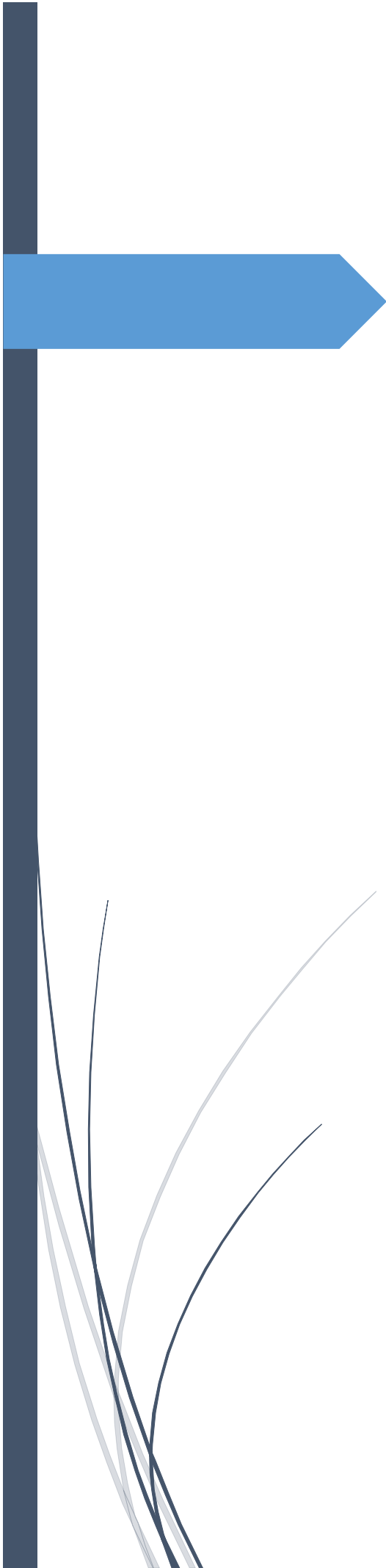




Een onderzoek naar de toepasbaarheid van Tygron op stedelijke wateroverlastproblematiek

Robert Lubben en Thomas Mittring

INGENIEURSBEDRIJF AVECO DE BONDT

HOGESCHOOL VAN HALL LARENSTEIN

JUNI 2018

Titel: Een onderzoek naar de toepasbaarheid van Tygron op stedelijke
wateroverlastproblematiek

In opdracht van: Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt

Versie:

Studenten:

Robert Lubben Tel: 06-13996685	Studentnummer: 000005833 mail: rlubben@avecodebondt.nl mail: robert.lubben@hvhl.nl
Thomas Mittring Tel: 06-27996348	Studentnummer: 000005783 mail: tmittring@avecodebondt.nl Mail: thomas.mittring@hvhl.nl

Onderwijsinstelling: Hogeschool van Hall Larenstein, Velp (GLD)

Begeleiding vanuit school: Ad Bot

Bedrijf: Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt, Holten

Begeleiding vanuit bedrijf: Thijs Visser

Datum: 5-6-2018

Voorwoord

Voor u ligt ons afstudeerrapport voor de studie Land- en Watermanagement aan Hogeschool van Hall Larenstein. Het was een leuk onderwerp om aan te werken omdat meerdere partijen waar wij in de toekomst in het werkveld mee te maken zullen krijgen, betrokken waren bij het project. Wij willen Aveco de Bondt bedanken voor de fijne tijd en voor de goede begeleiding tijdens de afstudeerfase. In het bijzonder willen we de volgende mensen bedanken:

- Thijs Visser, voor de begeleiding vanuit Aveco de Bondt en het meedenken tijdens het onderzoek.
- Ad Bot, voor de begeleiding vanuit Van Hall Larenstein en de goede feedback op de tussenversies van het rapport.
- Simon Troost, voor de het mogelijk maken van deze afstudeerstage en voor het voorbereidende werk.
- Jesse Jager, voor het helpen met het modelleren in de Tygron-engine en het delen van modelkennis.
- Rob Heukels, voor de informatie over de riolering en het delen van gebiedskennis, te modelleren maatregelen en de feedback tijdens de sessies.
- Tom Grobbe, voor het delen van informatie en de feedback tijdens de sessies.
- Daniel Tollenaar, voor de ondersteuning bij vragen over Tygron.
- Maxim Kneplé, voor de uitleg over het maaiveldmodel tijdens de CoP van Tygron.
- Leon van der Werf, voor het mailcontact waarin hij enkele vragen over het WOLK-rapport heeft toegelicht.

We wensen u veel leesplezier!

Robert Lubben en Thomas Mittring
30-5-2018, Holten

Verklarende woordenlijst

Een aantal woorden uit het verslag die eventueel niet duidelijk zijn, zijn opgenomen in deze verklarende woordenlijst. Wanneer een woord voor de eerste keer voorkomt in het verslag, is het **blauw** gearceerd.

Belaste gebouwen: Gebouwen die volgens de Tygron engine wateroverlast hebben bij de door de gebruiker opgegeven waterdiepte, in het voorbeeld 15cm.

Change Elevation Model: Een functie die gevonden kan worden onder Terrain → Change Elevation Model in Tygron, waarmee de maaiveldhoogte gewijzigd kan worden. Het is minder accuraat dan een bewerking in Qgis, maar wel sneller.

Hydrologische kenmerken: Eigenschappen van een modelgebied die te maken hebben met de hydrologie, zoals grondwaterstanden, oppervlaktewaterdebieten en neerslaghoeveelheden.

ICM: InfoWorks Integrated Catchment Modelling, een manier van water over maaiveld laten afstromen via stroombanen die van tevoren met een GIS-exercitie zijn gemaakt.

Last Value: De waterhoogte op straat in de laatste tijdstap van de modelberekening.

Max Value: De hoogste waterstand die, als gevolg van regenwater, op het maaiveld of op open water is voorgekomen gedurende de simulatieperiode in de Rainfall Overlay.

Overlay: Een laag die in Tygron kan worden aangemaakt, waarin een berekening kan worden uitgevoerd op de fysische eigenschappen van het model met verschillende invoermogelijkheden. Voorbeelden zijn de leefkwaliteit, hittestress of de hoeveelheid regenwater op maaiveld.

Overstorten: Een kunstwerk dat de riolering kan ledigen zodra deze (bijna) vol zit. In Tygron betekent dit dat water verplaatst wordt van de rioleringsberging naar het open water.

Piekbui: Een bui waarvan de intensiteit zo hoog is dat de capaciteit van de riolering niet voldoende is om de bui te verwerken.

POC: De Pomp Over Capaciteit, de hoeveelheid water die vanuit de riolering naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie kan worden gepompt. In Tygron betekent dit dat het water het model verlaat.

Qgis: Ook wel QuantumGis genoemd, een open source gratis geografisch informatie systeem. Kan gebruikt worden om de .GEOJSON files te maken waar Tygron mee werkt.

Rainfall Overlay Wizard: Het invoerscherm in de Tygron engine waarmee hydrologische data en kenmerken ingevoerd kunnen worden in het model.

Rainfall Overlay: Tygron heeft verschillende Overlays (leefbaarheid, hittestress etc.). De rainfall overlay laat de hoeveelheid water op straat zien, afhankelijk van de hydrologische kenmerken.

Rioolcapaciteit: De totale capaciteit van het riool, bestaande uit de berging, de POC en de overstorten. In dit onderzoek is de berging in meters of millimeters aangegeven, de POC en overstorten in m³/s of mm/u aangegeven.

SALTO: Een 'shell' die Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt, in samenwerking met Tygron, om de Tygron Engine heeft gebouwd om bijvoorbeeld makkelijker maatregelen in te kunnen bouwen of de waterschade te berekenen.

Standaard uitkomst: Het uitvoergrid van de Rainfall Overlay voor de Marskant, waarmee alle gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd.

Template: Een template kan aangemaakt worden om een volgend project in Tygron met dezelfde instellingen in te laden, zodat er geen tijd geïnvesteerd hoeft te worden om de basisinstellingen weer opnieuw aan te passen.

Tygron engine: Onder de User Interface van Tygron zit een software basis, die de werking van het programma mogelijk maakt. Deze software wordt ook wel de engine genoemd.

Wateropgave: De resterende hoeveelheid waterdiepte op straat die moet worden weggewerkt voordat de maatregel succesvol is.

Wateroverlast: Wanneer een teveel aan water leidt tot schade of hinder.

WOLK: WaterOverlastLandschapsKaart, de kaart waarop de gemeente Hengelo het Gemeentelijk Rioleringsplan heeft gebaseerd. Geproduceerd met het ICM model. Dient ook als validatie voor de geproduceerde Tygron modellen.

Samenvatting

De komende decennia zal de invloed van klimaatverandering wereldwijd steeds meer toenemen. Dit betekent dat ook in stedelijke gebieden buien met een hogere intensiteit vaker zullen voorkomen. Het stedelijk gebied is hier vaak niet op ingericht. De gemeente Hengelo heeft in haar Gemeentelijk Rioleringsplan gesteld dat een bui van 80mm in een uur geen overlast meer mag geven. Er zijn drie locaties waar de gemeente op korte termijn maatregelen wil nemen tegen regenwateroverlastproblematiek: de Oldenzaalsestraat aan de begraafplaats, de Parallelweg ten zuiden van het station en de Marskant ten noorden van het station.

Het doel van dit onderzoek is om de nieuwe **Tygron engine** te gebruiken om de regenwateroverlast voor een bui van 80mm in een uur inzichtelijk te maken voor de drie locaties in Hengelo, en om te verduidelijken welke invoer benodigd is om tot een goed modelresultaat te komen. Dit heeft geleid tot de formulering van de volgende hoofdvraag: *'Hoe kan Tygron gebruikt worden om water op straat als gevolg van een piekbui en de bijbehorende maatregelen die regenwateroverlast verminderen te modelleren in het stedelijk gebied?'*

Om een antwoord te geven op deze onderzoeksvraag is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van de belangrijkste modelinvoer voor de regenwatermodellering. Voor deze analyse is een model in Tygron zo accuraat en volledig mogelijk opgebouwd, waarna stap voor stap een enkel onderdeel van de invoer in zijn geheel is weggelaten. Door de modeluitkomst van het volledige model en de modeluitkomst van het model zonder een bepaalde specifieke invoer te vergelijken, kon de gevoeligheid en het effect van de modelinvoer geanalyseerd worden. Daarna zijn de modellen voor de drie locaties gevalideerd met behulp van literatuur en de mening van gebiedskenners. Vervolgens is inzichtelijk gemaakt waar de wateroverlastproblematiek aanwezig is en wat de wateropgave is voor deze locaties. Als laatste zijn per locatie drie maatregelen in Tygron gebouwd die op verschillende wijzen de wateroverlast doen verminderen.

Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat stuwen, duikers, overstorten, pompen, outlets, peilgebieden, rioleringsberging en POC het meest van belang zijn voor de modellering van waterdieptes op maaiveld in Tygron. Uit locatieonderzoek is gebleken dat het water op de Oldenzaalsestraat tot 20cm hoog mag staan, op de Parallelweg ook tot 20cm hoog en op de Marskant direct aan de winkel tot 5cm hoog. Uit de uitwerking van de maatregelen bleek dat de verbinding met de nabijgelegen Koksvijver een goede optie is voor de Begraafplaats, een wegverhoging en aanleg van een vijver op particulier terrein de beste optie is voor de Parallelweg en een verbreding van de Berflobeek en veranderen van de wegverkanting de wateroverlast het beste oplost bij de Marskant.

Door de juiste modelgegevens, die uit dit onderzoek naar voren zijn gekomen, zo accuraat mogelijk in te vullen en te valideren aan de hand van literatuur en de mening van gebiedskenners, kan Tygron een goed beeld geven van de wateroverlastproblematiek bij een aangegeven neerslagintensiteit. Vervolgens kan zowel binnen als buiten de engine de data bewerkt worden en maatregelen ingebouwd worden, zolang deze maatregelen hoofdzakelijk betrekking hebben op de sturing van water over maaiveld.

In een vervolgonderzoek is het echter wel aan te raden om een model te bouwen wat getoetst kan worden aan een neerslaggebeurtenis die daadwerkelijk is voorgevallen; een bui van 80mm in een uur is in Hengelo nog nooit geregistreerd, wat de validatiemogelijkheden beperkt. Ook is 80mm neerslag een enorme hoeveelheid water. Maatregelen die de daarbij horende wateroverlast volledig oplossen, zijn dan ook erg ingrijpend. Het is aan te raden om in de toekomst ook de wateroverlast en het effect van de maatregelen te inventariseren op minder hoge neerslaghoeveelheden.

Inhoud

VOORWOORD	3
VERKLARENDE WOORDENLIJST	4
SAMENVATTING	6
LIJST MET BIJLAGEN	9
HOOFDSTUK 1: INLEIDING	11
1.1 AANLEIDING	11
1.2 PROBLEEMSTELLING	11
1.3 HOOFDVRAAG, DEELVRAGEN EN METHODE	12
1.4 DOELSTELLING	12
1.5 METHODE	12
1.6 AFBAKENING	12
1.7 DOELGROEP	13
HOOFDSTUK 2: MODELOPBOUW	14
2.1 INTRODUCTIE	14
2.2 METHODE	14
2.3 ALGEMENE EIGENSCHAPPEN TYGRON	15
2.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE: HET MODELLEERPROCES IN TYGRON	17
2.5 MAAIVELDHOOGTE	27
2.6 KENMERKEN PER DEELGEBIED	27
2.7 DEELCONCLUSIE	29
HOOFDSTUK 3: BEOORDELEN MODELUITKOMSTEN	30
3.1 INTRODUCTIE	30
3.2 METHODE	30
3.3 AANNAMES WOLK-KAART	30
3.4 GEVONDEN VERSCHILLEN	31
3.5 REACTIE BETROKKEN PARTIJEN	32
3.4 DEELCONCLUSIE	33
HOOFDSTUK 4: INZICHTELIJK MAKEN VAN WATEROVERLAST	34
4.1 INTRODUCTIE	34
4.2 METHODE	34
4.3 WATEROVERLAST BEREKENEN IN TYGRON	34
4.4 WATEROVERLAST OP STRAATNIVEAU	35

4.5 DEELCONCLUSIE	36
HOOFDSTUK 5: TOEPASSEN VAN MAATREGELEN IN TYGRON	37
5.1 INTRODUCTIE	37
5.2 METHODE	37
5.3 MAATREGELEN VOOR BEGRAAFPLAATS	38
5.4 MAATREGELEN VOOR PARALLELWEG STATION	40
5.5 MAATREGELEN VOOR MARSKANT	43
5.6 DEELCONCLUSIE	46
HOOFDSTUK 6: CONCLUSIES, AANBEVELINGEN EN DISCUSSIE	47
6.1 CONCLUSIE	47
6.2 AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK	48
6.3 DISCUSSIE	48
HOOFDSTUK 7. LITERATUURLIJST	50

Lijst met bijlagen

Bijlagendocument A: Onderbouwend materiaal voor onderzoek

- Bijlage A.0: Reflectie
- Bijlage A.1: Schematische weergave WOLK-kaart 80mm/uur
- Bijlage A.2: Algemene beschrijving overlastlocaties
- Bijlage A.3: Resultaat berekening water op straat Marskant
- Bijlage A.4: Modelgrenskeuze
- Bijlage A.5: Verschilkaart Last Value i.p.v. Water Stress
- Bijlage A.6: Verschilkaart blokbui i.p.v. sinusvormige piekbui
- Bijlage A.7: Invloed van peilvakken
- Bijlage A.8: Invloed van In- of uitstroom op een peilgebied
- Bijlage A.9: RLG kaart met interpolatie op basis van peilbuisgegevens
- Bijlage A.10: GLG-kaart van NHI
- Bijlage A.11: Verschilkaart lokale grondwaterstand i.p.v. NHI
- Bijlage A.12: Verschilkaart zonder riolering
- Bijlage A.13: Verschilkaart weglaten lediging riool
- Bijlage A.14: Verschilkaart automatisch gegenereerde riolering i.p.v. handmatig gemaakte riolering
- Bijlage A.15: Verschilkaart overstortcapaciteit als POC
- Bijlage A.16: Berekening van POC en overstortdebiet
- Bijlage A.17: Verschilkaart weglaten sturende kunstwerken
- Bijlage A.18: Verschilkaart weglaten overstorten
- Bijlage A.19: Verschilkaart weglaten wrijving
- Bijlage A.20: Verschilkaart weglaten infiltratie
- Bijlage A.21a: Invoerkaartlagen model Begraafplaats
- Bijlage A.21b: Data model Begraafplaats
- Bijlage A.22a: Invoerkaartlagen model Parallelweg Station
- Bijlage A.22b: Data model Parallelweg Station
- Bijlage A.23a: Invoerkaartlagen model Marskant
- Bijlage A.23b: Data model Marskant
- Bijlage A.24: Berekening overstort Koksvisvijver
- Bijlage A.25: Resultaat berekening water op straat begraafplaats
- Bijlage A.26: Berekening debiet pomp Balktsbeek
- Bijlage A.27: Resultaat berekening water op straat Parallelweg Station
- Bijlage A.28: Grafische weergave verschillen Tygron en WOLK
- Bijlage A.29: Vergelijking Tygron en WOLK-kaart Begraafplaats
- Bijlage A.30: Vergelijking Tygron en WOLK-kaart Station
- Bijlage A.31: Vergelijking Tygron en WOLK-kaart Marskant
- Bijlage A.32a: Waterbalans Begraafplaats bij 80mm/u-bui
- Bijlage A.32b: Grafiek % afvoer over maaiveld per bui (Begraafplaats)
- Bijlage A.33a: Waterbalans Parallelweg Station bij 80mm/u-bui
- Bijlage A.33b: Grafiek % afvoer over maaiveld per bui (Station)
- Bijlage A.34a: Waterbalans Marskant bij 80mm/u-bui
- Bijlage A.34b: Grafiek % afvoer over maaiveld per bui (Marskant)
- Bijlage A.35: Tygron-kaart met belaste gebouwen Marskant
- Bijlage A.36: Wateropgave Begraafplaats Oldenzaalsestraat
- Bijlage A.37: Wateropgave Parallelweg Station
- Bijlage A.38: Wateropgave Marskant

Bijlagedocument B: Verslaggeving sessies

- Bijlage B.1: Verslaggeving sessie tweede voortgangsoverleg
- Bijlage B.2: Verslaggeving locatiebezoek

Bijlagedocument C: Handleiding met Stroomschema

Bijlage C.1: Handleiding voor Tygron

Bijlage C.2: Stroomschema Modelleerproces

Bijlagedocument D: Plan van aanpak

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Aanleiding

De komende decennia zal de invloed van klimaatverandering wereldwijd steeds meer toenemen. Voor Nederland zal dit volgens de huidige prognoses zorgen voor een versterking van de extremen. Dit betekent een hogere en frequentere bui intensiteit in de zomer en een grotere neerslagsom in de winter (KNMI, 2015).

Daarnaast is Nederland dichtbevolkt en neemt de grootte van het stedelijk gebied nog altijd toe. Het gevolg hiervan is dat de hoeveelheid verharding eveneens toeneemt. Door deze verharding is er in de centra van steden vaak te weinig ruimte voor nieuwe bergings- en infiltratielocaties van hemelwater. Tijdens de door de klimaatverandering extremer geworden **piekbuien**, kan dit zorgen voor water op straat en in sommige gevallen **wateroverlast**. Deze grotere hoeveelheden water kunnen door de al bestaande systemen niet snel genoeg afgevoerd worden. Daarnaast is de bouwstijl in de afgelopen decennia veranderd; het accent is komen te liggen op toegankelijkheid van de openbare ruimte. Drempelhoogtes van gebouwen zijn als een gevolg hiervan verlaagd, waardoor water sneller vanaf het maaiveld gebouwen in kan stromen met waterschade als gevolg.

