



Het voorspellen van wateroverlast in stedelijk gebied

Onderzoek naar optimalisatie van wateroverlastanalyses

Auteur: Niels Kortenschijl

Hogeschool: Saxion, Deventer
Opleiding: Milieukunde
Begeleider: Harry Gerritsen

Bedrijf: Antea Group
Begeleider: Niels IJsseldijk

Datum: 27 januari 2016

Het voorspellen van wateroverlast in stedelijk gebied

Onderzoek naar optimalisatie van wateroverlastanalyses

versie 2
definitief
27 januari 2016

Auteur(s)

Niels Kortenschijl

Projectgroep bestaande uit:

Naam	Functie	Contactgegevens
Niels Kortenschijl	Afstudeerder bij Antea Group	(06) 10 73 15 86 niels.kortenschijl@anteagroup.com
Niels Ijsseldijk	Afstudeermentor vanuit Antea Group	(06) 51 33 61 34 niels.ijsseldijk@anteagroup.com
Harry Gerritsen	Afstudeerbegeleider vanuit Saxion	(06) 51 10 16 64 h.g.m.gerritsen@saxion.nl

Contactgegevens:

Saxion Hogeschool

Handelskade 75
7417 DH Deventer
Postbus 70.000
7500 KB ENSCHEDE
T. +31 (0)570 60 36 63
E. info@saxion.nl

Antea Group

Zutphenseweg 31D
7418 AH DEVENTER
Postbus 321
7400 AH DEVENTER
T. +31 (0)570 67 94 44
E. info@anteagroup.nl

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie ‘Het voorspellen van wateroverlast in stedelijk gebied’. Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Milieukunde aan Saxion Hogeschool in Deventer.

Van januari 2015 tot en met december 2015 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze scriptie. Deze scriptie is geschreven in opdracht van mijn afstudeerbedrijf, Antea Group. Toen ik bij Antea Group kwam met de vraag of ik voor een afstudeeropdracht “iets met GIS en water of bodem” kon doen, kwamen er direct allerlei ideeën om hier invulling aan te geven. Uiteindelijk zijn we op het huidige onderzoek uitgekomen. Het was een uitdagende en interessante opdracht om aan te werken.

Ik wil graag mijn bedrijfsbegeleider, Niels IJsseldijk, bedanken voor de begeleiding en ondersteuning tijdens dit traject. Ook wil ik Benno Steentjes en Jaap Schoonhoven bedanken voor hun ondersteuning. Dit geldt ook voor de andere collega’s bij Antea Group die me geholpen hebben en deel hebben laten nemen aan andere projecten.

Het is mooi om te zien dat hetgeen in dit afstudeeronderzoek is bedacht en uitgewerkt, direct wordt gebruikt door Antea Group en dat men enthousiast is over wat bereikt is. Dit wordt bevestigd door de nominatie voor de Innovation Award. Inmiddels is duidelijk dat de ontwikkelde methode gekozen is als één van de vijf beste innovaties van Antea Group Nederland van 2015. De presentatie van de Innovation Award is te vinden op YouTube: <https://youtu.be/hXhbqYhyv0U>

Mijn Saxionbegeleider, Harry Gerritsen, wil ik bedanken voor de begeleiding en feedback op het onderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Niels Kortenschijl,
Deventer,
27 januari 2016

Samenvatting

In het kader van een afstudeeropdracht voor de HBO-opleiding Milieukunde is in een periode van januari tot december 2015 een onderzoek uitgevoerd voor Antea Group, een internationaal advies- en ingenieursbureau. Het onderzoek gaat over wateroverlast in stedelijk gebied. Door de klimaatverandering vallen er in Nederland steeds vaker hevige regenbuien. In combinatie met de aanwezigheid van oude riolen (met een te beperkte afvoercapaciteit) en de toename van het verhard oppervlak in stedelijk gebied leidt dit tot een toename van wateroverlast. De gemeente heeft een zorgplicht voor een goede en doelmatige afvoer van het overtollige regenwater. Omdat het voor de gemeente moeilijk is om te bepalen waar de kans op wateroverlast het grootst is, wordt veelal een adviesbureau ingehuurd. Adviesbureaus maken gebruik van modellen om te onderzoeken waar er kans is op wateroverlast en hoe deze overlast kan worden opgelost dan wel beperkt. Antea Group is één van deze adviesbureaus die met behulp van de programma's SOBEK en ArcGIS de kans op wateroverlast berekent.

De hoofdvraag van het afstudeeronderzoek luidt als volgt: **“Welke verbetermogelijkheden kunnen aangebracht worden in de huidige analysemethode waarmee Antea Group, met behulp van de programma's SOBEK en ArcGIS, wateroverlast in stedelijk gebied voorspelt en visualiseert?”**

Om deze vraag te beantwoorden is als eerst inzicht verkregen in de huidige analysemethoden waarmee Antea Group wateroverlast in stedelijk gebied voorspelt. Er zijn vier analysemethoden die Antea Group momenteel gebruikt:

- een 1D-analyse die alleen het functioneren van het rioolsysteem berekent;
- een 1D/1D-methode die het functioneren van het riool- en oppervlaktewatersysteem berekent;
- een maaiveldanalyse die de afstroming van neerslag over het maaiveld op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) berekent;
- en een 1D/2D-methode die integraal het functioneren van het riool- en oppervlaktewatersysteem en de afstroming over het maaiveld berekent.

De analysemethoden die Antea Group veelal gebruikt bij het voorspellen van wateroverlast is de 1D/1D-analyse in combinatie met de separate maaiveldanalyse. Antea Group ziet echter veel potentie in de 1D/2D-methode, oftewel de methode die integraal het functioneren van het riool- en oppervlaktewatersysteem (de 1D/1D methode) en de afstroming over het maaiveld (de maaiveldanalyse) berekent. Dit is de methode die is gekozen om te verbeteren, “de nieuwe analysemethode”.

Op basis van de opgedane kennis van de huidige 1D/2D-methode en door te kijken naar de functionaliteiten van ander programma's die wateroverlastanalyses kunnen uitvoeren zijn de verbetermogelijkheden opgesteld. Deze verbetermogelijkheden zijn:

1. Het gebruiken van een nieuwe hoogtekaart (AHN2 in plaats van AHN).
2. Het voorkomen van dubbel rekenen van neerslag op daken.
3. De bovengrondse afstroming baseren op het type oppervlak.
4. Het presenteren van de resultaten in 3D.
5. Het presenteren van de resultaten in een tijdanimatie.

Deze verbetermogelijkheden zijn uitgewerkt met behulp van opgedane kennis over de programma's, bronnen van het internet en de input van deskundigen van Antea Group. De verbetermogelijkheden zijn op de volgende manieren uitgewerkt:

1. Voor gebruiken van een nieuwe hoogtekaart is er een tool ontwikkeld waarmee de ruwe AHN2 kan worden bewerkt. Door deze bewerking worden gaten in het raster gevuld en wordt de resolutie van het raster aangepast zodat deze geschikt is voor gebruik.
2. Om het dubbel rekenen van neerslag op daken te voorkomen zijn er in de hoogtekaart fictieve buffers op de plaats van de bebouwing gezet. Het regenwater dat erin valt wordt daarin geborgen en niet meer afgevoerd. De gebouwen staan nog wel in het raster zodat de invloed op de stroming van het water over maaiveld nog wel aanwezig is.
3. De bovengrondse afstroming kan in het programma SOBEK worden gebaseerd op het type oppervlak. Hiervoor is als eerste een kaart nodig waarop het oppervlak is aangegeven zoals gegevens van het CBS, gemeenten en TOP10-kaarten. Met deze kaart is er op basis van het type oppervlak, zoals gras, weg en bos, een afstromingswaarde toegekend.
4. Het presenteren van de resultaten in 3D kan met behulp van het programma ArcScene. Door middel van de hoogtekaart is er aan verschillende objecten zoals de huizen, wegen en oppervlaktewater de hoogtewaarde toegekend. Met deze waarde kunnen deze objecten in 3D worden weergegeven. Vervolgens is er een luchtfoto toegevoegd om de presentatie en herkenbaarheid van de locaties beter te maken. De resultaten van de wateroverlastanalyse kunnen aan deze omgeving worden toegevoegd.
5. Het presenteren van de resultaten middels een tijdanimatie is ook gedaan met het programma ArcScene. Voor het maken van de animatie zijn er van de rekenresultaten verschillende rasters per tijdstap gemaakt. Op deze rasters is te zien hoeveel water er op het maaiveld aanwezig is. Door deze rasters achter elkaar af te spelen is te zien hoe het water zich over het oppervlak verplaatst.

