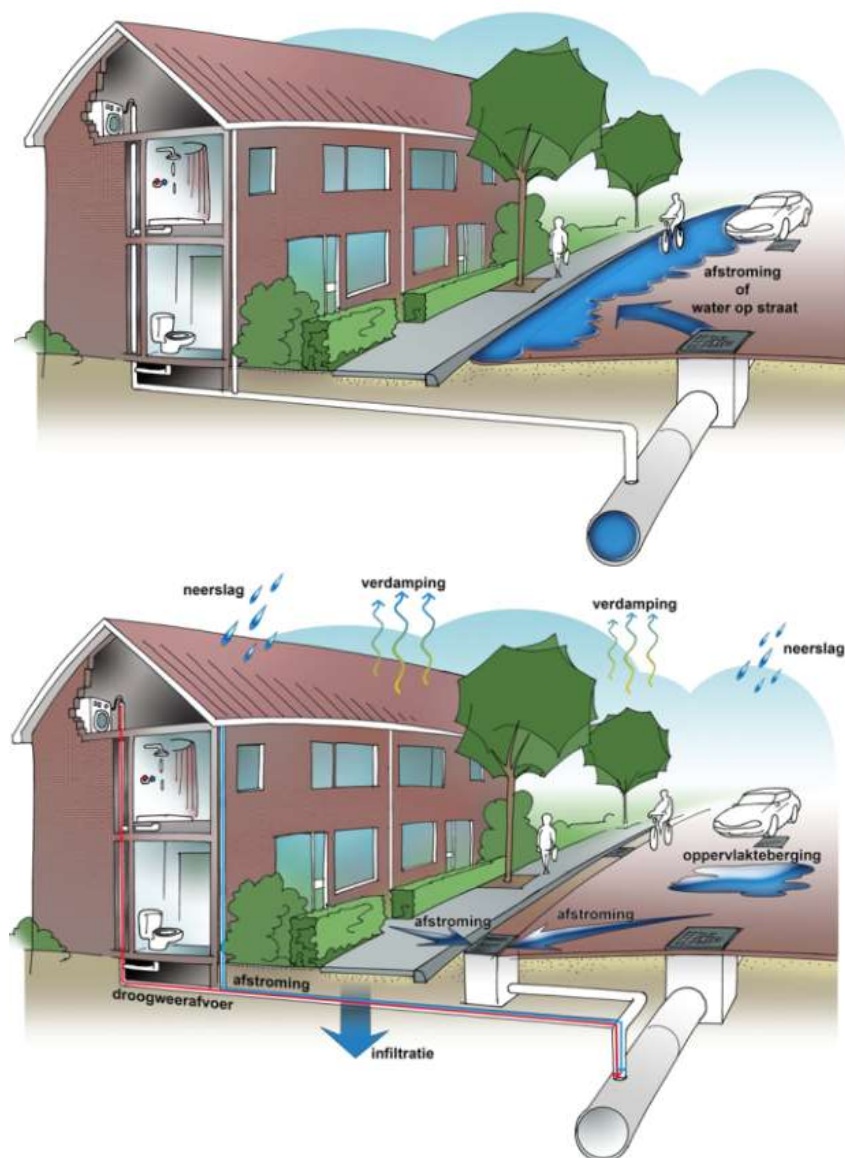
Figuur 1.5: Vasthouden, bergen en afvoeren (Ruimte met toekomst, 2013)

1.2 Overbelasting van het systeem

De veranderingen in de omgeving beïnvloeden de afstroming van regenwater en zo kan overbelasting van het riool ontstaan, dit heeft een directe invloed op de weg van “de druppel”. Door de overbelasting van het riool legt de druppel een langere afstand af over het maaiveld in plaats van de kortste route richting het riool, zoals te zien is in het diagram in bijlage III. Welke richting het water afstroomt is afhankelijk van de afvoermogelijkheden. Water wordt op de straten richting het laagste punt geleid waar het de *kolken* zal stromen (Rainproof, 2018). Als het riool overbelast raakt zal water rondom de *rioolputten* en kolken blijven staan en bij grotere hoeveelheden afstromen richting lageregelegen gebieden. Vanaf het punt waarop het water stil staat zijn er verschillende scenario’s voor de verdere verwerking. Aan deze scenario’s zijn verschillende factoren verbonden die bepaald worden door de omgeving.

Met behulp van een tweedimensionale afstromingsmodelberekening in het programma InfoWorks ICM kan de weg van de druppel nagebootst worden, er kan zo getest worden welke route het hemelwater aflegt. In

het programma is te zien waar het water het rioolstelsel instroomt en of knelpunten ontstaan waardoor water op straat blijft staan. Het gaat hier om een voorspelling, onverwachte situaties in de werkelijkheid zijn minder goed te verwerken in het programma omdat deze situaties niet bekend zijn en niet worden meegenomen. De opgestelde stroomdiagrammen in bijlage III geven een beeld van de weg van de druppel, wat er met het hemelwater gebeurt als het afstroomt en wat er gebeurt als het riool overbelast raakt. Hierbij wordt er gekeken naar een ideaalbeeld, waarbij het water via de voorgeschreven wegen het riool bereikt. Vervolgens wordt er naar een probleembeeld gekeken, waarbij water niet direct het riool in kan stromen maar juist afstroomt over het maaiveld, waar het water verschillende oppervlaktes tegen kan komen. In werkelijkheid kan het voorkomen dat het hemelwater weer terugstroomt het stelsel in nadat de piek in het riool is afgevoerd, dit gebeurt vaak met water dat rondom de kolken blijft staan, Figuur 1.6.



Figuur 1.6: Water-op-sstraat situatie (Luijtelaar, 2015)

1.3 Effect op het model

De veranderingen als gevolg van de klimaatveranderingen hebben een negatief effect op het functioneren van rioolstelsels, dit komt mede door de veranderingen in de intensiteit van buien. Doordat de veranderingen die het KNMI aangeeft in de klimaatscenario's voornamelijk verwachtingen zijn ontstaan er onzekerheden waar niet direct mee gerekend kan worden. Om deze verwachtingen om te zetten naar rekengetallen zijn de tijdreeksen van de neerslag van de periode tussen 1955-1964 omgezet om zo een tienjarige meetreeks op te stellen voor de jaren 2045-2054 voor elk van de vier klimaatscenario's. Door deze buien in een berekening in InfoWorks ICM te vergelijken met eerdere tijdreeksen kan het effect worden bepaald op de afvoer van regenwater uit het gebied.

Uit onderzoek van het KNMI in 2009 komt naar voren dat het W-scenario (zie Figuur 1.1) het meest waarschijnlijk zal zijn, bij dit scenario wordt een toename van de extreme neerslag van 20 tot 30% (van Mameren, 2018). Er wordt hierbij niet direct een onderscheid gemaakt in de grote of kleine veranderingen in de luchtstromingspatronen omdat daarvoor nog geen voorspelling kan worden gedaan. Om het W-scenario mee te nemen bij het berekenen van water-op-straat wordt er gebruik gemaakt van bui waarbij meer neerslag per keer zal vallen, dit zijn vaak standaard buien waarmee het rioolstelsel doorgerekend kan worden. Bui 09 zorgt voor een grotere hoeveelheid neerslag die valt en afgevoerd dient te worden in het rioolsysteem, in hoofdstuk 6 wordt hier verder op in gegaan. Echter blijft dit voorlopig een voorspelling en zal later gekeken moeten worden of deze voorspelling juist is. Dit komt mede doordat de hoeveelheid neerslag die gaat vallen zal variëren over verschillende gebieden in Nederland.

1.4 Probleem

Het tweedimensionaal (2D) afstromingsmodel wordt gebruikt om de afstroming van regenwater over het maaiveld na te bootsen. Door een integratie met het eendimensionaal (1D) rioleringsmodel kan een uitwisseling van water tussen de riolering en het oppervlak gesimuleerd worden. Met behulp van de uitkomsten van het geïntegreerde 2D model kan er beoordeeld worden of het 2D afstromingsmodel nieuwe inzichten geeft aan het 1D rioleringsmodel. Om de uitgangspunten van het geïntegreerde 2D model te controleren kan een vergelijking worden gemaakt met een gevalideerd 1D rioleringsmodel om zo de modelleringswijze te beoordelen op toepasbaarheid. Met behulp van de vergelijking, tussen het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model, kan de werkelijke situatie op detailniveau gemodelleerd worden en kunnen mogelijke knelpunten op het maaiveld en in het rioolstelsel nauwkeurig in kaart gebracht worden.

Om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de vergelijking tussen de uitgangspunten van het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model zal gekeken worden naar verschillende vraagstukken die deze probleemstelling verder definiëren:

- Een pilotgebied waarvan het 1D rioleringsmodel al beschikbaar gesteld en gevalideerd is om een vergelijking te kunnen maken met de uitgangspunten van het geïntegreerde 2D model.
- De veranderingen in de omgevingsfactoren en de gevolgen op de afstroming van hemelwater richting het riool.
- 'De weg van de druppel' globale route die de druppel aflegt richting het rioolstelsel in een ideale situatie.
- Het genereren van een virtueel maaiveld om de afstroming van regenwater te kunnen nabootsen.
- De uitkomsten van het geïntegreerde 2D model om de toepasbaarheid te beoordelen.

Op deze manier kan er inzicht gegeven worden in het toevoegen van een tweedimensionaal afstromingsmodel van hemelwater over het maaiveld naar het rioolstelsel, aan het eendimensionaal rioleringsmodel met daarbij een argumentatie over de bruikbaarheid van de resultaten.

1.5 Onderzoeksvraag

Om de hierboven gestelde vraagstukken te kunnen beantwoorden zijn hoofd- en deelvragen opgesteld. De hoofdvraag luidt:

“Wat is de verhouding tussen de uitkomsten van het geïntegreerde tweedimensionale afstromingsmodel met een rioleringsmodel ten opzichte van de meetresultaten in het gebied en het afzonderlijk gevalideerde eendimensionale rioleringsmodel in het programma InfoWorks ICM.”

De deelvragen specificeren de hoofdvragen in apart te beantwoorden vragen:

- 1 Wat zegt de literatuur over de omgevingsfactoren in het afstroomgebied?
- 2 Wat is de globale route die de druppel aflegt richting het rioolstelsel in een ideale situatie?
- 3 Hoe kan een tweedimensionaal afstromingsmodel geïntegreerd worden aan een eendimensionaal rioleringsmodel in het programma InfoWorks ICM?
- 4 Wat zijn de uitkomsten van het geïntegreerde tweedimensionale afstromingsmodel ten opzichte van de meetresultaten en het gevalideerde eendimensionale rioleringsmodel?

1.6 Methodologie

Witteveen+Bos maakt gebruik van een tweedimensionaal afstromingsmodel dat gekoppeld is aan een eendimensionaal rioleringsmodel. Maar wat nou echter het voordeel is van de toevoeging van het tweedimensionaal afstromingsmodel aan het eendimensionaal rioleringsmodel is nog niet concreet. Daarnaast kunnen ook de verandering in de omgeving door het klimaat in kaart gebracht worden met behulp van het tweedimensionale afstromingsmodel. Om deze vraagstukken op te kunnen lossen wordt er eerst gekeken naar wat klimaatverandering nou eigenlijk doet met de omgeving. Er zal onderzocht worden of er een neerslagtekort gaat ontstaan, of juist een neerslagoverschot. Daarnaast wordt er gekeken naar wat de invloed zal zijn op de bodem en of dit effect heeft op de waardes die worden ingevoerd in het programma InfoWorks ICM. Hier zal een antwoord op worden gegeven met behulp van een literatuurstudie.

Om erachter te komen welke veranderingen er zijn in de uitkomsten van het tweedimensionale afstromingsmodel ten opzichte van het eendimensionaal rioleringsmodel moet er eerst gekeken worden naar hoe het tweedimensionale afstromingsmodel is opgesteld en hoe dit model gekoppeld is aan het eendimensionale rioleringsmodel. Dit kan het beste uitgezocht worden door het tweedimensionaal afstromingsmodel zelf op te stellen en zo alle stappen te doorlopen.

De uitgangspunten van beide modellen worden vergeleken door een grafiek te genereren die de uitkomsten van de debietmetingen weergeven van beide modellen. De verschillen tussen het model en de debietmeting kunnen vergeleken worden met elkaar waardoor een duidelijk verschil in de uitkomsten weergegeven kan worden.

1.7 Leeswijzer

In dit verslag is een overzichtelijk verloop van de verschillende onderdelen aangebracht. Er is een verdeling gemaakt van leidende informatie in het hoofdverslag en informatie waarbij dieper wordt ingegaan op de literatuur in de bijlage. Het hoofdverslag is ontstaan uit de aanleiding van het onderzoek, dit is een beknopte versie van het literatuuronderzoek wat uitgevoerd is en is in de bijlagen te vinden. Vervolgens wordt er in hoofdstuk 2 verder ingegaan op de basisprincipes van het programma InfoWorks ICM, hierbij worden ook de rekenwijzen van de verschillende soorten modellen toegelicht. In hoofdstuk 3 is een algemene omschrijving te vinden van het projectgebied dat is gebruikt tijdens het uitvoeren van de berekeningen. Hoofdstuk 4 gaat verder in op de handelingen die nodig zijn om een werkend 2D afstromingsmodel te generen, waarbij de uitkomsten vergeleken kunnen worden met de bestaande resultaten. De vergelijkingen van de verschillende modellen zullen verder besproken worden in hoofdstuk 5. Waarna in hoofdstuk 6 de gevolgen van bui 08 en 09 in het gebied Zuiderpolder verder besproken worden. In hoofdstuk 7 zal de uiteindelijke conclusie met antwoord op de hoofdvraag beschreven worden, met daarbij een aanbeveling voor het gebruik van een geïntegreerd 2D model om afstroming over het maaiveld te berekenen. Vaktermen die gebruikt worden in de hoofdstukken van het hoofdverslag staan beschreven in de begrippenlijst, deze is terug te vinden na de inhoudsopgave.

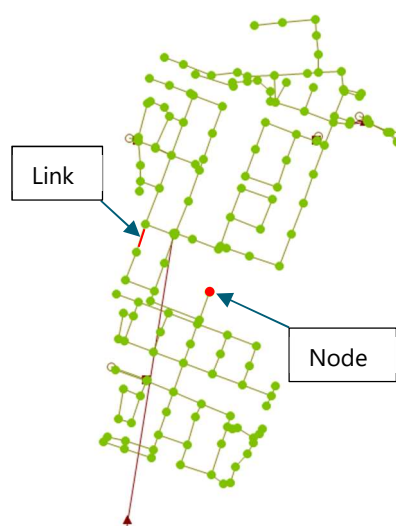
In de bijlagen zijn gedetailleerde omschrijvingen van enkele onderwerpen die benoemd zijn in het hoofdverslag weergegeven.

BASISPRINCIPES INFOWORKS ICM

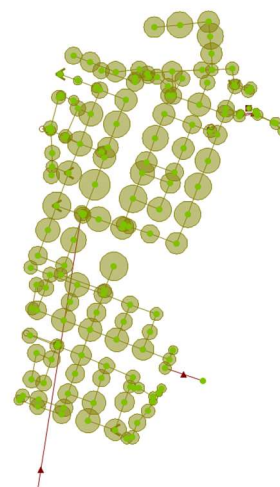
InfoWorks Integrated Catchment Modeling (Infoworks ICM) wordt gebruikt om *hydraulische*- en *hydrologische netwerken* te modelleren. InfoWorks ICM is een samenvoeging van een rioleringsmodellering en oppervlakte afstromingsmodellering. Het programma bestaat hierdoor uit een combinatie van een eendimensionaal (1D) rioleringsmodel, die de afvoer in rioleringen berekent en een één- of tweedimensionaal (2D) afstromingsmodel dat de bovengrondse afvoer berekent. Samen zorgt dit ervoor dat er een integratie is van een 1D rioleringsmodel en 2D afstromingsmodel. Met integratie wordt bedoeld dat de invoer van het ene model de berekeningen van het andere model beïnvloedt. Zo ontstaat er een verband tussen de rioleringsafvoer en de regenwaterafstroming over het maaiveld. Het 1D rioleringsmodel modelleert een hydrologische simulatie of een *droogweerafvoer (DWA)* van stromingen in het riool en het 2D afstromingsmodel modelleert een simulatie van bovengrondse stromingen in het stedelijk gebied richting het rioolstelsel of het oppervlaktewater.

2.1 Eendimensionaal rioleringsmodel

Het 1D rioleringsmodel bestaat uit knopen (nodes) en leidingen (links), zie Figuur 2.1. Hierbij staan de knopen aangegeven als rioolputten, de leidingen staat als een verbinding tussen de rioolputten. De aangewezen leidingen kunnen verschillende betekenissen hebben zoals rioolbuizen, *duikers*, et cetera. In het 1D rioleringsmodel wordt gekeken hoe het water zich verplaatst door het stelsel van rioolputten en rioolbuizen en waar dit water afgevoerd of geborgen wordt. Er kan zo een voorspelling gedaan worden van hoe het water door het rioolstelsel stroomt en waar water op straat kan ontstaan. De hoeveelheden van de verharde oppervlaktes worden meegenomen in de berekening van het 1D rioleringsmodel om te bepalen hoeveel water er afgevoerd moet worden op één put. In Figuur 2.2 zijn de dummy-subcatchments te zien in de vorm van cirkels. Dit is een weergave van de hoeveelheid hectare die gekoppeld is aan elke put. Het exacte aantal hectare is terug te vinden in de properties van de dummy-subcatchments, het aantal hectare waarvan water wordt afgevoerd verschilt van 0,014 tot 0,345 hectare per cirkel. Hoe groter de cirkel des te meer water er in de rioolput terecht komt. In het 1D rioleringsmodel worden deze hoeveelheden aangevoerd via de putten omdat de kolken alleen geplaatst kunnen worden als de hoogte van het maaiveld toegevoegd is. Als alle gegevens toegevoegd zijn aan het 1D rioleringsmodel kan een bui over het model gesimuleerd worden. Dit zorgt ervoor dat de rioolbuizen en -putten zich gaan vullen met



Figuur 2.1: Schematische weergave rioleringsstelsel

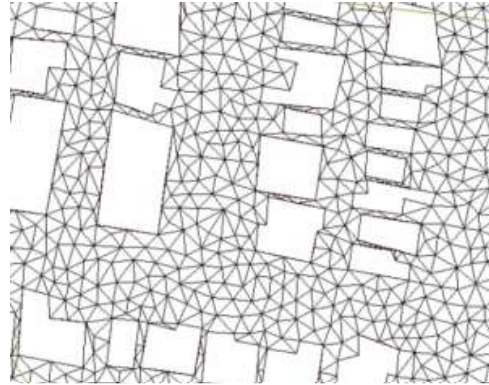


Figuur 2.2: Dummy-subcatchments per put

regenwater dat via de putten het systeem instroomt. Met behulp van dwarsdoorsneden kan het verloop van de bui in het stelsel gevisualiseerd worden.

2.2 Tweedimensionaal afstromingsmodel

Om een tweedimensionaal afstromingsmodel op te stellen wordt gebruik gemaakt van een hoogtekarta van het gebied met behulp van de [AHN2](#) of [AHN3](#). Op basis van de hoogtekarten wordt een '*mesh*' gegenereerd. Een mesh is een ondergrond die bestaat uit kleine driehoekjes. Aan de hoeken van elke driehoek zijn x-, y- en z-coördinaten gekoppeld. In het geheel vormt de mesh de hoogte van de werkelijke ondergrond om zo de situatie van afstroming na te kunnen bootsen, zie Figuur 2.3. Bij het berekenen van een bui zal het regenwater over het mesh heenstromen, hierbij kan het water onderweg infiltreren in de bodem of afstromen richting een lager gelegen op het mesh. Waar het water kan infiltreren wordt bepaald door de [vlakkenkaart](#), deze kaart definieert de verschillende soorten ondergronden in het gebied. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen open en gesloten verharding, dit bepaald hoeveel water infiltreert in de bodem. Bij deze berekening wordt niet direct het rioolstelsel meegenomen en blijft al het regenwater dus bovengronds, er is zo goed te zien waar het regenwater blijft staan. Er kan een integratie van het 1D rioleringsmodel en 2D afstromingsmodel gemaakt worden om zo het rioolstelsel toe te voegen en een totaalberekening uit te voeren.



Figuur 2.3: Mesh weergaven in InfoWorks ICM in bovenaanzicht met het ingeladen hoogtemodel (Pugh, 2012)

2.3 Verskil tussen het eendimensionaal en tweedimensionaal model

De verschillende dimensies implementeren de manier waarop stroming wordt berekend in het model. In het 1D rioleringsmodel wordt het water gemodeleerd met de gemiddelde stroomsnelheid waardoor het met één snelheid door het rioolstelsel stroomt waardoor het maar één richting op kan. Bij het 2D afstromingsmodel kan het water verschillende richtingen opstroomen maar er wordt nog geen onderscheid gemaakt in stroomsnelheden op verschillende hoogte niveau's. Waardoor het water nog steeds als één geheel stroomt. Dit verschil in snelheden wordt wel meegenomen in een driedimensionale (3D) afstromingsmodellering. Omdat het water hierbij ook over verschillende niveau's gaat stromen en uitwisselen, het is daardoor lastig om de werkelijke situatie na te bootsen in het 3D model.