Om wateroverlast in het stedelijk gebied als gevolg van piekbuien inzichtelijk te maken en passende maatregelen aan te kunnen dragen, inventariseren Aveco de Bondt en waterschap Vechtstromen gezamenlijk de mogelijkheden van Tygron. Tygron is een nieuwe modelcode waarmee processen in het stedelijk gebied snel inzichtelijk gemaakt kunnen worden. Ook de berekeningen op de invloed van aanpassingen in deze processen verlopen snel. Hierbij kan gedacht worden aan hittestress, geluidsoverlast, leefbaarheid en ook wateroverlast (STOWA, 2017). Ingenieursbureau Aveco de Bondt en het waterschap zijn geïnteresseerd in de mogelijke toepasbaarheid van Tygron, om op een nieuwe manier naar het oplossen van wateroverlast te kijken.

Met behulp van een modelstudie en de praktijkervaringen binnen de gemeente Hengelo is een kaart opgesteld voor het Gemeentelijke Rioleringsplan Hengelo (**WOLK**-kaart: zie bijlage A.1) waaruit meerdere locaties naar voren kwamen waar wateroverlastproblematiek speelt. Voor een drietal van deze locaties heeft de gemeente voorgenomen om op korte termijn maatregelen te nemen. Dit betreft de Oldenzaalsestraat aan de begraafplaats, de Marskant ten noorden van het station en de Parallelweg en bijbehorende zijwegen ten zuiden van het station. Zie bijlage A.2 voor bijbehorende kaarten en beschrijving van de locaties. De wens van de gemeente is om passende maatregelen voor deze drie locaties te krijgen om regenwateroverlast bij een bui van 80mm in een uur te voorkomen. (Van der Werf L., 2017) (Gemeente Hengelo & Broks-Messelaar Consultancy, 2017)

1.2 Probleemstelling

Op dit moment is er nog geen duidelijke vaste aanpak waarmee Tygron snel en betrouwbaar ingezet kan worden voor wateroverlastsituaties bij piekbuien. Met piekbuien worden in dit onderzoek buien bedoeld waarvan de intensiteit zo hoog is dat de bergings- en afvoercapaciteit onvoldoende zijn om de bui te verwerken én het resterende hemelwater oppervlakkig gaat afstromen en tot regenwateroverlast kan leiden.

Daarnaast is het nog onduidelijk hoe met **hydrologische kenmerken** omgegaan moet worden binnen Tygron om waterdieptes op maaiveld als gevolg van piekbuien in stedelijk gebied inzichtelijk te maken. Verder is nog niet duidelijk hoe precies het Tygronmodel rekent vergeleken met een ander veelgebruikt model zoals **ICM** (de model engine waarmee WOLK is opgebouwd). Als laatste is het nog de vraag welke typen maatregelen in te bouwen zijn in Tygron.

1.3 Hoofdvraag, deelvragen en methode

De hoofdvraag voor dit onderzoek is:

Hoe kan Tygron gebruikt worden om water op straat als gevolg van een piekbui en de bijbehorende maatregelen die regenwateroverlast verminderen te modelleren in het stedelijk gebied?

Deelvragen:

- 1) Welke hydrologische kenmerken zijn van belang voor de modellering van waterdieptes op maaiveld als gevolg van piekbuien?
- 2) In welke mate geeft het model met toepassing van de gevonden kenmerken een realistisch beeld van de hoeveelheid water op maaiveld?
- 3) Hoe kan met behulp van Tygron de wateroverlast in kaart worden gebracht?
- 4) Hoe kan het effect van maatregelen in Tygron berekend worden?

1.4 Doelstelling

Het doel van dit project is om een handleiding en stroomschema te produceren aan de hand van de onderzoeksresultaten. Deze handleiding moet volgbaar zijn voor medewerkers van Aveco de Bondt. De handleiding moet de gebruiker er toe in staat stellen om een Tygron model op te bouwen waarin de waterdiepte in stedelijk gebied berekend kan worden bij een bepaalde bui. Het onderzoek dient als onderbouwing voor de keuzes in het modelleringsproces.

1.5 Methode

In deelvraag 1 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd in Tygron. Hiervoor is een model eerst volledig opgebouwd, waarna stapsgewijs bepaalde hydrologische kenmerken uit de modelinvoer zijn weggelaten. Verschilkaarten zijn geproduceerd om inzicht te krijgen in het effect van de invoer van ieder belangrijk hydrologisch kenmerk.

Deelvraag 2 is beantwoord met de mening van gebiedskenners en deskundigen. Hiervoor zijn sessies georganiseerd waarin gemeente en waterschap hun mening over de uitkomsten konden geven. Tevens zijn de uitkomsten van de modellen vergeleken met het gevalideerde WOLK-onderzoek.

De derde deelvraag is eerst in Tygron uitgevoerd, met behulp van de Impacted Buildings functie die Tygron heeft. Vervolgens is de wateropgave per wateroverlastlocatie in kaart gebracht met behulp van inzichten van de gemeente Hengelo. Daarna zijn kaarten van de wateropgave geproduceerd in Qgis met de resultaten uit Tygron.

In de laatste deelvraag zijn de maatregelen gemodelleerd. Een aantal maatregelen zijn al voorgeprogrammeerd via **SALTO**, de 'shell' die Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt om de engine van Tygron heen heeft gebouwd. Hierbij kan gedacht worden aan het implementeren van bergingskratten of wadi's. Voor andere maatregelen die de open data veranderen, zoals het veranderen van het maaiveld of de ligging van open water, is in Tygron of **Qgis** de aanpassing gemaakt.

1.6 Afbakening

Bij de gevoeligheidsanalyse is alleen onderzocht wat het verschil is tussen het includeren en excluderen van een bepaald hydrologisch kenmerk; er is niet naar de tussenstappen gekeken. Een voorbeeld: bij het onderzoeken wat de invloed is van infiltratie op de modeluitkomst, wordt het verschil tussen normale infiltratiemogelijkheden en absoluut geen infiltratiemogelijkheden geanalyseerd. Op basis van het verschil tussen beide uitkomsten wordt een uitspraak gedaan over de

gevoeligheid van dit hydrologische kenmerk. Er wordt niet onderzocht wat de invloed is van bijvoorbeeld een halvering van de infiltratiesnelheden.

Om de WOLK-kaart te kunnen gebruiken als vergelijking voor de uitkomsten in het Tygron-model, is in de drie modellen een bui van 80mm in een uur gebruikt. Op deze neerslaggebeurtenis zijn ook de maatregelen berekend.

Bij het beschrijven van mogelijke maatregelen is alleen aandachtbesteed aan de locaties op straatniveau die gespecificeerd zijn door de gemeente. Wel is er gekeken of de maatregel niet zorgt voor een verhoging van de waterstand op andere locaties, wat zou betekenen dat de overlast afgewenteld zou worden. Op dit laatste onderdeel van de maatregelsamenstelling is echter niet ingegaan in dit rapport.

Per casestudy zijn drie maatregelen uitgewerkt. Het doel van de uitwerking van de maatregelen is hoofdzakelijk om te onderzoeken of het inbouwen van maatregelen iets is waarvoor Tygron toegepast kan worden. Het hoofddoel is niet om de maatregelen dermate te dimensioneren dat de wateroverlast op de meest efficiënte manier verholpen of verminderd kan worden.

1.7 Doelgroep

Dit rapport is bedoeld voor medewerkers van Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt, studenten en docenten van Hogeschool van Hall Larenstein, medewerkers van de gemeente Hengelo die interesse hebben in wateroverlast en medewerkers van waterschap Vechtstromen.

Hoofdstuk 2: Modelopbouw

2.1 Introductie

In dit hoofdstuk is de volgende deelvraag behandeld: “Welke hydrologische kenmerken zijn van belang voor de modellering van waterdieptes op maaiveld als gevolg van piekbuien?” Het beantwoorden van deze deelvraag geeft inzicht in het aangeraden gebruik van Tygron voor het maken van een model dat de wateroverlast in het stedelijk gebied als gevolg van piekbuien berekend. Om de deelvraag te beantwoorden, is deze onderverdeeld in drie subvragen:

- 1) Wat is Tygron?
- 2) Wat is de gevoeligheid van het model op andere input voor deze hydrologische kenmerken?
- 3) Welke specifieke data zijn per casestudy nodig om tot goede modelresultaten te komen?

2.2 Methode

Om de subvragen, en daarmee de deelvraag, te beantwoorden, is per subvraag een methode toegepast. De eerste subvraag is beantwoord aan de hand van literatuuronderzoek. De website van Tygron-Support is geraadpleegd. Ook is gebruikerservaring opgedaan met de Tygron engine.

De tweede subvraag is beantwoord door stapsgewijs het modelleringsproces door te lopen met een model van de Marskant wat in zijn volledigheid zo precies mogelijk is ingevuld en opgebouwd. Er is onderzocht welke input nodig is voor de berekening van de hoeveelheid water op maaiveld. Vervolgens is onderscheid gemaakt tussen de ‘belangrijke’ en ‘minder belangrijke’ hydrologische kenmerken die typerend zijn voor een hydrologisch model. Met *belangrijke* hydrologische kenmerken wordt bedoeld de kenmerken die veel invloed zouden kunnen hebben op de modeluitkomst. Hydrologische kenmerken waarop een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd, zijn:

- Simulatiekeuze
- Buivorm
- Instroom en uitstroom oppervlaktewaterdebiet
- Grondwaterstand
- Riolering
- Lediging berging
- Stuwen en duikers
- Overstorten
- Wrijving
- Infiltratiemogelijkheden

Voor de gevoeligheidsanalyse is de uitkomst van het model van de Marskant gebruikt. Hier zijn een aantal redenen voor. Ten eerste heeft het modelgebied een verhard oppervlak en hoeveelheid openbaar groen vergelijkbaar met de andere modellen. Daarnaast heeft het een beek die door het modelgebied stroomt, wat een belangrijk element is in de gevoeligheidsanalyse. Ook is er een hellend maaiveld, wat de andere modellen ook hebben en belangrijk is in de afstroming van water over maaiveld. Als laatste zijn er duidelijke hydrologische grenzen voor het model.

In de gevoeligheidsanalyse is onderzocht wat de invloed van de kenmerken is door het model met en zonder de invoerparameter een uitvoer te laten produceren. De uitkomst waarin een hydrologisch kenmerk is aangepast, is afgetrokken van de **standaard uitkomst**. Op basis hiervan zijn verschilkaarten gemaakt die de gevoeligheid aangeven. Deze kaarten zijn gebruikt om te bepalen wat de invloed is van een hydrologisch kenmerk en of dit kenmerk belangrijk genoeg is om te modelleren.

De derde subvraag is beantwoord door de gevoeligheidsanalyse uit de tweede subvraag te gebruiken. Voor iedere casestudy is een apart model opgebouwd waarin de belangrijkste hydrologische kenmerken zijn ingevoerd. Voor kenmerken van sturende kunstwerken is data uit de legger van waterschap Vechtstromen gebruikt. De gegevens over de rioolcapaciteit zijn verstrekt door de gemeente Hengelo. De dimensionering van de gegevens en de formules die hiervoor nodig zijn geweest, zijn met de kennis van Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt tot stand gekomen.

2.3 Algemene eigenschappen Tygron

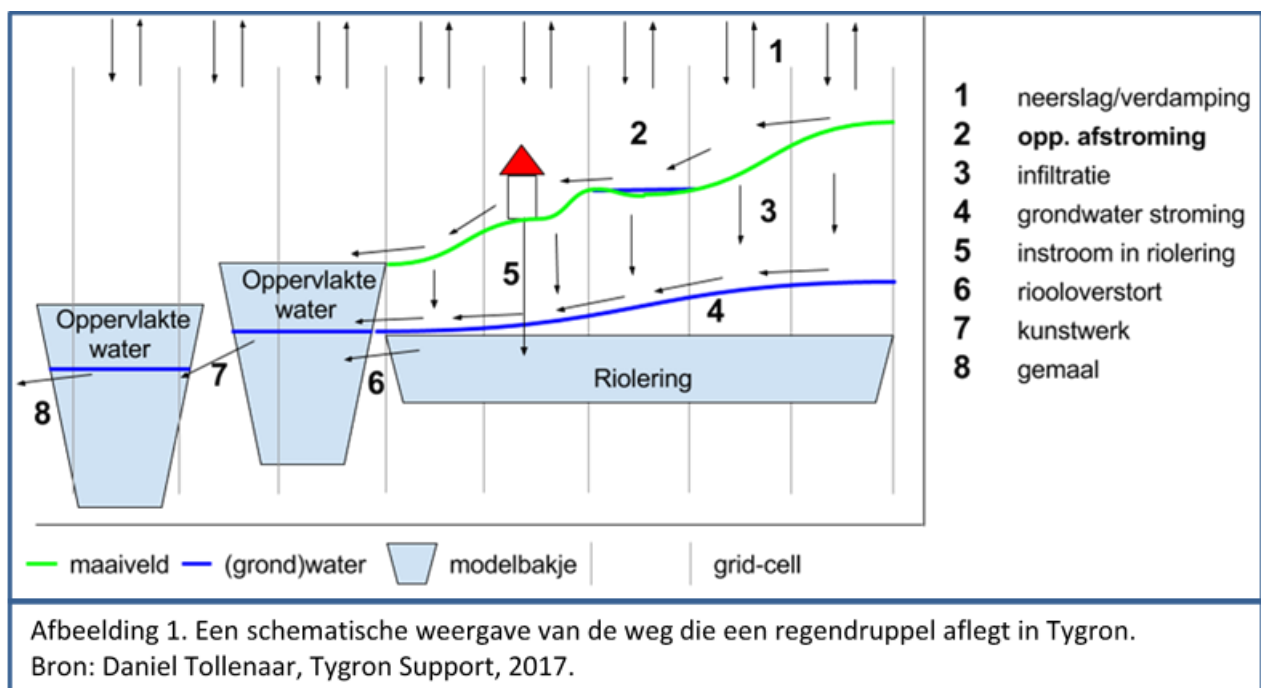
In deze paragraaf wordt beschreven wat Tygron voor model is. Er wordt ingegaan op de makers, de toepasbaarheid, de werking en het gebruik van opendata door Tygron.

2.3.1 Over de software

Tygron faciliteert een 3D-omgeving waarin verschillende berekeningen en visualisaties gemaakt kunnen worden. Tygron geeft hiervan zelf de volgende omschrijving:

“Tygron is een Nederlands software bedrijf, opgericht in 2005. Wij ontwikkelen een cloud-based platform dat gebruikers in staat stelt om eigen Dynamische 3D-modellen te genereren op basis van GEO data en rekenmodellen. De software is snel, interactief en visueel en daarom zeer geschikt om stakeholders (ook niet-experts) direct te betrekken bij afwegingen. Meerdere gemeenten, provincies en waterschappen ondersteunen hun gebiedsprocessen met Tygron software. Tygron werkt ook samen met consultants.” (Tygron, 2018)

Tygron is een bakjesmodel. In afbeelding 1 is weergegeven hoe een regendruppel zich stap voor stap door het model beweegt.

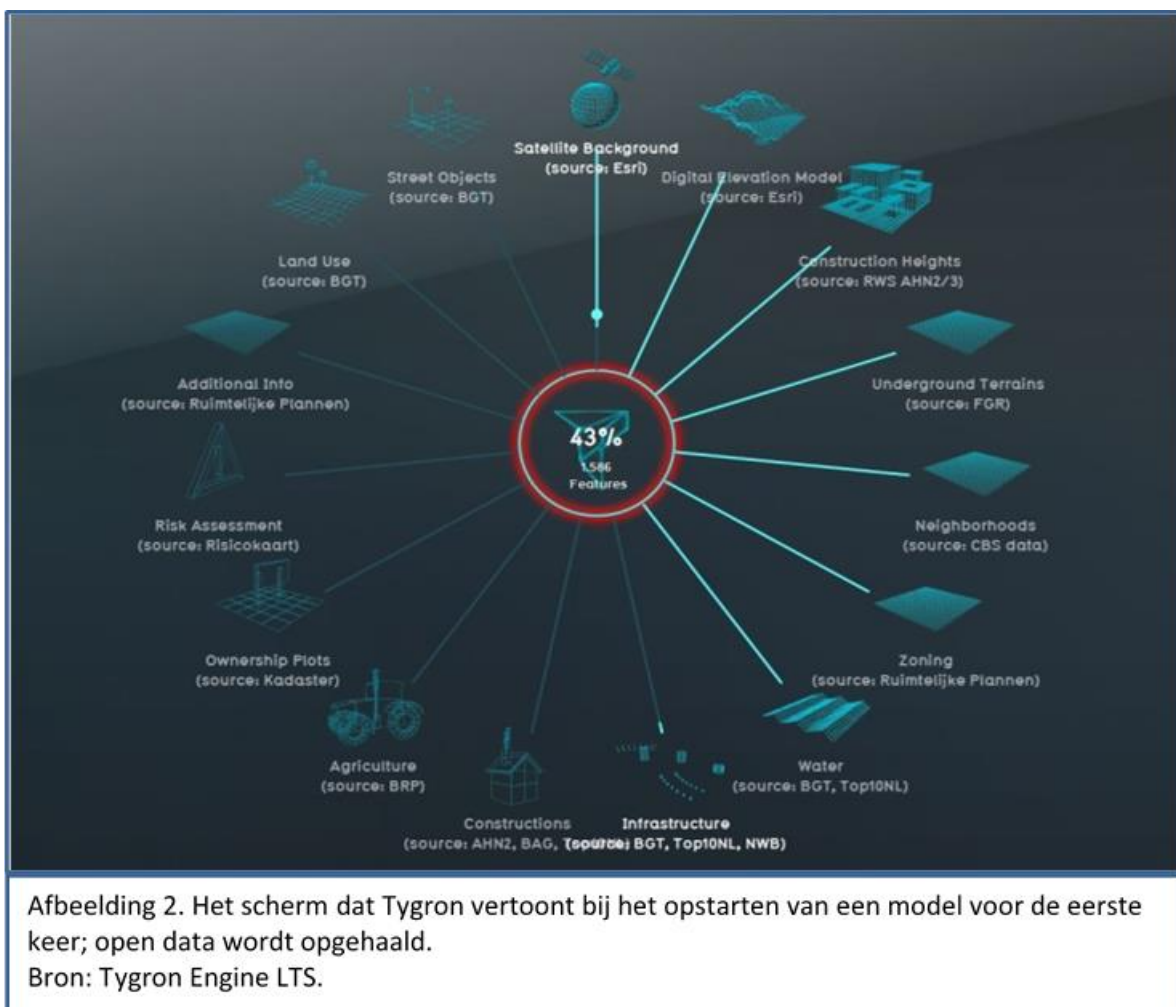


2.3.2 Wat kan Tygron?

Tygron kan verschillende processen in de openbare ruimte berekenen en visualiseren. Voorbeelden hiervan zijn: wateroverlast, hittestress, leefbaarheid, geluidsoverlast en bodemdaling. Naast deze processen is het ook mogelijk om eigen formules en modellen te koppelen aan Tygron. De effecten van aanpassingen in een gebied kunnen snel berekend worden door middel van de servers van Tygron. Hierdoor is Tygron zeer geschikt als communicatiemiddel tussen verschillende stakeholders. (STOWA, 2017)

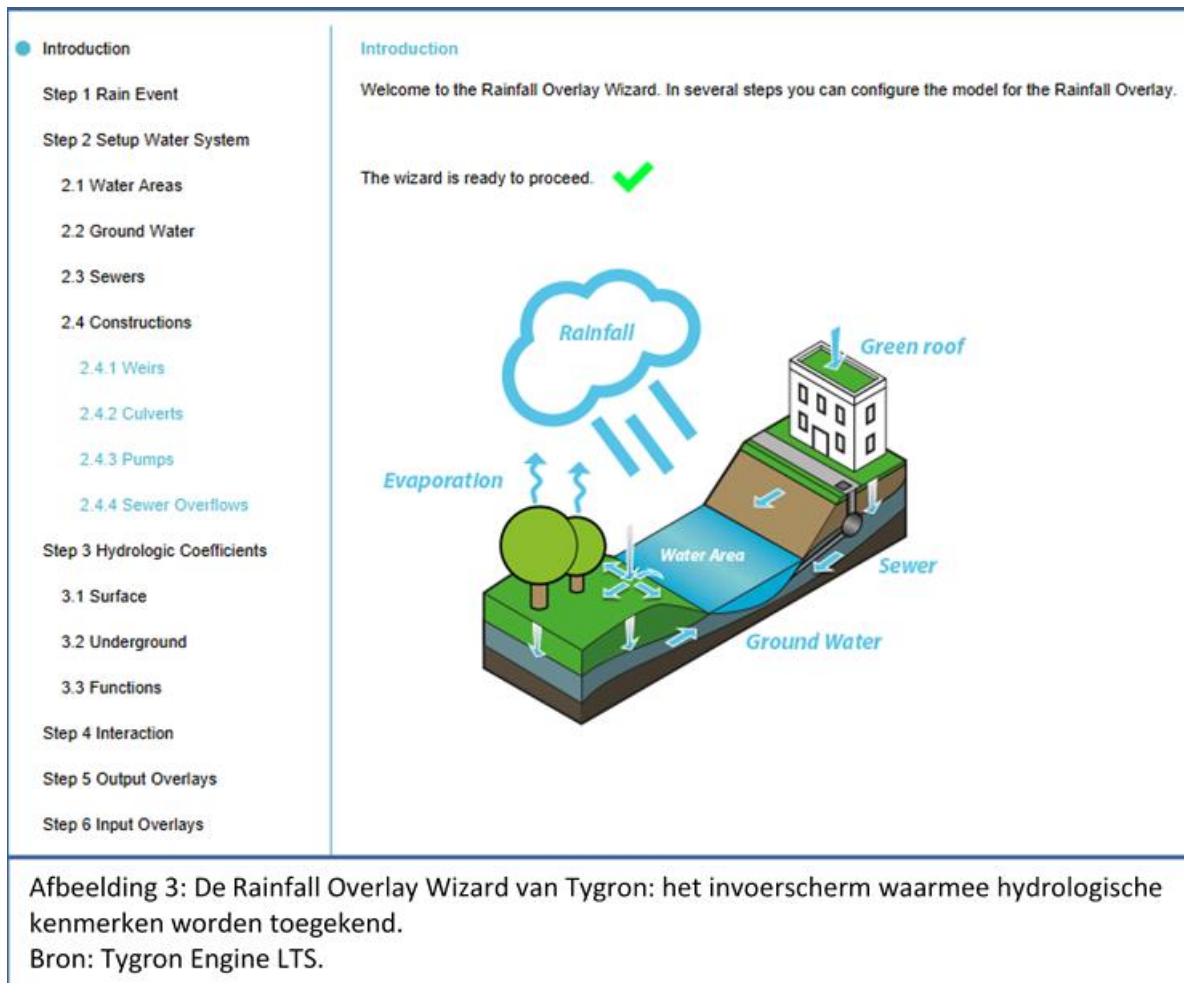
2.3.3 Benodigde data

Tygron maakt voor het opbouwen van een nieuwe 3D-omgeving gebruik van een aantal opendata-bronnen die voor heel Nederland beschikbaar zijn. Op afbeelding 2 is zichtbaar welke vrij beschikbare data Tygron gebruikt. Veel van deze data wordt bewerkt voordat het in de engine geladen wordt. Naast opendata is het ook mogelijk om eigen data toe te voegen of om de door Tygron zelf ingeladen data aan te passen. Eventuele bewerkingen van de data dienen gedaan worden met behulp van Qgis.