Na het uitwerken van de verbetermogelijkheden is de nieuwe analysemethode toegepast voor de kern Haaften. De basis hiervoor, het model van het riool- en oppervlaktewatersysteem van Haaften, is aangeleverd door Antea Group. Daarnaast is met dit model door Antea Group een analyse op de 1D/1D methode en een maaiveldanalyse uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn beschikbaar gesteld voor dit onderzoek.

De nieuwe analysemethode (1D/2D) is vergeleken met de referentiemethode (1D/1D+maaiveldanalyse). Dit is gedaan aan de hand van de berekeningsresultaten en het proces waarmee de analysemethode wordt uitgevoerd. Hiervoor zijn de volgende criteria gehanteerd: betrouwbaarheid, werktijd, rekentijd en visualisatie. Uit de vergelijking komt naar voren dat de nieuwe 1D/2D-analysemethode de betere methode is op het gebied van betrouwbaarheid en visualisatie. De referentiemethode scoort beter op het gebied van de werktijd en rekentijd.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat hoewel het proces van de nieuwe analysemethode langer duurt de resultaten wel beter zijn ten opzichte van de referentiemethode. Deze methode wordt dus aanbevolen aan Antea Group als de betere methode voor het maken van wateroverlastanalyses.

Aanbevolen wordt de 1D/2D-methode verder te ontwikkelen zodat deze in de toekomst sneller en betrouwbaarder wordt. De nadelen van de nieuwe 1D/2D-analysemethode op het gebied van werktijd en rekentijd kunnen in de toekomst worden opgelost door gebruik te maken van betere hardware en software.

Inhoud

Blz.

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1 Inleiding	1
1.1 Situatieschets	1
1.2 Doelstelling & probleemstelling	3
1.3 Begrippen	3
1.4 Leeswijzer	5
2 Literatuuronderzoek naar wateroverlast	6
2.1 Opwarming van de aarde	6
2.2 Gevolgen voor Nederland	7
2.3 Toenemende kans op wateroverlast	8
2.4 Verantwoordelijkheid stedelijk waterbeheer	8
2.5 Modelleren van wateroverlast in stedelijk gebied	9
3 Onderzoeksmethode	10
3.1 Gehanteerde onderzoeksmodel	10
4 Huidige analysemethoden bij Antea Group en andere bedrijven	13
4.1 Huidige analysemethoden bij Antea Group	13
4.2 Programma's / rekenmethoden bij andere bedrijven	19
4.3 Vergelijk programma's	21
4.4 Keuze te verbeteren methode en referentie methode	22
5 Verbetermogelijkheden voor de huidige 1D/2D analysemethode	23
5.1 Modelmatige verbeteringen	23
5.2 Verbeteren van de presentatiewijze	26
6 Resultaten wateroverlastanalyse	28
6.1 Waterstand: water-op-straat	29
6.2 Maaiveld: water-op-straat	31
6.3 Waterstand: Oppervlaktewater	32
7 Vergelijking methoden	34
7.1 Betrouwbaarheid	34
7.2 Werktijd	36
7.3 Rekentijd	36
7.4 Visualisatie	37
7.5 Conclusie	38

8	Discussie, conclusies en aanbevelingen	39
8.1	Discussie	39
8.2	Conclusies	39
8.3	Aanbevelingen	41
	Bibliografie	42
	Bijlagen	44
1	Onderzoeksvragen en uitwerking onderzoeksmethodiek	46
2	Interview Grontmij over Wodan123	50
3	Interview Tauw over WOLK	52
4	Uitwerkingen verbetermogelijkheden met modelbuilder	54
5	3D beelden nieuwe analysemethode	58
6	Kaarten resultaten wateroverlastanalyse	60
7	Kaart besproken met Nicole Aarts	78
8	Enquête: voorbeeld ingevuld vragenblad	80
9	Bepalen praktijksituatie	82

1 Inleiding

1.1 Situatieschets

Klimaatverandering

Sinds het begin van de industriële revolutie wordt er door de mens steeds meer CO₂ uitgestoten. De CO₂ wordt door veel wetenschappers beschouwd als één van de hoofdoorzaken van de opwarming van de aarde, met klimaatverandering als gevolg. Sinds 1950 is de temperatuur wereldwijd gemiddeld met circa 0,7 graad Celsius gestegen. In Nederland is de temperatuur sinds 1950 sneller gestegen dan wereldwijd, namelijk met ongeveer 1,4 graad (KNMI, 2011). Een van de gevolgen van deze temperatuurstijging is dat er in de zomer steeds vaker extreme buien voorkomen. Tussen 1951 en 2013 nam de jaarlijkse neerslag in Nederland toe met 14%. (KNMI, 2014). Dit heeft tot gevolg dat er meer kans is op wateroverlast. Voorbeelden van wateroverlast zijn water in de kelder of kruipruimte, water op straat en water dat huizen binnentreedt, het gevolg is dat mensen er schade of ongemak van ondervinden. Niet alleen aan de kust en bij rivieren, maar ook in de stad en stadsranden.

Dit onderzoek richt zich op wateroverlast in stedelijk gebied. In stedelijk gebied heeft water en groen plaats gemaakt voor verharding en bebouwing, met snellere en meer afvoer van hemelwater tot gevolg. De berging en afvoer van hemelwater is cruciaal om overlast en schade te voorkomen. De aanwezige riolerings- en watersystemen zijn niet altijd in staat de toename in neerslag te verwerken.

Oorzaken en gevolgen

Een groot deel van de riolen zijn aangelegd in een tijd dat klimaatverandering nog geen item was. Dit betekent dat bij het ontwerp nog geen rekening werd gehouden met de verwachte neerslaghoeveelheden in de toekomst. Daarnaast wordt in stedelijk gebied steeds meer verharding aangelegd onder andere doordat particulieren hun tuinen verhardten. Daardoor wordt er minder regenwater afgevoerd naar de bodem wat betekent dat meer water door riolen en watergangen moet worden afgevoerd (Stichting RIONED, 2009).

De gevolgen van wateroverlast zijn regelmatig in het nieuws. Zo viel er op de nacht van 13 augustus 2015 op verschillende plaatsen in Nederland tussen de 30 en 50 mm neerslag. Kranten maakten de volgende dag melding van “Veel hinder door zware regenval” (De Telegraaf, 2015) en “Onweer en regen zorgen voor overlast” (De Volkskrant, 2015). De brandweer is die avond rond de 140 keer gealarmeerd over wateroverlast. In Vlaardingen kwam het water uit het rioleringsstelsel naar boven (RTV Rijnmond, 2015).



Figuur 1-1 Wateroverlast na hevige regenbui.

Als er sprake is geweest van wateroverlast, is het vaak moeilijk om te bepalen door welke tekortkoming in de waterafvoer de overlast werd veroorzaakt. Om daar iets over te kunnen zeggen is inzicht nodig in de regenwaterafvoer bij extreme neerslag. Hoewel er genoeg gegevens bekend zijn over de hoeveelheid en locatie van de neerslag zijn er weinig meetgegevens over de

regenwaterafvoer. Ook is het niet wenselijk om alleen maar naar oplossingen te zoeken nadat er al schade is toegebracht. Eén van de mogelijkheden om de oorzaak van wateroverlast te analyseren én preventief tegen te gaan is gebruik te maken van wateroverlastanalyses. Wateroverlastanalyses zijn de berekeningen die nodig zijn om te bepalen waar de kans op wateroverlast kan plaatsvinden. Dit wordt gedaan door een schematische weergave, een computermodel, te maken van het riool- en oppervlaktewatersysteem van het onderzoeksgebied en hier een regenbui op te laten regenen. Er zijn verschillende programma's die kunnen helpen bij het voorspellen waar de kans op wateroverlast het grootst is en hoe de overlast kan worden voorkomen. Veelal voeren gemeenten dergelijke analyses niet zelf uit, maar laten deze analyses uitvoeren door advies- en ingenieursbureaus. Elk bureau heeft haar eigen analysemethode en programma's voor het maken van deze analyses.