2.4 Iteratie en integratie

In beide modellen worden dezelfde factoren gebruikt om berekeningen te maken, waaronder de infiltratiecapaciteit. Dit komt doordat het geïntegreerde 2D model de input nodig heeft die de berekeningen van het 1D rioleringsmodel biedt. De input van een factor moet uiteindelijk in beide modellen gelijk zijn, als dit niet het geval is worden de berekeningen opnieuw uitgevoerd totdat de waarden gelijk zijn aan elkaar, dit is een *iteratief* proces tussen het geïntegreerde 1D en 2D model. Met behulp van iteratie kan er berekend worden hoe het water beweegt in het model. De hoeveelheid water die zich verplaatst, bijvoorbeeld naar de riolering, in het 1D rioleringsmodel zal gelijk moeten zijn aan de hoeveelheid water die wegstroomt van het maaiveld in het 2D afstromingsmodel. Dit voorkomt dat er water 'verdwijnt' uit het systeem. Het geïntegreerde model berekent per tijdsstap de hoeveelheid water die zich verspreidt over het maaiveld. Naarmate de capaciteit van het riool de hoeveelheid regenwater weer aankan zal het water zakken. Het water loopt weer terug en kan afgevoerd worden in het rioolstelsel, waardoor het water in het 2D afstromingsmodel afneemt en het water in het 1D rioleringsmodel toeneemt. De hoeveelheid water-op straat die berekend wordt in het 1D rioleringsmodel moet gelijk zijn aan de waterhoogte op het maaiveld dat het 2D afstromingsmodel berekend. Zo ontstaat er een iteratief proces, Figuur 2.4. Dit is een constant doorlopend proces, er kan gestart worden bij de integratie van een van de twee modellen.

Wanneer water met een te grote snelheid stroomt, stroomt het water niet een kolk in maar stroomt het verder af, dit komt voornamelijk voor in het 2D afstromingsmodel en kan met behulp van dit iteratieproces gemodelleerd worden. Als de *stroomsnelheid* van het water te groot is zal het niet kunnen infiltreren in de

grond of afstromen naar de kolken op de locatie maar zal het verder afstromen en elders infiltreren of afvoeren naar het riool. De snelheid die het water krijgt door het hoogtemodel beïnvloedt zo het infiltratieproces en de hoeveelheid water die afstroomt richting het rioolstelsel.

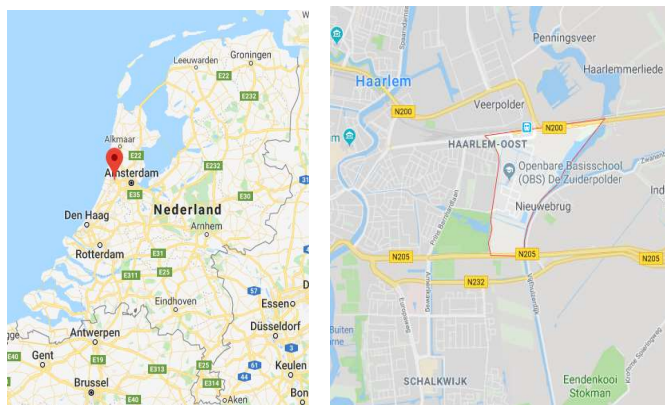
De integratie tussen het 1D en 2D model zorgt ervoor dat water vanaf het maaiveld richting het rioolstelsel afstroomt. Als alleen het 1D rioleringsmodel wordt gebruikt zal het water het rioolstelsel niet verlaten. Er wordt dan in het 1D rioleringsmodel een definitie toegevoegd aan de knopen/rioolputten. Hierin wordt de functie 'stored' gebruikt, dit wil zeggen dat het water niet uit het riool kan. Als er gebruik wordt gemaakt van een geïntegreerd 2D model wordt 'stored' omgezet naar '2D', dit zorgt ervoor dat het water uit het riool kan stromen en op de mesh terecht komt. Als het water dan eenmaal op de mesh staat zal het, met behulp van de hoogteverschillen, over het oppervlak afstromen of de volgende put instromen.



Figuur 2.4: Schematische weergave integrerend en iteratief proces

PROJECTGEBIED ZUIDERPOLDER

Om de veranderingen in de invulgegevens te kunnen toetsen wordt gebruik gemaakt van een 'pilotgebied'. Voor het pilotgebied wordt het gebied Zuiderpolder gebruikt, een *polder* ten oosten van het centrum van Haarlem, zie Figuur 3.1. Er is gekozen voor het gebied Zuiderpolder omdat hier in het verleden een model is opgesteld van het huidige rioolstelsel in de *bemalingsgebieden* Schalkwijk en Zuiderpolder. Er is gekozen om het gebied Zuiderpolder te gebruiken als pilotgebied omdat dit een kleinschalig, overzichtelijk model is waardoor de berekeningen minder tijdrovend zijn. Het kleinschalige model zorgt ervoor dat opvallende/afwijkende situaties gemakkelijker in kaart te brengen en te verklaren zijn.



Figuur 3.1: Locatie pilotgebied (Maps, 2019)



Figuur 3.2: Rioolstelsel pilotgebied (rood) in projectgebied met locatie van de pomp richting de RWZI (blauw)

Er wordt gebruik gemaakt van informatie die terug te vinden is in het *rioleringsmodel* van Zuiderpolder, tenzij anders vermeld. Deze informatie is afkomstig uit een eerder uitgevoerd project door Witteveen+Bos voor de gemeente Haarlem. Dit werd uitgevoerd om het functioneren van het huidige rioolstelsel in het bemalingsgebied te onderzoeken.

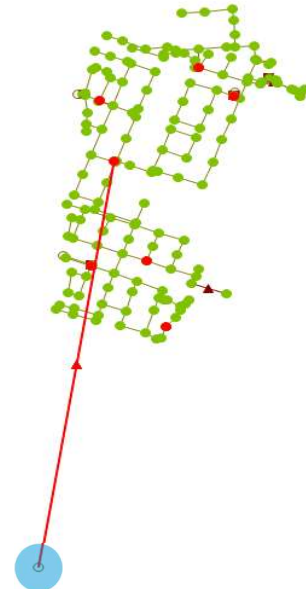
Het gebied wordt begrensd door de Ringvaart van de Haarlemmermeerpolder aan de oostkant, de N200 en een spoorbaan grenzen aan de noordkant van Zuiderpolder en aan de zuidkant grenst de N205. Verder wordt Zuiderpolder omringd door bebouwing waarvan het rioleringsstelsel geen directe koppeling heeft met Zuiderpolder. De gemeente heeft het inwoneraantal vastgesteld op 3060, dit wordt gebruikt voor de verdeling naar de rioolputten.

3.1 Rioolstelsel Zuiderpolder

Het rioolstelsel dat zich bevindt in Zuiderpolder is een *gemengd systeem*, dit betekent dat zowel het hemelwater- als het droogweerafvoer afgevoerd worden door hetzelfde rioloorsysteem. In Figuur 3.2 is het gehele rioolstelsel van Schalkwijk en Zuiderpolder te zien, met daarbij een uitvergroting van het gebied

Zuiderpolder. Het rioolwater vanuit Zuiderpolder wordt afgevoerd onder *vrij verval* en komt bij elkaar in een verzamelput waar het gezamenlijk wordt afgevoerd. Vervolgens wordt het rioolwater via een *persleiding* naar de rioolwaterzuivering afvoerd. De *rioolwaterzuiveringsinstallatie* (RWZI) grenst aan het gebied in de Boerhaavelaan. In het rioleringsmodel is dit gemodelleerd met een 'outfall', te zien op de locatie van de blauwe cirkel in Figuur 3.3. Dit punt dient tevens als een *systeemgrens*. De systeemgrens zorgt ervoor dat het rioolwater in het model afgevoerd wordt waarna het niet meer terug kan stromen in het model.

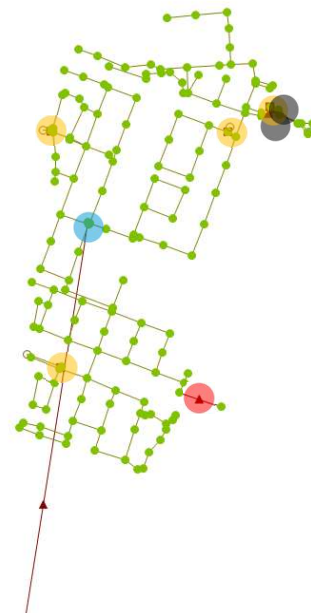
Om de resultaten van het model te kunnen vergelijken zijn er zeven hoogtemeters en een debietmeter geplaatst, de debietmeters is geplaatst in de persleiding. Zie rode punten voor de hoogtemeters in Figuur 3.3. Zo kan er beoordeeld worden of de resultaten uit het model de werkelijkheid kunnen nabootsen. Het rioolstelsel van Zuiderpolder is alleen verbonden met een ander rioolstelsel via de pomputten in Schalkwijk. Dit zorgt ervoor dat er geen tegendruk ontstaat in het rioolstelsel van Zuiderpolder door het rioolstelsel van Schalkwijk. Hierdoor kan het model, van het gebied Zuiderpolder, beter gevalideerd worden met behulp van de meetresultaten.



Figuur 3.3: Locaties hoogtemeters in rood

Rioolvreemd water kan ongelijkheden geven in de debietmetingen. Onder rioolvreemd water valt *lekwater*, *drainagewater*, *bronneringswater* als gevolg van bouwwerkzaamheden en lozing van afvalwater door bedrijven. Zuiderpolder heeft nauwelijks last van rioolvreemd water omdat het gebied voornamelijk uit huishoudens bestaat. Er zijn geen bedrijven die voor extra rioolvreemd water kunnen zorgen. Na metingen is het rioolvreemd water in Zuiderpolder vastgesteld op 2,64 m³/h.

Er zijn vier *pompen* aanwezig in het gebied Zuiderpolder, te zien in Figuur 3.4. Eén pomp is geplaatst richting de rioolwaterzuivering, deze is blauw gekleurd. De capaciteit van deze pomp is ingesteld op een *debiet* tot 180m³/h, als het waterpeil toeneemt tot een hogere waarde kan deze capaciteit verhoogd worden. In het noord-oostelijk gedeelte van het gebied zijn pomp twee en drie gevestigd, deze dienen als aansluiting vanuit het gebied van een woonwagenveld en zijn zwart gekleurd. Omdat ze zo dicht bij elkaar zitten is er één cirkel geplaatst om de locatie aan te wijzen. De vierde pomp zit gevestigd in het zuidoosten van het gebied, deze is rood gekleurd, vanaf die locatie wordt het rioolwater uit het buitengebied gepompt richting het stelsel. Het *inslagpeil* van de pompen, staat ingesteld op -4.32 m Normaal Amsterdams Peil (NAP) en het *uitslagpeil* is ingesteld -5.12 m NAP. Op deze manier wordt het waterpeil in het gebied op de juiste hoogte gehouden.



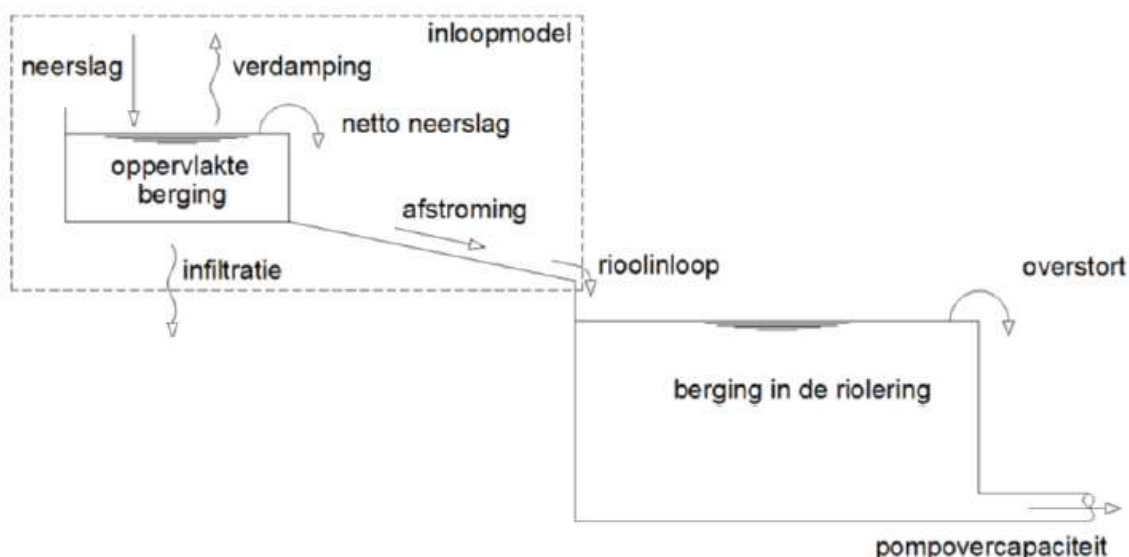
Figuur 3.4: De verschillende pompen, aangegeven op de kaart (blauw, rood en zwart) en overstorten (geel)

Het gebied Zuiderpolder heeft vier *overstorten*, te zien in het geel in Figuur 3.4. De overstorten zorgen ervoor dat bij extreme neerslag het rioolwater overstort op het oppervlaktewater zodat het rioolstelsel niet overbelast raakt. De *polderpeilen* in Zuiderpolder worden onderverdeeld in agrarisch en bebouwd gebied en vallen onder het *watergebiedsplan* van Spaarnwoude. Het bebouwde gebied heeft een peil van -2.12 m NAP voor zowel het *zomer- als winterpeil*. Het agrarisch gebied heeft een zomerpeil van -1.75 m NAP en een winterpeil van -1.85 m NAP (Dingemanse & van Mameren, 2018).

3.2 NWRW4.3 model van Zuiderpolder

Het eerste model dat werd opgesteld voor het berekenen van het rioleringssysteem was het NWRW4.3 inloopmodel, conform *Leidraad Riolering* Module 2100. Het NWRW4.3 inloopmodel, het standaardmodel voor het berekenen van rioleringssystemen in Nederland, is een combinatie van onder andere afstromingsverliesmodellen met standaard parameters. In het model wordt het verloop van de neerslag over het afvoerend oppervlak naar het rioleringstelsel per tijdseenheid beschreven. De processen die hierbij een rol spelen worden in Figuur 3.5 weergegeven.

Bij neerslag zal er plasvorming ontstaan, waarna het regenwater op deze plekken kan infiltreren of verdampen. Als het volume van de neerslag groter wordt dan de *oppervlakte berging* die aanwezig is op de plek waar de plas vormt, zal het water afstromen richting het riool.



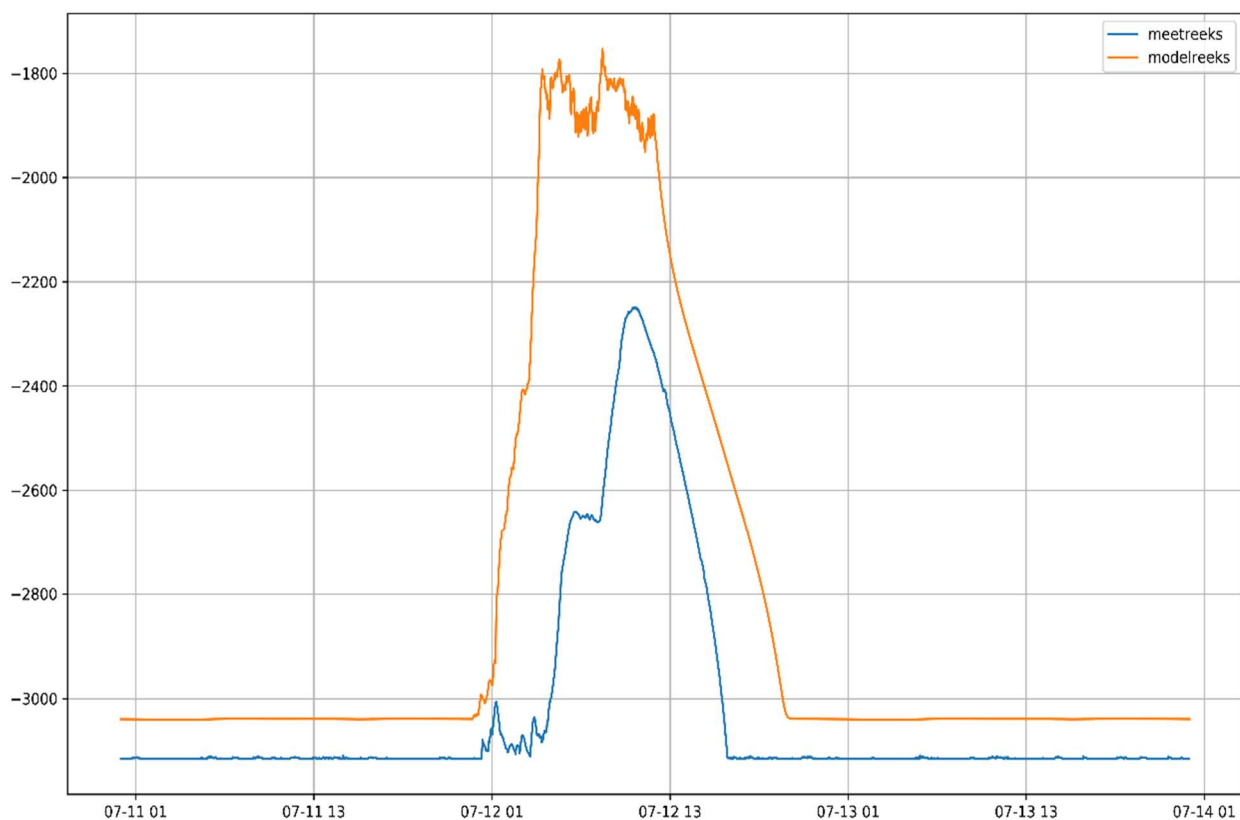
Figuur 3.5: Schematische weergave NWRW4.3 inloopmodel (Ministerie van Volkhuysvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1989)

In de schematisering van het NWRW4.3 inloopproces zijn drie fases te onderscheiden, de neerslag(verlies)fase, de afstromingsfase en de rioleringsfase. Bij elke fase zijn er verschillende factoren, zoals verdamping, infiltraties en afstroming over verschillende oppervlaktes, waarbij er standaardwaarden geformuleerd zijn in het NWRW4.3 inloopmodel. Het doel hiervan is om een kwantitatieve, eenvoudige berekening te maken voor de verwachtingen van de capaciteit voor het riool en overstort. Echter blijkt in de praktijk dat de schematische weergave niet altijd overeenkomt met de werkelijke situatie. Zo kan er ook een uitwisseling van waterstromen zijn in de tegengestelde richting die niet worden meegenomen in het NWRW4.3 inloopmodel. Hierdoor ontstaan onnauwkeurigheden bij berekeningen in de modelberekening door gebruik van het NWRW4.3 inloopmodel

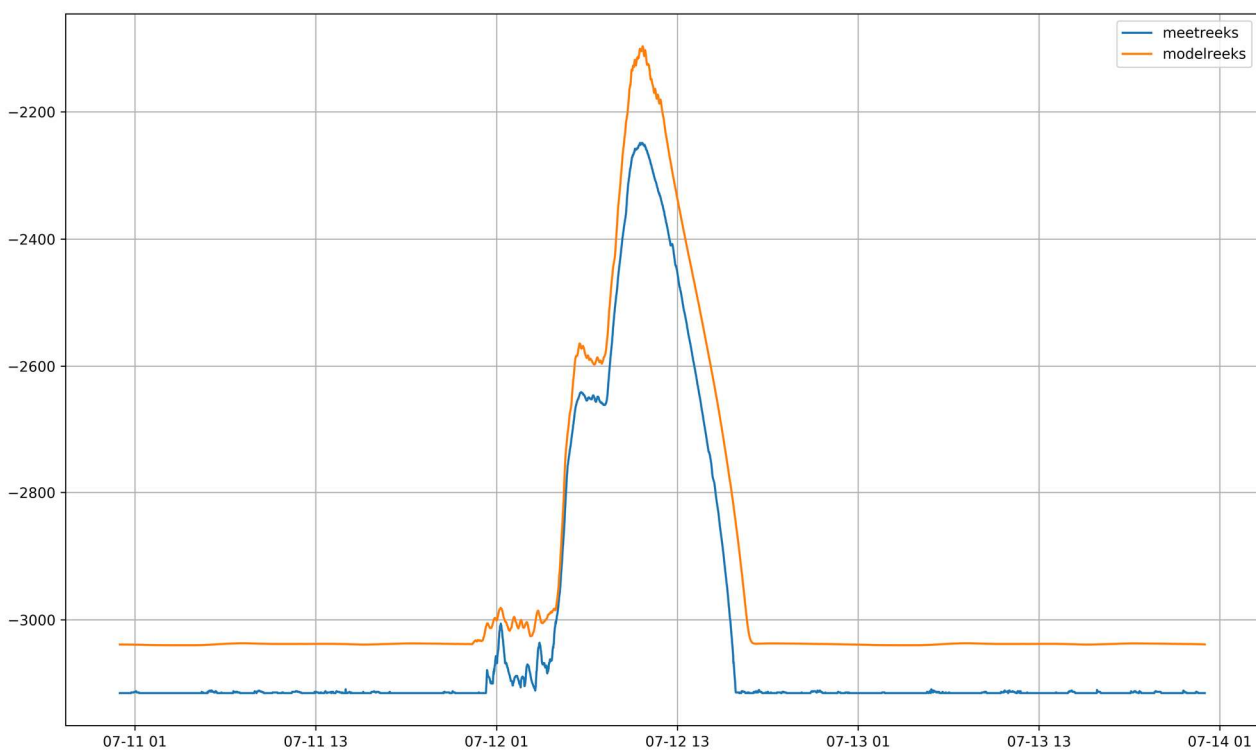
3.3 Gevalideerd model Zuiderpolder

De gegevens uit het NWRW4.3 inloopmodel zijn vergeleken met de meetresultaten van de hoogtemeters en debietmeter die geplaatst zijn in het projectgebied. Dit kan met behulp van een model worden nagebootst door het uitvoeren van de berekeningen. Uit de vergelijking tussen het inloopmodel en de meetgegevens is geconcludeerd dat de uitkomsten van het NWRW4.3 model een overschatting geven vergeleken met de gemeten resultaten. Om dit op te lossen zijn de gegevens gevalideerd, hierdoor komen de uitkomsten en de invulwaarden uit het model dicht bij de meetresultaten in het gebied. In het valideerproces van Witteveen+Bos voor het gebied Zuiderpolder is geconstateerd dat het NWRW4.3 inloopmodel te 'conservatief' ingeschat is. Hiermee wordt bedoeld dat er meer water gemodelleerd wordt in het rioleringsmodel dan dat er werkelijk aanwezig is in het rioolstelsel.