2.3.4 De Rainfall Overlay Wizard

In Tygron kunnen meerdere **Overlays** gecreëerd worden. Eén daarvan is de **Rainfall Overlay**. Deze wordt opgebouwd met de **Rainfall Overlay Wizard**, die gebruikt kan worden om de invoer in te geven waarmee water-op-straat scenario's berekend kunnen worden in Tygron (afbeelding 3). Hiervoor worden in eerste instantie door Tygron een aantal aannames gemaakt voor de hydrologische kenmerken van het gebied. Tijdens het modelleren kunnen deze hydrologische kenmerken handmatig worden aangepast, zodat ze beter het gebied representeren en de uitkomst van het model accurater maken.



2.4 Gevoeligheidsanalyse: het modelleerproces in Tygron

In deze paragraaf is onderzocht hoe groot de invloed is van het aanpassen van de hydrologische kenmerken (lees: modelinvoer) in de Rainfall Overlay Wizard. Dit onderzoek heeft de vorm van een gevoeligheidsanalyse, waarmee onderbouwd wordt welke invoer wel en niet van belang is bij de modelopbouw in Tygron.

De uitkomst voor water op straat in het model Marskant staat in bijlage A.3, en zal verder in dit hoofdstuk genoemd worden als de 'standaard uitkomst'. Alle onderstaande beschreven vergelijkingen en verschilkaarten zijn gebaseerd op deze standaard uitkomst.

2.4.1 Gebieds- en simulatiekeuze

Aan het begin van een project moet allereerst duidelijk zijn wat de overlastlocatie en de modelgrens van het gebied zijn. De overlastlocatie is niet groter dan een aantal straten en heeft, op basis van de

WOLK-kaart en de toelichting van de gemeente Hengelo, een regenwateroverlastprobleem tijdens piekbuien.

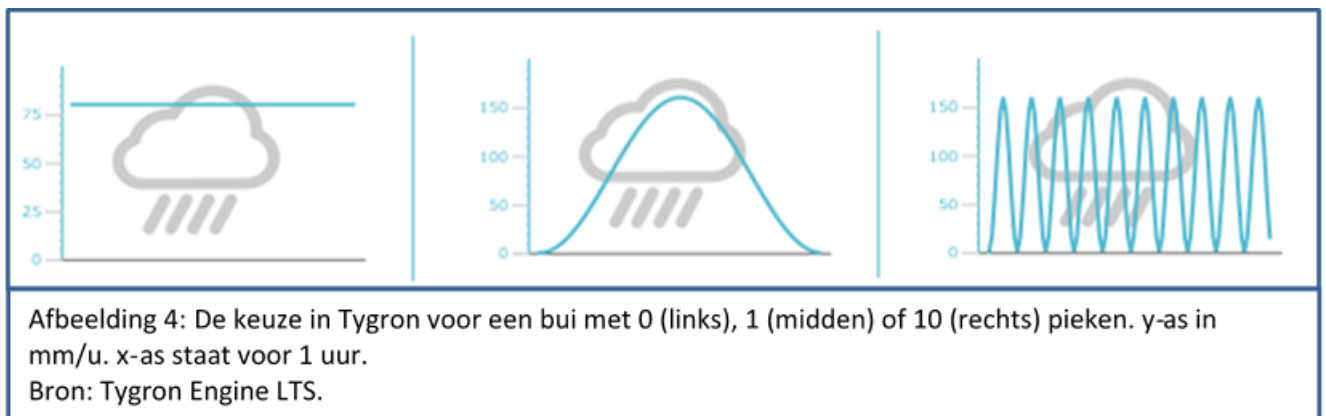
Om de overlastlocatie in Tygron te modelleren, moet een modelgrens gekozen worden. De modelgrenzen dienen zo te worden gekozen dat de natuurlijke hydrologische grenzen van een gebied, zoals snelwegen, spoorlijnen en waterlopen, op de rand van het modelgebied gesitueerd zijn, terwijl de overlastlocatie gecentreerd in het model staat. Een voorbeeld van een modelgrenskeuze is opgenomen in bijlage A.4. Uitkomsten die onder het gearceerde gebied liggen, zijn in volgende kaarten transparant. Dit geldt ook voor de modelranden, omdat de berekeningen beïnvloed zijn door randeffecten.

Ook moet gekozen worden welke output gewenst is. Twee outputlagen om de waterdiepte weer te geven zijn de 'Max Value' laag en de 'Last Value' laag. Max Value in Tygron is een output laag die de maximale waterdiepte op straat laat zien als gevolg van een piekbui. Voor de modelleringen van regenwateroverlast kan ook gekozen worden de Last Value output te kiezen; de laatste waarde tijdens de simulatie. Het verschil tussen de beide outputs is interessant om te onderzoeken, omdat het weergeeft wat de invloed is van tijdsverloop op de modeluitkomst. Het verschil tussen de beide outputs is weergegeven in bijlage A.5. De waarden in de Last Value output zijn lager, omdat er meer tijd is voor de bodeminfiltratie en riolering om water te bergen of af te voeren. Dit verschil is erg afhankelijk van de duur van de simulatie, wat in paragraaf 2.4.2 ter sprake komt.

In de standaard output van de drie modellen is gekozen voor Max Value; in de korte duur van een piekbui speelt de maximale waterdiepte een belangrijke rol. In een langere simulatie kan gekozen worden voor de Last Value output of voor beiden.

2.4.2 Neerslagintensiteit en –duur

Na het kiezen van het modelleringsgebied en het genereren van het model, kan de Rainfall Wizard worden geopend. Hierin wordt allereerst in stap 1.0 de neerslagintensiteit, -duur en -vorm ingevoerd.



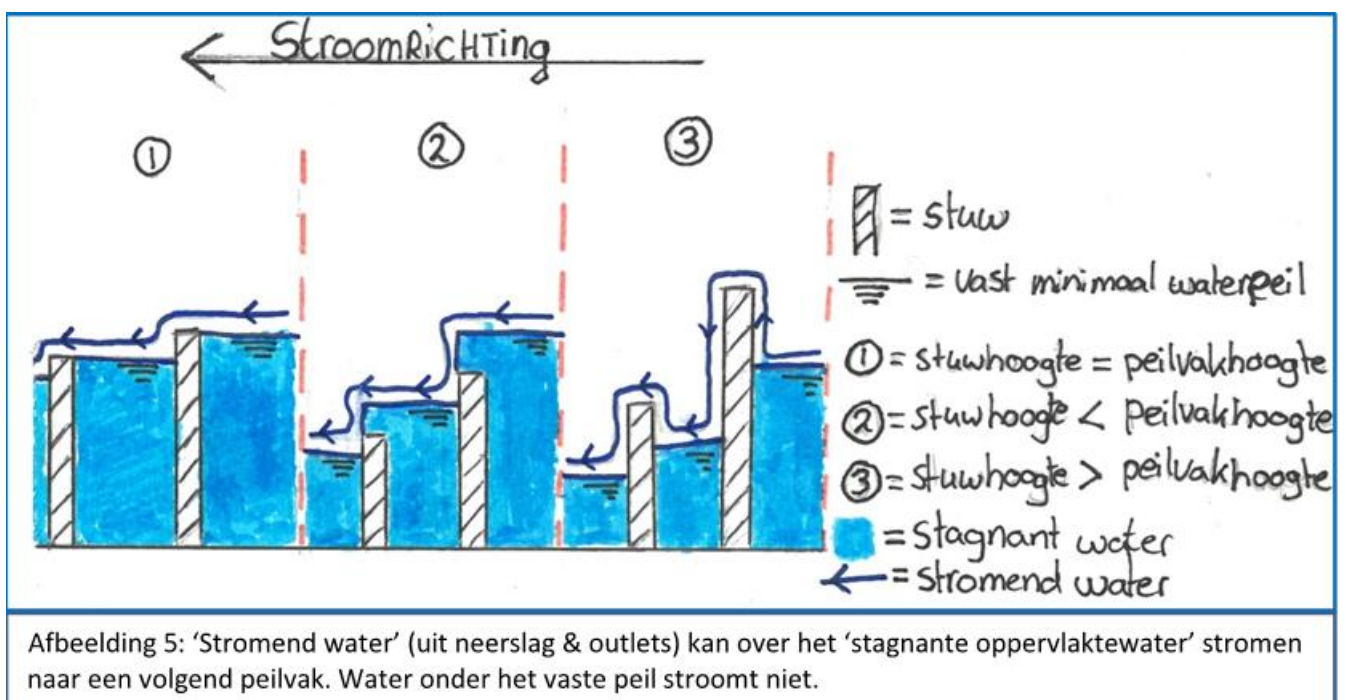
De neerslagintensiteit bepaalt de hoeveelheid water die het model per gridcel te verwerken krijgt. De neerslagduur bepaalt in welke tijdspanne deze neerslag valt. De neerslagvorm kan ingesteld worden op sinusvormig (met 1 tot 10 neerslagpieken) of als constante neerslag (blokbui) zoals te zien is in afbeelding 4. Het is nog niet mogelijk om een historische bui te importeren of gebruiken. In bijlage A.6 is een verschilkaart opgenomen tussen de invoer van de twee neerslagvormen. Er is over het algemeen minder water op straat na een blokbui omdat er in het begin van de simulatie meer water aanwezig is dus infiltratie en lediging eerder een rol kunnen spelen.

Er is gekozen voor de sinusvorm omdat deze beter een piekbui simuleert. Verder is gekozen voor een bui van 80mm in een uur, met een uur zonder neerslag daaropvolgend.

De totale duur van de simulatie is voor alle modellen dus 2 uur.

2.4.3 Peilvakken

Stap 2.1 in de Rainfall Overlay betreft het inladen van peilvakken. In Tygron is een peilvak een gebied waarin al het oppervlaktewater één opgegeven streefpeil heeft. Het peil in het open water kan nooit lager dalen dan de opgegeven peilhoogte; zelfs niet als een stuw lager ligt dan het opgegeven peil. Voor verduidelijking, zie afbeelding 5. Naast het bepalen van het peil van waterlopen, hebben peilgebieden nog andere functies. Door peilgebieden aan te brengen, kunnen ook sturende kunstwerken in het model worden ingebouwd. Daarnaast kan aan peilgebieden een outlet (=debiet op oppervlaktewater) worden gekoppeld. Peilgebieden zijn in essentie de basis van een functionerend Tygron model.



Peilgebieden kunnen op verschillende manieren in Tygron worden ingevoerd:

- Niets doen: Tygron maakt zelf een default peilgebied.
- Importeren van peilvakken: een geojson-file kan worden geïmporteerd.
- Genereren van peilvakken: één groot peilgebied met een vaste waterstand beneden maaiveld wordt aangemaakt door Tygron.

Voor het maken van een geojson-file kan Qgis gebruikt worden. Voor het bepalen van de ligging van de grenzen, grootte, en hoogte is data van de legger van het Waterschap nodig. Stuwen en duikers hebben een grote invloed op het peil in een gebied, en kunnen daardoor als grenzen worden gebruikt voor peilgebieden. In een hellend gebied is het verloop van het peil steiler dan in een vlak gebied, waardoor er meer peilgebieden nodig zijn: zie afbeelding 6. Een voorbeeld van de indeling van peilgebieden en de bijbehorende kunstwerken is opgenomen in bijlage A.23a. Naast de locatie moet ook de hoogte van het peil aan de peilgebieden worden gekoppeld. Deze hoogte kan bepaald worden op basis van AHN gegevens; de laagste AHN waarde in de directe omgeving van een waterloop geeft de hoogte van het peil aan.

Wanneer niet voor het handmatig maken van peilgebieden wordt gekozen, maar voor het aanmaken van één default peilgebied, is het resultaat van de output significant anders. Een verschilkaart is opgenomen in bijlage A.7. Omdat er geen debiet op oppervlaktewater is, is de hoeveelheid water op straat direct aan de waterlopen sterk verminderd omdat er minder water in de waterlopen terecht komt. Daarnaast is afstroming van regenwater via de waterlopen naar benedenstrooms gelegen open water niet meer mogelijk, omdat er geen peilvakken zijn dus communicatie tussen open water niet mogelijk is. Ook is er een toename van waterdiepte voor bepaalde open wateren. Dit open water kan niet leegstromen omdat er geen communicatie mogelijk is naar benedenstroomse peilvakken. Al met al werkt één default peilgebied aanmaken niet voor een hellend gebied.

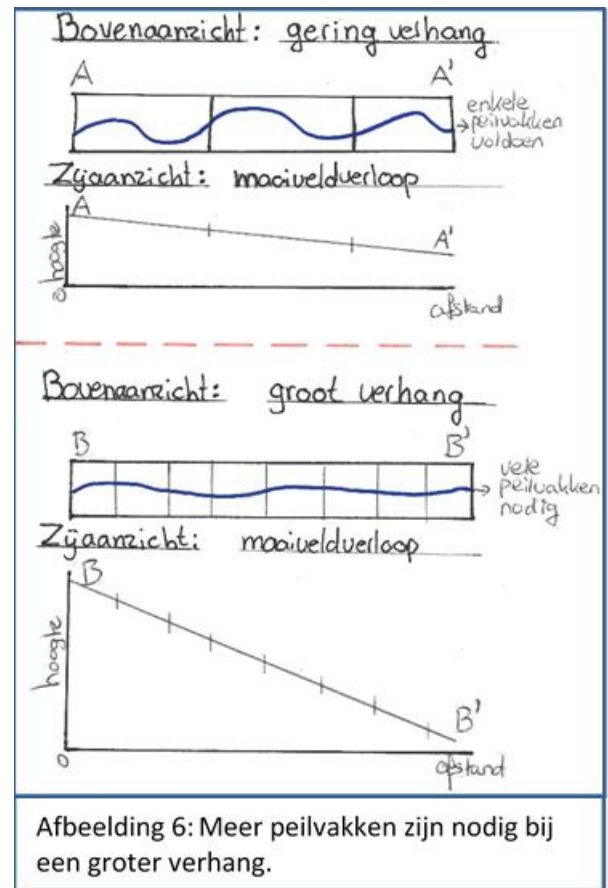
Voor de Marskant en de andere twee casestudies is daarom gekozen voor het handmatig maken van peilgebieden in Qgis en deze te importeren.

2.4.4 Debiet op oppervlaktewater

Als in het modelgebied stromende waterlopen aanwezig zijn, kan hiermee rekening worden gehouden bij het tekenen van de peilvakken. In Tygron kan aan peilvakken een debiet (outlet) worden toegekend. Een positief debiet zorgt ervoor dat er water uit het oppervlaktewater verdwijnt. Een negatief debiet voegt water toe aan het open water in een peilvak. Op deze manier kan het verschil in berging door de stroming in waterlopen gemodelleerd worden door de peilvakken aan de randen van het modelgebied een outletwaarde te geven. Waar de beek het gebied instroomt, is deze negatief en waar de beek het model verlaat is deze positief. In de casestudies waarvoor de modellen zijn gemaakt, is een debiet van $0,5\text{m}^3/\text{s}$ aangehouden.

Als er in het modelgebied waterlopen stromen, kan hiermee rekening gehouden worden bij het tekenen van de peilvakken. Twee peilvakken kunnen getekend worden in het model: 1 peilvak waar de waterloop het gebied instroomt en 1 peilvak waar de waterloop het gebied uitstroomt. Deze beide waterlopen krijgen vervolgens een outletwaarde toegekend. Het peilvak waar de waterloop instroomt, krijgt een outletwaarde van $-0,5\text{m}^3/\text{s}$; de uitstromende waarde is $0,5\text{m}^3/\text{s}$.

Dit debiet komt voort uit een aanname en is gebaseerd op informatie uit de legger van het Waterschap (Waterschap Vechtstromen, 2018) en eigen inschatting tijdens veldbezoek.



Oppervlaktewater in Tygron

Van belang bij het modelleren met water in Tygron, is om te begrijpen dat het op dit moment (nog) niet mogelijk is om het effect van een maatregel op bovenstroomse waterlopen te berekenen, wanneer deze maatregel benedenstrooms wordt genomen.

In andere woorden; Tygron rekent niet terug.

Dit betekent dat een sterk onttrekkende outlet in het meest benedenstroomse peilgebied in Tygron, niet het hele gebied bovenstrooms zal ontwateren.

Tygron is van plan om de hydrologische functies in de toekomst uit te breiden.

(D. Tollenaar, persoonlijke communicatie, 3 april 2018).

In bijlage A.8 is een verschilkaart opgenomen waarin wordt weergegeven welke invloed het weglaten van outlets heeft. De uitkomst lijkt bovenstrooms op die van bijlage A.7, omdat er net als in bijlage A.7 geen sprake is van een debiet op oppervlaktewater. Bendenstrooms is er een toename van water op en langs het open water omdat er geen afvoerend oppervlaktewaterdebiet meer is.

Voor het model van Marskant en de andere twee modellen is gekozen om water-op-straat te berekenen, rekening houdend met de invloed van outlets.

2.4.5 Grondwater

In stap 2.2 kan grondwaterinformatie aan het model toegevoegd worden. Tygron gebruikt deze informatie om te bepalen hoeveel oppervlaktewater mag infiltreren in de bodem tijdens een simulatie; hoe dieper het grondwater, hoe meer infiltratie mogelijk is. Onder het maaiveld is de grondwaterinformatie dus sturend voor de waterhoogte, op het oppervlaktewater is dat de hoogte aangegeven door de geïmporteerde peilvakken. Om grondwaterinformatie aan het model toe te voegen kan uit drie opties worden gekozen:

- Niets doen: De hoogte van de peilvakken wordt aangenomen als de grondwaterstand.
- De standaard invoer van NHI gebruiken als invoer voor de grondwaterstand.
- Een eigen bestand gebruiken.