Antea Group

Antea Group is een internationaal advies- en ingenieursbureau. Ook Antea Group krijgt de vraag van onder andere gemeenten om locaties te voorspellen waar wateroverlast zich zal voordoen. Hiervoor heeft Antea Group de laatste jaren diverse riool- en watermodellen opgesteld en analyses uitgevoerd. Doordat er steeds meer data beschikbaar is zoals hoogtekarten, landgebruik kaarten, gegevens van riolen en watergangen, ontstaan er steeds meer en betere mogelijkheden om wateroverlast accurater te voorspellen. Het doorontwikkelen van de beschikbare modellen en/of het optuigen van nieuwe analyses en modellen is dan ook een continu proces (Niels IJsseldijk & Jaap Schoonhoven, persoonlijke communicatie, 2015).

De computerprogramma's die momenteel worden gebruikt bij Antea Group zijn "SOBEK" en "ArcGIS". SOBEK is een programma voor het maken van hydrodynamische berekeningen zoals het voorspellen van overstromingen, optimalisatie van drainagesystemen, controle van irrigatiesystemen en rioolontwerpen. ArcGIS is een programma dat wordt gebruikt voor het uitvoeren van analyses van ruimtelijke data zoals wateroverlastanalyses. Deze programma's hebben functionaliteiten die nog niet gebruikt worden in relatie tot wateroverlastanalyses. Om de analysemethode waarmee de analyses worden uitgevoerd met de programma's binnen Antea Group te optimaliseren zijn er voor dit onderzoek twee doelen opgesteld:

1. Het optimaliseren van de analysemethode waarmee de wateroverlastanalyses worden uitgevoerd, zodat de voorspellingen beter worden.
2. Het optimaliseren van de visuele presentatie van de resultaten van de analyses (Niels IJsseldijk & Jaap Schoonhoven, persoonlijke communicatie, 2015).

1.2 Doelstelling & probleemstelling

Op basis van de situatieschets is de volgende doel- en probleemstelling opgesteld.

Doelstelling

Bij Antea Group optimalisaties aanbrengen in de huidige analysemethode waarmee wateroverlastanalyses worden uitgevoerd zodat er beter advies kan worden gegeven om wateroverlast tegen te gaan; door op basis van de huidige analysemethode verbetermogelijkheden op te stellen en uit te werken en deze nieuwe analysemethode te vergelijken met de referentiemethode.

Probleemstelling

Welke verbetermogelijkheden kunnen toegepast worden in de huidige analysemethode waarmee Antea Group, met behulp van de programma's SOBEK en ArcGIS, wateroverlast in het stedelijk gebied voorspelt en visualiseert?

1.3 Begrippen

SOBEK

SOBEK is een programma van Deltares voor het maken van hydrodynamische berekeningen. Hieronder valt het voorspellen van overstromingen, optimalisatie van drainagesystemen, controle van irrigatiesystemen en rioolontwerpen. Met dit programma kan Antea Group analyses uitvoeren om de kans op wateroverlast te berekenen. Een uitgebreidere uitleg over de mogelijkheden van SOBEK staat in de "State of the Art" onder paragraaf 4.1.

ArcGIS

ArcGIS is een programma van ESRI dat wordt gebruikt voor het uitvoeren van analyses van ruimtelijke data. Antea Group gebruikt het onder andere om analyses te maken van wateroverlast, data voor te bereiden voor het gebruik in SOBEK en de resultaten te presenteren in kaarten.

Wateroverlast

Wateroverlast is een verzamelterm voor schade en ongemak die mensen ondervinden door hoge waterstanden ten gevolge van overvloedige neerslag en/of onvoldoende ontwatering. Een aantal voorbeelden hiervan zijn water in de kelder of kruipruimte, water op straat of water dat huizen binnentreedt.

Verbetermogelijkheden

Voor het maken van de wateroverlastanalyses maakt Antea Group gebruik van SOBEK en ArcGIS. Deze programma's bieden meer mogelijkheden dan er tot nu gebruikt worden. In dit onderzoek wordt onderzocht hoe daar beter gebruik van kan worden gemaakt. Dit zijn de verbetermogelijkheden.

Wateroverlastanalyses

Wateroverlastanalyses zijn de berekeningen die nodig zijn om te bepalen waar de kans op wateroverlast kan plaatsvinden. Dit wordt gedaan door een schematische weergave, een computermodel, te maken van het riool- en oppervlaktewatersysteem van het onderzoeksgebied en hier een regenbui op te laten regenen. De grootte van het model hangt af van de gekozen analysemethode. Sommige modellen hebben alleen een riolsysteem en andere hebben een integraal riool- en oppervlaktewatersysteem.

Analysemethode

Er zijn verschillende manieren waarop een wateroverlastanalyse kan worden uitgevoerd. Er kan worden gerekend met een rioolmodel of een oppervlaktekaart. In dit onderzoek wordt er met een analysemethode een bepaalde manier bedoelt waarop een wateroverlastanalyse uitgevoerd kan worden.

Huidige analysemethode -> Nieuwe analysemethode

Antea Group hanteert verschillende analysemethoden om wateroverlast te berekenen. De huidige analysemethode is de methode die bij Antea Group bij voorkeur wordt gebruikt bij het maken van een wateroverlastanalyse. De nieuwe analysemethode is een uitbreiding van deze huidige analysemethode, waarbij de verbetermogelijkheden die tijdens het onderzoek zijn opgesteld, zijn uitgewerkt en geïmplementeerd.

Referentiemethode

De referentiemethode is de methode waarmee de nieuwe analysemethode is vergeleken. Het gaat hier om een methode waarmee Antea Group op dit moment veelal wateroverlast voorspelt.

1.4 Leeswijzer

Hieronder staat beschreven hoe deze scriptie is opgebouwd.



Figuur 1-2 Leeswijzer van de scriptie.

2 Literatuuronderzoek naar wateroverlast

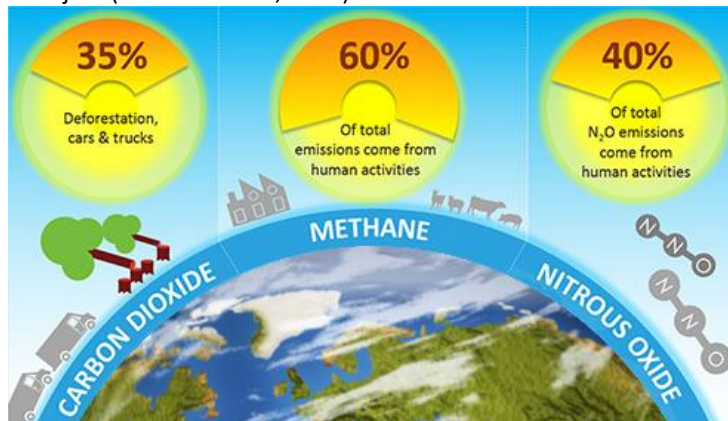
In dit hoofdstuk zijn de laatste ontwikkelingen beschreven op het gebied van klimaatverandering en wateroverlast in stedelijk gebied van Nederland. De volgende punten zullen hierbij worden besproken:

- opwarming van de aarde;
- gevolgen in Nederland;
- toenemende kans op wateroverlast;
- verantwoordelijkheid stedelijk water;
- modelleren van wateroverlast in stedelijk gebied.

2.1 Opwarming van de aarde

Oorzaken klimaatverandering

Er is nauwelijks twijfel dat de klimaatverandering van de afgelopen zestig jaar grotendeels het gevolg is van uitstoot van broeikasgassen, veroorzaakt door de mens. De toename van broeikasgas zorgt ervoor dat de atmosfeer meer warmte vasthoudt. Hierdoor stijgt de gemiddelde temperatuur op aarde. In de afgelopen 70 jaar is het wereldwijd gemiddeld 0,7°C warmer geworden. De laatste dertig jaar behoort nagenoeg zeker tot de warmste periode in 1400 jaar (Milieucentraal, 2013).