putnummer: ZP-28015



putnummer: ZP-28015



Figuur 3.6: Niet gevalideerd model (boven), gevalideerd model (onder) in vergelijking tot de meetreeks in put zp-28015 in mm t.o.v. NAP (Dingemanse & van Mameren, 2018)

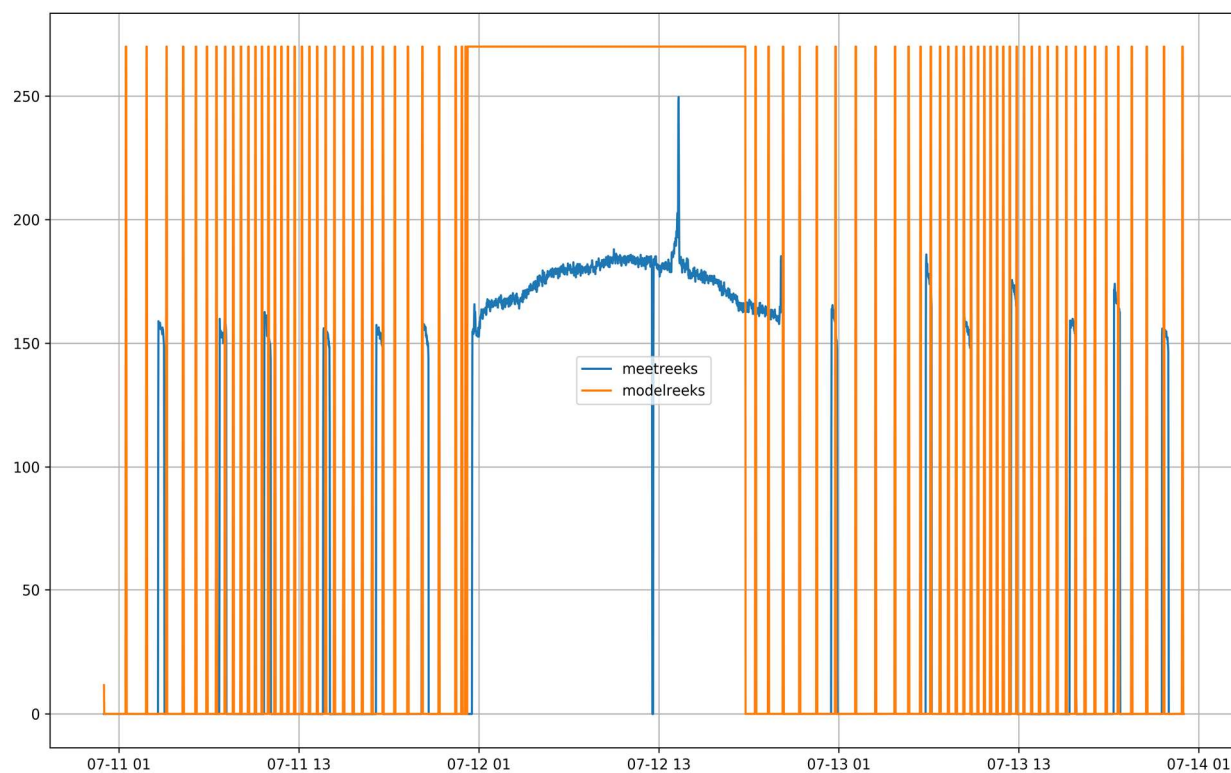
In Figuur 3.6 is te zien wat het verschil is voor en na de validatie in een put in het gebied, Figuur 3.7 laat dit verschil zien in een pompput. De oranje lijn geeft de output van het model weer en de blauwe lijn laat de gegevens uit de metingen zien. In de put is er gekeken naar een waterstandsverloop in millimeters over een twee vaste momenten per dag (om 13:00 en 01:00 uur). Bij de pompput is dit weergegeven als het debiet en gebeurt dit in kubieke meter per uur over de twee vaste momenten per dag.

Voordat de validatie plaatsvond bij beide putten waren de lijnen in de grafiek niet gelijk en dit implementeert een foutieve aanname in de waarden waarmee gerekend wordt. Door deze waarden aan te scherpen, zodat ze beter overeenkomen met de werkelijke situatie, ontstaat er een nieuwe grafiek die gevalideerd is. In onderste grafiek is te zien dat na het valideerproces de gegevens van de gemeten waarden in het gebied en de uitkomsten van het model beter corresponderen, zowel op de x- als y-as.

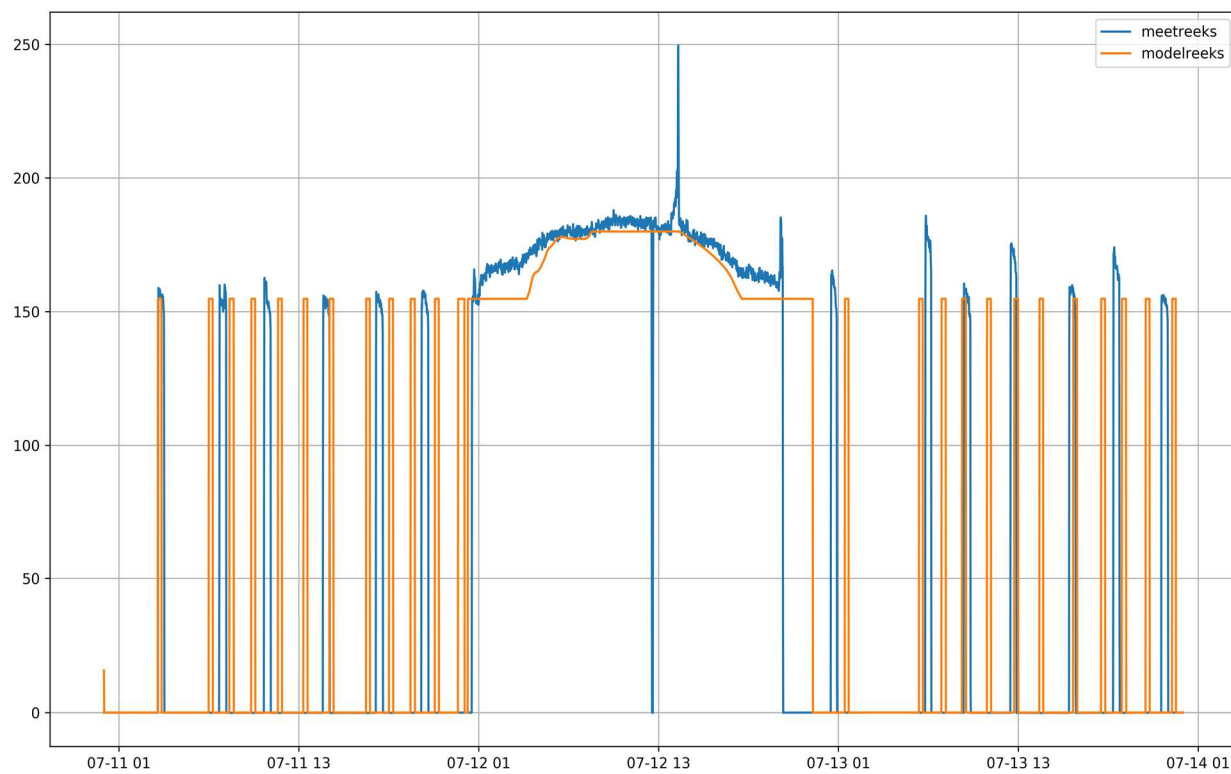
Er zijn aanpassingen gemaakt in de uitgangspunten van het model waardoor een realistischere modellering wordt gemaakt die overeenkomt met de werkelijkheid. Een afwijking in de eerdere berekende resultaten kan op verschillende manieren ontstaan, er kan hierbij een onderscheid gemaakt worden tussen afwijkingen in regenwater- en droogweerafvoer. Bij de aannames van het verharde oppervlakte waarover regenwater afstroomt richting de riolering is een groter verhard oppervlakte aangenomen dan in de werkelijkheid, waardoor een grotere hoeveelheid water het rioolstelsel binnenkomt dan in werkelijkheid is. Voor de droogweerafvoer kwam de afwijking voornamelijk door de aannames van de pompen, hierbij is uiteindelijk de hoogte van het in- en uitslagpeil van de pomp aangepast en de pompcapaciteit is gewijzigd.

De validatie vindt plaats voor het totale gebied in Schalkwijk en Zuiderpolder en niet per put, op deze manier wordt voorkomen dat er verschillende waarden aangenomen worden die alleen positief zijn per put. Als eerste stap wordt er gekeken naar de hoogte van de waterstand, dit zorgt ervoor dat de hoogte van de grafiek meer in de buurt komt van de meetwaarde. Vervolgens worden de verschillen in het verloop langs gelopen om zo op detailniveau aanpassingen aan de waarden te kunnen maken. Ter controle wordt er vervolgens een andere bui over het gebied gesimuleerd, op deze manier kan gecontroleerd worden of de nieuwe aannames juist zijn. Er wordt daarnaast rekening gehouden met het functioneren van het systeem in elke situatie door een lichte overschatting van de waardes, zo ontstaat een zekerheid in het gebied. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het gevalideerde model nauwkeuriger de werkelijkheid kan beschrijven dan het NWRW4.3 inloopmodel.

putnummer: ZP-28066c1.1



putnummer: ZP-28066c1.1



Figuur 3.7: Niet gevalideerd model (boven), gevalideerd model (onder) in vergelijking tot de meetreeks in put zp-28066c1.1 in m3/uur (Dingemanse & van Mameren, 2018)

REKENWIJZE

Om de werking van de integratie van een eendimensionaal (1D) rioleringsmodel en tweedimensionaal (2D) afstromingsmodel te toetsen is er gebruik gemaakt van een pilotproject, het gebied Zuiderpolder in Haarlem. In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de vormgeving van de combinatie van deze modellen, met daarbij de werkwijze voor de stappen die zijn uitgevoerd met behulp van het programma InfoWorks ICM. Er worden belangrijke aandachtspunten en beperkingen aangehaald die het modelleringsproces beïnvloeden.

Tijdens dit onderzoek is gekeken naar de toepasbaarheid van het tweedimensionaal afstromingsmodel in integratie met het eendimensionaal rioleringsmodel in het programma InfoWorks ICM. Met de uitkomsten van deze integratie kan een vergelijking gemaakt worden met het gevalideerde 1D rioleringsmodel en de meetresultaten van de meetpunten in het projectgebied.

Om een 2D afstromingsmodellering te integreren wordt eerst een 1D rioleringsmodel van de riolering aangemaakt, waar vervolgens het terreinmodel (2D afstromingsmodel) aan toegevoegd wordt. Beide modellen worden vervolgens aan elkaar gekoppeld, zodat de afstroming van regenwater over het maaiveld gemodelleerd kan worden. Vervolgens zal het totale model doorgerekend worden met een *neerslaggebeurtenis* uit de praktijk en kunnen de resultaten gevisualiseerd worden. Hieronder volgt een beknopte omschrijving van de stappen die uitgevoerd zijn om zo de vergelijking te kunnen stellen tussen de twee modellen.

Doordat er gebruik is gemaakt van een bestaand project zijn enkele basisgegevens al beschikbaar gesteld, zoals het eendimensionaal rioleringsmodel, deze stappen zullen daarom niet verder toegelicht worden.

4.1 Toevoegen eendimensionaal rioleringsmodel

Om een integratie te kunnen maken tussen het 2D afstromingsmodel en het 1D rioleringsmodel is het verstandig om eerst het 1D rioleringsmodel op te zetten, zodat de omvang van het 2D afstromingsmodel te bepalen is. Hiervoor kan een volledig nieuw 1D rioleringsmodel opgesteld worden of kan er een oud model geïmporteerd of gekopieerd worden. Bij deze pilot wordt gebruik gemaakt van een bestaand rioleringsmodel dat eerder gebruikt is tijdens het project Schalkwijk + Zuiderpolder (HLM534-2), voor de Gemeente Haarlem. Er is gekozen om de pilot toe te spitsen tot alleen het gebied Zuiderpolder. Het kleinschalige model zorgt ervoor dat opvallende/afwijkende situaties gemakkelijker in kaart te brengen en verklaren zijn. Het rioolstelsel van Zuiderpolder staat los van het rioolstelsel in Schalkwijk. Het 1D rioleringsmodel kan afzonderlijk van het 2D afstromingsmodel doorgerekend worden. De uitkomsten van deze berekening in het 1D rioleringsmodel, zullen tevens als referentie dienen bij de vergelijking van het gebruik van het geïntegreerde 2D model.

4.2 Toevoegen tweedimensionaal afstromingsmodel

Als het 1D rioleringsmodel volledig is toegevoegd kan de stap gemaakt worden om het 2D afstromingsmodel toe te voegen.

Eerst wordt er een hoogtekartaal (AHN3) over het 1D rioleringsmodel gelegd, vergroten versie is terug te vinden in bijlage IV. De hoogtedata van het gebied Zuiderpolder wordt van de Publieke Dienstverlening Op de Kaart (*PDOK*) gedownload, waarvan de AHN3 momenteel de meest actuele data is. Om een zo nauwkeurig mogelijke hoogtekartaal in het 1D rioleringsmodel te plaatsen, wordt er gekozen om de *rasterafmetingen* van 0.5 bij 0.5 meter te downloaden. Hierdoor kunnen kleine hoogteverschillen, die van belang zijn bij afstroming van regenwater over het maaiveld, goed weergegeven worden en ontstaat er een vloeiende kaart.

Voor de hoogtekartaal wordt het type *DTM* gebruikt, DTM staat voor Digital Terrain Model en is geschikt voor het nabootsen van het maaiveld doordat hoogtes van bomen en andere objecten eruit worden gefilterd. Hierdoor worden die niet meegenomen in het hoogtemodel. Zo ontstaat er in het model een vlak waarover het regenwater kan gaan afstromen.

De vlakken in de hoogtekartaal waar geen data aan is verbonden (no-data), zoals oppervlaktewater, zullen gedefinieerd moeten worden in het programma *ArcGis* om uiteindelijk een berekening uit te kunnen voeren in het programma InfoWorks ICM. Dit wordt gedaan door de dichtstbijzijnde bekende punten, waar wel data aan is gebonden, aan elkaar te koppelen. Zo ontstaat er een gemiddelde hoogte, dit is te zien in Figuur 4.1. Vervolgens kan de hoogtekartaal geïmporteerd worden in het programma InfoWorks ICM.

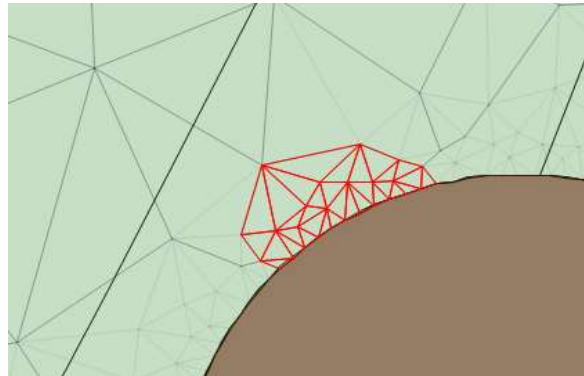
Als de hoogtekartaal is ingeladen, worden de oppervlaktes gedefinieerd in verschillende zones, er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen de *wandruwheid* van het oppervlak en de infiltratiecapaciteit. De verschillende verhardingen staan, in het 1D rioleringsmodel, alleen gedefinieerd in de verschillende run-off areas. In de run-off areas staan de hoeveelheden van de verhardingen gedefinieerd in hectare van de open verhardingen, gesloten verhardingen, onverharde verhardingen en daken. Deze vier type oppervlakte zijn onderverdeeld in hellende, vlakke, of vlak uitgestrekte type afstromingen. Door het inladen van de vlakkenkaart, in InfoWorks ICM, kunnen de verharde oppervlaktes in het hoogtemodel gedefinieerd worden in het 2D afstromingsmodel.

De open en gesloten verharding worden meegenomen in het 2D afstromingsmodel, hier wordt gekeken naar de ruwheid (roughness) en de infiltratiecapaciteit. De ruwheid wordt gedefinieerd met Mannings n [-], deze waarden geven de gemiddelde snelheid aan van het water dat over het oppervlak stroomt. De gesloten verharding wordt ingesteld met een ruwheid van 0.01 en de open verharding wordt ingesteld op een waarde van 0.015. Daarna wordt de infiltratiecapaciteit van beide oppervlakte ingesteld, zo wordt de hoeveelheid millimeter water die kan infiltreren in één uur gedefinieerd. Bij de gesloten verharding is dit 0 mm/h, hier zal alles afstromen, bij de open verharding wordt dit ingesteld op 10 mm/h. Dit zijn standaard waarden die gebruikt worden voor het opzetten van een 2D modellering.



Figuur 4.1: Proces verwijderen No-Data in ArcGis, boven ongefilterd en onder gefilterd

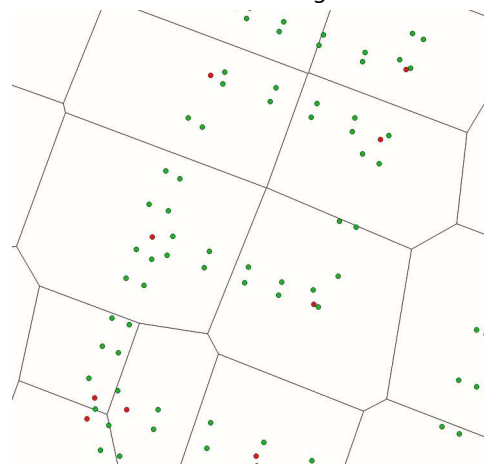
Als een definitie is toegevoegd aan de verhardingen moet er een grens van het gebied aangegeven worden, dit gebeurt met een polygoon die de eigenschap van 'normal condition' heeft. Dit houdt in dat het water met dezelfde weerstand en stroomsnelheid het 2D gebied verlaat als binnen het gebied. Het is noodzakelijk dat de polygoon binnen de hoogtekartaart gelokaliseerd is anders 'verdwijnt' het water uit het model. In deze polygoon wordt vervolgens een mesh gecreëerd, hoe groter het hoogteverschil is, hoe kleiner de driehoekjes in de mesh worden. Dit zorgt ervoor dat de hoogteverschillen nauwkeuriger worden berekend.



Figuur 4.2: Gegeneerde hoogteverschillen in de mesh

Om te voorkomen dat regenwater door gebouwen heen stroomt tijdens de modellering wordt er ook een 'void' toegevoegd aan de gebouwen, op deze manier wordt voorkomen dat het water hier doorheen stroomt. In Figuur 4.2 is hier een voorbeeld van weergegeven, een stuk van de mesh is geselecteerd te zien in rood en het gebouw is in het bruin weergegeven.