Tygron vraagt om een grondwaterraster met informatie over de grondwaterdiepte ten opzichte van maaiveld. Handmatig een dergelijk raster produceren kan arbeidsintensief zijn. Hiervoor zijn peilbuisgegevens nodig, die vervolgens met bewerkingen in Qgis tot een raster gevormd kunnen worden. Er kan ook gekozen worden om de standaard invoer van de NHI te gebruiken. Dit is een zeer grof raster, gemaakt voor heel Nederland, wat standaard aangeboden wordt in Tygron. Er is een verschilkaart geproduceerd die laat zien wat het verschil in water op straat is bij een fijn en grof grondwaterraster. Het fijne grondwaterraster wat gebruikt is, is opgenomen in bijlage A.9. Het grove raster dat standaard wordt gebruikt door Tygron, staat in bijlage A.10. De verschilkaart staat in bijlage A.11. Zoals is te zien, is het verschil klein. De reden hiervoor is dat in de korte simulatieduur van 2 uur, de grondwaterstand geen beperkende factor heeft op de maximale infiltratie in de bodem.

Hierom is gekozen om voor de drie modellen de standaard invoer van de NHI-database te gebruiken.

2.4.6 Riolering

In stap 2.3 worden de eigenschappen van de riolering ingevoerd. In Tygron bestaat de ingevoerde rioleringsinformatie uit twee onderdelen: berging en POC. Riolering werkt in Tygron als een losstaande 'bak' die zich onder het maaiveld bevindt met een vaste berging. Onder iedere gridcel waar riolering ligt, kan regenwater worden geborgen zolang er ruimte in de riolering is. Is er geen ruimte, dan stroomt het water af via het maaiveld. De berging wordt leeggepompt door de POC. Water dat door de POC wordt weggepompt uit de berging, verdwijnt uit het model. Riolering ligt alleen onder verhard oppervlak en huizen. Water stagneert op de plaats waar het in de berging van de riolering stroomt; er is geen ondergrondse stroming van water in de riolering.

Naast berging en POC, hebben ook overstorten invloed op de riolering. Hierover in kopje 2.4.7.4 meer. Om riolering in Tygron in te bouwen, bestaan een aantal opties:

- Niets doen: er is geen riolering in het gebied aanwezig.
- Importeren van riolering: een handmatig gemaakte file wordt geïmporteerd met de eigenschappen van de riolering (berging en POC).
- Genereren van riolering: per wijk wordt een riolering automatisch gegenereerd.

De optie 'genereren van riolering' wordt, in ieder geval voor overstorten, op moment van schrijven nog niet aangeraden. Tygron maakt bij deze optie per wijk een rioleringsgebied, waarin het de berging inschat op basis van de ouderdom van de wijk in kwestie. Ook koppelt Tygron hier overstorten aan. Tygron overschat echter de capaciteit van deze aangemaakte overstorten, waardoor ze niet goed werken. (J. Jager, persoonlijke communicatie, maart 2018)

Voor het importeren van riolering heeft Tygron een vlakkenbestand nodig in de vorm van een .GEOJSON formaat. Voor ieder rioleringsgebied kan een apart vlak gebruikt worden, met een eigen berging en POC. Het is zeer waardevol als een opdrachtgever een indicatie kan geven van de rioleringsgebieden van een projectgebied en de bijbehorende berging en POC, omdat deze informatie niet als open data te verkrijgen is. Voor dit onderzoek heeft de gemeente Hengelo bijvoorbeeld aangegeven dat de totale capaciteit van het stelsel overal in de stad onder verhard oppervlak in staat was om een T=2 bui te verwerken zonder water op straat. Aangezien de T=2 circa 20mm neerslag is, is de capaciteit van het riool ook 20mm in een uur. Voor de casestudies is een berging van 11mm en een POC van 0,3mm/u gebruikt (R. Heukels, Persoonlijke Communicatie, mei 2018). De overige 8,7mm/u rioleringscapaciteit is verdeeld over de overstorten in het gebied.

Er zijn meerdere verschilkaarten geproduceerd. In de verschilkaart in bijlage A.12 is de invloed weergegeven van het weglaten van de riolering in het modelleringsproces. Uit de verschilkaart kan worden afgeleid dat de invloed van de riolering op de waterdiepte op straat groot is; overal neemt de waterdiepte toe. Waterdiepte in de waterlopen neemt ook toe, omdat meer water vanaf het maaiveld naar de waterlopen kan stromen.

In bijlage A.13 is weergegeven hoe het model reageert op het verwijderen van de lediging van de berging van de riolering. Dit betekent dat POC en overstorten zijn uitgeschakeld. De waterstand op de waterlopen neemt plaatselijk af omdat water niet meer wordt overgestort op het open water. Water op straat neemt plaatselijk toe, maar met slechts met enkele centimeters.

Als laatste is in bijlage A.14 nog weergegeven wat het verschil in water op straat is tussen een standaard output en het automatisch gegenereerde stelsel. Dit geeft een compleet ander beeld van de wateroverlast, wat hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door overgedimensioneerde overstorten die Tygron zelf aanmaakt, maar die niet lijken te ledigen op het open water. Waar deze overstorten volgens Tygron zouden moeten liggen, kan niet achterhaald worden.

Op basis van de gevoeligheidsanalyse en de verschilkaarten is besloten om voor de casestudies een rioleringsgebied aan te maken in Qgis en deze te importeren via de Rainfall Overlay Wizard.

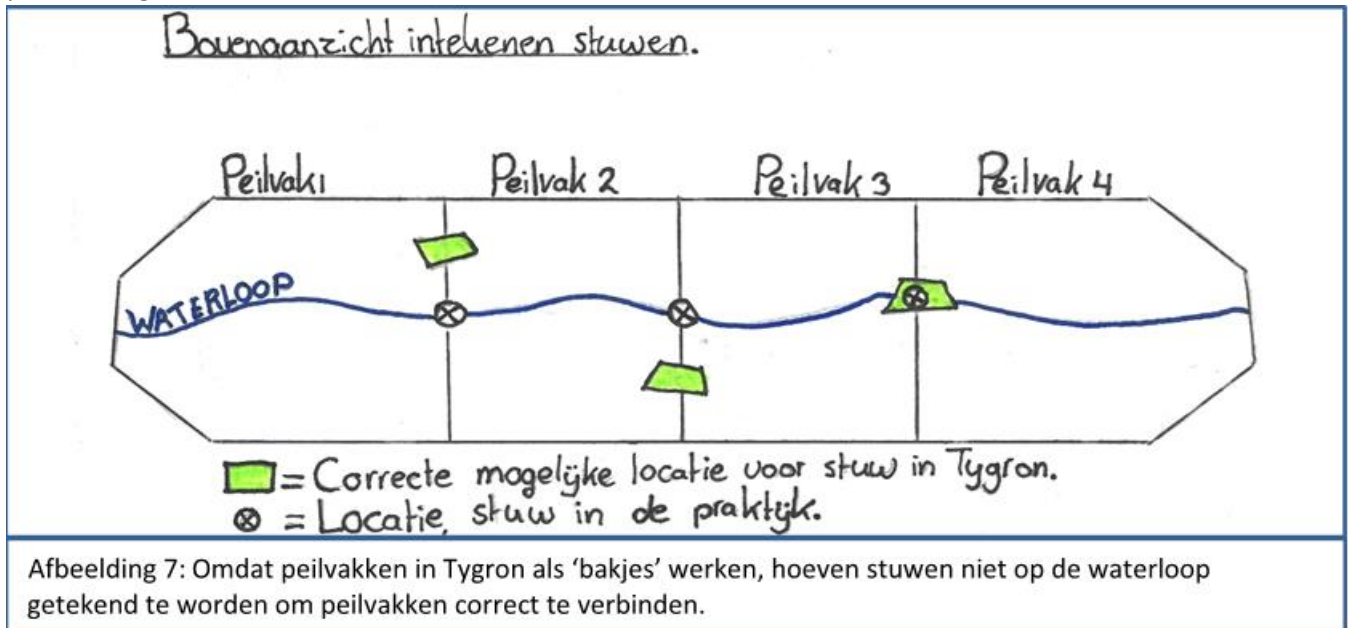
2.4.7 Sturende kunstwerken

In stap 2.4 kunnen sturende kunstwerken aan het model worden toegevoegd. Er bestaan in Tygron vier typen sturende kunstwerken: stuwen, duikers, pompen en overstorten. Een toelichting van de werking van de sturende kunstwerken en hun rol in het model, volgt nader.

2.4.7.1 Stuwen

Stuwen verbinden twee peilvakken met elkaar zodat stroming via open water tussen de twee peilvakken mogelijk wordt. De snelheid van de stroming wordt bepaald door de opgegeven afmetingen van de stuw. Anders dan vele lezers bij andere modellen gewend zullen zijn, hoeft de stuw niet precies ingetekend te worden op de waterloop. Ook hoeft de grootte van het polygoon niet precies overeen te komen met de werkelijkheid. In afbeelding 7 staan een aantal voorbeelden van hoe een stuw ingetekend kan worden om twee peilvakken te verbinden.

Stuwen kunnen in Tygron geïmporteerd worden als .GEOJSON file. Zolang de stuwen twee peilvakken overlappen, is communicatie tussen die peilvakken mogelijk. De stromingsrichting is automatisch van hoog naar laag. Stroming zal beginnen zodra het waterpeil hoger komt dan de stuwhoogte én de peilvakhoogte.



Stuwen stellen peilvakken in staat om het waterpeil hoger te laten stijgen dan tot de opgegeven peilgebiedshoogte. Zodra de stuwhoogte is bereikt, verlaat het water het peilgebied met een debiet dat afhankelijk is van de stuwbreedte, het peilverschil en een eventuele stuwcoëfficiënt. Hiervoor wordt in Tygron de stuwformule gebruikt (Cultuurtechnisch Vademecum, 2000):

$$Q = (2/3)^{3/2} \times g^{1/2} \times C_v \times C_d \times b \times hs^{3/2}$$

Waarin:

$Q =$	debiet	in m^3/s
$g =$	zwaartekrachtsversnelling (9,81)	m/s^2
$C_v =$	snelheidscoëfficiënt	(-)
$C_d =$	afvoercoëfficiënt	(-)
$b =$	stuwbreedte	m
$hs =$	overstorthoogte	m

Uit deze formule is te herleiden dat het debiet over de stuw toeneemt naarmate de bovenstroomse waterstand stijgt, aangezien hs (overstorthoogte) hierdoor ook toeneemt. Voor de drie Tygronmodellen zijn de coëfficiënten op 1 gezet. Voor de stuwbreedtes en -hoogtes zijn de gegevens uit de legger gebruikt.

2.4.7.2 Duikers

Duikers hebben in principe dezelfde functie als stuwen; ze verbinden twee peilvakken zodat communicatie tussen het open water in de beide peilvakken mogelijk wordt. Ze worden ook op dezelfde manier ingetekend als stuwen. Het grootste verschil tussen stuwen en duikers in Tygron is dat duikers een vast debiet hebben dat van tevoren wordt ingevoerd, terwijl het stuwdebiet dynamisch reageert op de waterhoogte in het bovenstroomse peilgebied.

Duikers werken in Tygron met een vast debiet, opgegeven in m^3/s . Zodra het peil in een peilgebied hoger stijgt dan de opgegeven waarde voor dit peilgebied, begint de duiker met het lozen van water op het aangesloten benedenstroomse peilgebied. De duiker stopt met stromen zodra beide

peilvakken dezelfde peilhoogte hebben, of wanneer het bovenstroomse peilgebied weer het streefpeil heeft bereikt. Het vaste debiet Q voor duikers is bepaald met behulp de duikerformule (Cultuurtechnisch Vademecum, 2000):

$$Q = \mu \times A \times \sqrt{(2 \times g \times z)}$$

Waarin:

$Q =$	debiet	m^3/s
$\mu =$	weerstandcoëfficiënt	(-)
$A =$	natte oppervlak	m^2
$g =$	zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
$z =$	opstuwing	m

Uit de formule is af te leiden dat Q beïnvloed wordt door het hoogteverschil tussen 2 peilvakken z . Omdat duikers in veel steden regelmatig tot 3m breed zijn, is relatief weinig hoogteverschil nodig om tot een vrij groot debiet te komen (ordegrootte van enkele m^3/s). Echter moet er rekening mee worden gehouden dat de snelheid van stroming door duikers maximaal 0,6m/s is. (T. Visser, persoonlijke communicatie, april 2018).

Grote duikers kunnen in Tygron ook als stuw gemodelleerd worden, omdat de maximale A van de duiker in veel situaties niet benut wordt. Voor de drie modellen van de casestudy is de diameter van de duikers uit de leggerdata gehaald.

2.4.7.3 Pompen

Een pomp heeft in Tygron de tegenovergestelde functie van een duiker en vormt een verbinding tussen twee peilvakken. De enige opgegeven waarde is een vast debiet in m^3/s . Uit het open water wordt dit debiet onttrokken totdat het weer op de opgegeven peilvakhoogte staat.

In het geval dat er in de praktijk een pomp staat die water naar een RWZI of een gebied buiten het projectgebied pompt, wordt aangeraden om in plaats van een pomp een positieve outlet te gebruiken omdat dit water uit het model verdwijnt. Zo is dit overigens ook voor het model van de Begraafplaats toegepast.

Voor het berekenen van een pompdebiet is gebruikgemaakt van de volgende formule:

Pompen:

$$Q_{pomp} = V(max) \times A \quad \text{met} \quad A = (D^2 * \pi/4)$$

Waarin:

$Q_{pomp} =$	pompdebiet	m^3/sec
$V(max) =$	maximale stroomsnelheid door de leiding (1-1,5)	m/s
$D =$	leidingdiameter	m
$A =$	oppervlakte doorsnede leiding	m^2

Deze formule geeft het debiet van een pomp gebaseerd op de maximale stroomsnelheid en diameter van de aangesloten leiding. Deze formule is toegepast op de modellen van het Station en de Begraafplaats. De diameter van de leiding komt uit het rioleringsplan van de gemeente. (Gemeente Hengelo & Broks-Messelaar Consultancy, 2017)

2.4.7.4 Overstorten

Overstorten worden gebruikt om de berging van de riolering vrij te maken. Dit gebeurt door de riolering leeg te laten lopen via een overstort op open water.

Een overstort wordt in Tygron ingebouwd door een polygoon te tekenen dat een overlap heeft met 3 andere objecten: open water, een peilvak en een rioleringsgebied. Op deze manier weet Tygron welke rioleringsgebied de berging mag legen en in welk peilvak en open water het overgestorte water terecht komt.

Tygron moet daarnaast nog weten tot welke hoogte de overstort mag lozen en met welk debiet. Tijdens het lozen stijgt het waterpeil in de waterlopen. Zodra het waterpeil de overstorthoogte bereikt heeft, slaat de overstort af. De overstorthoogte is gebaseerd op de hoogste maaiveldhoogte in het AHN en bepaald met een Qgis analyse. Het overstortdebiet is bepaald met behulp van de volgende formule:

$$Q = \frac{Bo \times A \times \left(\frac{1}{3600}\right)}{Nover}$$

Waarin:

$Q =$	overstortdebiet	m^3/sec
$Bo =$	capaciteit van de riolering bestemd voor overstorten	m
$A =$	aangesloten verhard oppervlak	m^2
$Nover =$	aantal overstorten in rioleringsgebied	stuks

Deze formule geeft het debiet per overstort bij een gegeven berging in de riolering en gebiedsoppervlakte. Deze formule kan alleen toegepast worden als de overstorten gelijk over het gebied verspreid liggen aangezien alle overstorten op deze manier even veel debiet hebben. Voor de drie casestudies zijn de overstorten uit de leggergegevens van het waterschap gehaald. (Waterschap Vechtstromen, 2018)

Op moment van schrijven zit er helaas een fout in de Tygron engine wat de functie van overstorten betreft. Uit mondelinge communicatie met Daniel Tollenaar van Tygron Support op 28 juni 2018 is gebleken dat het zeer waarschijnlijk een bug betreft die op korte termijn zal worden opgelost.

Omdat de bug op korte termijn wordt opgelost, en daarmee de modellen ook meeveranderen zodat de berekening klopt, is er voor gekozen om de fout in de modellen te accepteren op dit moment.

Om de grootte van de fout in te schatten, is de ledigende werking van de overstorten vervangen voor POC (de POC werkt wel naar behoren). Een verschilkaart is opgenomen in bijlage A.15. Hieruit blijkt dat de fout gemiddeld tussen de 1 en 5cm is op de Max Value. Deze vergelijking is in werkelijkheid niet helemaal zuiver, omdat de POC in de praktijk constant pompt en de overstorten alleen zouden ledigen wanneer de berging bijna of helemaal vol zit. Toch geeft dit een goede indicatie van de fout die gemaakt wordt.

De gebruikte POC en overstortcapaciteit voor alle modellen, is opgenomen in bijlage A.16.

2.4.7.5 Verschilkaarten kunstwerken

Er is een verschilkaart gemaakt tussen het wel en niet gebruiken van stuwen en duikers¹. De uitkomst hiervan staat in bijlage A.17. Door de afwezigheid van kunstwerken kunnen peilvakken niet meer met elkaar communiceren, waardoor waterstanden in peilvakken met negatieve outlets (en peilvakken

¹ Niet tussen pompen, want deze waren in geen van de modellen relevant of aanwezig.

direct bendenstrooms daarvan) oplopen. Benedenstrooms is door dezelfde reden minder instroom van water, waardoor de waterstanden dalen. Omdat er een duidelijk verschil is in de hoeveelheid water in de waterlopen, wordt aangeraden om handmatig duikers en stuwen in te bouwen.

Ook is een verschilkaart van de modeluitkomst zonder invloed van de overstorten geproduceerd. Deze is opgenomen in bijlage A.17. Het resultaat laat zien dat de invloed van de overstorten amper merkbaar is op de hoogst voorkomende waterstand voor de Marskant. Deze kaart is aanleiding geweest voor Tygron Support om de fout verder uit te zoeken.

2.4.8 Manningwaarde

In stap 3.1 kan onder Surface de Manningwaarde worden toegekend voor alle oppervlakken waarover water kan afstromen in het model. Een hogere Manningwaarde zorgt voor meer weerstand tijdens oppervlakkige afstroming. Tygron maakt zelf onderscheid tussen negen verschillende oppervlakken waaraan Manningwaarden kunnen worden toegekend: zie tabel 1. Volgens literatuuronderzoek (Chow, 1959) blijkt dat deze Manningwaarden zeer goed de werkelijkheid benaderen.

Terreintype	Manning volgens Tygron	Manning volgens literatuur (Chow, 1959)
Beton	0,010	0,010 – 0,015 (Closed Conduit Partly Full, 6.)
Boezemwater	0,050	0,035 – 0,060 (Excavated or Dredged Channels, c. 2.)
Dijk	0,030	0,025 – 0,035 (Floodplains, a. 1.)
Duinen	0,020	0,020 – 0,040 (Floodplains, b. 1.)
Golf Brekers	0,035	0,025 – 0,040 (Excavated or Dredged Channels, d. 1.)
Grasland	0,030	0,025 – 0,035 (Floodplains, a. 1.)
Open land	0,030	0,025 – 0,035 (Floodplains, a. 1.)
Water	0,050	0,035 – 0,060 (Excavated or Dredged Channels, c. 2.)
Zand	0,020	0,020 – 0,040 (Floodplains, b. 1.)

Tabel 1: Manningwaarden volgens Tygron & literatuur. Bron: (Chow, 1959)

Voor het effect van de Manningwaarde op de waterdiepte op maaiveld is een vergelijkingskaart gemaakt waarbij de waarde op 0,00001 is gezet (zie bijlage A.19). Hieruit blijkt dat de invloed van de Manningwaarde op de modeluitkomst klein is. Voor de modellen van de casestudy zijn de standaard Manningwaarden van Tygron aangehouden.