Figuur 2-1
Infographic die inzicht geeft in
hoeverre menselijke activiteit invloed
heeft op totale hoeveelheid
broeikasgassen.

Hieronder volgt een beschrijving voor de toename van de meest voorkomende broeikasgassen: koolstofdioxide (carbon dioxide), methaan (methane) en distikstofoxide (nitrous oxide.). In Figuur 2-1 is te zien in hoeverre mensen invloed hebben op de totale uitstoot van deze gassen.

Kooldioxide is het belangrijkste broeikasgas waarvan de concentratie door menselijk toedoen is toegenomen. De concentratie hiervan in de atmosfeer is toegenomen van 280 ppm in 1750 tot 390 ppm in 2011. De voortdurende stijging van de concentratie van kooldioxide in de atmosfeer was de afgelopen 10 jaar sneller dan ooit.

De concentratie van methaan in de atmosfeer is toegenomen van ongeveer 715 delen per miljard delen lucht (ppb, parts per billion) in 1750 tot 1803 ppb in 2011. De toename per jaar is sinds 1993 kleiner geworden.

De concentratie van distikstofoxide, is toegenomen van ongeveer 270 ppb in 1750 tot 324 ppb in 2011. De snelheid van de toename is sinds 1980 nauwelijks veranderd. Meer dan 40 procent van de totale uitstoot van distikstofoxide is een gevolg van menselijke activiteiten, vooral in de landbouw (KNMI & PBL, 2015).

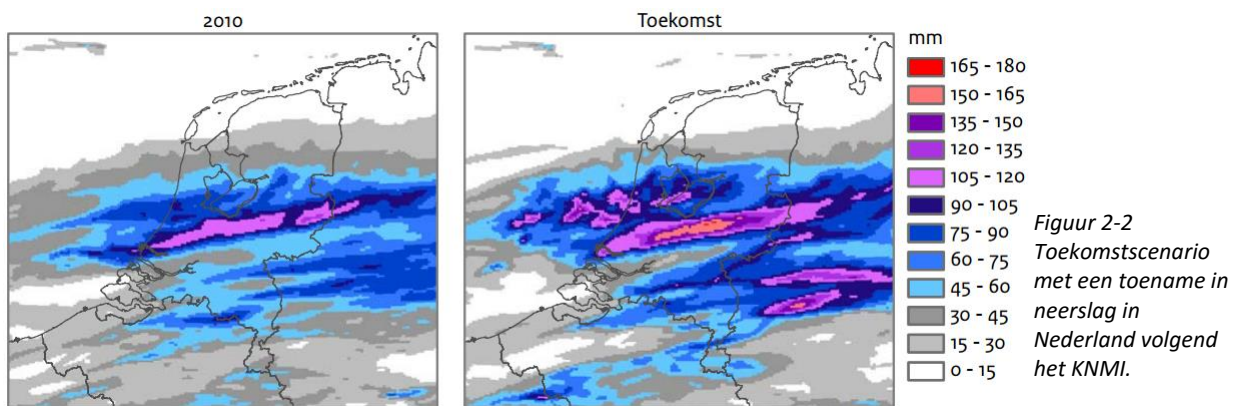
Gevolgen van klimaatverandering

Dat de aarde de komende eeuw verder zal opwarmen is onvermijdelijk door de hoeveelheden broeikasgas die de mensheid al uitgestoten heeft. Hoeveel de aarde zal opwarmen hangt af van welke maatregelen wereldwijd genomen zullen worden. In de Klimaatop in Parijs van 2015 zijn afspraken gemaakt om de temperatuurstijging in 2100 te beperken tot 2 graden. Om dit doel te halen is afgesproken om halverwege de 21^e eeuw een balans te hebben tussen de uitstoot van broeikasgassen en het vermogen van de natuur deze te absorberen. (Europa Nu, 2015) Maar als de uitstoot van broeikasgassen doorgaat zoals nu, zal het aan het einde van de eeuw 2,6 à 4,8 °C warmer zijn dan nu. Zelfs als de CO₂-uitstoot drastisch wordt verminderd, zal de aarde nog 0,3 tot 1,7 °C warmer worden dan nu. Een belangrijk gevolg van de wereldwijde opwarming is de stijging van de zeespiegel. Rond het jaar 2100 verwachten onderzoekers een stijging tot 80 cm. De snelle opwarming brengt grote risico's met zich mee voor de voedselvoorziening, veiligheid en natuur door toenemende hitte, droogte, zeespiegelstijging en de groeiende kracht van cyclonen. De gevolgen verschillen sterk per gebied (Milieucentraal, 2013). Zo is er volgens sommige wetenschappers een verband tussen het toenemende aantal bosbranden in Australië (Franssen, 2013) en was er aan het eind van 2015 in Engeland sprake van zware overstromingen als gevolg van extreme regenbuien (NU.nl, 2015)

2.2 Gevolgen voor Nederland

Klimaatverandering in Nederland

Net als in de rest van de wereld is het klimaat in Nederland aan het veranderen. De gemiddelde temperatuur in Nederland is sinds 1950 gestegen met 1,4 graden Celsius en is het gemiddeld aantal zomerdagen toegenomen met bijna 20 dagen. De totale hoeveelheid jaarlijkse neerslag steeg met ongeveer 20 procent en ook de frequentie van hevige regenbuien nam sterk toe. De gemeten temperatuurstijging in Nederland is circa tweemaal hoger dan de gemiddelde temperatuurstijging over de wereld. De klimaatverandering in Nederland zal naar verwachting de komende eeuwen verder doorzetten. In welke mate dit plaats zal vinden is nog onzeker. Zo kan de jaarlijkse neerslag in Nederland tot het einde van deze eeuw met 5 procent afnemen, maar ook met 6 procent stijgen. Dit bemoeilijkt het inspelen op klimaateffecten (KNMI, 2011).



Effecten van klimaatverandering

De klimaatverandering heeft in Nederland uiteenlopende effecten. Sommige van deze effecten zijn gunstig. Een aantal voorbeelden hiervan zijn een toename van het aantal dagen die geschikt zijn voor recreatie, de productieverhoging in de landbouw en gemiddeld minder sterfte in de winterperiode. Ongunstige effecten zijn een grotere kans op wateroverlast als gevolg van piekbuien (zie figuur 2-2), hittestress, een grotere kans op allergieën bij daarvoor gevoelige mensen en een toegenomen druk op de natuur. Ook deze effecten zullen naar verwachting doorzetten (van Minnen & Ligtoet, 2012).

2.3 Toenemende kans op wateroverlast

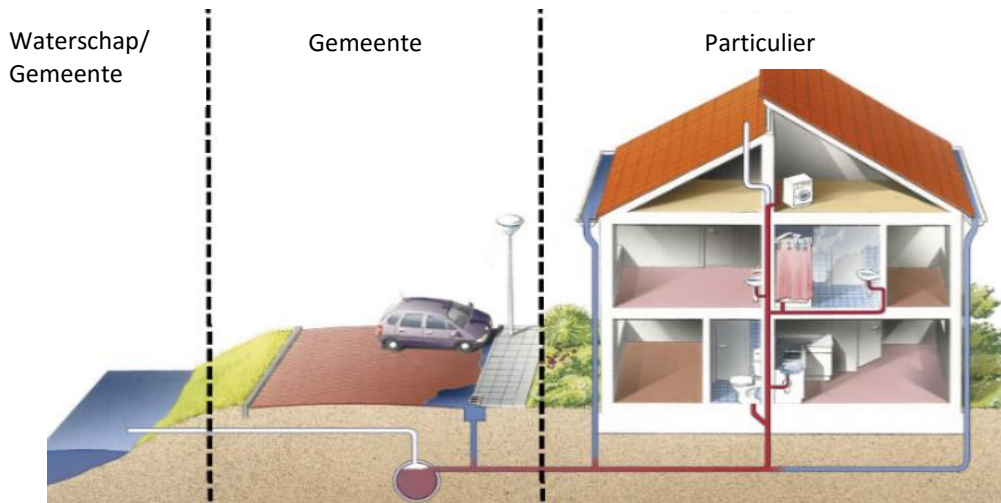
Hoewel klimaatverandering de hoofdoorzaak is van de toenemende wateroverlast in stedelijk gebied, zijn er ook nog andere factoren die daaraan bijdragen.