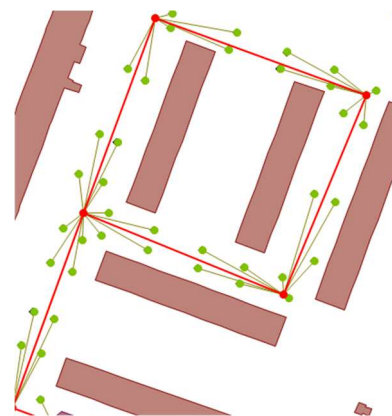
Door de void worden de gebouwen niet meegenomen in de 2D berekening maar enkel in de 1D berekening. Omdat er ook regenwater op de daken valt, is het van belang dat deze oppervlaktes wel meegenomen worden. De intensiteit van de neerslag die op de gebouwen valt wordt standaard meegenomen in het 1D rioleringsmodel bij de subcatchments. De oppervlaktes van de daken worden per put verdeeld. Het water wat op de daken valt komt, in het model, direct in het rioleringsstelsel terecht en heeft hierdoor geen mogelijkheid om te kunnen infiltreren.



Figuur 4.3: Thiessen polygonen met putten (rood) en kolken (groen), zonder verhardingen

Wanneer de mesh gegenereerd is, worden alle 'flood types' van de rioolputten van stored naar 2D gezet. Dit betekent dat het water, bij overbelasting van het riool, het riool uit kan stromen. De rioolputten worden daarna met 'interference' gecontroleerd om te kijken of ze op de aangewezen coördinaten gelokaliseerd zijn en niet boven het maaiveld uitkomen.

Om een koppeling te maken tussen het 1D en het 2D model moeten kolken worden toegevoegd. Kolken worden toegevoegd als nodes met als definitie putten. De kolken worden in het 2D afstromingsmodel weergegeven als kleine putten die water opvangen en vervoeren naar de rioolputten. De putten worden vervolgens geëxporteerd naar QGIS om Thiessen polygonen te creëren, te zien in Figuur 4.3. Met behulp van het programma QGIS kunnen de kolken aan de juiste putten gekoppeld worden om te bepalen waar het water in de kolken naartoe stroomt. Als de koppeling is voltooid, worden de kolken weer geëxporteerd naar InfoWorks ICM. De kolken worden dan voorzien van een oppervlak en een niveau zodat er een koppeling naar de putten toe gerealiseerd kan worden, te zien in Figuur 4.4. De hoogte van de bovenkant van de kolk wordt op dezelfde hoogte geplaatst als dat van de mesh op die locatie. Wanneer er een verandering in de mesh plaatsvindt veranderen automatisch de hoogtes van de kolken mee. Net als de putten wordt de flood type van de kolken ingesteld als '2D' zodat het water ook uit de kolken kan stromen als de druk in het rioolstelsel te groot wordt.



Figuur 4.4: Koppeling tussen de kolken (groen) en de putten en leidingen (rood), met gebouwen

Als de koppeling tussen het 1D en 2D model gerealiseerd is, kan een 'RUN' uitgevoerd worden.

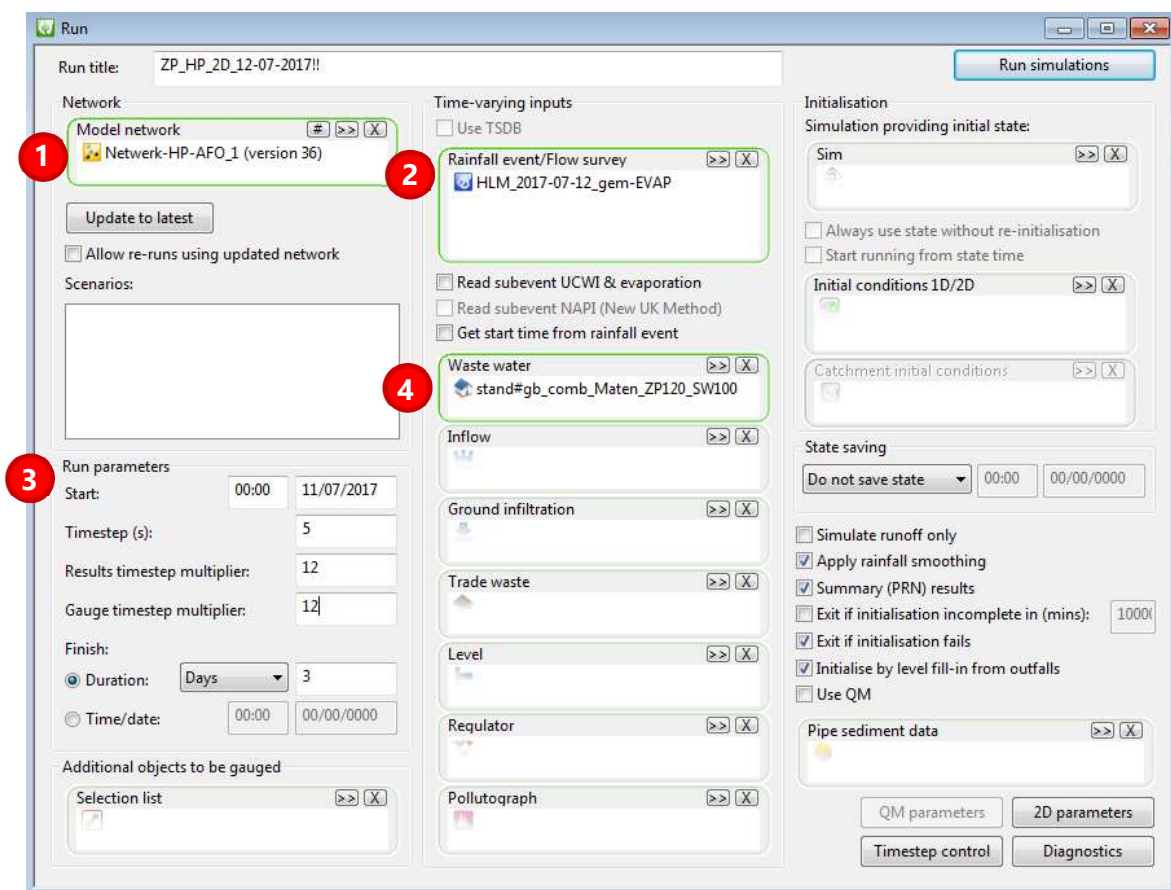
4.3 De simulatie

Wanneer zowel het 1D als het 2D model volledig zijn toegevoegd en gekoppeld in het programma kan een bui over het projectgebied gesimuleerd worden, dit gebeurt met behulp van een neerslaggebeurtenis. Nadat de berekening is uitgevoerd kunnen resultaten verwerkt worden, hierbij kan het verloop van de waterhoogte in beeld gebracht worden in het programma en zijn knelpunten op het maaiveld en riool zichtbaar.

Om een bui over het gebied heen te simuleren moet er eerst een 'run' opgesteld worden. In deze run kunnen de gegevens van de bui ingesteld worden, een rainfall event, waarmee er een specifiekere berekening gedaan kan worden voor het opgestelde gebied. De neerslagintensiteit van de bui wordt vastgesteld; hoeveel virtuele dagen van regen het model moet berekenen (run parameters) en de hoeveelheid vuilwaterafvoer die zich in het riool bevindt. De overige instellingen worden in dit geval niet gebruikt.

4.3.1 Algemene parameters

Bij het invoeren van de waarden voor de run worden drie verschillende buien meegenomen. Een bui die in het gebied gevallen is Figuur 4.5, standaard bui 08 en standaard bui 09, Figuur 4.7. De bui die gemeten is in het gebied wordt vergeleken met het gevalideerde 1D rioleringsmodel. Standaard bui 08 en standaard bui 09 worden met elkaar vergeleken om te kijken hoeveel de impact is van zwaardere buien die we in de toekomst kunnen verwachten.



Figuur 4.5: Instellingen van de run over het model voor bui HLM_2017-07-12_gem_EVAP

1.

Het geïntegreerde 2D afstromingsmodel wordt gesimuleerd in de hoog peil periode van Zuiderpolder, dit is een periode waarin de peilhoogte verhoogd werd in Zuiderpolder. Het inslagpeil is aangepast van -4.5 meter NAP naar -4.32 meter NAP en het uitslagpeil is veranderd van -5.30 meter NAP naar -5.12 NAP.

De berekening van het gevalideerde 1D rioleringsmodel van Zuiderpolder, waarin het 2D afstromingsmodel geïntegreerd is, is reeds op deze peilwijziging afgestemd. De hoog peil periode begint vanaf 16 mei 2017 en de volgende maanden worden gespecificeerd onder deze naam. De maanden voor 16 mei 2017 worden gespecificeerd als de laag peil periode. Eén van de *neerslaggebeurtenissen* die gesimuleerd wordt over het

gevalideerde 1D model en geïntegreerde 2D model is een gemeten neerslaggebeurtenis in Zuiderpolder van 11-07-2017 tot en met 13-07-2017. Deze neerslagmeting heeft drie dagen geduurd, om te kijken wat er gebeurt met het overtollige water na deze drie dagen met regen zal de totale simulatie ook worden ingesteld op drie dagen. Dezelfde neerslaggebeurtenis is ook gebruikt om de parameters van het NWRW4.3 inloopmodel te valideren (Rapport Uitwerking metingen HLM534-2/18-003.052 (Dingemanse & van Mameren, 2018). In Figuur 4.6 zijn twee verschillende metingen van de neerslaggebeurtenis, S5716 & S5717, in het gebied weergegeven.

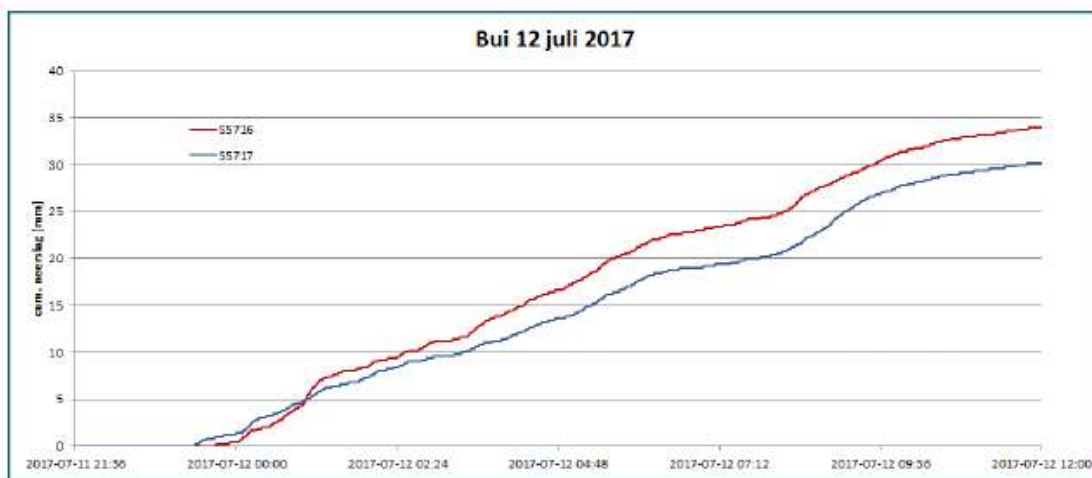
2.

Het verloop van de neerslaggebeurtenis is te zien in , de y-as weergeeft de hoeveelheid neerslag in mm en de x-as weergeeft het tijdsverloop in uren. In de grafiek zijn twee lijnen weergegeven die het verloop van neerslag in twee regenmeters visualiseren. De gemiddelde waarde van de twee neerslagmetingen wordt gebruikt om de neerslaggebeurtenis over het totale model te simuleren.

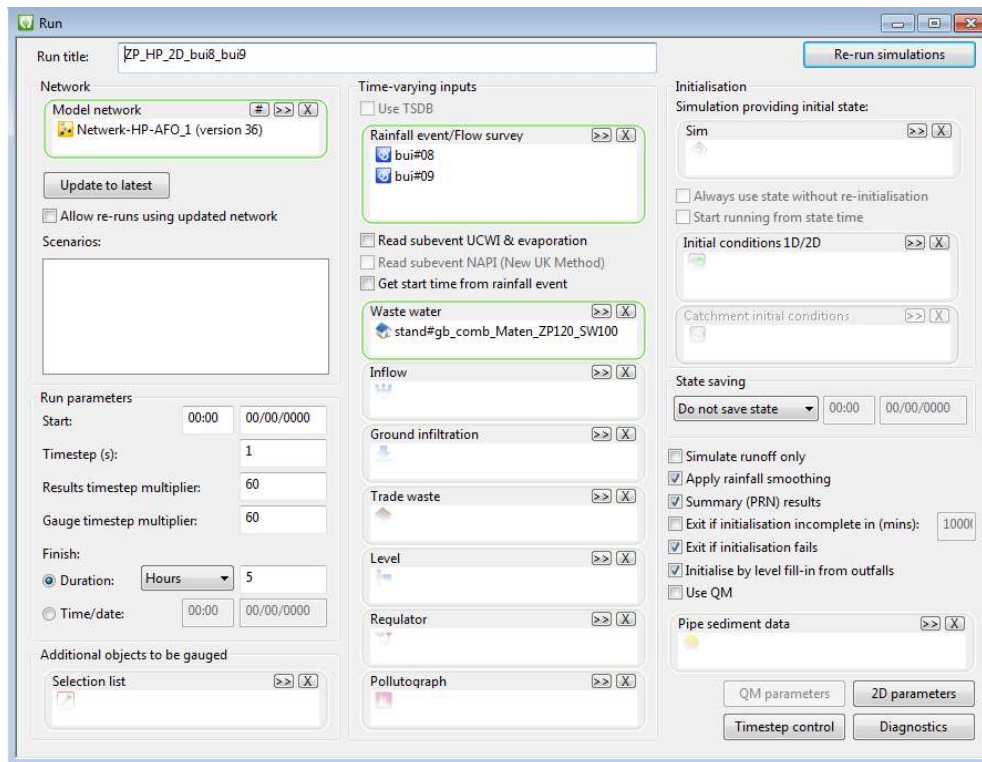
De standaard verdampingshoeveelheid is in het NWRW4.3 inloopmodel gespecificeerd op 3.5 mm/dag. De verdampingshoeveelheid wordt voornamelijk gemeten in landelijk gebied en niet in stedelijk gebied. Omdat dit een onbekende waarde is in het pilotgebied wordt de standaard verdampingswaarden van 3.5 mm/dag meegenomen in het model.

3.

Voor deze simulatie wordt elke 5 seconde de hoeveelheid water berekend in het model, maar omdat dit te veel uitvoer geeft voor vier dagen worden alle berekende hoeveelheden gebundeld en na de 12^{de} keer weergegeven. Dit zorgt ervoor dat elke minuut een waarde wordt weergegeven. Er kan ook gekozen worden om maar eenmaal per 60 seconde de berekening uit te voeren en dan de gemeten waarden weer te weergeven, echter worden de uitkomsten op deze wijze onnauwkeuriger. Omdat het een simulatie is van vier dagen wordt er niet gekozen om elke seconden een berekening te laten doen omdat dit te veel tijd in beslag neemt. Het is daarom beter om elke vijf seconde in de berekening uit te voeren.

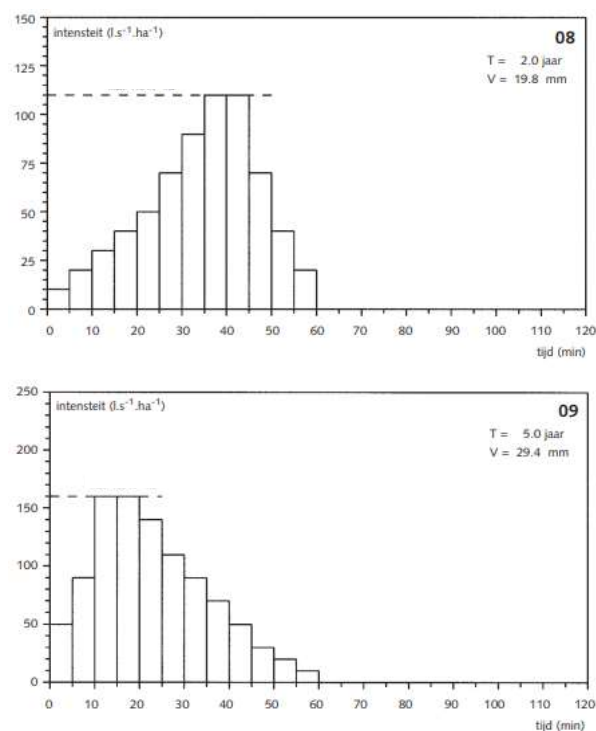


Figuur 4.6: Verloop gemeten neerslaggebeurtenis 12-7-2017 (Dingemanse & van Mameren, 2018)



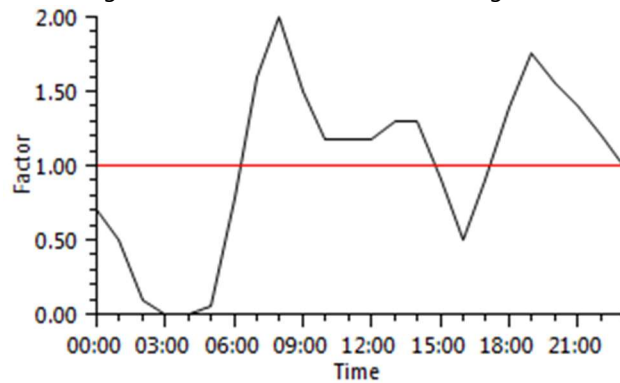
Figuur 4.7: Run voor bui 08 en bui 09

Bui 08 en bui 09 zijn standaard neerslaggebeurtenissen, gemeten in de Bilt van 1955 tot 1979 (Rioned, 2004), geanalyseerd in een 15 minuten neerslagreeks. In totaal zijn er tien standaard neerslaggebeurtenissen opgezet in dezelfde tijdsperiode. Deze tien neerslaggebeurtenissen worden omschreven in de Leidraad Riolerings Module 2100. Bij deze standaard buien wordt gekeken naar de *herhalingstijd* en de maximale intensiteit van de buien. In Figuur 4.8 is de intensiteit van de buien in een tijdsperiode van 60 minuten gevisualiseerd. Deze twee buien worden ook over het model gesimuleerd, dit wordt gedaan om de invloed van het veranderen in het klimaat te kunnen bekijken en vergelijken. Er wordt nu aangeraden om bui 09 te gebruiken als standaard bui in de simulaties in plaats van bui 08. Bui 09 heeft een hogere neerslagintensiteit in de tijdsperiode van 60 minuten en zorgt voor een grotere belasting. Zowel bui 08 als bui 09 zijn in het geïntegreerde 2D model gesimuleerd zodat de verschillende invloeden in intensiteit goed in beeld te brengen zijn. De simulatie van deze twee buien wordt ingesteld op vijf uur. Hierdoor kan er gekeken worden naar wat het overtollige water doet in het gebied na het einde van de bui. Omdat de totale simulatie maar vier uur duurt is er gekozen om hem zo specifiek mogelijk te maken door het model elke seconde opnieuw de berekening te laten uitvoeren. De 60^{ste} keer dat de berekening gemaakt wordt zal het antwoord weergegeven worden bij de uitkomsten van de simulatie. Er wordt gekozen om niet alleen de waarden in de debietmeters te berekenen maar ook op het maaiveld. Zo kan er, met behulp van de simulering, ook op het maaiveld gekeken worden naar de locaties waar het water blijft staan.



Figuur 4.8: Standaard bui 08 & 09 in Leidraad Riolerings Module 2100 (van Luijtelar, Voorhoeve, Zuidervliet, Beenen, & Clemens, 2007)

De hoeveelheid droogweerafvoer wordt bij de runs van het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model ingesteld op een standaardwaarde gekozen voor het gebied. Omdat Zuiderpolder een gemengd rioolstelsel heeft, zal er buiten het regenwater ook droogweerafvoer, vuilwater, doorheen stromen. Het vuilwater zal niet de hele dag door constant zijn doordat er niet op elk moment gebruik wordt gemaakt van de voorzieningen die hieraan gekoppeld zijn, zoals bijvoorbeeld de afvoer in de douche, omdat mensen op het werk zijn. Voor het validatieproces werd het vuilwater wel als een constante ingesteld. De hoeveelheden van de droogweerafvoer, afvalwater, zijn gemeten met één debietmeter en vijf waterhoogte meters waarmee ook de hoeveelheid regenwater wordt gemeten in het rioolstelsel na een regenbui. De hoeveelheid afvalwater wordt gemeten in een periode waarin geen neerslag valt. Uit deze metingen zijn standaardwaarden opgesteld, voor het gebied, om de hoeveelheid droogweerafvoer die door het rioolstelsel gaat in het verloop van de dag te simuleren, de hoeveelheden zijn te zien in Figuur 4.9. De droogweerafvoer is van belang voor de overgebleven capaciteit van het stelsel. Als het niet regent is het rioolstelsel nooit geheel leeg maar gedeeltelijk gevuld, afhankelijk van het tijdstip waarop de bui plaats vindt. Er kan bijvoorbeeld rond 08:00 uur 's morgens minder regenwater afgevoerd worden omdat er zich meer afvalwater in het riool bevindt dan rond 03:00 uur 's nachts.



Figuur 4.9: Schematische weergave van de droogweerafvoer in het gebied Zuiderpolder

4.3.2 2D parameters

Voor het opstellen van een geïntegreerd 2D model zijn een aantal extra parameters die ingesteld worden voordat de simulatie kan worden uitgevoerd. Dit is te zien in Figuur 4.10.

1.