2.4.9 Kwel en infiltratie

Kwel en infiltratie kan ook in stap 3.1 worden ingevoerd. Een positieve waarde zorgt ervoor dat water het model uit kan via de ondergrond. Een negatieve waarde heeft tegenovergestelde effect; het simuleert kwel. Tygron hanteert een aantal standaardwaarden voor infiltratie, weergegeven in tabel 2 (FAO).

Terreintype	Infiltratie/kwel mogelijk volgens Tygron	Infiltratiesnelheid	
		Volgens literatuur (FAO)	Volgens Tygron
Beton	Nee	Voor zand: 0,24 tot 0,72 m/d	Voor zand: 0,27 m/d
Boezemwater	Nee		
Dijk	Ja	Voor klei: 0,024 tot 0,24 m/d	Voor klei: 0,04 m/d
Duinen	Ja		
Golf Brekers	Ja		
Grasland	Ja	Voor veen: Zeer afhankelijk van lokale situatie. 0,010 tot 1,00 m/d	Voor veen: 0,06 m/d
Open land	Ja		
Water	Nee		
Zand	Ja		

Tabel 2: Infiltratiewaarden volgens Tygron & literatuur. Bron: (FAO)

Er is onderzocht wat de invloed is van infiltratie naar de bodem in het model van de Marskant. De verschilkaart, opgenomen in bijlage A.20 maakt duidelijk dat infiltratie wel degelijk een verschil maakt in het model ondanks dat de Max Value uitkomst wordt geanalyseerd. Desondanks lopen de verschillen niet op tot meer dan enkele centimeters op locaties waar geen verharding aanwezig is.

Er is voor gekozen om in de casestudies uit te gaan van de standaard waarden, omdat deze waarden overeenkomen met de literatuur.

2.5 Maaiveldhoogte

Het instellen van de maaiveldhoogte is geen onderdeel van de Rainfall Wizard, maar het maaiveld heeft wel een zeer grote invloed op de oppervlakkige afstroming van regenwater. Maaiveldhoogte in Tygron wordt gebaseerd op het AHN2 of AHN3 geleverd door PDOK (Tygron Support, 2018). De ongefilterde AHN-data wordt afgevlakt zodat huizen, bomen en andere objecten minder uitspringen. Vervolgens wordt de BAG geraadpleegd om de locaties van gebouwen en bomen te achterhalen. Op deze plekken worden de smooth surfaces uit het AHN gehaald en vervangen voor een aangepaste ondergrondhoogte. Tygron houdt echter rekening met de precieze locatie van bomen en gebouwen zodat deze in berekeningen meegenomen kunnen worden. Een keerzijde van de manier waarop Tygron de gegevens bewerkt is echter wel dat struikgewassen als maaiveldverhogingen worden aangenomen. Dit speelt vaak in de buurt van woningen en in parken. Voor meer informatie wordt verwezen naar de website van Tygron: support.tygron.com/wiki/Terrain_height (M. Kneplé, persoonlijke communicatie, 9 maart 2018).

2.6 Kenmerken per deelgebied

Uit de vorige paragraaf is gebleken dat er vier onderdelen zijn in Tygron die belangrijk zijn om handmatig per model in te voeren. Dit zijn; de peilgebieden, het oppervlaktewaterdebiet, de riolering en de sturende kunstwerken. In deze paragraaf wordt besproken hoe deze kenmerken zijn ingebouwd in de casestudies. De gebruikte invoerwaarden en het overzicht van de GIS-lagen per gebied zijn opgenomen in bijlage A.21, A.22 en A.23 (deel a bevat de kaartlagen, deel b de bijbehorende data).

2.6.1 Locatie 1 Begraafplaats

De peilgebieden zijn opgedeeld aan de hand van de oppervlaktewaterpeilen, stuwen, duikers en de lokale maaiveldhoogte. Omdat in dit gebied weinig oppervlaktewater aanwezig is, zijn de peilgebieden en onderlinge waterstandsverschillen groter. Dit is echter geen probleem, omdat de grondwaterstand uit de data van het NHI wordt gebruikt als 'waterhoogte in de bodem' in gebieden waar geen open water ligt.

Het watersysteem bestaat uit veel niet verbonden waterlichamen. Behalve de vijver naast de begraafplaats, krijgen deze geen uit- of instroomdebiet. Deze vijver wordt namelijk doormiddel van een pomp op peil gehouden. Het overtollige water wordt met een geschat debiet van $0,040\text{m}^3/\text{s}$ richting het regenwaterriool gepompt.

In het gebied is één overstortlocatie aanwezig. Deze ligt bij de Koksvijver naast de begraafplaats. Voor deze overstort is een debiet berekend aan de hand van de spreadsheet in bijlage A.24. Het berekende debiet voor de overstort is $0,025\text{m}^3/\text{s}$. (= $0,05\text{mm}/\text{u}$ daling op peilgebied).

Volgens gemeente Hengelo heeft de riolering een capaciteit om een bui van 20mm in een uur te verwerken zonder water op straat als gevolg. Voor de volledige capaciteit van de riolering is, op aanraden van de gemeente Hengelo, daarom 20mm per uur gebruikt voor alle modellen. Omdat het riool met $9\text{mm}/\text{u}$ wordt geledigd door een combinatie van overstorten (binnen en buiten het modelgebied) en POC, is de POC ingesteld op $9\text{mm}/\text{u}$ ($2,06\text{m}^3/\text{s}$ voor het hele gebied)(zie bijlage A.16). De berging in het systeem blijft 11mm. Dit geeft samen een rioolcapaciteit van 20mm in het eerste uur dat er neerslag valt. Hierin is de overstort bij de Koksvijver niet meegenomen omdat deze een zeer klein debiet heeft.

In het model zijn een aantal watersturende kunstwerken aanwezig die de waterverdeling tussen peilvakken en de riolering regelen, bij dit model zijn dat: 9 stuwen, 7 duikers en één overstort. De stuwen tussen de peilgebieden zijn niet in het echt aanwezig en zijn alleen model technisch van belang. De breedte van deze stuwen is daarom aangenomen op 0,5m, rekening houdend met de capaciteit van de waterloop. De resultaten van de berekeningen van de hoeveelheid water op straat met het Tygron-model zijn opgenomen in bijlage A.24.

2.6.2 Locatie 2 Parallelweg Ls, Hengelo station

De peilgebieden zijn aan de hand van beschikbare data zoals het AHN en de sturende kunstwerken bepaald. In dit gebied zijn stromende waterlopen aanwezig namelijk de Berflobeek en de Omloopleiding. In het model hebben deze beken een debiet van $0,5\text{m}^3/\text{s}$ gekregen. Voor het peilgebied ten noorden van de spoorlijn is een uitstromend debiet van $1\text{m}^3/\text{s}$ aangehouden, zodat water altijd via dit peilgebied het model uit kan stromen.

In het gebied is een gemaal aanwezig dat water vanaf de Balktsbeek door een leiding richting de Berflobeek pompt. Deze leiding heeft een maximaal debiet van $0,12\text{m}^3/\text{s}$ en is als duiker tussen de twee peilgebieden in het model gezet. Dit is gedaan omdat een pomp water alleen van een lager gelegen peilvak naar boven kan pompen en het tegenovergestelde hier het geval is. Om het debiet van deze duiker te berekenen is gebruikgemaakt van de spreadsheet in bijlage A.26.

De riolering heeft 11mm berging en een POC van $0,3\text{mm}/\text{u}$. De capaciteit van de overstorten is berekend aan de hand van de totale capaciteit van 20mm. Dit betekent dat de totale capaciteit van de overstorten $20-11-0,3=8,7\text{mm}/\text{u}$ inhoudt. Deze inhoud is evenredig verdeeld over de overstorten, zodat iedere overstort een capaciteit heeft van $0,28\text{m}^3/\text{s}$. De bijbehorende berekening staat in bijlage A.16. De POC is ingesteld op $0,1\text{m}^3/\text{s}$.

In het model zijn 5 stuwen, 13 duikers en 9 overstorten aanwezig. Het gebied ten noorden van het spoor is één peilgebied waarop water afgevoerd kan worden. Dit is gedaan omdat het spoor een hydrologische grens vormt en omdat het water via deze plaats het probleemgebied verlaat. De resultaten van het Tygron-model zijn opgenomen in bijlage 27.

2.6.3 Locatie 3 Marskant

De peilgebieden zijn ingedeeld aan de hand van het beschikbare AHN-bestand en de locaties van de sturende kunstwerken in de waterlopen. Het gedeelte ten zuiden van het spoor is als één aanvoerend peilgebied aanwezig in het model.

Er stromen twee beken het gebied in. Tijdens hevige neerslag kan de aanname worden gedaan dat via deze beken meer water het gebied in stroomt dan in een normale situatie. Om deze hoeveelheid extra waterstroming te simuleren, is een debiet van $0,5\text{m}^3/\text{s}$ aan beide beken toegekend.

Het rioleringsstelsel in dit model heeft, net als in de andere modellen, een capaciteit van 20mm. Hiervan is 11mm berging, $0,3\text{mm/u}$ POC en $8,7\text{mm/u}$ de afvoercapaciteit van de overstorten. De overstorten hebben op basis hiervan een debiet van $0,31\text{m}^3/\text{s}$, zie bijlage A.16. De POC is ingesteld op $0,9\text{m}^3/\text{s}$.

In het gebied zijn 3 stuwen, 8 overstorten en 10 duikers aanwezig. De gegevens van de kunstwerken zijn uit de database van Waterschap Vechtstromen gehaald. In bijlage A.3 is het resultaat van het Tygron-model opgenomen.

2.7 Deelconclusie

Uit literatuuronderzoek is gebleken dat Tygron een hoge rekensnelheid heeft en zeer geschikt is om stakeholders te betrekken bij een project door de goede visualisatiemogelijkheden van resultaten.

Uit een gevoeligheidsanalyse voor de Rainfall Overlay is gebleken dat voor goede resultaten de peilvakken, oppervlaktewaterdebieten, rioleringsgebieden en sturende kunstwerken zo precies mogelijk gemodelleerd dienen te worden. Benodigde data kunnen veelal uit de legger van het Waterschap worden gehaald of bij de gemeente worden opgevraagd. Het antwoord op de deelvraag is: stuwen, duikers, overstorten, pompen, outlets, peilgebieden, rioleringsberging en POC zijn het meest van belang voor de modellering van waterdieptes op maaiveld in Tygron.

Voor de casestudies zijn de juiste invoerdata voor de belangrijkste modelkenmerken verzameld. Hiermee zijn de drie modellen vervolgens opgebouwd.

Hoofdstuk 3: Beoordelen modeluitkomsten

3.1 Introductie

In hoofdstuk 3 is deelvraag 2 behandeld: “In welke mate geven de modellen met toepassing van de gevonden kenmerken een realistisch beeld van de hoeveelheid water op maaiveld?” Positieve beantwoording op deze vraag valideert het model, en daarmee de methode waarmee de modellen zijn geconstrueerd.

De deelvraag is opgedeeld in drie subvragen:

- 1) Op welke manier is het vergelijkingsmateriaal (de WOLK kaarten) tot stand gekomen en welke aannames zijn hierbij gemaakt?
- 2) Welke verschillen en overeenkomsten zijn tussen WOLK en Tygron te vinden en hoe kunnen deze verschillen worden verklaard?
- 3) Welke mening hebben de betrokken partijen over de modeluitkomst van Tygron?

3.2 Methode

Voor iedere subvraag is een methode gebruikt om tot beantwoording te komen. Voor subvraag 1 is literatuuronderzoek verricht. Het onderbouwende verslag voor het ICM model waarmee de WOLK-kaarten tot stand zijn gekomen, is bestudeerd. Hierin is vooral aandacht besteed aan de aannames die gemaakt zijn over de berging van het gebied door riolering en bodem. Ter verdere uitleg is contact gezocht met de auteurs van het rapport.

Beantwoording op de tweede subvraag is tot stand gekomen door in Qgis de resultaten van WOLK en Tygron over elkaar heen te leggen. Op twaalf locaties is ingezoomd (4 per casestudy) en de legenda is gelijk gemaakt om de vergelijking tussen de beide modeluitkomsten te vergemakkelijken. De eerste (bovenste) vergelijking is per casestudy de specifieke overlastlocatie waarvoor de gemeente Hengelo graag maatregelen aangedragen zou willen krijgen. De andere drie locaties zijn gekozen omdat deze significant veel wateroverlast hebben in de modeluitkomsten van Tygron. De uitkomsten van WOLK konden er vervolgens mee worden vergeleken. Om de gevonden verschillen te verklaren tussen de resultaten, is een waterbalans opgesteld voor iedere casestudy voor zowel WOLK als Tygron. Hierin is vergeleken hoeveel water er in beide modellen over het maaiveld tot afstroming komt. Om de werking van beide modellen verder inzichtelijk te maken, is deze analyse voor verschillende neerslagsscenario's uitgevoerd.

Om subvraag 3 te behandelen is een sessie georganiseerd waarin de betrokken partijen hun mening over de modeluitkomsten konden geven.

3.3 Aannames WOLK-kaart

Om de Tygron-modellen te kalibreren en valideren is gebruikgemaakt van een WOLK-kaart van gemeente Hengelo. Deze WOLK-kaart is door Roelofs opgesteld en is berekend met het programma ICM (Integrated Catchment Modelling). Aan de hand van de resultaten van het model is een WOLK-kaart gemaakt met een aantal aangegeven locaties waar wateroverlast zich voordoet, ook de gemeente Hengelo herkent zich in deze locaties (zie bijlage A.1). Omdat het ICM-model wateroverlast anders berekent dan Tygron, is het belangrijk om te weten hoe dit model opgebouwd is en wat de gedane aannames zijn. Deze aannames kunnen ervoor zorgen dat de WOLK-kaart andere resultaten geeft dan het Tygron-model bij dezelfde neerslaghoeveelheid en -intensiteit. Ook kunnen de verschillen tussen de twee modelresultaten zo verklaard worden.

3.3.1 Neerslag en berging

Aan de hand van het ICM-model is een kaart gemaakt (zie bijlage A.1, uit (Van der Werf L. , 2017)). Deze kaart geeft de situatie bij een 80mm bui² weer, wanneer het water over het maaiveld is uitgestroomd. Voor het model is de neerslaggebeurtenis aangepast, omdat er niet met infiltratie of berging in riool of bodem kan worden gerekend. Voor de berging van het riool is aangenomen dat dit 20mm is. Deze aanname is gebaseerd op het feit dat deze systemen getoetst worden op de STN08-bui met een intensiteit van 20mm in een uur. Naast de berging in de riolering is er ook berging op straat en in de bodem. Hiervoor is aangenomen dat dit ook 20mm is. Dit betekent dat er van de 80mm bui nog 40mm overblijft wat over het maaiveld afstroomt. Daarom is in het ICM-model voor deze situaties gebruikgemaakt van de STN10-buizen inclusief klimaatcorrectie van 10% met een neerslaghoeveelheid van 40mm. (L. van der Werf, persoonlijke communicatie, 28 maart 2018).

3.3.2 Maaiveldmodel

Voor de afstroming van water over maaiveld is voor de WOLK-kaart een GIS-analyse uitgevoerd. Hierbij zijn stroombanen over maaiveld bepaald aan de hand van het AHN2. In het ICM-model kan het water via deze banen richting het laagste punt stromen. De tunnels in het gebied zijn ook in het model aangebracht. Dit is gedaan omdat het water anders tegen de verlaging in de tunnel bleef staan.³ (Van der Werf L. , 2018)

3.3.3 Geen neerslag op daken

Een belangrijk verschil tussen de werking van Tygron en het ICM-model, is dat in het ICM-model geen neerslag valt op daken. Dit kan grote gevolgen hebben voor modelresultaten wanneer een stedelijk gebied wordt gemodelleerd waarin veel huizen zijn afgekoppeld, omdat het water vaak via het maaiveld afgevoerd wordt. Volgens het WOLK-rapport wordt het niet meenemen van neerslag op daken als volgt gecompenseerd: “Het niet meenemen van het water van de daken geeft een wat vertekend beeld, zeker wanneer daken zijn afgekoppeld naar de weg (regenpijpen boven maaiveld afgezaagd). Door het meenemen van afvoer van groen, wordt dit echter gecompenseerd.” (Van der Werf L. , 2017). In bijlage A.27 is een afbeelding opgenomen die de verschillen tussen WOLK en Tygron grafisch weergeeft.

3.4 Gevonden verschillen

In deze paragraaf zijn de uitkomsten van Tygron en de WOLK-kaart met elkaar vergeleken. Om de uitkomsten te vergelijken is een viertal overlastlocaties per model onderzocht. Deze locaties staan beschreven in bijlage A.29, A.30 en A.31. Niet al deze locaties zijn op de WOLK-kaart aangegeven als al bekende overlastlocaties. De opvallende verschillen tussen de WOLK-kaart en de uitkomsten van Tygron zijn beschreven in deze paragraaf.

In het algemeen valt op dat in het Tygron-model veel grotere waterdieptes berekend zijn dan in de WOLK-kaart. Dit kan komen doordat Tygron op het gehele gebied neerslag laat vallen, waar ICM dat op alles behalve daken laat vallen. In totaal is er in de Tygron-modellen 67–112% meer water op het maaiveld aanwezig dan in de WOLK-kaart bij een bui van 80mm in een uur. Het dakoppervlak in de gebieden bedraagt 15-30% van de totale oppervlakte. Dit betekent dat in Tygron 15-30% meer neerslag valt omdat dit oppervlak ook afvoert.

² Deze bui hoeft niet in een uur te vallen, als er maar 80mm valt. In het ICM-model is namelijk geen manier voor water om het systeem te verlaten. Dit geldt tevens voor de aannames van de berging- en infiltratiecapaciteit: deze zijn ook niet tijdsafhankelijk.

³ In Tygron gebeurt dit echter nog wel. Uit persoonlijke communicatie met Tygron Support is gebleken dat Tygron streeft om tunnels in de toekomst ‘open’ te maken.

Naast een grotere hoeveelheid water door het mee berekende dakoppervlak, laat de waterbalans in Tygron ook een andere verdeling van water zien (zie bijlage A.32, A.33 en A.34). Voor de WOLK-kaart is uitgegaan van 20mm berging in de bodem.⁴ In Tygron wordt 8,5-11% van de totale waterhoeveelheid verwerkt door de bodem. Dit komt neer op 6,7-9,4mm, dit is minder dan de helft van de bergingscapaciteit in het WOLK-model. Hierdoor zal meer water over het maaiveld gaan stromen.

Daarnaast blijkt uit de waterbalans van Tygron dat de riolering 5,1-6,9% van de totale hoeveelheid neerslag kan bergen in twee uur. Dit komt neer op een hoeveelheid van 4-5,5mm verdeeld over het gehele gebied (ook de delen waar geen riolering aanwezig is). Bij de WOLK-kaart is uitgegaan van een capaciteit van 20mm over het gehele gebied. Echter is de riolering alleen aanwezig onder de wegen en huizen, waardoor er in werkelijkheid veel minder capaciteit aanwezig is. Dit betekent dat er meer water op het maaiveld blijft staan in het Tygron-model.

Naast het verschil in de waterhoeveelheid, berekent Tygron ook op een aantal locaties water op straat, waar dat in de WOLK-kaart niet het geval is. Een voorbeeld hiervan is de Oldenzaalsestraat (1^e locatie in bijlage A.29). Hier blijft water op het zuidwestelijke deel van de Oldenzaalsestraat staan in Tygron. Dit kan verklaart worden door de gebruikte stroombanen in de WOLK-kaart. Deze stroombanen zorgen ervoor dat water maar een kant op kan stromen waardoor waterscheidingen ontstaan. Op deze plaatsen zal in de WOLK-kaart geen water blijven staan. In Tygron is dit wel het geval omdat deze rekent per rekencel en water per tijdsstap van stroomrichting kan veranderen.

3.5 Reactie betrokken partijen

De uitkomsten van het Tygron-model zijn gedeeld met de gemeente, Aveco de Bondt en het waterschap. Hiervoor is een sessie georganiseerd op 16 april 2018 bij het stadskantoor van Hengelo. Gebiedservaring en deskundigheid van de betrokken partijen op het gebied van piekbuien en stedelijke wateroverlast draagt bij aan het onderbouwen van de uitkomsten van het model.