Regenwater dat op een onverharde bodem valt zakt voor een belangrijk deel in de bodem weg. De mate waarin het water kan infiltreren, verschilt per bodemtype. Het water dat infiltreert komt niet tot afstroming. Is de bodem verhard dan vindt nauwelijks of geen infiltratie in de bodem plaats. Dit betekent dat bijna al het regenwater dan tot afstroming komt. De aanleg van riolering, watergangen en waterberging voor oppervlaktewater zorgt ervoor dat dit niet leidt tot overlast.

De afgelopen decennia is als gevolg van uitbreidingen en het verbreden van wegen het verhard oppervlak in stedelijk gebied aanzienlijk toegenomen. Ook blijken particulieren hun tuinen steeds vaker te verhard en worden greppels gedempt. Dit betekent dat er steeds meer regenwater tot afstroming komt. Hierdoor wordt het bestaande riool- en oppervlaktewatersysteem steeds zwaarder belast. Van alle riolen in Nederland is 65% aangelegd vóór 1990. Die riolen zijn ontworpen om op basis van het verharde oppervlak en gemiddelde neerslag ten tijde van de aanleg af te kunnen voeren. De riolering uit die tijd is niet berekend op de extreme neerslag van vandaag de dag en de eerdergenoemde toename in verhard oppervlak. Met daarbij de toename van heftige buien als gevolg van de klimaatverandering neemt de kans op wateroverlast verder toe, zonder aanpassingen aan het riool- en oppervlaktewatersysteem. (Niels IJsseldijk & Jaap Schoonhoven, persoonlijke communicatie, 2014).

2.4 Verantwoordelijkheid stedelijk waterbeheer

Bij het beheer van stedelijk water zijn normaliter drie partijen betrokken. Deze partijen zijn het waterschap, de gemeente en particulieren. De verdeling van de verantwoordelijkheid van de partijen is hieronder in figuur ... schematisch weergegeven.



Waters Figuur 2-3 Verdeling verantwoordelijk stedelijk water (Maas, z.j.).

De verantwoordelijkheden van het Waterschap staan beschreven in de Waterschapswet. Hierin staat dat het waterschap de zorg voor het oppervlaktewatersysteem, zoals de grote rivieren en watergangen in een gebied, en de zorg voor het zuiveren van afvalwater heeft. De zorg voor één of meerdere watersystemen kan echter worden overgedragen aan de gemeente.

Gemeente

In artikel 21 van de Grondwet is vastgesteld dat de overheid moet zorgen dat het land bewoonbaar is en dat zij het leefmilieu moet beschermen en verbeteren.

Artikel 3.5 Waterwet: “de gemeenteraad en het college van burgemeester en wethouders dragen zorg voor een doelmatige inzameling van het afvloeiend hemelwater, voor zover van degene die zich daarvan ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of zich moet ontdoen, redelijkerwijs niet kan worden gevergd het afvloeiend hemelwater op of in de bodem of in het oppervlaktewater te brengen.”

De Waterwet legt de gemeente een zorgplicht op voor (de doelmatige inzameling en verwerking van) afvloeiend hemelwater (art. 3.5). De gemeentelijke zorgplichten hebben het karakter van een inspanningsverplichting (en dus niet van een resultaatsverplichting). Dit betekent dat alleen bij ernstig nalaten een situatie kan ontstaan die tot aansprakelijkheid van de gemeente kan leiden. Wel kan gesteld worden dat de gemeente voor burgers en bedrijven het eerste aanspreekpunt is bij wateroverlast.

Particulier

De zorgplichten van de gemeente kent grenzen. Op particulier terrein is de perceeleigenaar verantwoordelijk voor de afvoer van hemelwater, bij voorkeur naar oppervlaktewater of in de bodem. Pas als de gemeente dit redelijkerwijs niet van hem kan vragen, heeft zij een taak om het afvloeiende hemelwater vanaf de grens van het particuliere perceel af te voeren. De zorgplicht is dus alleen van toepassing op de openbare ruimte; maatregelen op eigen terrein moet de particulier zelf nemen (Stichting Rioned, 2012). Gesteld kan worden dat een particulier verantwoordelijk is voor wateroverlast op eigen terrein, tenzij water vanaf aanliggende gebieden de oorzaak zijn van de overlast.

2.5 Modelleren van wateroverlast in stedelijk gebied

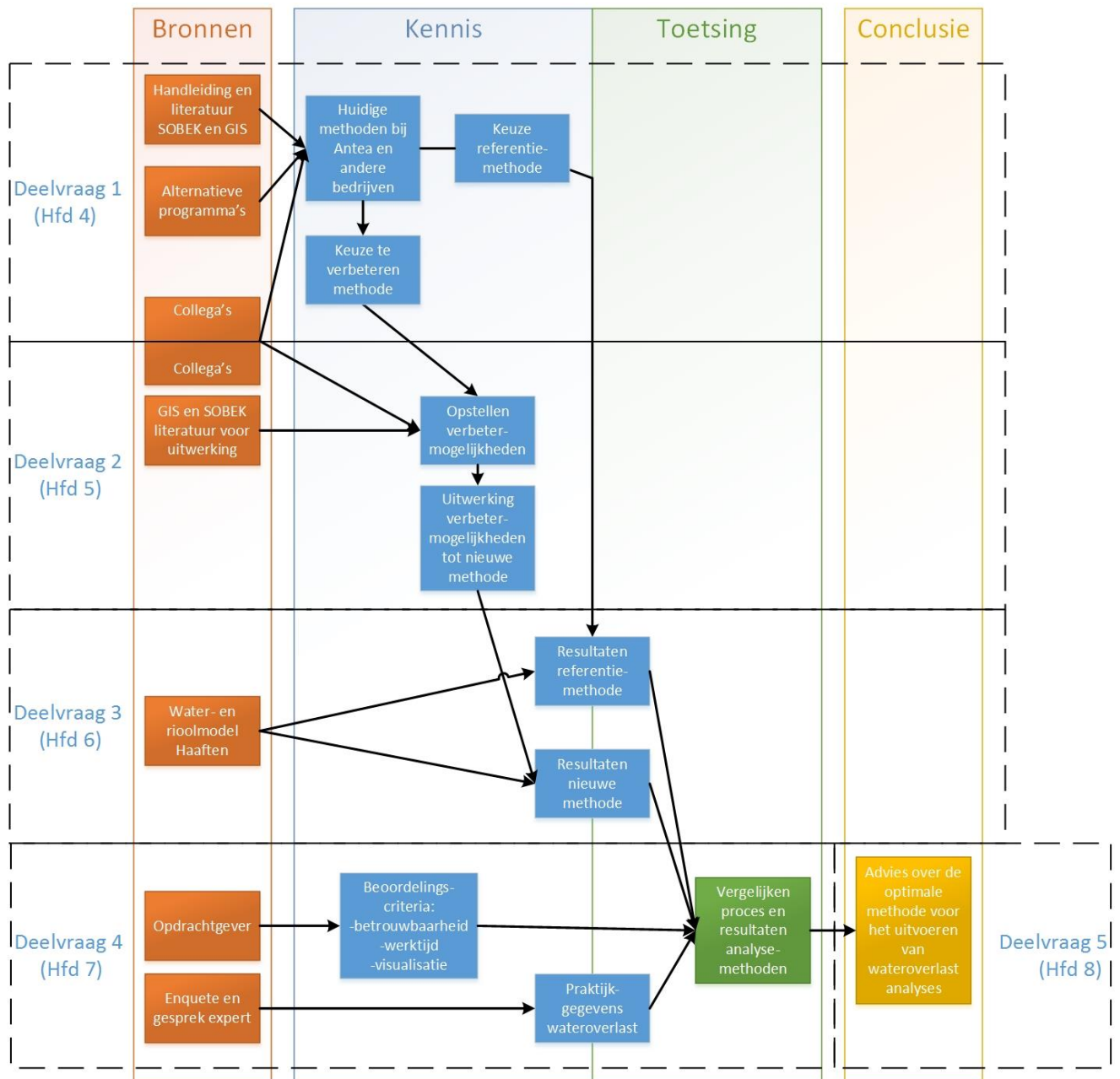
Als er sprake is geweest van wateroverlast is het voor de gemeente vaak moeilijk om te bepalen waar en waardoor het probleem werd veroorzaakt. Om daar iets over te kunnen zeggen, is inzicht nodig in de regenwaterafvoer tijdens een extreme bui. Aangezien meetgegevens of praktijkervaring amper beschikbaar zijn is dit niet altijd mogelijk. Daarnaast is het ook niet wenselijk om alleen maar naar oplossingen te zoeken nadat er al schade is toegebracht. Ook preventief acteren is wenselijk.