Het iteratief proces wordt gestopt als het verschil in de waarden, van de Depth en Momentum, kleiner of gelijk zijn aan 0.001 m. Deze uitgangspunten bepalen samen de toegestane afwijking.

1

Tolerance

Depth (m):	0.001
Momentum (m):	0.001
Velocity (m/s):	0

2.

Om ervoor te zorgen dat er een integratie tussen het 1D en 2D model wordt gemaakt is het van belang om de tijdstappen van de berekening aan elkaar te linken. De waterhoogte wordt gekoppeld aan de hoogte van de AHN kaart, dit zorgt ervoor dat de waterstroming tussen de verschillende vlakken gesimuleerd wordt, dit gebeurt van een hoog naar een laag punt.

2

☐ Ignore rain falling on dry elements

☒ Adjust bank levels based on adjacent element ground levels

☒ Link 1D and 2D calculations at minor timestep

3.

De simulatie van het geïntegreerde 2D model wordt handmatig geforceerd zodat er gebruik wordt gemaakt van de grafische kaart van de rekencomputer.

3

Use GPU card for 2D calculations

☐ Never

☐ If suitable card is available

☒ Always

Figuur 4.10: 2D parameters voor de simulatie

5

RESULTATEN VAN DE VERGELIJKING

Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de verschillen van het gevalideerd eendimensionaal (1D) rioleringsmodel, het geïntegreerde tweedimensionaal (2D) model en de meetresultaten zijn er grafieken gegenereerd met behulp van het programma Spider. Hieruit ontstaat een grafiek waarbij het debiet of de waterhoogte in de put zichtbaar is over het tijdsverloop van de ingestelde bui. Er wordt ingegaan op de bui die gemeten is in het gebied van 11-07-2017 tot en met 13-07-2017. In hoofdstuk 6 zullen de resultaten van bui 8 en 9 geanalyseerd worden.

Om de uitkomsten van het geïntegreerde 2D model beter te kunnen beoordelen, worden ze vergeleken met de bestaande gegevens, de uitgangssituatie en het gevalideerde 1D rioleringsmodel. De uitgangssituatie is een nog niet gevalideerd model waarbij de overschatting, voortkomend uit het standaard NWRW4.3 inloopmodel met afvloeiing coëfficiënt 1, nog steeds zichtbaar is. Om dieper in te gaan op de verschillen worden drie meetpunten in het gebied met elkaar te vergeleken. De gekozen punten zijn **hoogtemeter ZP-28066c1**, **debietmeter ZP-28066c1.1** en **hoogtemeter ZP-28236c1**. In Figuur 5.1 is te zien waar deze punten zich bevinden in het gebied, de grafieken van de overige meetpunten zijn terug te vinden in bijlage V.



Figuur 5.1: Bovenaanzicht Zuiderpolder, locaties meters

5.1 De uitkomsten van het tweedimensionale afstromingsmodel op de meetpunten

Voor elk van de meetpunten zijn grafieken weergegeven die de resultaten van de berekening laten zien. Voor de punten **ZP-28066c1** en **ZP-28236c1** geven de grafieken de waterhoogte in mm, ten opzichte van het NAP, op de y-as weer en de tijd in uren op de x-as. De tijden op de x-as worden weergegeven met een datum en een uur, bijvoorbeeld 07-11 13. De eerste twee getallen geven de datum aan, 11 juli. En het laatste getal 13 beschrijft het uur van de dag oftewel 13:00 uur in de middag.

Punt **ZP-28066c1.1** geeft de hoeveelheid water die weggepompt wordt in m3 weer op de y-as en de tijd in uren op de x-as. De tijden op de x-as worden weergegeven met een datum en een uur, bijvoorbeeld 07-11 13. De eerste twee getallen geven de datum aan, 11 juli. En het laatste getal 13 beschrijft het uur van de dag oftewel 13:00 uur in de middag.

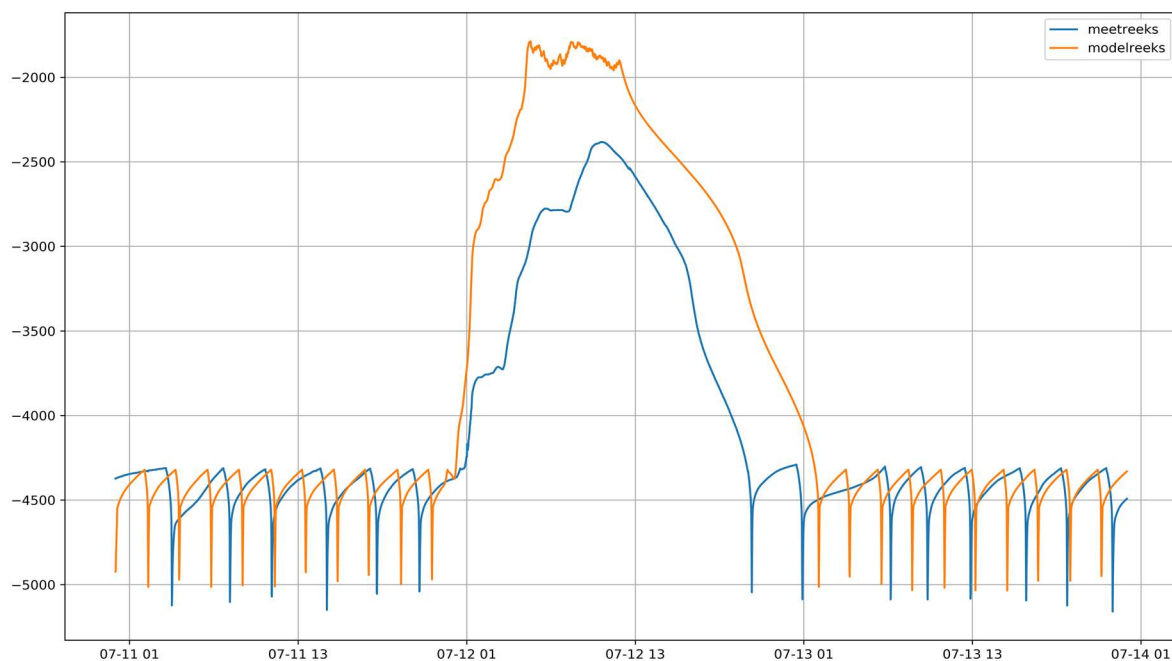
ZP-28066c1

In deze put wordt het water uit het gebied verzameld en afgevoerd richting de RWZI via een pomp en persleiding. De resultaten van dit meetpunt worden weergegeven in Figuur 5.2, er kan een vergelijking gemaakt worden met de verschillende modellen op het meetpunt in de pomp, de grafieken weergegeven de resultaten telkens ten opzichte van de meetreeks.

Als er gekeken wordt naar de resultaten van de verschillende modellen in Figuur 5.2, is te zien dat de uitgangssituatie meer pulsen vertoont dan het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model. Dit verschil ontstaat doordat de pompcapaciteit en de inhoud van de pompput is vergroot tijdens het validatieproces. Hierdoor zal de pomp meer water verpompen per keer. Het gevolg hiervan is dat het aantal pulsen afneemt. De pulsen geven weer wanneer de pomp aan- en afslaat, dit is te zien aan het aantal pulsen van het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model. Het aantal pulsen wat weergegeven wordt bij put **ZP-28066c1** zijn gelijk aan het aantal pulsen die zichtbaar zijn in de pomp, **ZP-28066c1.1**, per model.

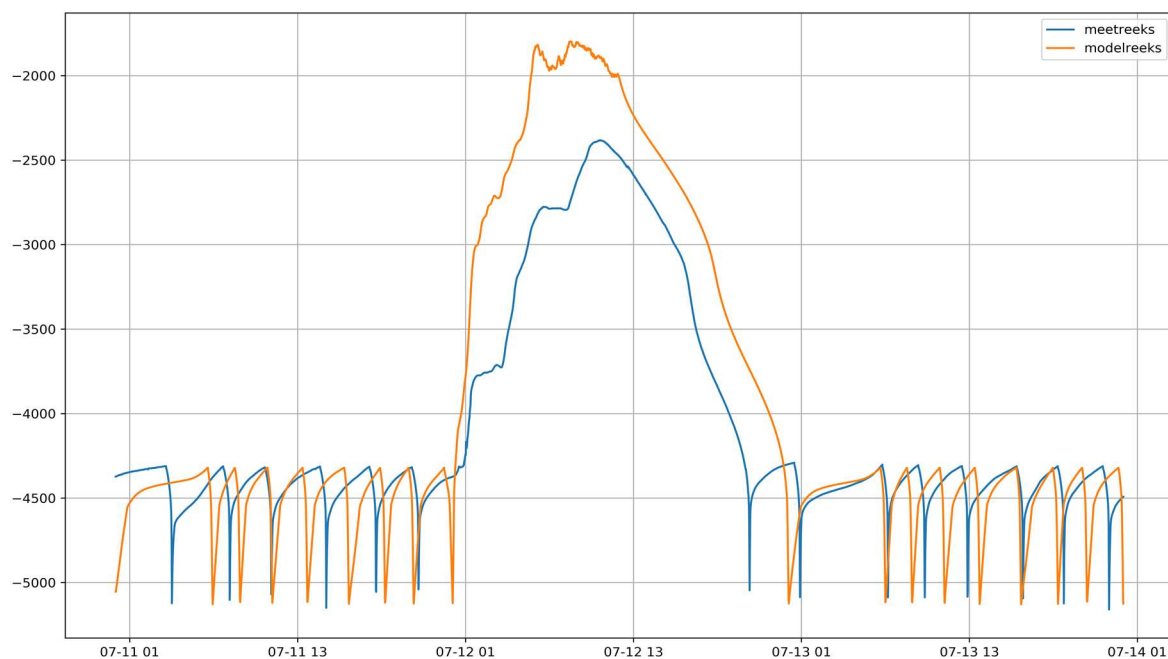
De put staat (bijna) nooit droog doordat de inkomende DWA in een curve ervoor zorgt dat het afvalwater van de huishoudens naar de RWZI wordt afgevoerd. In de grafiek is te zien dat het ritme van de droogwaterafvoer pas verandert als er neerslag valt. Wanneer er neerslag in het riool komt ontstaat er een grotere piek die afgevoerd dient te worden, dit gebeurt van 07-12 01 tot ongeveer 07-13 01. De periode waarover de hoeveelheid neerslag afgevoerd wordt duurt langer dan de duur van de bui. Dit verschil ontstaat doordat het riool het regenwater niet binnen enkele minuten kan verwerken en het dus langer in het riool aanwezig is. Op het moment dat de neerslag in het riool terecht komt, is er te zien dat het geïntegreerde 2D model meer tijd nodig heeft om het regenwater te verwerken, de piek is breder. Dit verschil ontstaat doordat er meer regenwater is om te verwerken, een grotere hoeveelheid neerslag bevindt zich in het riool in vergelijking tot het gevalideerde 1D rioleringsmodel. De uitgangssituatie heeft een nog grotere hoeveelheid regenwater die minder snel is verwerkt als in het geïntegreerde 2D model, namelijk pas na 07-13 01 terwijl het geïntegreerde 2D model dit water al op 07-13 01 verwerkt heeft. Dit heeft mogelijk te maken met de kleinere pompcapaciteit van de uitgangssituatie.

putnummer: ZP-28066c1

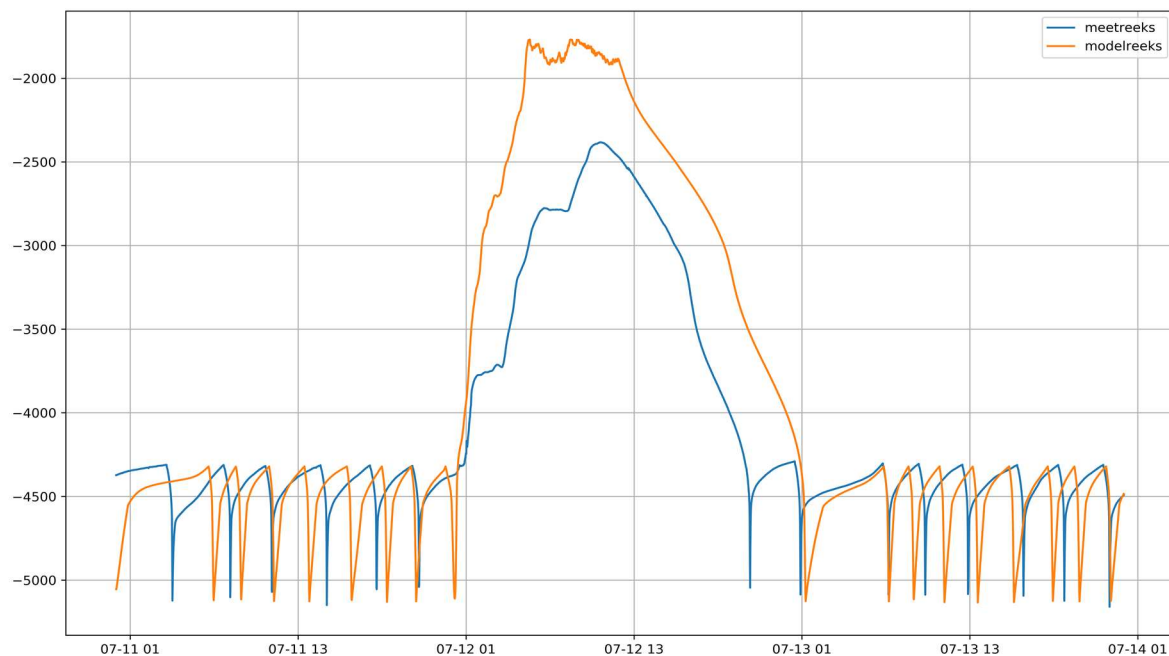


Figuur 5.2: Waterhoogte grafiek van put ZP-28066c1

Uitgangssituatie



1D



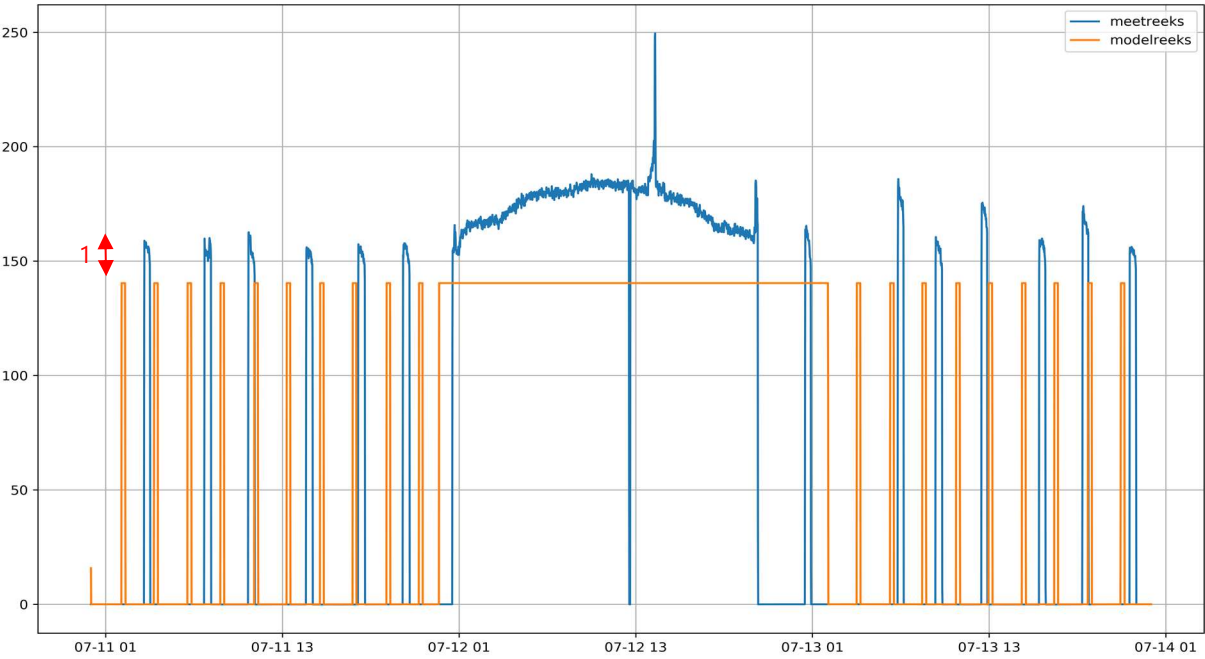
2D

ZP-28066c1.1

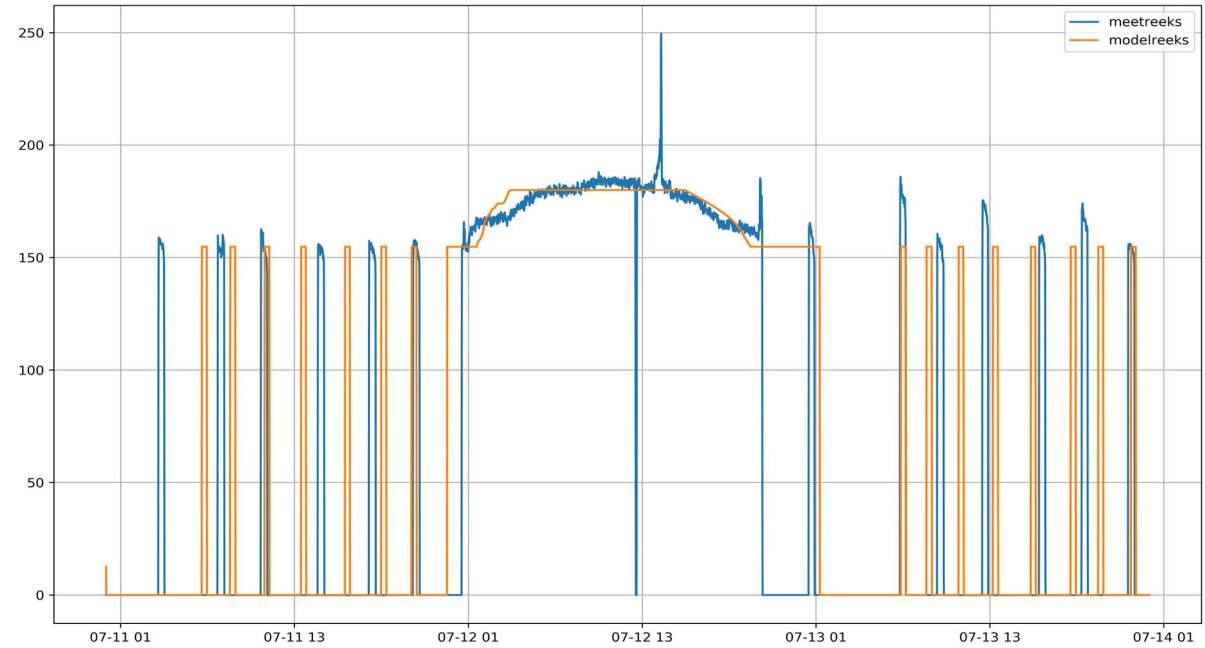
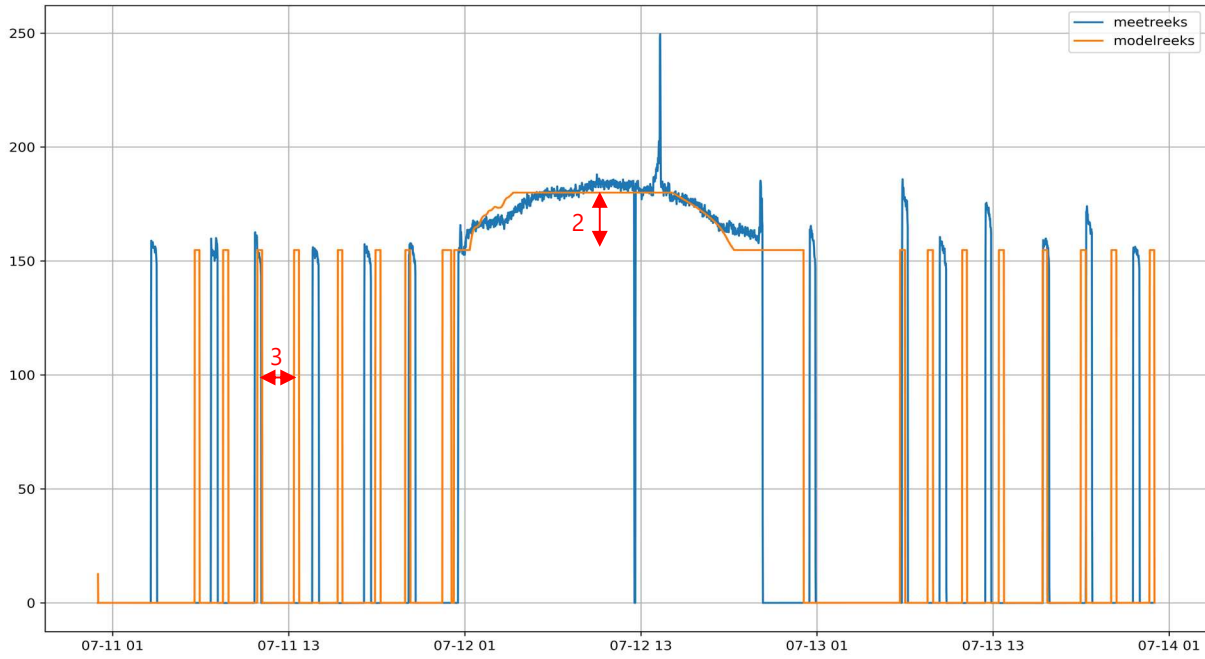
Het meetpunt van ZP-28066c1.1 bevindt zich na de pomp die het water richting de RWZI afvoert in de persleiding. Net als bij putnummer ZP-28066c1, is te zien in Figuur 5.3 dat putnummer ZP-28066c1.1 hetzelfde aantal pulsen heeft. Door de pulsen in de grafiek is goed te zien wanneer de pomp aan en uit gaat. In de grafiek is ook zichtbaar dat de pompcapaciteit is aangepast en zo de pulsen van het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model hoger zijn en verder uit elkaar liggen dan in de uitgangssituatie. Daarnaast zijn ook de kenmerken van de pomp veranderd, dit bepaalt hoe het water verwerkt wordt naarmate de hoeveelheid water toeneemt. In de uitgangssituatie heeft de pomp een vastgesteld debiet dat aangehouden wordt voor het afvoeren van water, terwijl er aan de meetreeks te zien is dat het debiet van de pomp hoger is naarmate er meer water in het rioolstelsel aanwezig is. De pomp in de uitgangssituatie heeft, door de lage pompcapaciteit, veel meer tijd nodig om het water te kunnen verwerken. Dit is tijdens de validatie ook aangepast, zoals zichtbaar in het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model. De pompcapaciteit van de modellen neemt geleidelijk toe. Deze drie veranderingen zijn in de grafieken terug te vinden:

- 1** Verhoging van de pompcapaciteit.
- 2** Het flexibele verloop van de pompcapaciteit.
- 3** De vergroting van de pompput.