De algemene conclusie was dat de modellen in Tygron geloofwaardige en goede uitkomsten gaven. De verschillen met de WOLK kaart, die op veel plekken vrij groot waren, konden verklaard worden met behulp van de waterbalansen die opgesteld waren. Afstroming van water over maaiveld werd op een realistische manier door het model berekend. Voor een uitgebreider verslag van de sessie, zie bijlage B.1.

Een belangrijke kanttekening is overigens dat de van bui 80mm in een uur nooit in Hengelo is gevallen. Of de resultaten uit Tygron voor deze bui de werkelijkheid simuleren, is daarom een kwestie van speculatie. Echter is wel duidelijk dat bij minder intensieve buien ook al veel wateroverlast ontstaat in Hengelo, zie afbeelding 8.



Afbeelding 8: Afzetting Josef Haydnlaan in Hengelo na piekbui van 30mm in 30 minuten. Bron: (Floors, 2018)
Foto: M. ten Hauw, 15 augustus 2017, (van: www.twitter.com)

⁴ Dit lijkt een tegenstrijdigheid: enerzijds voert groen maximaal af, anderzijds is uitgegaan van een berging van 20mm in de bodem. Roelofs verklaart dat WOLK een indicatieve benadering is. (L. van der Werf, persoonlijke communicatie, 30 april 2018).

Uitgaande van de reactie van betrokken partijen en de aannames waarop WOLK is gebouwd, alsmede het tijdsframe en de reactie van de heer Van der Werf, wordt aangenomen dat de modeluitkomsten van Tygron accurater zijn dan de modeluitkomsten van WOLK.

3.4 Deelconclusie

De berekening achter de WOLK-kaart is een indicatieve benadering van wateroverlast. Aannames zijn gedaan voor berging in bodem, berging in riolering, afstromingsrichting en hoeveelheid neerslag.

Het verschil met Tygron is dat er minder water over maaiveld tot afstroming komt. Dit kan worden verklaard omdat er geen neerslag op daken valt in WOLK en er met minder water in totaal wordt gerekend in WOLK. Wel geeft WOLK, ondanks de indicatieve benadering, een goede indicatie van de locatie van regenwateroverlastproblematiek.

Gemeente Hengelo en het waterschap Vechstroom waren beiden tevreden met het modelresultaat. Tygron kan goed rekenen met waterstroming over maaiveld. Het antwoord op de deelvraag is: het model geeft een realistisch beeld van de hoeveelheid water op maaiveld.

Hoofdstuk 4: Inzichtelijk maken van wateroverlast

4.1 Introductie

In dit hoofdstuk is deelvraag 3 beantwoord: “Hoe kan met behulp van Tygron de wateroverlast in kaart worden gebracht?”. Beantwoording van deze vraag maakt het mogelijk om waterdieptes te vertalen naar wateroverlast. De deelvraag is opgedeeld in twee subvragen:

- 1) Hoe kan wateroverlast weergegeven worden in Tygron?
- 2) Hoe kan per specifieke overlastlocatie de regenwateroverlast inzichtelijk worden gemaakt op straatniveau?

4.2 Methode

Voor de subvragen is een methode opgesteld. Voor subvraag 1 is onderzocht hoe Tygron wateroverlast weergeeft aan de hand van de berekende waterdiepte. De **belaste gebouwen** zoals Tygron deze berekent, zijn weergegeven op een kaart. Deze zijn vergeleken met de overlastlocaties die bekend zijn bij de gemeente. Zo is onderzocht of Tygron de wateroverlast juist weer kan geven met de huidige beschikbare module.

De methode voor subvraag 2 richt zich op het in kaart brengen van de wateroverlast op straatniveau. Hierbij is alleen aandacht besteed aan de drie specifieke locaties op straatniveau waar de gemeente oplossingsrichtingen voor heeft aangedragen. Voor elke locatie is specifiek onderzocht welke functies wateroverlast ondervinden, welke waterdiepte Tygron er berekent en welke eis de gemeente stelt aan de waterdiepte zodat er niet meer gesproken wordt van wateroverlast. Hierbij is de **wateropgave** in kaart gebracht door per locatie de toelaatbare waterdiepte af te trekken van de berekende waterdiepte.

4.3 Wateroverlast berekenen in Tygron

Tygron berekent wateroverlast in de vorm van getroffen gebouwen (impacted buildings). In de Rainfall Overlay Wizard kan de drempelhoogte opgegeven worden. Deze waarde geeft aan bij welke waterdiepte tegen een gebouw sprake is van wateroverlast. Wanneer de waterdiepte op maaiveld op één of enkele cellen groter is dan de waarde aangegeven in de wizard, wordt het gebouw gemarkeerd. Elk onderdeel van de infrastructuur in het model heeft een eigen ‘Critical Infrastructure Value’. Deze waarde geeft aan hoe groot het belang van het juist functioneren en het bereikbaar zijn van deze functie bij wateroverlast is. Zeer belangrijke functies als ziekenhuizen en onderwijsgebouwen, waar een kleine waterdiepte al kan zorgen voor veel schade of gevaar, zijn kritiek en hebben een hoge waarde (2). Functies als wegen, tuinen en open land hebben een waarde van 0 en worden niet meegenomen in de analyse. Overige functies zoals woningen, kantoren, winkels en loodsen hebben een waarde van 1 en hebben prioriteit.

In bijlage A.35 is een kaart opgenomen met de belaste gebouwen voor het model van de Marskant. Op deze kaart is te zien dat bij 80mm in een uur zeer veel gebouwen als belast worden weergegeven. Bij kleinere neerslaghoeveelheden, zoals 20 of 40mm in een uur, zijn ook zeer veel gebouwen 'belast'. Dit leidt tot de conclusie dat de belaste gebouwen met Tygron (nog) niet goed berekend kunnen worden door de overgevoeligheid. Deltares deelt deze mening (Slager, 2018). Een reden hiervoor kan zijn dat de interpolatie van de hoogtekaart rond gebouwen soms niet juist is verlopen, waardoor lokale laagtes zijn ontstaan rondom gebouwen in het hoogtebestand. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door bergroeiing rond woningen. Hierdoor wordt de kritieke waterdiepte sneller bereikt. Ook geeft Tygron gebouwen als belast weer als cellen niet tegen de werkelijke drempel liggen. Zie afbeelding 9 voor een voorbeeld.



4.4 Wateroverlast op straatniveau

Om maatregelen te modelleren moet een zeer specifieke overlastlocatie bekend zijn en moet een waterdiepte bekend zijn waarbij de overlast ontstaat. Per overlastlocatie is de waterdiepte waarop overlast ontstaat als volgt bepaald.

Bij de overlastlocatie "Oldenzaalsestraat" is sprake van wateroverlast door de golven van langrijdend verkeer. Dit betekent dat wanneer de waterdiepte op straat veel kleiner is dan de drempelhoogte van het gebouw, er toch sprake kan zijn van wateroverlast. De drempelhoogte wordt geschat op 30cm boven het straatpeil. Ook wordt geschat dat de golfhoogte tot maximaal 1,5 maal de waterdiepte komt, waardoor de maximaal toelaatbare waterdiepte op straat 20cm is.

Bij de Parallelweg ten zuiden van het station ontstaat overlast door te grote waterdieptes op straat waardoor het verkeer ernstig gehinderd wordt. In de wijk ten zuidoosten van de Parallelweg is ook sprake van overlast. Mogelijk heeft de maatregel voor de Parallelweg ook een verlagend effect op de waterdiepte in deze wijk. Bij de Parallelweg is de overlast opgelost wanneer de waterdiepte op straat kleiner is dan 20cm, zodat het verkeer door deze straat kan rijden.

Bij de Marskant is tijdens piekbuien sprake van overlast bij de winkels aan de straat. Deze winkels hebben nagenoeg geen drempel en er is ook geen hoge stoepwand aanwezig. Om de wateroverlast hier op te lossen moet de waterdiepte kleiner zijn dan 5cm op de straat.

Kaarten van de wateropgave per overlastlocatie op straatniveau staan in bijlagen A.36, A.37 en A.38. Bij A.36 en A.38 wordt gekeken naar de wateropgave aan direct aan de zwarte gebouwen. Bij A.37 wordt gekeken naar de wateropgave op de straat.

4.5 Deelconclusie

Een indicatie van wateroverlast kan weergegeven worden in Tygron, maar geeft een slecht resultaat.

Om wateroverlast op straatniveau weer te geven, wordt de lokale maximaal toelaatbare waterstand bepaald. Hieruit volgt vervolgens de wateropgave. Het antwoord op de deelvraag is: in Tygron is het (nog) niet mogelijk de wateroverlast goed weer te geven. Met behulp van de resultaten uit Tygron kan echter een lokale wateropgave inzichtelijk worden gemaakt.

Hoofdstuk 5: Toepassen van maatregelen in Tygron

5.1 Introductie

In hoofdstuk 5 is deelvraag 4 behandeld: “Hoe kan het effect van maatregelen in Tygron berekend worden?”. Het resultaat van deze deelvraag is een drietal modellen met per model drie versies van uitgewerkte maatregelen. Per locatie is een maatregel gemodelleerd die is aangegeven door gemeente Hengelo. Tygron kan met maatregelen rekenen door basisdata, invoerdata en functies aan te passen. Hierdoor kan de output van de Rainfall Overlay beïnvloed worden, waardoor het effect van de betreffende maatregel kan worden bepaald.

Om de deelvraag te beantwoorden is deze opgedeeld in de volgende drie subvragen:

1. Hoe rekent Tygron met maatregelen?
2. Welke maatregelen wil de gemeente toepassen per overlastlocatie en welke alternatieve maatregelen worden uitgewerkt?
3. Wat is het effect van de maatregelen op de wateroverlast?

5.2 Methode

Voor subvraag 1 is de werking van Tygron onderzocht bij het modelleren van maatregelen. Hierbij zijn drie methoden van onderzoek gebruikt, namelijk: literatuurstudie, interviews met deskundigen en modelleren. De literatuurstudie is gebruikt om de werking van Tygron op het gebied van maatregelen te onderzoeken. Voor de werking van de maatregelen zoals beschikbaar in de Aveco De Bondt **template** is gebruik gemaakt van kennis van Tygron-modelleers binnen Aveco De Bondt. Om de werking van en mogelijkheid tot het precieze inbouwen van de maatregelen te onderzoeken, zijn maatregelen toegepast.

Subvraag 2 is beantwoord door middel van een gesprek met de gemeente en een locatiebezoek (bijlage B.1 en bijlage B.2). Tijdens deze bijeenkomsten zijn opties besproken voor mogelijke maatregelen die de gemeente voor het gebied in gedachte had. Per locatie zijn drie maatregelen uitgewerkt:

- De eerste maatregel is een uitwerking van een idee dat de gemeente Hengelo heeft voor het gebied (indien aanwezig; anders is een idee voorgesteld aan de gemeente).
- De tweede maatregel is een alternatief, verbetering of andere interpretatie van de eerste maatregel.
- De derde maatregel is een (geheel) andere benadering voor het oplossen van de wateroverlast.

De keuzes voor welke maatregelen uitgewerkt dienen te worden, zijn gemaakt op basis van expert judgement vanuit Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt, interpretaties van de ideeën van de gemeente, en interesse in de werking van Tygron bij het toepassen van een maatregel.

De laatste subvraag is beantwoord door de drie maatregelen per overlastlocatie van subvraag 2 te modelleren. De berekende waterdiepte is vergeleken met de uitgangssituatie. Zo is een verschilkaart gemaakt met het effect van de maatregel op de wateropgave. Per maatregel is kort beschreven wat de voor en nadelen zijn van het toepassen van de maatregel.

5.3 Maatregelen voor Begraafplaats

Bij de overlastlocatie langs de Oldenzaalsestraat was voor aanvang van dit project nog geen maatregel bekend bij de gemeente. Bij het vooronderzoek bleek dat door dit gebied een oude waterloop gestroomd heeft en dat deze deels nog aanwezig is op de begraafplaats. Deze informatie is tijdens het locatiebezoek op 13 maart gedeeld met de gemeente en deze reageerde positief op het idee om deze waterloop weer terug te brengen in het gebied (bijlage B.2). Dit is de eerste maatregel voor deze locatie. De tweede maatregel is deels hetzelfde, echter wordt hierin onderzocht of het nodig is om de verbinding met de vijver te maken, of dat enkel de beek als verbinding en berging voldoet. De derde maatregel bestaat uit het toepassen van bergingskratten.

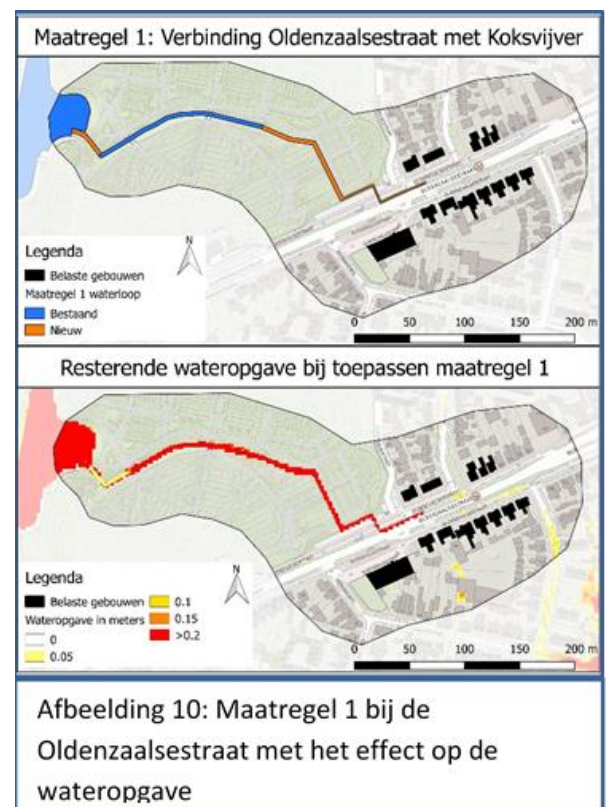
5.3.1 Maatregel 1: Verbinding Koksvijver

Voor maatregel 1 krijgt de Oldenzaalsestraat de mogelijkheid water af te voeren naar de Koksvijver, gebruik makend van de oude ligging van de waterloop. De oude waterloop wordt verbonden met de Koksvijver en de Oldenzaalsestraat in de vorm van greppels en diepere waterlopen.

Om dit in Tygron in te bouwen, is het 'terrain' uit Tygron geëxporteerd en in Qgis bewerkt zodat de waterloop kon worden toegevoegd. Vervolgens is deze weer in Tygron geïmporteerd en zijn een aantal constructions (muurtjes, bomen) uit de waterloop verwijderd. De waterloop is bij de weg 1,5m breed, op de begraafplaats 3,5m breed. Er is bergingsmogelijkheid in de nieuwe waterloop van 17,7m+NAP tot 17,9m+NAP tot maaiveld.

Op afbeelding 10 is weergegeven wat de maatregel inhoudt en wat het effect is op de wateropgave.

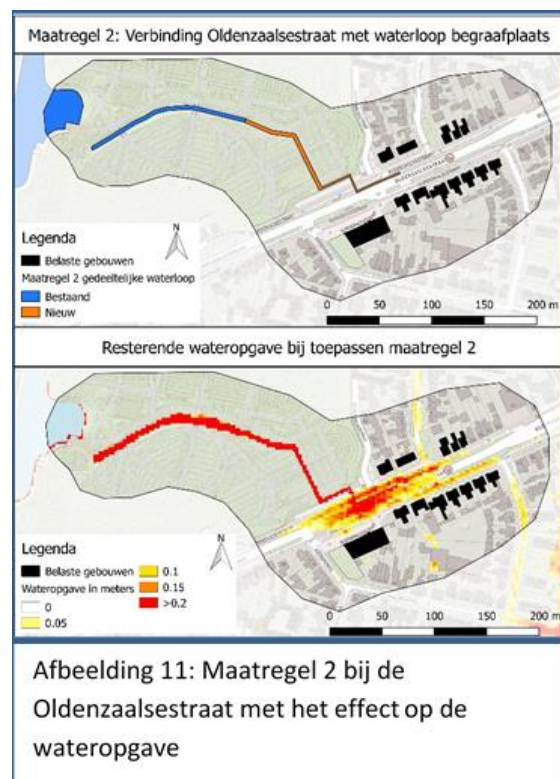
Zoals te zien op de afbeelding is er geen resterende wateropgave meer; de wateroverlast is opgelost. Het peil in de Koksvijver stijgt met 25cm in vergelijking met de standaardsituatie. Water op straat komt niet hoger dan 20cm. Dit is niet hoog genoeg om overlast te veroorzaken voor de huizen aan de Oldenzaalsestraat of het doorgaand verkeer.



5.3.2 Maatregel 2: Berging in waterloop op Begraafplaats

Maatregel 2 voor de begraafplaats is een kleine aanpassing op maatregel 1. Er is onderzocht wat het effect is wanneer de Koksvijver niet wordt aangesloten op de waterloop, en dus niet als berging kan dienen. Als een verbinding tussen de Oldenzaalsestraat en de oude waterloop al voldoet voor het oplossen van de wateroverlast, is het denkbaar dat de gemeente prefereert om geen extra grondverzet uit te voeren om de Koksvijver ook nog aan de oude waterloop te verbinden. Om dit in Tygron te realiseren, zijn dezelfde stappen gezet als bij maatregel 1. Echter is een klein noordelijk deel van de verbinding weggelaten.

Op afbeelding 11 is weergegeven wat er precies anders is dan in maatregel 1 en welk effect dit heeft op de wateropgave. De maatregel lost de wateroverlast niet op maar zorgt wel voor een vermindering van de waterdiepte op de straat. De vermindering van de waterdiepte is echter niet genoeg om aan de wateropgave van maximaal 20cm te voldoen.

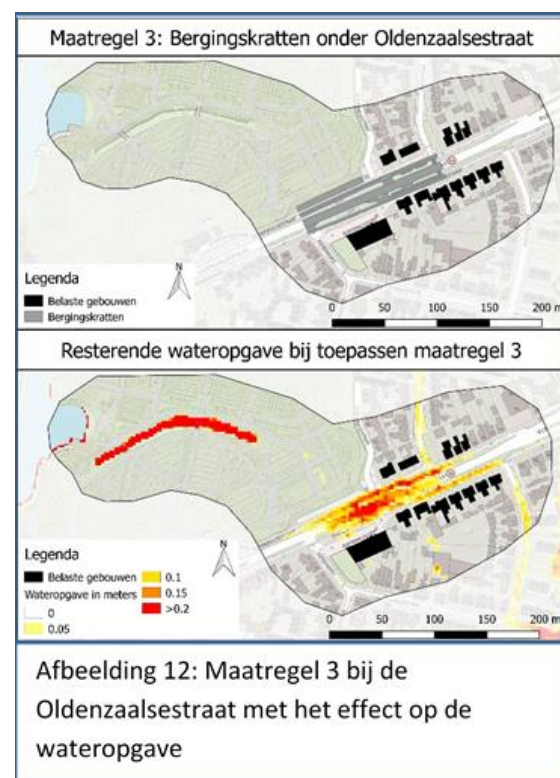


5.3.3 Maatregel 3: Bergingskratten onder de Oldenzaalsestraat

Maatregel 3 beschrijft een andere insteek om de wateroverlast op de Oldenzaalsestraat aan te pakken. Tijdens het veldbezoek (bijlage B.2) is ter sprake gekomen dat de gemeente bergingskratten overweegt onder de Oldenzaalsestraat, op aanraden van het WOLK-rapport (Gemeente Hengelo & Broks-Messelaar Consultancy, 2017).

Met behulp van SALTO en de indicators-spreadsheet die Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt ter beschikking heeft voor de Tygron-engine, konden de bergingskratten worden aangelegd en de kosten worden bepaald. Er zijn bergingskratten ter waarde van €600.000,-⁵ aangelegd onder de Oldenzaalsestraat, met een capaciteit van 600liter per m².

In afbeelding 12 is weergegeven onder welke straten de bergingskratten zijn toegepast en wat het effect is op de wateropgave. De toepassing van bergingskratten is niet voldoende om de wateroverlast op te lossen en te voldoen aan de wateropgave, zoals te zien is op de afbeelding. Maatregel 1, de verbinding met de Koksvijver, wordt het meest aanbevolen voor de Oldenzaalsestraat.