Inzicht kan worden verkregen door gebruik te maken van computermodellen. Er zijn verschillende programma's die kunnen helpen te berekenen waar de kans op wateroverlast het grootst is en hoe dit kan worden voorkomen. Het modelleren van wateroverlast wordt verder besproken in hoofdstuk 4.

3 Onderzoeksmethode

3.1 Gehanteerde onderzoeksmodel

Voor het behalen van de doelstelling is een onderzoeksmodel opgesteld en gehanteerd, dat in figuur 3.1 te zien is. Dit model is gemaakt volgens de analysemethode van Piet Verschuren en Hans Doorewaard zoals beschreven in het boek 'Het ontwerpen van een onderzoek'. Het geeft schematisch weer wat ervoor nodig is om het doel van het onderzoek te bereiken. In de toelichting zijn als eerste de onderzoeksobjecten toegelicht en daarna de optiek, die samen leiden tot de conclusie van het onderzoek (Verschuren & Doorewaard, 2007).



Figuur 3-1 Het gehanteerde onderzoeksmodel van dit onderzoek met de gerelateerde deelvragen en hoofdstukken weergegeven.

Deelvragen & onderzoeksmethodiek

Voor het uitvoeren van het onderzoek en het beantwoorden van de probleemstelling zijn er deelvragen en een onderzoeksmethodiek opgesteld. Met deze methodiek is er per deelvraag gekeken welke onderzoeksstrategie van toepassing is, welke bronnen zijn gebruikt, welke activiteiten zijn uitgevoerd en wat er met de verkregen informatie gedaan is. Hieronder staat een globaal de aanpak per deelvraag beschreven. De uitgebreide methodiek en deelvragen met subvragen staan in bijlage 1.

Deelvraag 1: Wat zijn de huidige analysemethoden bij het maken van een wateroverlastanalyse bij Antea Group en andere bedrijven? (Hoofdstuk 4)

Voor het beantwoorden van deze vraag is er gebruik gemaakt van collega's en literatuur over de programma's SOBEK en ArcGIS om kennis op te doen van de huidige analysemethode waarmee wateroverlast wordt voorspeld. Deze collega's zijn Niels IJsseldijk en Benno Steentjes, adviseurs en specialisten op het gebied van stedelijk water en het programma SOBEK, en Jaap Schoonhoven, adviseur Data, met kennis van het programma ArcGIS.

Daarnaast is gebruik gemaakt van een handleiding over het gebruik van SOBEK. Deze handleiding is door Antea Group opgesteld voor intern gebruik. Deze handleiding en andere literatuur biedt inzicht hoe binnen Antea Group met SOBEK en ArcGIS wordt gewerkt en hoe Antea Group deze programma's gebruikt om wateroverlast te voorspellen.

Tevens is er gekeken naar de analysemethoden van andere bedrijven. Deze kennis is verkregen door middel van bureauonderzoek en interviews met bedrijven en instituten die ook wateroverlastanalyses uitvoeren (concreet Grontmij, TAUW en 3Di).

Met de opgedane kennis, en in overleg met collega's, is gekeken welke methode de meeste potentie heeft om te verbeteren. Deze keuze is gemaakt in overleg met de opdrachtgever. Daarnaast is de referentiemethode bepaald. Deze methode wordt gebruikt om de nieuwe analysemethode mee te vergelijken (zie deelvraag 4).

Deelvraag 2: Op welke manier kan de huidige analysemethode worden verbeterd en hoe kunnen deze worden uitgewerkt? (Hoofdstuk 5)

Nadat de keuze is gemaakt welke analysemethode verder wordt doorontwikkeld is gekeken naar de verbetermogelijkheden. Hiervoor is gebruik gemaakt van de beantwoording van deelvraag 1, namelijk:

- de voor- en nadelen van de gekozen methode;
- de functionaliteiten van analysemethoden van andere bedrijven en programma's;
- de input van collega's omtrent verbetermogelijkheden.

Voor het ontwikkelen en uitwerken van de verbetermogelijkheden is daarnaast gebruik gemaakt van online -ondersteuning, zoals online-forums. In dit onderzoek werd gebruik gemaakt van ESRI forums en GIS Stack Exchange. Op deze forums helpen gebruikers elkaar met vragen over het programma ArcGIS. Daarnaast is gebruik gemaakt van vakliteratuur zoals het boek 'Introduction to Geographic Information Systems' van Kang-tsung Chang waarin de mogelijkheden van programma's als ArcGIS zijn beschreven.

Bij de uitwerking van een aantal van de verbetermogelijkheden is gebruik gemaakt van Modelbuilder in ArcGIS. Het voordeel van het werken met Modelbuilder is dat in de toekomst de uitgevoerde werkstappen eenvoudig en sneller kunnen worden herhaald.

Deelvraag 3: Wat zijn de resultaten van beide analysemethoden? (Hoofdstuk 6)

Het onderzoeksgebied Haaften is gebruikt als case voor het testen en toetsen van de nieuwe methode. Voor dit onderzoek was reeds een basis riool- en watermodel aanwezig. Dit model is door experts van Antea Group opgesteld voor het maken van eerdere wateroverlastanalyses voor Haaften. Dit model vormt de basis voor de uitgevoerde analyses.

Als eerst is er met de referentiemethode een wateroverlastanalyse uitgevoerd. Daarna is er met de nieuwe analysemethode een wateroverlastanalyse uitgevoerd. De resultaten van beide methoden en het verschil in resultaten tussen de nieuwe methode en de referentiemethode zijn inzichtelijk gemaakt.

Deelvraag 4: Hoe kunnen de referentiemethode en de nieuwe methode met elkaar worden vergeleken? (Hoofdstuk 7)

In overleg met de opdrachtgever is gekomen tot de criteria om de nieuwe methode te vergelijken met de referentiemethode. Het gaat hier om de criteria betrouwbaarheid, werktijd, rekentijd en visualisatie. Per criteria zijn de voor en nadelen bepaald voor de nieuwe methode en de referentiemethode. Hiervoor is gebruik gemaakt van de resultaten en ervaringen die op zijn gedaan bij het uitvoeren van de wateroverlastanalyses voor het onderzoeksgebied Haaften.

Het criteria betrouwbaarheid is voor Antea Group zeer belangrijk. Antea Group wil haar klanten een gedegen advies geven op basis van correcte analyseresultaten. Om de betrouwbaarheid van beide analyses te toetsen zijn praktijkgegevens nodig. De validatie van de analyseresultaten is gedaan door middel van een gesprek met Nicole Aarts, die gebiedsdeskundige is van het onderzoeksgebied Haaften, en een enquête onder de bewoners van mogelijke overlastgebieden.

Op basis van de criteria is een vergelijking gemaakt tussen de nieuwe methode en de referentiemethode, waarna beoordeeld is welke methode het beste is.

Deelvraag 5: Welke analysemethode kan Antea Group het beste gebruiken voor het maken van de wateroverlastanalyse? (Hoofdstuk 8)

Na het uitvoeren van de vergelijking is er aan Antea Group advies gegeven over de beste methode voor het maken van een wateroverlastanalyse. In dit advies is antwoord gegeven op elke deelvraag, is het onderzoek ter discussie gesteld en zijn aanbevelingen opgesteld.