Door deze veranderingen is er zichtbaar dat het geïntegreerde 2D model voor een langere duur een hogere pompcapaciteit aanhoudt dan het gevalideerde 1D rioleringsmodel, dit komt doordat er zich meer water in het rioolstelsel van het geïntegreerde 2D model bevindt dan in het gevalideerde 1D rioleringsmodel. De pulsen van het geïntegreerde 2D model lopen na de verhoging in pompcapaciteit achter in vergelijking tot de pulsen die weergegeven worden in het gevalideerde 1D rioleringsmodel, dit kan eventueel komen doordat het geïntegreerde 2D model meer tijd nodig heeft om het water te verwerken.



Figuur 5.3: Grafiek van het debiet in put ZP-28066c1.1

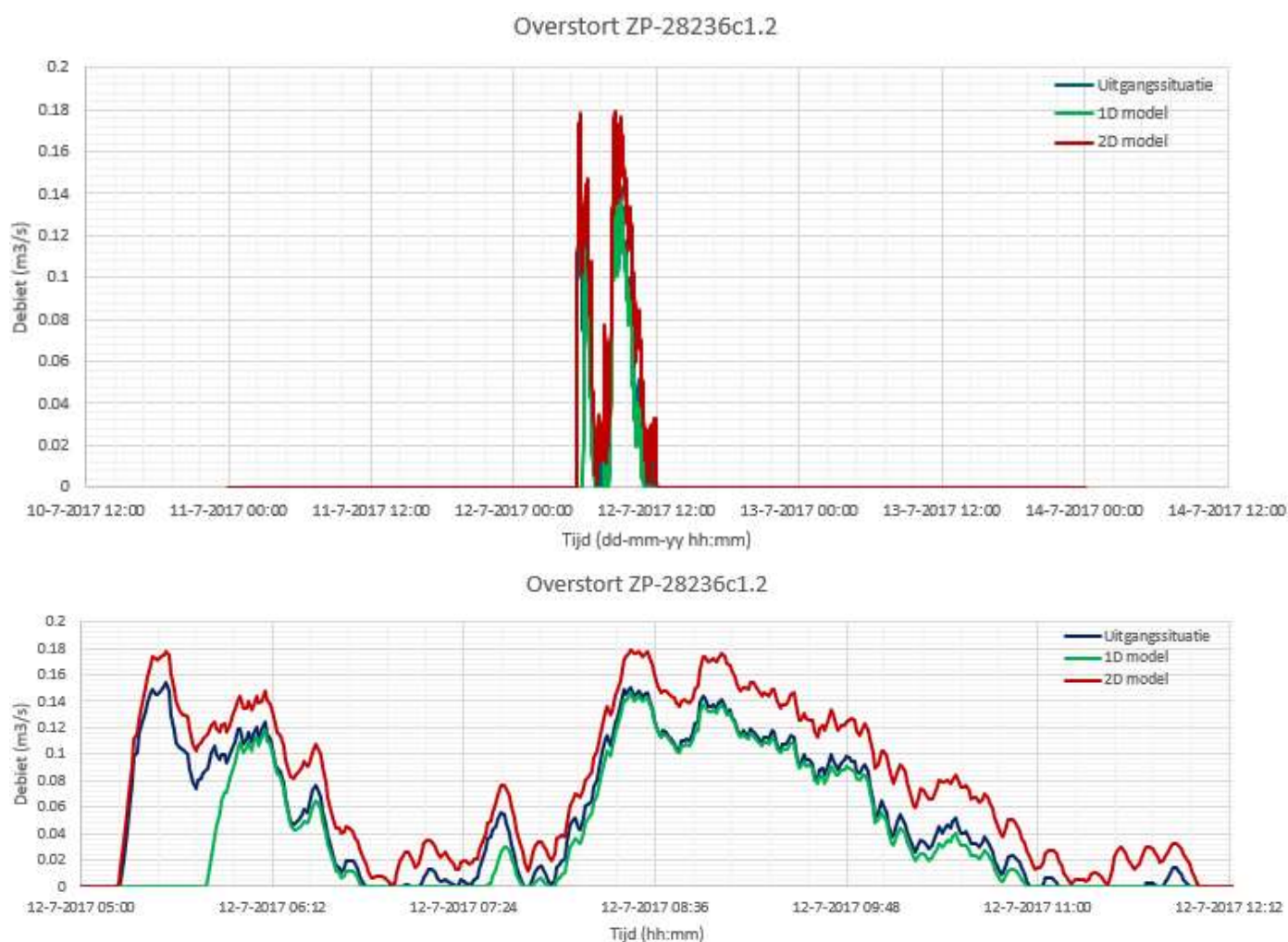


ZP-28236c1

In Putnummer ZP-28236c1 kunnen de resultaten vergeleken worden met een nabij gelegen overstort. Wanneer er overbelasting van het riool ontstaat, zal het rioolwater overstorten naar het oppervlaktewater om verdere overbelasting in het rioolstelsel en water op straat te voorkomen. De hoeveelheid water die afgevoerd wordt door de overstort, Figuur 5.4 laat op twee verschillende detail niveaus zien hoe snel het water het rioolstelsel verlaat op deze locatie. Als de uitkomsten van de verschillende modellen over elkaar heen gelegd worden, kunnen de snelheden in de overstort vergeleken worden. Er is direct zichtbaar dat het geïntegreerde 2D model een hoger debiet heeft in overstort op deze locatie vergeleken met de andere twee modellen. De pieken van de drie modellen zijn wél gelijk aan elkaar op de eerste piek na, dit komt doordat het gevalideerde 1D rioleringsmodel de overstort gebruikt om 05:49 en de uitgangssituatie en het geïntegreerde 2D model al om 05:15. Het verloopt van het water dat overstort is verder wel gelijk gebleven, er zijn voornamelijk verschillen te zien in het hoeveelheid van het debiet.

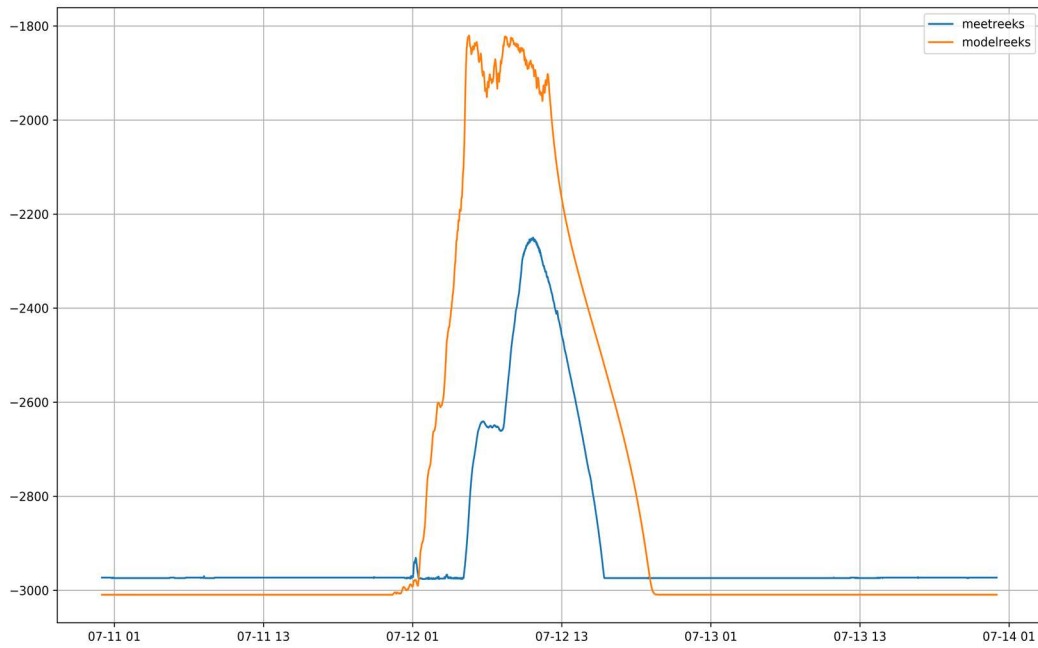
De uitgangssituatie heeft een andere DWA curve dan het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model. Dit zou er voor kunnen zorgen dat de overstortcurve verschillend zou zijn per situatie omdat de hoeveelheid vuilwater in het rioolstelsel om de tijdstippen niet gelijk is. Echter is zichtbaar dat het voor het gebied Zuiderpolder niet van toepassing is. De oorzaak hiervan is dat de overstorten aan uiteinde van het rioolstelsel liggen, hierdoor is er minimaal vuilwater op deze locatie omdat er een gering aantal huishoudens gekoppeld zijn aan deze locatie.

In Figuur 5.5 is te zien dat in het gevalideerde 1D rioleringsmodel zich minder water in het rioolstelsel bevindt in het begin waardoor de waterdruk kleiner is en de overstort pas later gebruikt wordt. De uitgangssituatie en het gevalideerde 1D rioleringsmodel liggen dicht bij elkaar ten opzichte van het geïntegreerde 2D model. Er is duidelijk te zien dat het geïntegreerde 2D model een uitschieter is en dat er op deze locatie zich meer water in het rioolstelsel bevindt in het geïntegreerde 2D model dan in de uitgangssituatie en het gevalideerde 1D rioleringsmodel.



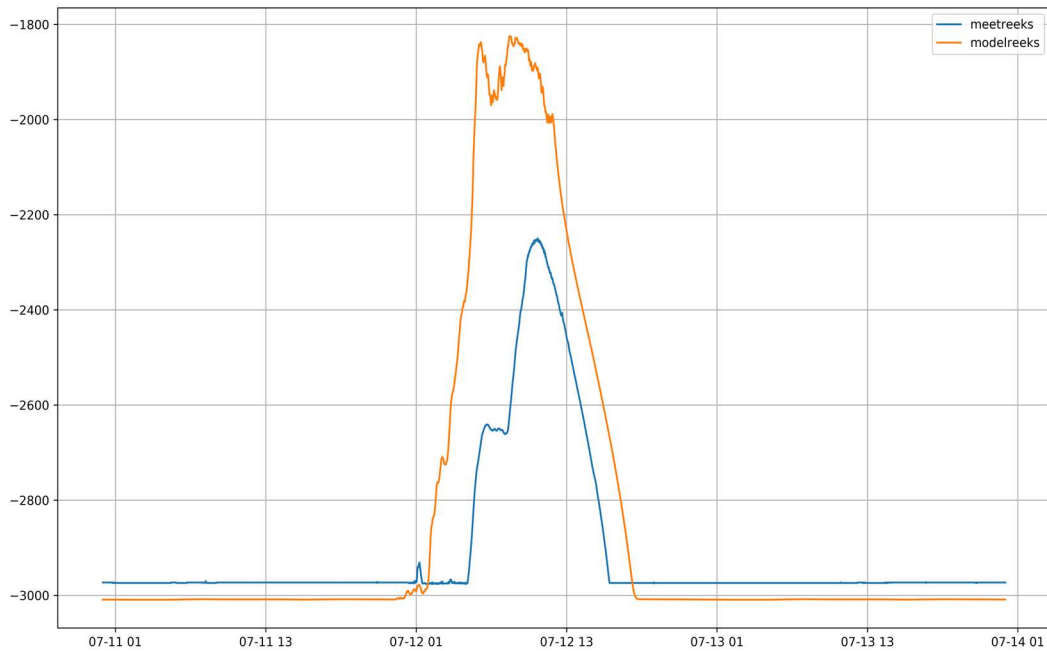
Figuur 5.4: Debiet in de overstort per situatie. Boven: totaaloverzicht, Onder: vergrote weergave

putnummer: ZP-28236c1

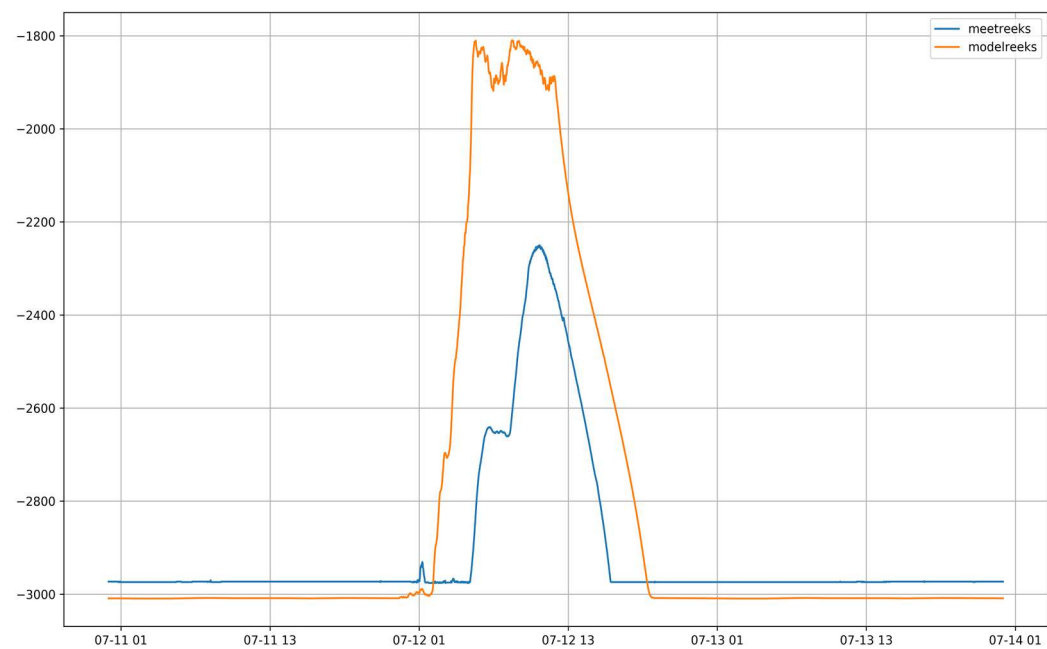


Figuur 5.5: Waterhoogte grafiek van put ZP-28236c1

Uitgangssituatie



1D



2D

5.2 Het verschil in hoeveelheden

In de grafieken is te zien dat de pieken ongeveer gelijk vallen bij het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model, maar het geïntegreerde 2D model geeft grotere hoeveelheden. Hoe het verschil in hoeveelheden in het rioolstelsel bij de verschillende modellen ontstaat kan verschillende oorzaken hebben. Enkele verklaarbare oorzaken in de verschillen worden hieronder uitgewerkt.

De putten

Van alle putten die zich bevinden in het gebied, zijn er maar zeven putten die meetinstrumenten bevatten, er is dus geen inzicht in de hoeveelheid water in alle putten in het gebied. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat er meer water in put A gemeten wordt in het geïntegreerde 2D model in vergelijking tot het gevalideerde 1D rioleringsmodel terwijl bij put B meer water aanwezig is in het gevalideerde 1D rioleringsmodel in vergelijking tot het geïntegreerde 2D model. Door het geringe aantal meetpunten kan hier geen inzicht in gegeven worden per put. Zo is het mogelijk dat wanneer alle putten in het gehele gebied opgeteld zouden worden de hoeveelheid van het water tussen het gevalideerde 1D rioleringsmodel en het geïntegreerde 2D model gelijk zou zijn. Het is dus mogelijk toeval dat de hoeveelheid water in het geïntegreerde 2D model meer is bij deze punten in vergelijking tot het gevalideerde 1D rioleringsmodel.

Om deze stelling te kunnen toetsen zou er gekeken moeten worden naar de hoeveelheid water bij de overstorten en bij de pomp.

Doordat er al is vastgesteld dat de hoeveelheid water, die bij punt **ZP-28236c1** het gebied verlaat bij het geïntegreerde 2D model hoger is dan het gevalideerde 1D rioleringsmodel, worden de overstorten nader bekeken. Wanneer het gevalideerde 1D rioleringsmodel hogere waardes weergeeft, waardoor er dus meer water het gebied verlaat via de overstorten dan het geïntegreerde 2D model, is dit een oorzaak waarom het geïntegreerde 2D model hogere waardes elders in het rioolstelsel weergeeft.

	Overstort ZP-28236c1	Overstort ZP-28043c1.2	Overstort ZP-28060c1.1	Totaal hoeveelheid
Uitgangssituatie	23.1 m3	3.2 m3	0 m3	26.3 m3
1D rioleringsmodel	17.1 m3	1.9 m3	0 m3	19.0 m3
2D afstromingsmodel	33.1 m3	8.5 m3	0 m3	41.6 m3

Tabel 5.1: Hoeveelheden bij de overstorten in de verschillende modelsituaties

In Tabel 5.1 zijn de hoeveelheden die de overstorten verlaten per model weergegeven. Hierin is te zien dat het geïntegreerde 2D model hogere waardes geeft dan de andere twee modellen. Dit weerlegt de hierboven genoemde stelling, er is dus wel een grotere hoeveelheid water in het totale stelsel dan het geïntegreerde 2D model.

Verliesposten

In het standaard NWRW4.3 inloopmodel zijn verliesposten meegenomen, verliesposten zijn invulwaarden die ervoor zorgen dat de infiltratie in het gebied verrekend wordt. Omdat er neerslag infiltreert in de bodem zal deze hoeveelheid afnemen van de totale hoeveelheid neerslag die afgevoerd wordt naar het rioolstelsel. In Tabel 5.2 zijn de hoeveelheden zichtbaar die gebruikt worden voor de verliesposten. Omdat er in het NWRW4.3 en het gevalideerde 1D rioleringsmodel geen onverharde oppervlaktes meegenomen worden in de berekening worden deze waarden op niet van toepassing gezet in de tabel en in het programma.

	Horton initial open verharding (mm/hr)	Horton limiting open verharding (mm/hr)	Horton initial onverhard (mm/hr)	Horton limiting onverhard (mm/hr)	Horton initial gesloten verharding (mm/hr)	Horton limiting gesloten verharding (mm/hr)
Uitgangssituatie	2	0.5	20 (n.v.t.).	2 (n.v.t.)	0	0
1D rioleringsmodel	8	2	20 (n.v.t.).	2 (n.v.t.)	0	0
2D afstromingsmodel	10	2	30	10	0	0

Tabel 5.2: Horton waarden van de verschillende modellen (Dingemanse & van Mameren, 2018)

In de tabel is te zien dat de horton initial en de horton limiting aangepast zijn tijdens het validatieproces. Horton initial geeft de maximale infiltratiecapaciteit aan in één uur die plaats kan vinden als de bodem onverzadigd is. De horton limiting geeft de maximale infiltratiecapaciteit als de bodem volledig verzadigd is. De daken worden niet in de tabel weergegeven omdat deze niet meegenomen worden in het geïntegreerde 2D model en daarom dezelfde waarden behouden. De gesloten verhardingen worden wel meegenomen in het geïntegreerde 2D model maar op deze oppervlaktes kan geen infiltratie plaatsvinden waardoor deze waarden op 0 staan.

Tijdens het validatieproces van het 1D rioleringsmodel is de infiltratiecapaciteit verhoogd waardoor er minder water in het rioolstelsel terecht kwam vergeleken met de uitgangssituatie. Het geïntegreerde 2D model heeft naar verhouding een nog grotere hoeveelheid water die niet in het rioolstelsel terecht komt doordat de waarden verder verhoogd zijn. Hieruit zou moeten blijken dat er minder water in de riolering terecht zou komen omdat er een grotere hoeveelheid water infiltreert.