⁵ Berekend met de SALTO shell, ontwikkeld door Ingenieursbedrijf Aveco de Bondt.

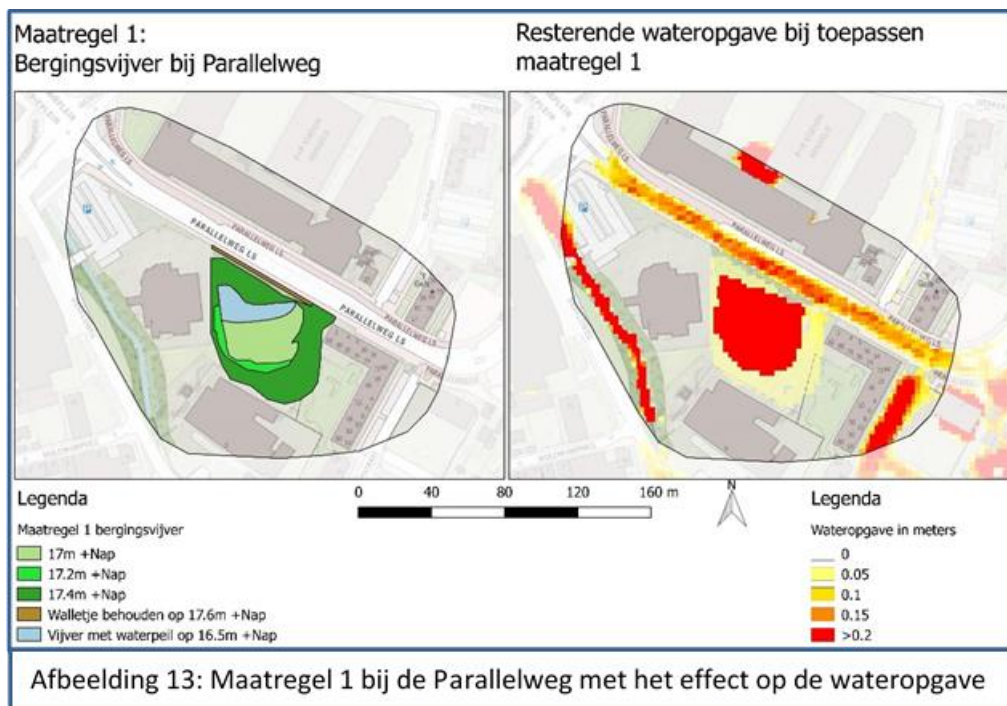
5.4 Maatregelen voor Parallelweg Station

Voor de Parallelweg ten zuiden van het station is al een idee voor een maatregel bekend vanuit het WOLK-rapport dat gepubliceerd is door de gemeente (Gemeente Hengelo & Broks-Messelaar Consultancy, 2017). Hier wordt gesuggereerd om extra berging te creëren op een particulier terrein⁶. De gemeente heeft laten weten dat de eigenaar van het terrein bereid is om een waterpartij aan te leggen waar mogelijk ook water in kan worden geborgen; dit is de eerste maatregel voor deze locatie. Als tweede maatregel wordt de nieuwe vijver ook verbonden met de BerflobEEK, die nabij ten westen van de vijver ligt. De derde maatregel bestaat uit het ophogen van de Parallelweg zodat het water naar de vijver stroomt.

5.4.1 Maatregel 1: Aanleg bergingsvijver

Voor maatregel 1 wordt op het particuliere terrein dat aan de Parallelweg grenst, een vijver aangelegd. Daarnaast wordt extra mogelijkheid tot berging mogelijk gemaakt door de directe omgeving van de vijver af te graven. Ook wordt de mogelijkheid tot afstroming vanaf de Parallelweg naar het particuliere terrein mogelijk gemaakt en gestuurd zodat de stroming pas mogelijk wordt wanneer er meer dan 10cm water op straat staat. Dit voorkomt dat bij kleinere buien het particuliere terrein al als berging wordt gebruikt.

In Tygron zijn aanpassingen aan het maaiveld gemaakt met de **Change Elevation Model** functie, waarmee de maaiveldhoogte bewerkt kan worden waardoor de afstroming over maaiveld kan worden beïnvloed. Het maaiveld wordt deels geëgaliseerd en geleidelijk naar de vijver toe tot ongeveer een meter afgegraven, zodat maaiveldhoogtes aflopen van 17,4m+NAP langs de huizen tot 17,0m+NAP langs de vijver. Het waterpeil in de vijver wordt gehouden op 15,5m+NAP. In afbeelding 13 zijn de ingrepen die de maatregel vormen en het effect ervan weergegeven. Het aanleggen van de vijver heeft een groot effect op de wateropgave op de Parallelweg. Gemiddeld daalt het niveau van water op straat met 15cm. Echter is dit nog niet genoeg om aan de wateropgave te voldoen; er is nog steeds sprake van wateroverlast.



⁶ Er is ook gesuggereerd de riolering plaatselijk te vergroten. Aangezien er echter al buizen van 1500mm doorsnede liggen, lijkt dit geen goede optie.

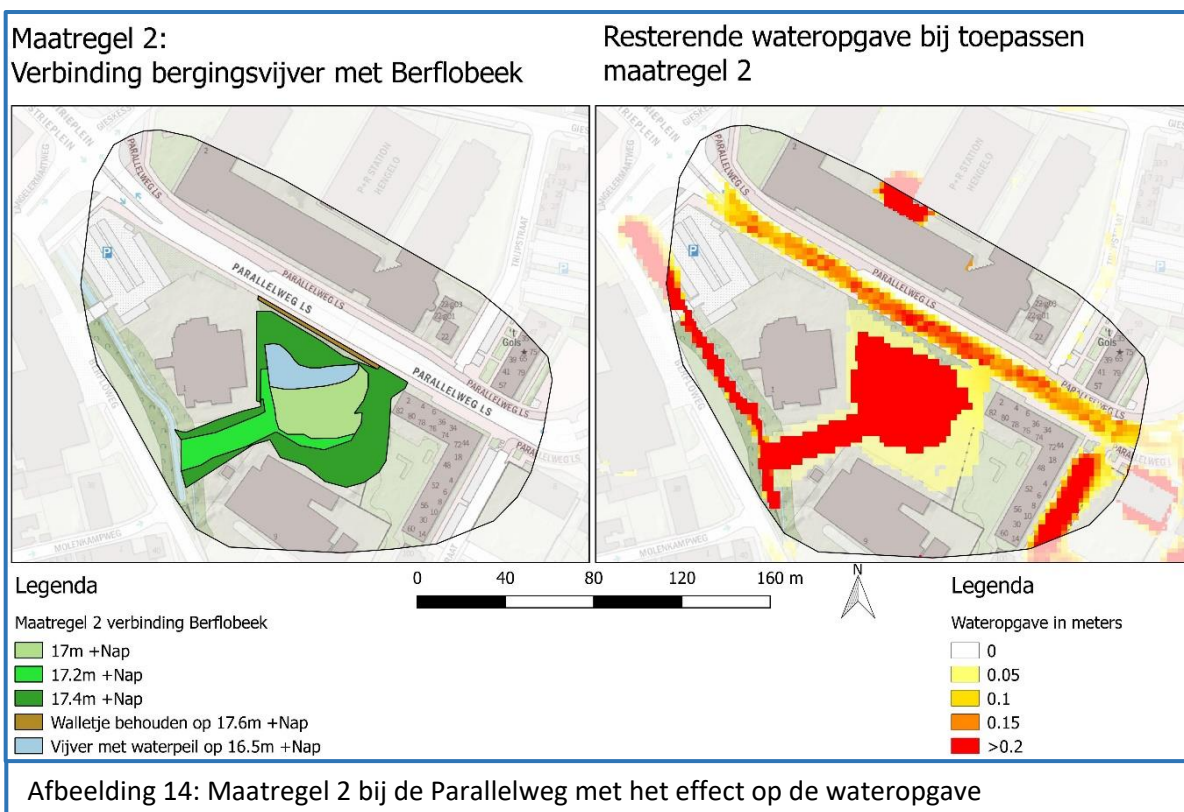
5.4.2 Maatregel 2: Verbinding vijver met BerflobEEK

Voor maatregel 2 is een interpretatie van een idee uit het WOLK-rapport uitgewerkt. Er is een verbinding gemaakt met de BerflobEEK, die vlak langs de aangelegde vijver loopt. Deze verbinding heeft de vorm van een greppel en is alleen watervoerend tijdens piekbuien. Het idee om de vijver de mogelijkheid te geven om water af te voeren naar de BerflobEEK, zodat er in de vijver weer bergingsruimte beschikbaar komt voor water van de Parallelweg.

In Tygron is deze greppel gemodelleerd met behulp van de Change Elevation Model functie. De breedte van de greppel is 11 tot 14m en de diepte is 0.4m (17,2m+NAP op het diepste punt, 17,6m+NAP aan de randen). De greppels is breed zodat deze golvend in het landschap kan worden verwerkt zonder een negatieve invloed te hebben op de tuin van de particulier.

In afbeelding 14 staat de vormgeving van de maatregel en de resterende wateropgave. Zoals te zien is op de afbeelding, is de ligging van de vijver onveranderd en is een geul gegraven die de BerflobEEK met de vijver kan verbinden in het geval dat de berging in de vijver vol is.

Zoals kan worden afgelezen uit de afbeelding, heeft het toevoegen van de geul aan de vijver amper een extra effect op het oplossen van de wateropgave. De reden hiervoor is zeer waarschijnlijk tweeledig: ten eerste is er een dermate grote toestroming naar de Parallelweg vanuit het zuidoosten dat het waterniveau niet verder kan dalen. Ten tweede is er waarschijnlijk weinig bergingsruimte in de BerflobEEK, waardoor een verbinding met de beek niet voor meer vrije berging in de aangelegde vijver zorgt. De grootste bijdrage in vermindering van waterdiepte op de Parallelweg komt door de extra berging die door de geul wordt gevormd.



5.4.3 Maatregel 3: Ophogen Parallelweg

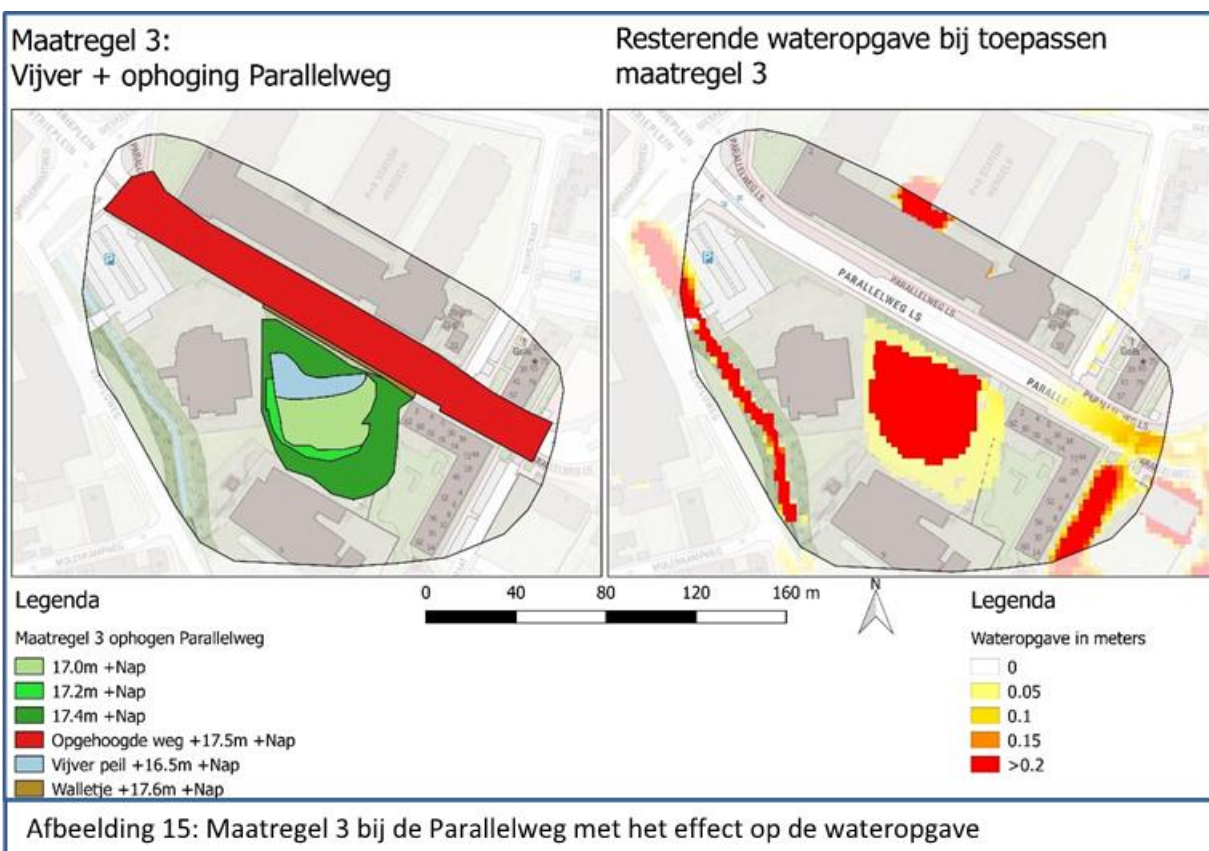
Maatregel 3 voor de Parallelweg is een aanvulling op maatregel 1 (het aanleggen van de bergingsvijver en het afgraven van het omliggende maaiveld). Naast deze ingrepen wordt ook de weg verhoogd. Dit zorgt ervoor dat water minder snel naar de weg toestroomt vanuit de omgeving. Uit maatregel 2 bleek namelijk dat dit de voornaamste reden was dat het water niet verder kan zakken, ondanks de toename van de berging door de aanleg van de greppel die de Berflobeek en de vijver verbindt.

In Tygron is de Change Elevation Model tool gebruikt om de weg hoger te leggen. De gehele weg tussen het noordwestelijke en zuidoostelijke kruispunt is verhoogd tot 17,5m+NAP (0 tot 20cm verhoging). Dit is namelijk ook de hoogte van de twee kruispunten die de weg insluiten. De instroomdrempel tot de vijver en de tuin van de particulier is verhoogd tot 17,6m+NAP. Ingrepen in het maaiveld zoals die in maatregel 1 zijn uitgevoerd, blijven verder onveranderd.

In afbeelding 15 staan alle onderdelen van maatregel 3 beschreven.

Het verhogen van de weg zorgt ervoor dat de wateropgave wordt opgelost op de Parallelweg. Water stroomt makkelijker naar de vijver toe en er is minder toestrooming vanuit de omgeving. Een kanttekening is wel dat deze maatregel niet zorgt voor het oplossen van de wateroverlast ten zuidoosten van de Parallelweg, waardoor verkeer mogelijk nog steeds hinder kan ondervinden.

Voor de Parallelweg wordt maatregel 3 aanbevolen als de gemeente de wateroverlast bij een bui van 80mm in een uur wil voorkomen.



5.5 Maatregelen voor Marskant

Langs de Marskant is de gemeente bezig met een herinrichtingsplan. Hier wordt het gedeelte met volkstuinjes en een parkeerplaats heringericht voor woningbouw met een groen dak. Hierbij wordt ook de Berfloreek aangepakt door een groter profiel aan te leggen. Zo wordt geprobeerd meer berging te creëren en de waterdiepte op de Marskant te verminderen. De eerste maatregel voor het veranderen van de waterdiepte op maaiveld is het aanbrengen van een breder profiel voor de Berfloreek. De tweede maatregel bevat het op een oor leggen van de weg zodat deze richting de Berfloreek afwatert. Het aanleggen van een bergingsvijver is de derde maatregel voor deze locatie.

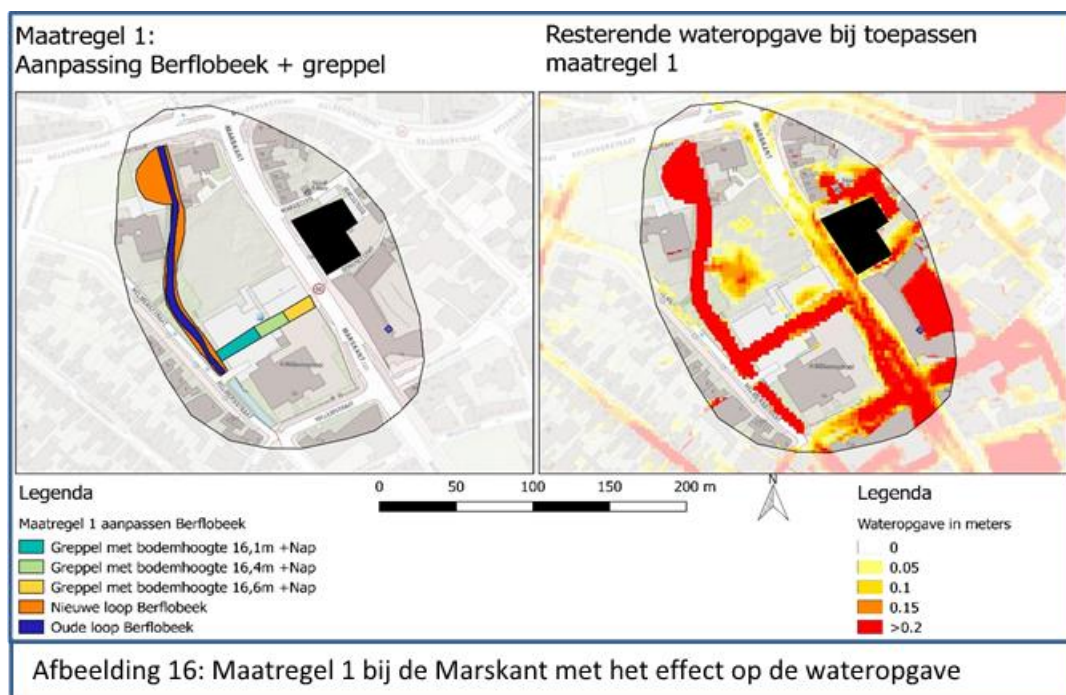
5.5.1 Maatregel 1: Verbreden profiel Berfloreek

Maatregel 1 betreft het verbreden van de Berfloreek, waar de beek ten zuidwesten aan de Marskant ligt. De gemeente overweegt een herinrichting van de parkeerplaats, de beek en de tuintjes die langs de Marskant liggen. Daarom wordt als eerste maatregel het effect op de wateropgave onderzocht wanneer de beek meer ruimte, en dus meer berging, krijgt.

In Tygron is het terrain geëxploreerd en is de breedte van de beek aangepast. In de huidige situatie is de beek 3 tot 5 meter breed. De gehele beek is in de maatregel verbreed tot 9 à 9,5m. Het peil blijft hetzelfde. Naast de verbreding van de beek is ook een plas toegevoegd aan de noordzijde van de beek waar een duiker ligt. De plas heeft de vorm van een halve cirkel met op de breedste locatie een doorsnede van 26,5m. Om toestroming vanaf de weg naar het open water mogelijk te maken is ook een greppel aangelegd. Deze greppel is 9m breed en ligt 30 tot 40cm lager dan het omliggende maaiveld, aflopend van 16,6m+NAP (aan de Marskant) tot 16,1m+NAP (aan de Berfloreek).

De maatregelen en het effect op de wateropgave is weergegeven in afbeelding 16.

Zoals te zien is in de afbeelding is het effect op de wateropgave op de Marskant direct aan de winkels onvoldoende groot. De hoofdoorzaak hiervan is dat de weg die tussen de winkels en de beek ligt, op één oor ligt. De oriëntatie van de helling van de weg is echter hinderlijk voor de afstroming van water over maaiveld van de straat naar de beek. De zuidwestzijde van de weg is in de huidige situatie hierdoor een soort dijk, die ontwatering van de Marskant belemmert, ongeacht de hoeveelheid toegevoegde berging aan de Berfloreek.