4 Huidige analysemethoden bij Antea Group en andere bedrijven

4.1 Huidige analysemethoden bij Antea Group

Antea Group gebruikt het programma SOBEK voor het maken van hydrodynamische berekeningen. Deze berekeningen worden gebruikt voor het voorspellen van overstromingen, optimalisatie van drainagesystemen en het opstellen van rioolontwerpen. Het programma wordt ook gebruikt om het functioneren van bestaande riool- en watersystemen te simuleren en toetsen. Hierbij wordt het gemodelleerde riool- en oppervlaktewatersysteem belast met een fictieve, vaak hevige, bui.

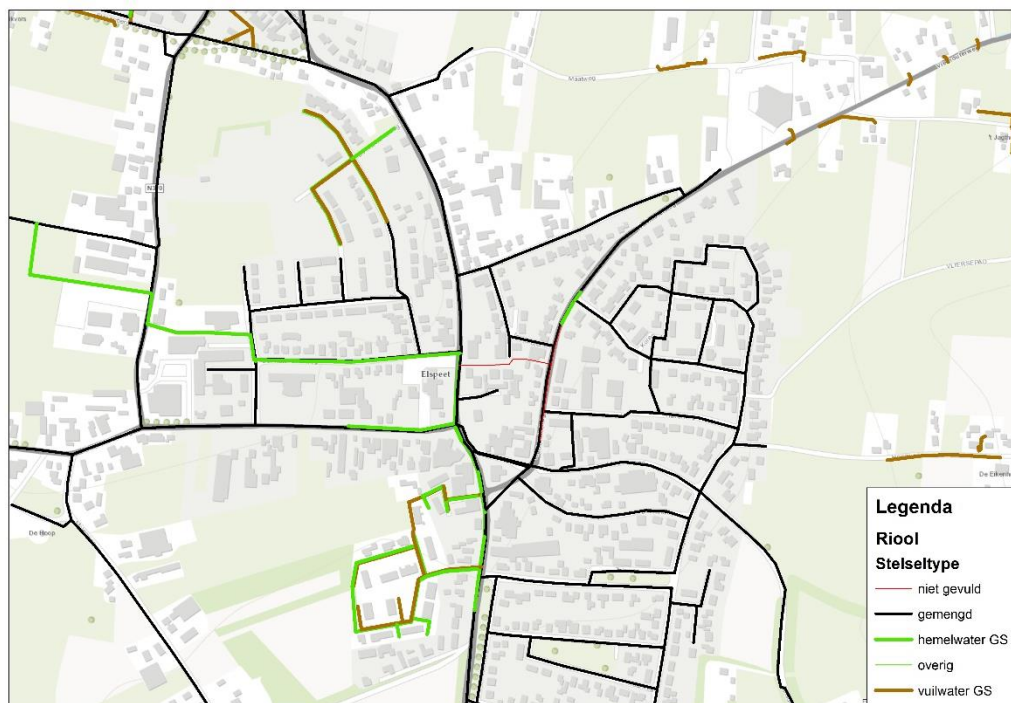
Hieronder is een aantal te onderscheiden analysemethoden toegelicht die door Antea Group worden gehanteerd:

- 1D-methode riolering;
- 1D/1D-methode riolering en oppervlaktewater;
- maaiveldanalyse in GIS;
- de 1D/2D-methode riolering en/of oppervlaktewater.

Per methode is toegelicht wat de mogelijkheden en de beperkingen zijn.

1D-methode riolering

Bij de 1D-methode wordt het ondergrondse riolsysteem van een stad nagebootst in SOBEK. De leidingen en putten van een riolsysteem worden gemodelleerd. In figuur 4-1 is een weergave van een riolsysteem.



Figuur 4-1 Kaart van een model van een riolsysteem.

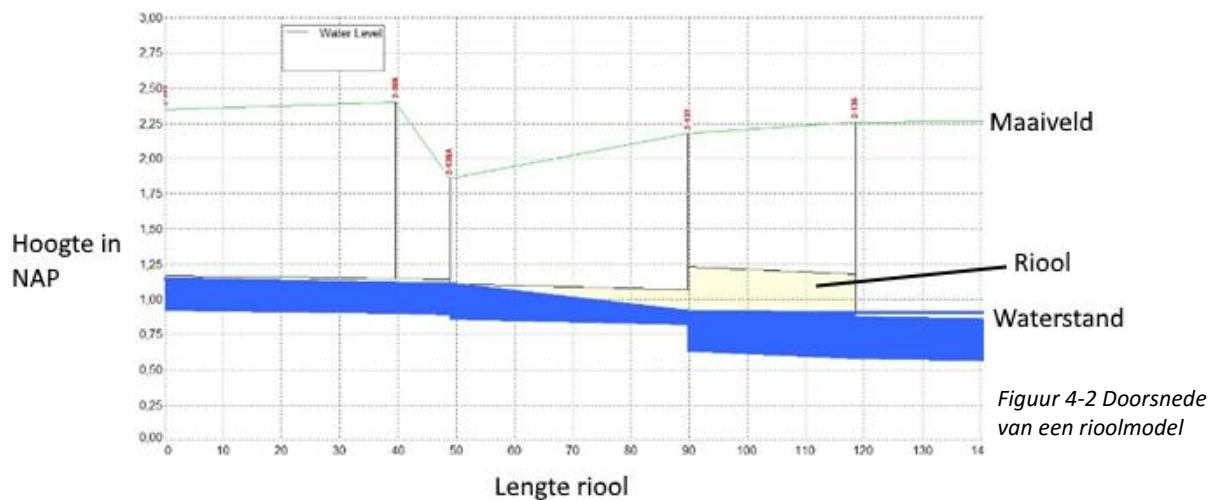
In deze methode wordt het verwachte aanbod van vuilwater en hemelwater bepaald. Het verwachte aanbod van vuilwater wordt gebaseerd op het aantal inwoners en het drinkwatergebruik per inwoner (eventueel aangevuld met het watergebruik van bedrijven).

Het verwachte aanbod van hemelwater wordt gebaseerd op het verwachte afstromende oppervlak, waarbij aan elk type afstromend oppervlak (dak, wegen, groen en dergelijke) eigen afstromingswaarden worden toegekend. De parameters vanuit de Leidraad Riolering (een richtlijn van Stichting Rioned) worden hierbij gehanteerd.

Voorbeeld: bepaald wordt hoeveel dakoppervlak is aangesloten op de riolering. Aan de hand van kentallen wordt bepaald hoe snel neerslag dat op dit dak valt van het dak naar de riolering stroomt en hoeveel water niet tot afstroming komt.

Het gemodelleerde model van putten en leidingen wordt belast met dit aanbod van vuil- en hemelwater. Gesimuleerd en getoetst wordt hoe het rioolsysteem functioneert bij verschillende buien en op verschillende momenten van de bui. Hierdoor wordt inzichtelijk gemaakt waar het systeem over onvoldoende afvoercapaciteit beschikt.

In figuur 4-2 is ter toelichting een dwarsdoorsnede van een deel van een rioolsysteem te zien. De rioolbuizen en het maaiveld zijn weergegeven. Het blauwe vlak (of lijn) geeft aan hoe hoog het water komt bij de betreffende bui, waarmee getoetst kan worden.



Figuur 4-2 Zijaanzicht van een rioolsysteem uit een 1D-riolering analysemethode

Wanneer de blauwe lijn boven het maaiveldniveau komt wordt er water op straat berekend. De oorzaak is bijvoorbeeld een te krappe diameter (of te veel neerslag), een laagte in het maaiveld of verkeerde gedimensioneerde constructies. De toetsing maakt inzichtelijk op welke plekken dit het geval is (IJseldijk, Werking van SOBEK, 2015). Op deze wijze worden locaties die gevoelig zijn voor water op straat inzichtelijk.

Beperkingen van 1D-methode:

- Het model berekent de water op straat situaties, dus waar het water boven het maaiveldniveau kan stijgen. Het model geeft geen inzicht waar dit water vervolgens naartoe stroomt (bijvoorbeeld naar een andere put, naar oppervlaktewater of naar laaggelegen

terreinen). Dit betekent dat slechts globaal aangegeven kan worden of de water op straat situatie zal leiden tot overlast.