De vlakkentekening

In de uitgangssituatie en het gevalideerde 1D rioleringsmodel worden bij de berekening van het model alleen de verharde oppervlaktes meegenomen, de onverharde oppervlaktes worden buiten beschouwing gelaten. Van de onverharde oppervlaktes wordt uitgegaan dat al het water op deze locaties infiltreert waardoor het water niet in het rioolstelsel terecht komt. Dit kan ervoor zorgen dat de neerslag die terecht komt op de onverharde gebieden in het geïntegreerde 2D model 'extra' meegenomen wordt, in vergelijking tot de uitgangssituatie en het gevalideerde 1D rioleringsmodel. Het is mogelijk dat groenvakken die onder afschot liggen zullen zorgen voor afstromend water dat niet infiltreert in de bodem, hierdoor komt er meer water in het rioolstelsel terecht. Dit extra water kan voor een grotere hoeveelheid zorgen in het rioolstelsel waardoor mogelijk de grotere intensiteit te verklaren is. Dit is echter alleen een theoretische benadering die niet verder onderzocht is.

RESULTATEN VAN DE KLIMAATVERANDERING

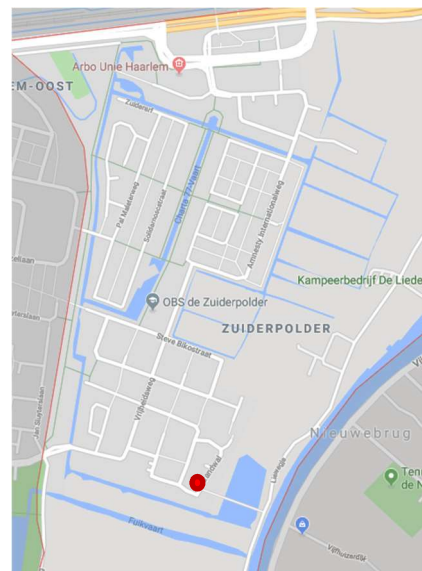
Naast de vergelijking van de neerslaggebeurtenis die in de werkelijke situatie gemeten is, is ook het effect van bui 08 en bui 09 bekeken in het gebied Zuiderpolder. Deze twee standaard buien worden, over het gevalideerde eendimensionale (1D) rioleringsmodel en het geïntegreerde tweedimensionale (2D) model, gesimuleerd om de verschillen die ontstaan door de verandering in de intensiteit van buien te weergeven. Zo kan globaal in kaart gebracht worden wat de veranderingen zijn door het klimaat en welk effect dit heeft op het projectgebied Zuiderpolder. Er wordt een simulatie van het maaiveld weergegeven samen met een dwarsdoorsnede van het rioleringsmodel om te kunnen kijken waarom een water-op-straat situatie ontstaat. Op deze manier zijn de veranderingen door de toename van intensiteit van de bui beter te visualiseren.

In bijlage VI is te zien dat er weinig tot geen water-op-straat is in Zuiderpolder als bui 08 over het gebied gesimuleerd wordt. De maximale wateroverlast situatie van bui 08 wordt hierin weergegeven. De grootste factoren die een water-op-straat situatie voorkomen in Zuiderpolder zijn de vele watergangen en groenstroken en -vakken die aanwezig zijn, zie Figuur 6.1. De groenvakken functioneren als wadi in het gebied om overig water op te vangen en te bergen. In het westelijke deel van Zuiderpolder wordt het water voornamelijk opgevangen en geborgen door de weilanden.

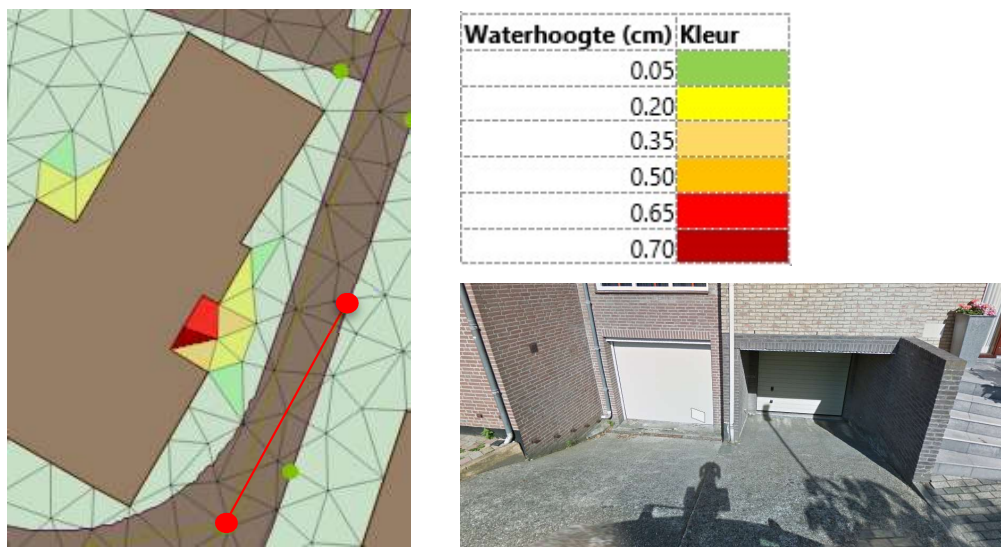
6.1 Water-op-straat bij bui 08

Als er specifiek gekeken wordt naar de verharde gebieden ontstaan wateroverlast situaties voornamelijk in achterpaden die tussen de tuinen en huizen doorlopen omdat hier geen kolken aanwezig zijn. Andere locaties waar wateroverlast ontstaat zijn bij speelpleinen en binnenplaatsen waar auto's geparkeerd staan, de water-op-straat situatie is slechts enkele centimeters hoog waardoor de term wateroverlast eigenlijk nauwelijks van toepassing is omdat de schade beperkt blijft.

De opvallendste situatie waar wateroverlast ontstaat in het gebied is bij één gebouw in het zuiden van Zuiderpolder, de locatie hiervan is te zien in Figuur 6.1. Een vergroting van de situatie is weergegeven in Figuur 6.2, waarbij de kolk, de put en de leiding op deze locatie geselecteerd zijn in het rood. Met behulp van streetview kan er een logische verklaring gegeven worden voor de "wateroverlast" in het model. Aan de oostzijde van het gebouw zijn namelijk verdiepte garages aanwezig waardoor het water naar beneden zal gaan stromen bij grote hoeveelheden, Figuur 6.2. De garages liggen dieper dan de kolken en het wegdek waardoor er een grote kans ontstaat dat al het water deze richting op zal stromen in plaats van naar kolken. Omdat de verdiepte ligging van de garages wateroverlast veroorzaakt, zullen de bewoners hoogstwaarschijnlijk een rooster hebben aangebracht aan de bovenzijde van de oprijlaan, het rooster zal het water opvangen waarnaar het weer terug de riolering in zal gaan. Deze situatie laat dus eigenlijk een fout in het programma zien, dit kan verholpen worden door een kolk of een pomp te plaatsen op deze locatie zodat dit punt niet meer als een probleem gezien zal worden in het model.

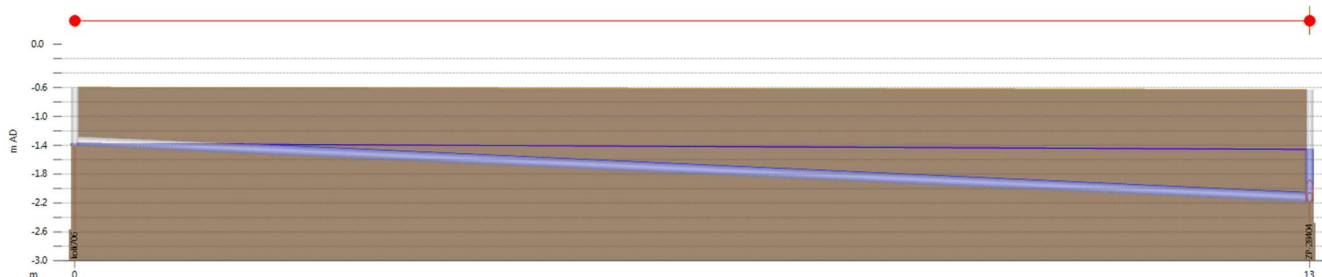


Figuur 6.1: Bovenaanzicht Zuiderpolder, rode stip geeft overlastlocatie aan (Maps, 2019)



Figuur 6.2: Locatie wateroverlast (Google Maps, 2017)

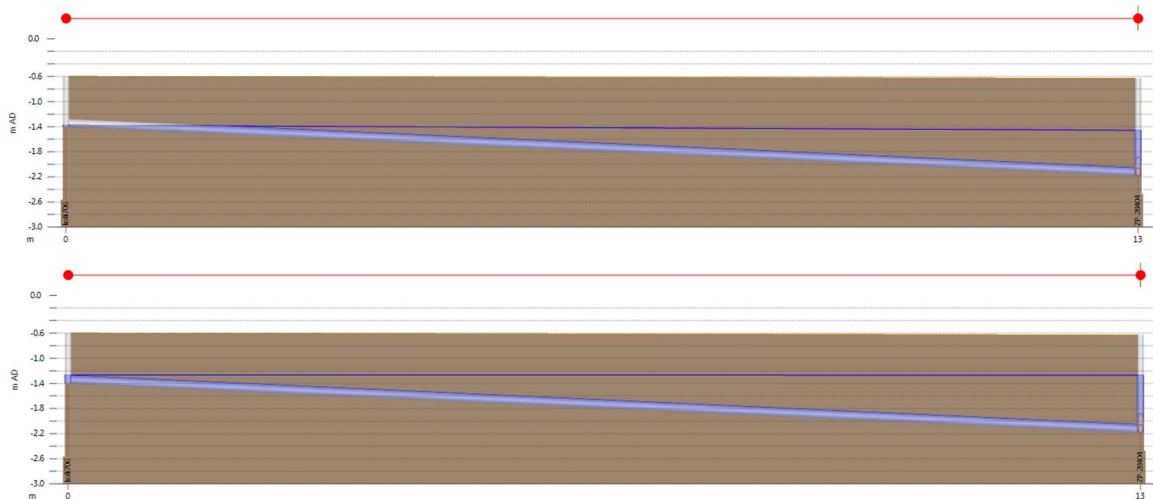
Als er gekeken wordt naar de dwarsdoorsnede van de kolk die bij de garages aanwezig is, zie Figuur 6.3, is er te zien dat er geen overbelasting in het riool ontstaat en dat het water afstroomt vanaf de kolk richting de put. De hoogte van het maaiveld is -1.39 m NAP, op de y-as en de afstand van kolk (links) tot put (rechts) is op de x-as 13.00 m. De blauwe lijn geeft de waterstand in het riool weer. Er is te zien dat de rioolbuis niet volledig gevuld is tijdens de maximale situatie, waaruit geconcludeerd kan worden dat het rioolstelsel bui 08 kan verwerken zonder dat er water op straat blijft staan. De wateroverlast bij het gebouw ontstaat dus door de ongunstige aanleg van de garages. Er zou waarschijnlijk geen wateroverlast ontstaan als er een waterafvoermogelijkheid boven- onderaan de helling geplaatst zou zijn die het water kan afvoeren of als de garages hogergeplaatst waren dan de kolken.



Figuur 6.3: Dwarsdoorsnede van kolk naar put bij maximaal moment bui 08

6.2 Water-op-sstraat bij bui 09

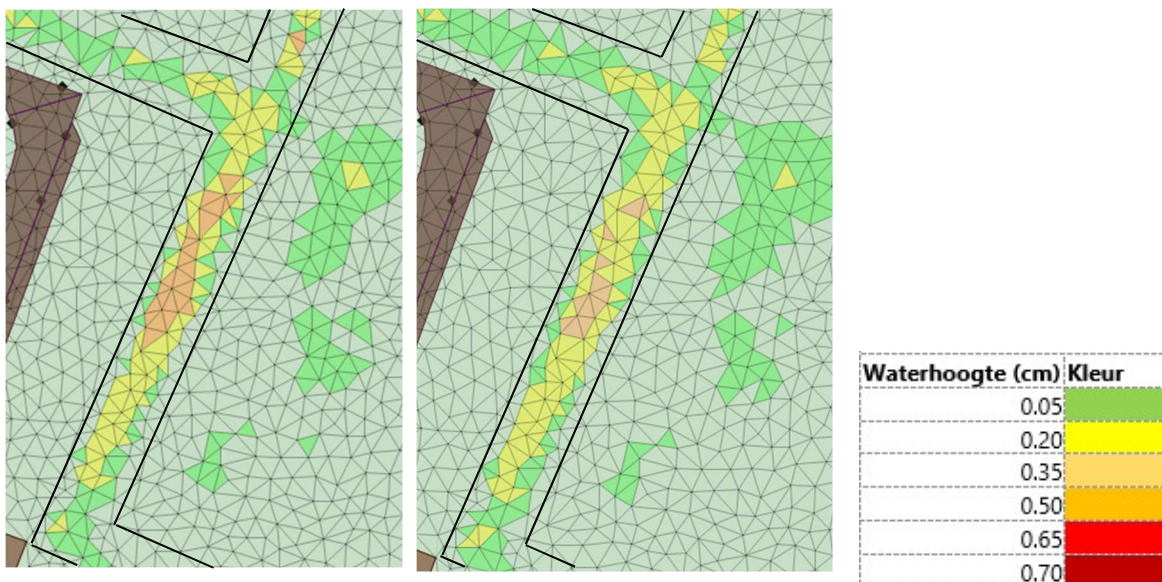
In bijlage VI wordt het gehele projectgebied weergegeven met de maximale water-op-sstraat situatie als bui 09 over het gebied gesimuleerd wordt. Daarin is te zien dat er weinig water toename is ten opzichte van de simulatie van bui 08. De grotere hoeveelheid neerslag die terecht komt in het gebied wordt opgevangen door watergangen, wadi's en weilanden waardoor het water niet in het rioolstelsel terecht komt. De grootste water-op-sstraat situaties die ontstaan op verhardingen met de simulatie van bui 09 komen voor op speelpleinen, binnenplaatsen waar auto's geparkeerd staan en paadjes waar geen kolken aanwezig zijn. Net zoals bij bui 08 is de belangrijkste water-op-sstraat locatie bij het gebouw waarvan de parkeergarages lager liggen dan de kolken en het wegdek. In de dwarsdoorsnede van de kolk naar de put, zie Figuur 6.4, is te zien dat de maximale waterhoogte in het rioolstelsel is toegenomen van -1,39 naar -1.25 m NAP. Het verschil van de waterhoogte in de kolk ontstaat doordat bui 09 een grotere intensiteit heeft dan bui 08.



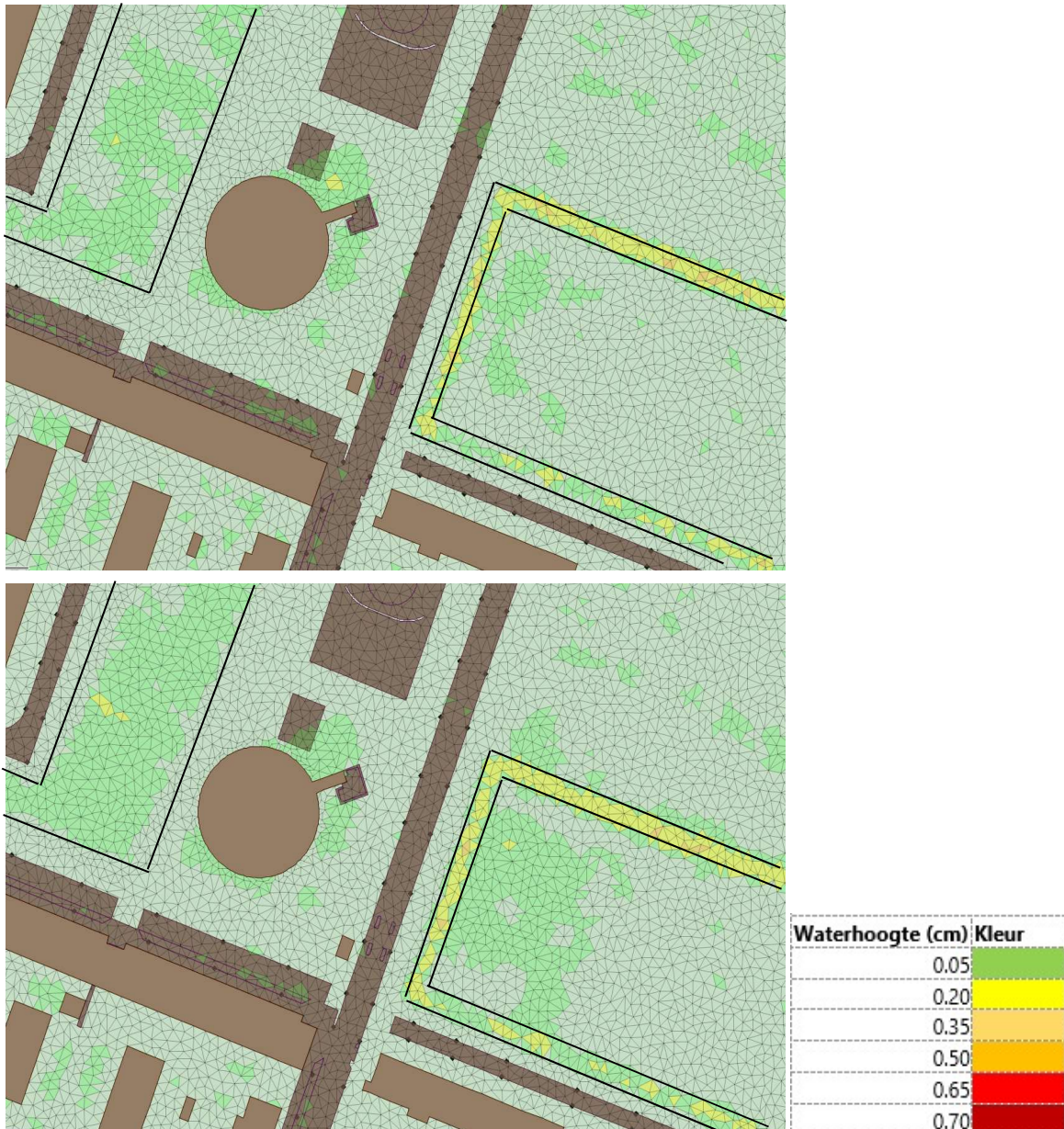
Figuur 6.4: Dwarsdoorsnede waterverloop kolk naar put bij bui 08 (boven) en bui 09 (onder)

6.3 Verschillen in waterhoogte in watergangen en weilanden

Om de intensiteit van beide buien te kunnen vergelijken, wordt er specifiek gekeken naar de watergangen en de weilanden, hier komt de grootste hoeveelheid water terecht. Er is te zien dat de intensiteit van bui 09 zorgt voor een totale grotere hoeveelheid water in het gebied, opvallend is te zien dat op het maximale moment van beide buien, bui 08 voor een grotere waterhoogte zorgt. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 6.6, de watergangen zijn hier aangeduid met behulp van zwarte lijnen. Bui 09 heeft een grotere intensiteit en dit is te zien aan de weilanden en de watergangen in Figuur 6.6. Bij het cirkelvormige gebouw is te zien dat er meer wateroverlast ontstaat bij bui 08 dan bij bui 09, bij een watergang is dit te zien in Figuur 6.5. Dit verschil kan ontstaan doordat de piek van de maximale overlast op een ander tijdstip is. In Figuur 4.8 is het verloop van de intensiteit van de bui 08 en 09 weergegeven over een tijdsperiode van 60 minuten, hierin is te zien dat Bui 08 eerder de piekbelasting bereikt dan bui 09.



Figuur 6.5: Bovenaanzicht watertoename in sloot bij bui 08 (links) en bui 09 (rechts)



Figuur 6.6: Bovenaanzicht bui 08 (boven) en bui 09 (onder)

6.4 Invloed op de weg van de druppel

Door de toevoeging van het maaiveld wordt de weg die de druppel aflegt vollediger in beeld gebracht. Er is te zien dat naast een weg richting het riool het ook mogelijk is dat de druppel op het maaiveld blijft staan. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door variërende maaiveldhoogtes en afstroommogelijkheden richting het oppervlaktewater. Waar eerst in het gevalideerde 1D rioleringsmodel vanuit gegaan werd, is dat het water direct richting het rioolstelsel zou lopen, dit verschilt nu per locatie.

Het is mogelijk dat een druppel die op straat valt via meerdere wegen afstroomt en er uitwisseling tussen verschillende soorten stromingen plaatsvindt, in plaats van richting één van de omschreven wegen. In bijlage III is van de ideale weg een schematische weergave te zien. Daarnaast is in het diagram niet meegenomen hoe het water op sommige plekken opgestuwd kan worden, de praktijk laat zien dat een verdiepte garage bijvoorbeeld voor problemen zorgt waardoor water op straat blijft staan. Dit soort situaties zorgen ervoor dat de weg van de druppel belemmerd wordt.