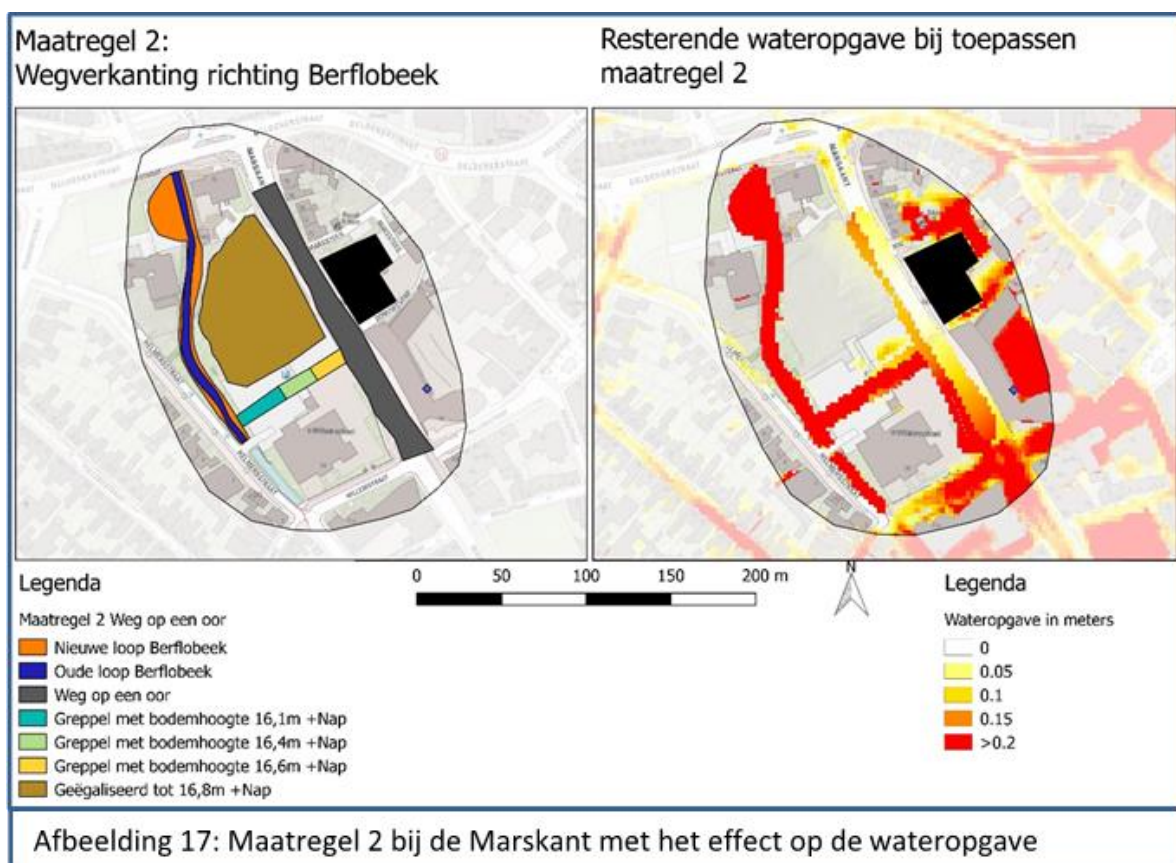
5.5.2 Maatregel 2: Weg op een oor

In maatregel 2 voor de Marskant is geprobeerd de afstroming vanaf de weg naar de BerflobEEK mogelijk te maken door de weg op één oor te leggen naar de goede zijde. Dit betekent dat de winkels op het hogere deel liggen en de afstroming naar de BerflobEEK een natuurlijke stroming wordt. Ook is een groot deel van de tuintjes opgehoogd en geëgaliseerd. Dit is niet onderdeel van maatregel 2 om wateroverlast te verminderen, maar een manier om in het model mee te nemen dat het gebied waar nu de tuintjes liggen in de toekomst gebruikt kan gaan worden voor nieuwe gebouwen. Door ophoging van dit gebied wordt waterberging hier niet mogelijk. Hierdoor wordt rekening gehouden met de afname van bergingsmogelijkheid in het gebied door toename van bebouwing.

In Tygron is met de Change Elevation Model functie de maaiveldhoogte van de weg veranderd. Deze loopt nu af van het noordoosten (17,0m+NAP) naar het zuidwesten (16,7m+NAP). Ook is het maaiveld op de tuintjes verhoogd/geëgaliseerd naar 17,0m+NAP. De greppel en de verbreding van de BerflobEEK blijven zoals deze in maatregel 1 ook beschreven zijn.

In afbeelding 17 zijn de veranderingen opgenomen die bij deze maatregel horen.

Op de afbeelding is te zien dat het veranderen van de straat die door de Marskant loopt, zodat deze op de juiste manier op één oor komt te liggen, voldoende is om de wateropgave op te lossen. Er is voldoende berging en de greppel heeft de capaciteit om het water af te voeren. Ook de toestroming van het water is mogelijk bij het aanpassen van het maaiveld.



5.5.3 Maatregel 3: Bergingsvijver

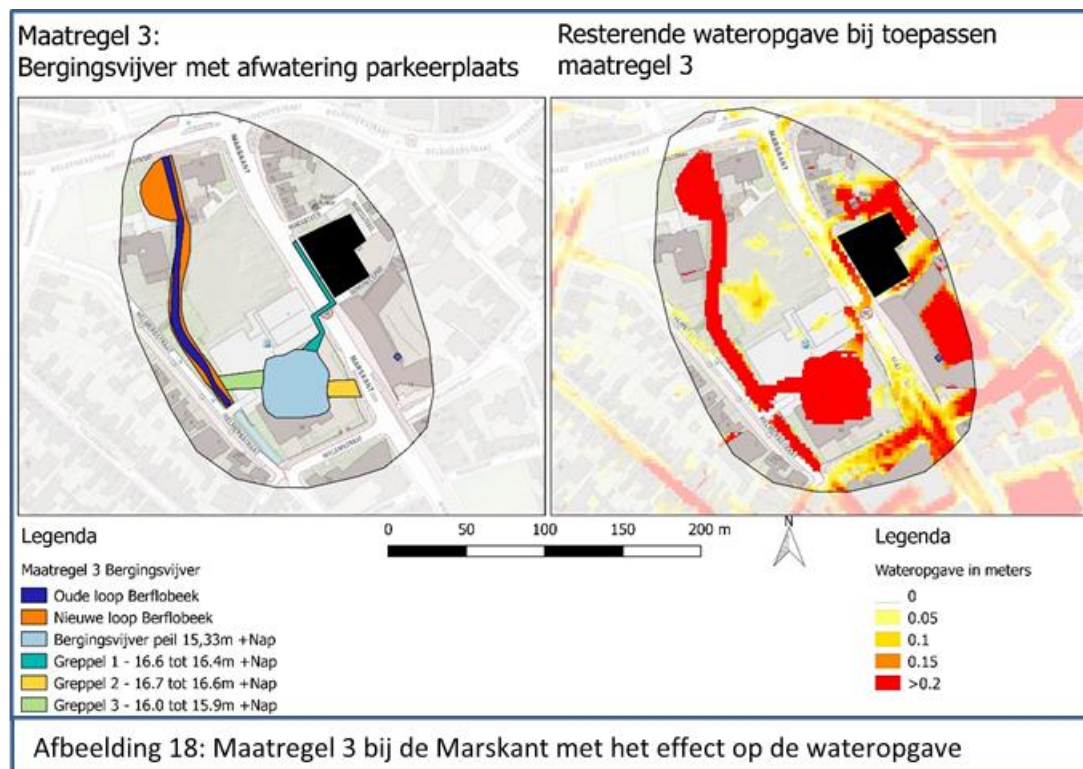
Om iets te doen aan de hoeveelheid water op straat die nog ten zuiden van de Marskant op het kruispunt en tegen het politiebureau aan staat, is maatregel 3 uitgewerkt. In maatregel 3 wordt een alternatieve interpretatie behandeld van de herinrichting van de Marskant. Naast de verbreding van de BerflobEEK die ook al in maatregel 1 is behandeld, wordt een vijver aangelegd waar op dit moment nog een school staat (de gemeente heeft duidelijk gemaakt dat deze school eventueel in de toekomst gesloopt gaat worden). Aan de vijver worden drie greppels verbonden; twee aanvoerende en een afvoerende. Eén van de greppels is verbonden met de (laaggelegen) parkeerplaatsen gelegen voor de winkels aan de Marskant. Via deze greppel kan het water op de Marskant de straat afstromen. De andere aanvoerende greppel is verbonden met het kruispunt ten zuidoosten van de Marskant en ontlast grotendeels het kruispunt. De afvoerende greppel verbindt de vijver met de BerflobEEK.

In Tygron is het terrain geëxporteerd en de vijver is toegevoegd. De vijver is circa 50m breed. Het waterpeil is hetzelfde als in de BerflobEEK: 15,33m+NAP. Om de greppels te maken is de Change Elevation Model functie gebruikt. De greppel vanaf de parkeerplaats van de Marskant is 3m breed en loopt van tot. De greppel vanaf het kruispunt is 10m breed, . De greppel naar de BerflobEEK is ook 10m breed.

In afbeelding 18 is weergegeven hoe de maatregel eruit ziet en wat het effect is op de wateropgave.

De aanleg van de vijver en de bijbehorende greppels lost zowel de wateroverlast op de Marskant als op de kruising op, zoals te zien is op afbeelding 18 aan de resterende wateropgave. Wel is de maatregel vrij ingrijpend en dient de school die nu op locatie van de vijver staat eerst afgebroken te worden, alvorens de maatregel gerealiseerd kan worden.

Maatregel 2 wordt het meest aanbevolen voor de Marskant, hoewel maatregel 3 ook wel potentie biedt als het past in verdere de plannen van de gemeente.



5.6 Deelconclusie

De maatregelen die de gemeente wil laten toepassen verschillen per locatie. Voor de Oldenzaalsestraat wordt een verbinding met de Koksvijver aanbevolen.

Voor de Parallelweg aan het station wordt de aanleg van een vijver en de verhoging van de weg aanbevolen.

De voorkeur voor de Marskant gaat uit naar het verbreden van de BerflobEEK en verleggen van de oriëntatie van de weg, zodat deze op de juiste manier op één oor komt te liggen.

Hoofdstuk 6: Conclusies, aanbevelingen en discussie

In dit onderzoek is naar een antwoord gezocht op de vraag: 'Hoe kan Tygron gebruikt worden om water op straat als gevolg van een piekbui en de bijbehorende maatregelen die regenwateroverlast verminderen te modelleren in het stedelijk gebied?'. Hiervoor is een onderzoek gedaan naar drie wateroverlastlocaties in Hengelo, die behandeld zijn als casestudies. Met een piekbui wordt in dit onderzoek een bui van 80mm in uur bedoeld, omdat de gemeente Hengelo de wens heeft om in de toekomst geen wateroverlast meer te hebben bij een bui van deze intensiteit.

6.1 Conclusie

Uit de resultaten van de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat de invoer van peilvakken, oppervlaktewaterdebieten, rioleringsgebieden en sturende kunstwerken een grote invloed heeft op de modeluitkomst. Voor een goede uitvoer van de Rainfall Overlay is het dus belangrijk om deze informatie zo accuraat mogelijk in te vullen. De data die benodigd zijn om de correcte modelinvoer te krijgen, kan bij het Waterschap of bij de gemeente worden opgevraagd.

Om de modeluitkomsten te valideren is gebruik gemaakt van twee bronnen. Ten eerste zijn de modeluitkomsten vergeleken met de uitkomsten van het WOLK-rapport, waarop de gemeente haar gemeentelijk rioleringsplan heeft gebaseerd. Uit nader onderzoek is gebleken dat de WOLK-kaarten enkel een indicatie gaven van de locaties waar wateroverlast kan voorkomen, maar dat de hoeveelheid water werd onderschat. Daarom is als tweede validatiemethode de mening gevraagd van experts en gebiedskenners bij het Waterschap en de gemeente. Uit een georganiseerde sessie is gebleken dat zowel de locaties als de diepte van het water op straat voldoende goed met de werkelijkheid overeen komen. Het is niet mogelijk om de waterdieptes te vergelijken met een echte situatie uit de geschiedenis, omdat een bui van 80mm in een uur nog niet is geregistreerd in Hengelo.

Met de gevalideerde modeluitkomsten kon de vertaling gemaakt worden van water op straat naar wateroverlast. Uit gebruikservaring is gebleken dat wateroverlast in Tygron weergeven nog geen goede optie is, omdat deze module overgevoelig is. Wel is het mogelijk gebleken om op straatniveau de wateroverlast inzichtelijk te maken, mits een maximale waterhoogte kan worden aangegeven waaraan getoetst kan worden. Op deze drie wateroverlastlocaties is ingezoomd tot straatniveau en er is een wateropgave vastgesteld voor iedere locatie:

- Voor de Oldenzaalsestraat aan de begraafplaats is een maximale waterhoogte op straat van 20cm vastgesteld.
- Voor de Parellelweg bij het station is ook een maximale waterhoogte op straat van 20cm vastgesteld.
- De winkels aan de Marskant hebben nagenoeg geen drempel. Daarom is hier gekozen de wateroverlast tot 5cm te verminderen.

Vervolgens is onderzocht of er maatregelen mogelijk zijn om de wateroverlast tot het gewenste niveau terug te dringen bij een piekbui van 80mm in een uur, en wat het effect is op het halen van de gestelde wateropgave. Per locatie zijn drie maatregelen onderzocht.

Bij de Oldenzaalsestraat aan de begraafplaats lag vroeger een beek. Als deze beek hersteld wordt en een connectie met de bestaande Koksvijver wordt gemaakt, kan de wateroverlast op de Oldenzaalsestraat worden opgelost. Als de connectie met de Koksvijver niet wordt gemaakt, wordt het probleem niet voldoende opgelost omdat er een gebrek aan berging is. Een andere optie die is onderzocht, is de aanleg van bergingskratten onder de Oldenzaalsestraat en omgeving. Deze optie lijkt niet voldoende effect te hebben om de wateroverlast op te lossen.

Bij de Parellelweg aan het station bestaat de mogelijkheid om gebruik te maken van een particulier terrein om water te bergen. Als een vijver wordt aangelegd en het maaiveld in de directe omgeving van de vijver wordt verlaagd, wordt een groot deel van de wateroverlast opgelost. Er is ook onderzocht wat het effect op de wateroverlast is om, behalve alleen het aanleggen van de vijver, ook een verbinding met de BerflobEEK te maken. Het effect hiervan is echter minimaal op de hoeveelheid water op straat op de Parallelweg, door toestroming van water vanaf bovenstrooms gelegen maaiveld. Vervolgens is onderzocht wat het effect is op water op straat als de vijver wordt aangelegd en de weg wordt verhoogd tot 17,5m+NAP. Dit lost de wateroverlast op.

Voor de Marskant bestaan plannen om het areaal van open water te vergroten. Dit is in Tygron gemodelleerd door de beek te verbreden en meer ruimte te geven. Ook is een greppel gegraven waarmee het water via de straat naar het open water kon stromen. Echter bleek dit niet voldoende om de wateroverlast op te lossen, omdat stroming over maaiveld van de straat naar de greppel niet mogelijk bleek. Daarom is vervolgens onderzocht of de greppel voldeed wanneer de weg op één oor werd gelegd; dit bleek zo te zijn. Om echter nog een alternatieve oplossing aan te bieden waarmee ook de wateroverlast op de kruising ten zuidoosten van de Marskant wordt opgelost, is een vijver aangelegd met een aantal greppels waardoor de straat het water beter kwijt kan. Deze maatregel bleek eveneens te voldoen, maar is wel ingrijpender.

Door in Tygron de belangrijkste hydrologische kenmerken juist in te voeren kan een goed beeld geproduceerd worden van het water op straat bij een bepaalde neerslagintensiteit. Vervolgens is Tygron goed inzetbaar om maatregelen door te rekenen die invloed hebben op de afstroming van water over maaiveld.

6.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Enkele aanbevelingen voor een opvolgend gelijksoortig onderzoek kunnen aangedragen worden.

Ten eerste is er in Hengelo nog nooit een bui van 80mm geregistreerd. Dit betekent dat er geen fotografisch of meetkundig referentiemateriaal is voor de modeluitkomsten. Validatie van het model moest daarom plaatsvinden met behulp van de mening van experts en de vergelijking met andere (wel gevalideerde) modellen. In de toekomst kan het raadzaam zijn om een bui te modelleren die daadwerkelijk is gevallen, zodat met meer zekerheid kan worden vastgesteld dat de berekende situatie ook de juiste is.

Daarnaast is 80mm in een uur uitzonderlijk veel regen in een korte tijd. De kans dat deze bui voorkomt in Hengelo is klein. De wens die in het Gemeentelijke Rioleringsplan geformuleerd is om bij 80mm in een uur geen overlast meer te ondervinden in Hengelo, lijkt daarom te ambitieus. Het valt aan te raden om de ambitie terug te schroeven naar bijvoorbeeld 60mm in een uur. Dit geeft ook meer mogelijkheden tot maatregelen om de wateroverlast op te lossen.

6.3 Discussie

In dit hoofdstuk worden een aantal aandachtspunten behandeld die voor een opvolgend onderzoek waardevol kunnen zijn om rekening mee te houden.

De standaard modeluitvoer van de Tygronmodellen is een weergave van de Max Value uitkomst van het model. Dit betekent dat de hoogste waterstand die op een punt is voorgekomen, wordt weergegeven als waterdiepte op straat. Dit kan, zeker in een hellend gebied door snelle afstroming, een vertekend beeld geven van de hoeveelheid water die in het model aanwezig is. Een kort onderzoek heeft uitgewezen dat er ongeveer 1,5 maal meer water wordt weergegeven op de Max Value kaart dan op de Last Value kaart. Toch is bewust gekozen voor de Max Value uitkomst, omdat

het doel van dit onderzoek is om maatregelen te ontwerpen en het effect van deze maatregelen op de hoogst voorkomende waterstand te analyseren.

Voor model begraafplaats zijn geen overstorten maar POC gebruikt voor lediging. Dit kan een effect hebben op de uitkomst van het model. Omdat de bui waarmee gerekend wordt echter erg groot is, zal dit effect meevallen zodra de overstorten goed in Tygron geprogrammeerd zijn.

De overstorten werken op moment van schrijven nog niet goed. Model Marskant en model Station Parallelweg zijn gemodelleerd, uitgaande van 8,7mm lediging van de berging door overstorten per uur. Zodra de fout uit het model is gehaald, wordt verwacht dat de waterstand vooral op het verharde gebied zal afnemen met 1 tot 5cm. Op de drie overlastlocaties is maximaal sprake van een fout van 2cm.

Hoofdstuk 7. Literatuurlijst

- Chow. (1959). *Forest Science Labs*. Opgeroepen op april 4, 2018, van Manning's n values: http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm
- Cultuurtechnisch Vademecum. (2000). Cultuurtechnisch Vademecum. In *handboek voor inrichting en beheer van het landelijk gebied* (pp. 206 - 209). Utrecht: Elsevier.
- FAO. (sd). *Documents*. Opgeroepen op april 6, 2018, van Food and Agriculture Organization of the United Nations Web Site: <http://www.fao.org/docrep/S8684E/s8684e0a.htm>
- Gemeente Hengelo & Broks-Messelaar Consultancy. (2017). *Gemeentelijk Rioleringsplan 2018-2022*. Hengelo: Gemeente Hengelo.
- KNMI. (2015). *KNMI klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.
- Slager, K. (2018). *(CONCEPT) Overstromingsrisico's door intense neerslag*. Delft: Deltares.
- STOWA. (2017). *Benchmark Inundatiemodellen Modelfunctionaliteiten en testbank berekeningen*. Amersfoort: STOWA.
- Tygron. (2018, maart 12). *over ons*. Opgehaald van Tygron.com: <http://www.tygron.com/nl/over-ons/>
- Tygron Support. (2018, April 22). *Terrain Height*. Opgehaald van Tygron Support Wiki: http://support.tygron.com/wiki/Terrain_height
- Van der Werf, L. (2017). *Rapport WOLK 2.0*. Den Ham: Roelofs.
- Van der Werf, L. (2018, maart 27). Vragen over WOLK-rapport 2.0. (T. Mittring, & R. Lubben, Interviewers)
- Waterschap Vechtstromen. (2018, 4 24). *Legger*. Opgehaald van Vechtstromen.maps.arcgis.com: <https://vechtstromen.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=1ecb71a701a748ed8710c615e85fe28a>