Met behulp van een hoogte model is het gemakkelijker om een inschatting te maken wat er nou uiteindelijk verantwoordelijk is voor het water dat overlast veroorzaakt. Dit wordt voornamelijk bepaald door de locatie waar de druppel valt, als het water niet in de bodem kan infiltreren zal de druppel afstromen naar een lagergelegen gebied. In het lagergelegen gebied verzamelt het water met een grotere hoeveelheid die ervoor kan zorgen dat er problemen ontstaan.

6.5 Veranderingen in de omgevingsfactoren door het klimaat

De veranderingen door het klimaat hebben invloed op de buffer die ontstaat door de bodem, door inklinking kan minder water infiltreren. Tijdens het afstromingsproces over het maaiveld heeft dit direct invloed, meer water zal afstromen in plaats van infiltreren zoals in de oorspronkelijke situatie. Dit kan uiteindelijk voor overbelasting van het rioolsysteem zorgen.

Naast een verandering in de bodem zullen ook de buien veranderen, tijdens het rekenproces is het gebruik van buien met een hogere capaciteit wenselijk. Dit zorgt ervoor dat de grenzen van het afwateringssysteem beter in kaart gebracht kunnen worden waardoor de eventueel toekomstige knelpunten opvallen tijdens een berekening. In het gebied van Zuiderpolder is dit niet het geval omdat er veel waterbuffers in het gebied gelokaliseerd zijn. De situaties waar knelpunten kunnen ontstaan, zullen in de toekomst vaker wateroverlast gaan ervaren door de toenemende intensiteit in buien.

Voor het vaststellen van de standaardbui die gebruikt kan worden bij het doorrekenen van een model dient rekening gehouden te worden met de toekomstige situatie en zal een hevigere bui geschikter zijn. Mogelijk ontstaat er bij het berekenen van het rioolstelsel daardoor in de huidige situatie een overschatting, hiervan kan de ernst afgewogen worden ten opzichte van de toekomstige situatie. Door het robuust aanleggen van het rioolsysteem en bufferlocaties op het maaiveld wordt een ongewenste situatie namelijk voorkomen in de toekomst.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Met behulp van de vergeleken resultaten kan de conclusie opgesteld worden van de uitkomsten die zijn berekend. Er wordt in dit hoofdstuk inzicht gegeven in de vervolgstappen door afwijkingen van de uitkomsten en de aanpassingen die gemaakt moeten worden om het geïntegreerde tweedimensionaal (2D) model bruikbaar te maken voor het toekomstige gebruik bij projecten.

7.1 De conclusie voor de gemeten bui

In dit onderzoek is gewerkt naar een antwoord op de vraag: 'Wat is de verhouding tussen de uitkomsten van het geïntegreerde tweedimensionale afstromingsmodel in een rioleringsmodel ten opzichte van de meetresultaten in het gebied Zuiderpolder en het afzonderlijke gevalideerde eendimensionale (1D) rioleringsmodel in het programma InfoWorks ICM?'. Hiervoor is een onderzoek uitgevoerd naar hoe een geïntegreerd 2D model opgesteld dient te worden en welke invulwaarden er in het 2D afstromingsmodel verschillen ten opzichte van het gevalideerde 1D rioleringsmodel.

Uit de resultaten, die in hoofdstuk 5 zijn uitgewerkt, is gebleken dat het geïntegreerde 2D model een overschatting geeft in vergelijking tot de meetresultaten van de geplaatste debietmeter en hoogtemeters, de uitgangssituatie en het gevalideerde 1D rioleringsmodel. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er in totaal meer water in het rioolstelsel aanwezig is in het geïntegreerde 2D model ten opzichte van de andere modellen. Hoe deze overschatting precies ontstaat zal verder onderzocht kunnen worden. Een mogelijke oorzaak ligt in de toename van het oppervlakte dat regenwater afvoert richting de riolering. Dit is echter alleen een theoretische benadering die nog niet verder onderzocht is.

Hoewel de resultaten van het geïntegreerde 2D model een overschatting weergeven, is het verloop van de waterhoogtelijn gelijk aan het gevalideerde 1D rioleringsmodel. Dit laat zien dat de uitkomsten voornamelijk van elkaar verschillen als er gekeken wordt naar de totale hoeveelheid en dus niet naar de verschillende pulsen. Maar door de overschatting geeft het geïntegreerde 2D model een minder reëel beeld van de werkelijkheid.

Met behulp van het onderzoek is gebleken dat het geïntegreerde 2D afstromingsmodel een overschatting geeft van de werkelijke situatie en dat dit gezien kan worden als buffer voor veiligheidsmarges. In de uitgangssituatie is al een buffer aanwezig waardoor er een kleine zekerheidsmarge in zit, hierdoor is de buffer van het geïntegreerde 2D model overbodig. Hoe de overschatting in het geïntegreerde 2D model kan ontstaan is nog onzeker en zal verder onderzocht kunnen worden in een vervolgonderzoek. Daarnaast moet afgewogen worden in hoeverre de overschatting reëel is of dat de overschatting te groot is.

7.2 De conclusie voor de standaard buien

Naast de toevoegingen van het geïntegreerde 2D model is er ook onderzoek gedaan naar gevolgen van de toenemende neerslagintensiteit. Hiervoor is het opgestelde geïntegreerde 2D model gebruikt, om te kijken welke verschillen er ontstaan in het gebied Zuiderpolder bij een standaard bui 08 ten opzichte van een standaard bui 09.

Uit de resultaten is gebleken dat de verhoogde intensiteit van bui 09 nauwelijks gevolgen heeft voor het gebied in vergelijking tot bui 08. Dit komt mede doordat het water opgevangen wordt door de meerdere watergangen en groengebieden die zich in Zuiderpolder bevinden, hierdoor wordt het water nauwelijks opgevangen door het rioolstelsel. Hoe dit erin de toekomst uit gaat zien is nog onbekend waardoor nog geen concrete uitspraken gedaan kunnen worden over de toenemende neerslagintensiteit. Als de

verandering in omgevingsfactoren concreter zijn, zullen deze veranderingen meegenomen kunnen worden in het programma InfoWorks ICM om de werkelijkheid beter na te kunnen bootsen tijdens de modellering.

7.3 Bruikbaarheid van de tweedimensionale afstromingsmodellering

Naast de toepasbaarheid van het model is het ook belangrijk om het gebruik van een geïntegreerd 2D model goed af te wegen. Er kan hierbij een afweging gemaakt worden tussen twee verschillende soorten onderdelen: de toevoegingen in het programma en het gebruiksgemak. Gezamenlijk geven deze twee onderwerpen een goed overzicht van de investering die gedaan moet worden om een geïntegreerd model te gebruiken. Een opsomming van positieve en negatieve punten die meegenomen kunnen worden in de overweging voor het gebruik is te vinden in bijlage VII, een opsomming van het 1D rioleringsmodel is hierbij buiten beschouwing gelaten.

7.3.1 Toevoegingen aan het programma

Voor het opstellen van een geïntegreerd 2D model zijn verschillende informatiebronnen nodig voordat er een model opgesteld kan worden. Hieronder valt onder andere de locatie van de putten, kolken, verschillende soorten verhardingen en zo voort. Niet alleen het programma InfoWorks ICM wordt gebruikt om een 2D afstromingsmodel op te stellen, maar ook het programma ArcMap en QGIS. Deze programma's zijn nodig om de informatie juist te bewerken zodat het gebruikt kan worden in het programma InfoWorks ICM. Hoe nauwkeuriger de informatie is die in het programma verwerkt wordt hoe nauwkeuriger en reëler de eindresultaten zijn. Afhankelijk van de bestandstypes en foutmeldingen kan het bijwerken van deze informatie tijd in beslag nemen.

Als een model opgesteld is die volledig gevalideerd is, kan er een bui gesimuleerd worden. Afhankelijk van het detailniveau van de mesh en de grootte van het projectgebied waarover berekend moet worden, kan de berekening van de bui een aantal uren duren.

In tegenstelling tot de uitkomsten van het rioolstelsel in het geïntegreerde 2D model, geeft de 2D afstromingsmodellering een redelijk informatieoverzicht als er gekeken wordt naar het maaiveld. Hierin wordt gekeken naar waar het water op het maaiveld blijft staan en in welke hoeveelheden.

7.3.2 Gebruik van het programma

Binnen het bedrijf Witteveen+Bos zijn op dit moment vier rekencomputers beschikbaar waarvan er één licentie beschikbaar is voor het opstellen van een 2D afstromingsmodel. Op elke rekencomputer kan één berekening tegelijkertijd worden uitgevoerd en omdat gedetailleerde en/of grote berekeningen uren kunnen duren kan dit tijdrovend zijn. Door het afstemmen van het gebruik via een schema is het inzichtelijk welke collega de rekencomputer nodig heeft, op deze manier kan tijdsdruk en onrust over de indeling voorkomen worden. De licenties van InfoWorks ICM zijn kostbaar, het is daarom belangrijk om goed af te wegen of een extra licentie noodzakelijk is voor het gebruik of niet. Voor het programma ArcMap moeten ook kosten geschreven worden, het programma QGIS is daarentegen wel gratis verkrijgbaar.

Binnen het bedrijf kan de kennis over 2D afstromingsmodellen en het koppelen van het 2D afstromingsmodel aan het 1D rioleringsmodel toenemen door het schrijven en uitbrengen van een protocol. Op deze manier kan de kennis gemakkelijker worden gedeeld met werknemers die het programma nog niet beheersen. Zo wordt voorkomen dat kennisoverdraging alleen mondeling gebeurt en er mogelijk kennis verloren gaat in dit proces. De werkwijze van InfoWorks ICM wordt daarnaast niet gedeeld met derden, hierdoor is de informatie over het programma InfoWorks ICM grotendeels alleen intern vindbaar. Binnen het bedrijf Witteveen+Bos wordt er projectmatig gewerkt met het programma, door het investeren in de ontwikkelingen die de bruikbaarheid van het geïntegreerde 2D model vergroten gaat uiteindelijk de bruikbaarheid binnen de projecten omhoog.

7.4 Aanbeveling

Uit het onderzoek is gebleken, dat binnen het bedrijf Witteveen+Bos het toegevoegde waarde heeft om tijd en geld te investeren om de interne kennis over 2D afstromingsmodellering te leren en dit te archiveren in een protocol. Op de langere termijn zal dit hoogstwaarschijnlijk geld besparen, omdat het gebruik gemakkelijker wordt waardoor tijd efficiënter ingedeeld kan worden.

Om het gebruiksgemak te verbeteren in het gebruik van de rekencomputers is het advies om een rooster te creëren zodat werknemers weten wanneer andere collega's het programma gereserveerd hebben zodat

bekend is wie de rekencomputer bezet houdt. Hier kan de tijdsplanning van een project op aangepast worden. Zo kan de tijd efficiënter ingedeeld worden waardoor een extra licentie eventueel overbodig is.

Om het geïntegreerde 2D model nauwkeuriger te kunnen gebruiken, zal er een vervolgonderzoek gedaan moeten naar de overschatting die ontstaat van de hoeveelheden in het rioolstelsel als er gebruik wordt gemaakt van het geïntegreerde 2D model. Ook zou het mogelijk interessant zijn om te kijken naar, hoe de verschillende soorten oppervlaktes in het projectgebied nauwkeuriger in het programma verwerkt kunnen worden. Dit geldt zowel bij het 1D als het 2D model, omdat alle onverharde gebieden nu niet precies meegenomen worden in de berekeningen. Dit zijn enkel twee voorbeeld onderzoeken die uitgevoerd kunnen worden, er zijn echter nog véél meer onderzoeken mogelijk, omdat het een groot programma is met veel mogelijkheden. Een andere onderzoeksvraag zou kunnen luiden, 'hoe kan de rekentijd van een 2D afstromingsmodel ingekort worden?', omdat dit voor een klein project zoals Zuiderpolder al minimaal zes uur duurde, bij een hoog detailniveau.

Voor het uitvoeren van een onderzoek wordt aanbevolen om dit te laten doen door een werknemer binnen het bedrijf Witteveen+Bos die het programma InfoWorks ICM beheerst. Als dit onderzoek voor een stagiaire weggelegd wordt zal er mogelijk niet diep genoeg op het onderwerpen in gegaan kunnen worden vanwege een kortere tijdsperiode binnen het bedrijf. Het programma zal eerst beheerst dienen te worden voordat er naar een mogelijk onderzoek gekeken kan worden.

Daarnaast is de naamgeving soms verwarrend, als over het programma InfoWorks ICM gesproken wordt met personen die het niet beheersen, komen de termen 1D en 2D verwarrend over. Dit komt mede doordat er gebruik wordt gemaakt van het woord dimensionaal. Hiermee verwachten mensen dat het om 'diepgang' gaat en 'iets kunnen aanraken en voelen' zoals bijvoorbeeld in een 4D bioscoop. Terwijl dit niet het geval is als het gaat over InfoWorks ICM, hier gaat het over stroomsnelheden die op verschillende niveaus plaats vinden en of deze een interactie met elkaar hebben. In het 2D afstromingsmodel wordt er uitgegaan van oppervlakteafstroming op één niveau terwijl het 3D model ook andere niveaus meeneemt in de berekening, zoals de stroming van het grondwater.

Als het geïntegreerde 2D model gebruikt zal worden, is het voornamelijk interessant om naar het water te kijken dat op het maaiveld blijft staan. Zo is het mogelijk om te zien of het water op een specifieke locatie voor water-op-straat zorgt in het model en dit te vergelijken met de werkelijke situatie.

8

NAWOORD

Bedankt voor het lezen van onze afstudeerscriptie. Het proces om het schrijven van de scriptie is een leerzame ervaring geweest. Het resultaat dat wij behaald hebben met deze scriptie geeft ons voldoening en is een mooie afronding van deze afstudeerperiode.

De probleemstelling, die in het begin van de afstudeerperiode is opgesteld, is gedurende het proces enkele keren gewijzigd. We hebben geleerd dat een verandering in het proces hoort bij het werkveld en dat hier professioneel mee omgegaan moet worden. De verandering in het proces kostte ons moeite, voornamelijk omdat hierdoor veel onduidelijkheid ontstond. Uiteindelijk hebben we er veel van opgestoken en hebben het proces goed kunnen afronden. We weten nu ook hoe we hier mee moeten omgaan in de toekomst.

De samenwerking tussen ons verliep soepel en zonder problemen. We vullen elkaar aan, wat ervoor zorgt dat er een goede samenwerking is en verdeling van de taken. We hebben veel geleerd van deze samenwerking en hopen dit toe te kunnen passen in ons latere werkveld.

Wij kijken met vreugde uit naar onze toekomst, Anika wil meer informatie op doen door de master 'Urban Environmental Management' te volgen aan de Universiteit van Wageningen. Neeltje wil lerend werken, door te beginnen als adviseur in de mobiliteit in september en daarnaast een deeltijdopleiding in Verkeerskunde te volgen.

Anika Steenstra & Neeltje Lamers

Deventer, 16 mei 2019

BIBLIOGRAFIE

- Betekenisdefinitie. (sd). *Betekenisdefinitie*. Opgehaald van Betekenisdefinitie: <http://www.betekenis-definitie.nl/>
- Bosch, P. (2013). *Minder wateroverlast in de wijk, maar hoe en met wie?* Nederland: stowa. Opgeroepen op februari 2019, van <http://edepot.wur.nl/318851>
- Climate Protection Partnership Division. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. De Verenigde Staten: Perrin Quarles Associates. Opgeroepen op Februari 2019, van https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf
- Dingemanse, M., & van Mameren, H. (2018). *Modelvalidatie Schalkwijk en Zuiderpolder*. Deventer.
- Google Maps. (2017, juli). *Google Maps*. Opgehaald van Google Maps: <https://www.google.com/maps/@52.3741867,4.6703889,3a,75y,297.65h,77.64t/data=!3m6!1e1!3m4!1s7bQMwwz8iBAeF5eP1XgCsA!2e0!7i13312!8i6656>
- Kadaster. (2017). *Groningen en Katwijk krijgen zicht op verstening*. Opgeroepen op februari 2019, van Kadaster: <https://zakelijk.kadaster.nl/groningen-en-katwijk-krijgen-zicht-op-verstening>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2018). *Verschillen in uitdagingen bij vijf verhaallijnen voor de 21e eeuw*. Opgeroepen op 02 14, 2019, van <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/klimaatsscenario-s-voor-de-21e-eeuw>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Insituut. (sd). *Gecorrigeerde neerslagbeelden radar*. Opgeroepen op februari 2019, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Insituut: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/Gecorrigeerde-neerslagbeelden-radar>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2014). *KNMI'14-klimaatsscenario's Scenarios samengevat*. Opgeroepen op maart 21, 2019, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Ministerie van Infrastructuur en Milieu: http://www.klimaatsscenarios.nl/scenarios_samengevat/index.html
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2017, september 13). *Hoeveel meer regen gaat de toekomst brengen?* Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/hoeveel-meer-regen-gaat-de-toekomst-brengen>

- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (sd). Jaarmaximum van de maximale neerslag in Nederland. *Jaarmaximum van de maximale neerslag in Nederland*. KNMI, Nederland. Opgeroepen op 02 18, 2019, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/hoe-vaak-komt-extreme-neerslag-zoals-op-28-juli-tegenwoordig-voor-en-is-dat-anders-dan-vroeger>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Intituut. (2015, juli 9). *KNMI'14-klimaatscenario's Kerncijfers*. Opgeroepen op maart 21, 2019, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Intituut, Ministerie van Infrastrcutuur en Milieu: <http://www.klimaatscenario's.nl/kerncijfers/index.html>
- Koorn, T. (2013, april 22). *Correctie van neerslagradar op basis van grondstations voor toepassing in stedelijk gebied: het beste van twee werelden*. Opgeroepen op februari 2019, van H2O: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/ac-de-niet1-j-de-jonge2-jl-korving1-j-langeveld3-af-van-nieuwenhuijzen1-1-witteveenbos-2-waterschap-de-dommel-3-tu-delft-royal-haskoningdhv>
- Krajenbrink, H. (2010). *“Kwaliteit neerslagradar maakt groot deel regenmeters overbodig”*. Nederland: H2O. Opgeroepen op februari 2019
- Lauriks, W. (2009, januari 27). *Hoe kan je de Schrödingervergelijking eenvoudig uitleggen ?* Opgeroepen op maart 25, 2019, van Ik heb een vraag, wetenschappers geven antwoord: <https://www.ikhebeenvraag.be/vraag/7949/Hoe-kan-je-de-Schrodinger-vergelijking-eenvoudig-uitleggen>
- Linden, E. v. (2018, juli 3). *Toekomstige zomers mogelijk droger dan gedacht*. Opgeroepen op februari 2019, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/toekomstige-zomers-mogelijk-droger-dan-gedacht>
- Luijtelaar, H. v. (2015, juli 1). *Impact extreme neerslag stedelijk gebied: waarom en met welke buien?* Opgeroepen op februari 2019, van Stichting RIONED: <https://www.riool.net/-/impact-extreme-neerslag-stedelijk-gebied-waarom-en-met-welke-buien->
- Maps, G. (2019). *Google Maps*. Opgehaald van Google Maps: <https://www.google.com/maps/place/Zuiderpolder,+Haarlem/@52.3787096,4.6678873,15z/data=!4m5!3m4!1s0x47c5e59318bc0659:0x26d88520f60a683e!8m2!3d52.3770117!4d4.67259>
- Ministerie van Volkhuysvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. (1989). *Beschrijving en analyse van een neerslag - inloop - overstortmodel*. 's-Gravenhage: Staatsuigeverij/DOP.
- Pugh, A. (2012, Oktober 29). *How many dimensions do you need in a model?* Opgehaald van Innovyze: <http://blog.innovyze.com/2012/10/29/how-many-dimensions-do-you-need-in-a-model/>
- Rainproof. (2018). *De weg van de druppel*. Opgeroepen op februari 2019, van Amsterdam Rainproof: <https://www.rainproof.nl/de-weg-van-de-druppel>
- Rioned. (2004, juli 01). *Neerslaggebeurtenissen*. Opgehaald van Rioned: <https://www.riool.net/neerslaggebeurtenissen-1>

- Ruimte met toekomst. (2013, november 25). *Waterbeweging als denkraam*. Opgeroepen op februari 2019, van Ruimte met toekomst: <http://www.ruimtexmilieu.nl/wiki/oude-doos/watersysteembenadering>
- Snellen, B. (2011). *Bodem als buffer*. Opgeroepen op februari 2019, van Deltaproof stowa: http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/Deltafact/Robuustheid/Droogte_stuurt_functies/Bodem_als_buffer.aspx
- van Ellen, W., Mol, J., Swart, B., & Moors, E. (2002). *Hydrologische woordenlijst*. Nederlandse Hydrologische Vereniging.
- van Luijtelaar, H., Voorhoeve, J., Zuidervliet, J., Beenen, A., & Clemens, F. (2007, augustus 28). *Module C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch*. (Rioned, Redacteur) Opgehaald van nelen-schuurmans: https://www.nelen-schuurmans.nl/turtle/C2100_Rioleringsberekeningen_hydraulisch_functioneren.pdf
- van Mameren, H. (2018). *Intern modelleerprotocol*. PMC watermanagement. Deventer: Witteveen+Bos.