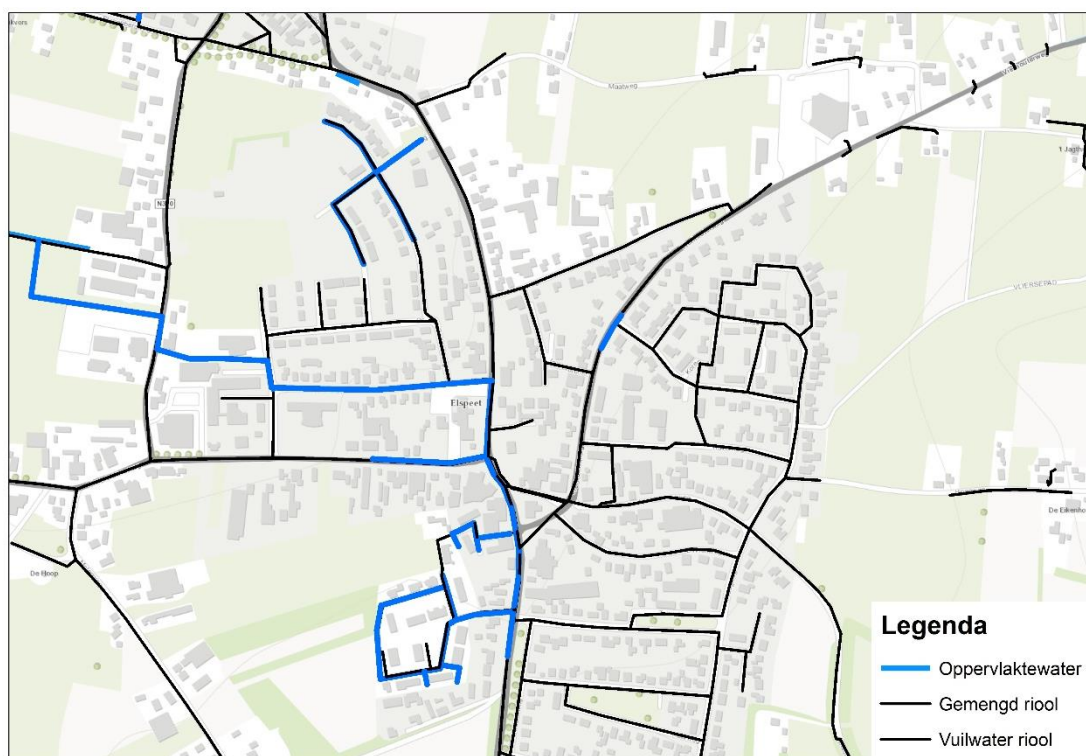
- Het model gaat ervan uit dat al het afstromende hemelwater in het riool terecht komt. Vervolgens wordt berekend waar het riool over onvoldoende afvoercapaciteit beschikt. Het model houdt er geen rekening mee dat een deel van het water niet, of elders, in het riool terecht komt doordat het riool al geheel gevuld is.
- Het model betreft alleen de rioolstelsels. Eventuele beperkingen van het ontvangende oppervlaktewatersysteem (krappe sloten, kleine duikers, te hoge buitenwaterstanden) worden niet meegenomen.

1D/1D-methode riolering en oppervlaktewater

Bij een 1D/1D-methode wordt een combinatie gemaakt van een 1D-methode voor riolering en het oppervlaktewater, oftewel de buizen van het rioolstelsel en de profielen van de watergangen. Het ondergrondse rioolmodel is verbonden met het oppervlaktewatermodel. In figuur 4-3 is een voorbeeld te zien van een 1D/1D-model analyse (Steentjes, 2014).

Ook voor het oppervlaktewatermodel wordt de belasting bepaald, bijvoorbeeld voor de afstroming vanaf onbebouwd gebied, kwel/infiltratie en dergelijke.

Met het gecombineerde riool- en oppervlaktewatermodel is het mogelijk om het verwachte waterpeil (of de stijghoogte) in het riool en oppervlaktewatersysteem te berekenen bij verschillende buien en op verschillende momenten van de bui. Bovendien wordt inzicht verkregen in componenten als debiet en stroomsnelheid.



Figuur 4-3 Model van riool- en oppervlaktewatersysteem uit een 1D/1D-model analyse.

De beperkingen van 1D/1D-methode riolering en oppervlaktewater zijn vergelijkbaar met de beperkingen van de 1D-methode riolering. Ook voor deze methode geldt dat niet berekend

wordt waar het water naartoe stroomt als het water op het maaiveldniveau (water op straat) komt of buiten de profielen van de watergangen komt (buiten de oevers). Ook geldt dat het model ervan uitgaat dat al het afstromende hemelwater in het gecombineerde model komt. Het model houdt er geen rekening mee dat een deel van het water niet in het riool- of oppervlaktewater terecht komt doordat de systemen al geheel gevuld zijn.

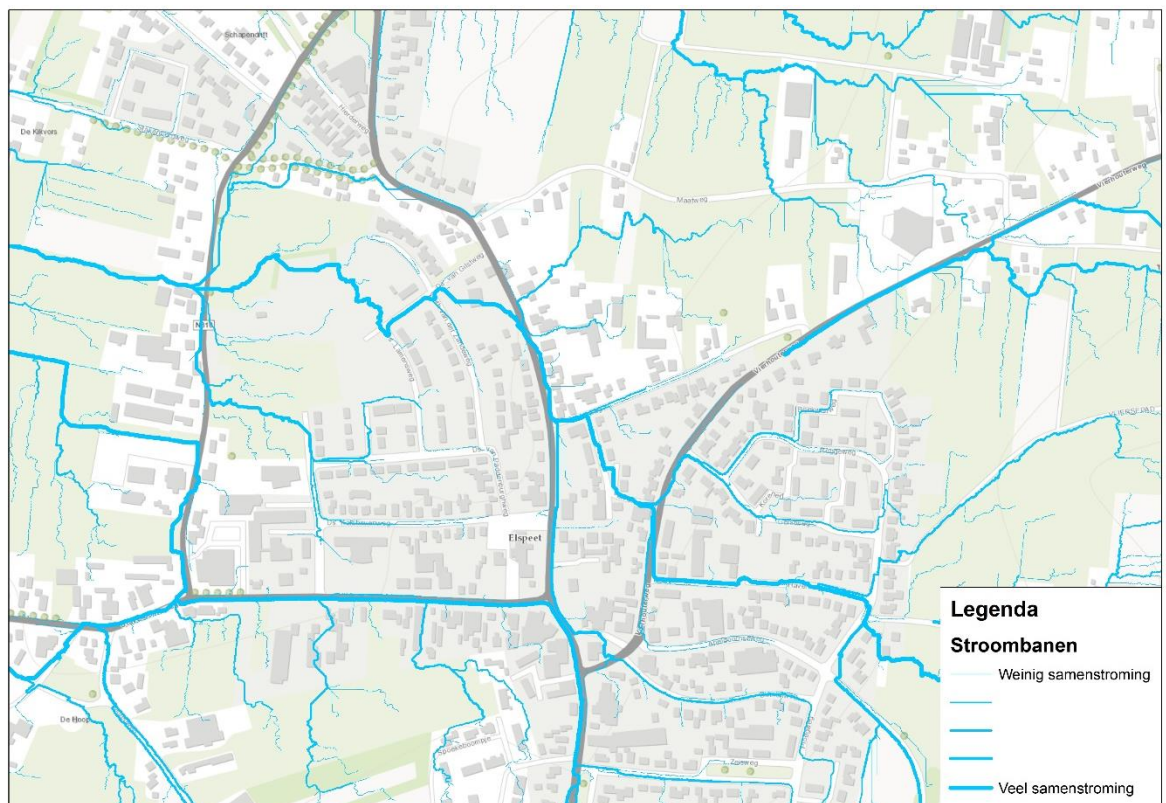
Maaiveldanalyse in GIS

Naast SOBEK wordt er door Antea Group gebruik gemaakt van ArcGIS. Met behulp van ArcGIS wordt van een gebied een maaiveldanalyse gemaakt op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Door middel van de maaiveldhoogteanalyse wordt vervolgens bepaald waar water naartoe stroomt als het regent. Er wordt geen rekening gehouden met afstroming via het riolsysteem of oppervlaktewatersysteem.

Met de analyse worden twee verschillende kaarten gemaakt, namelijk:

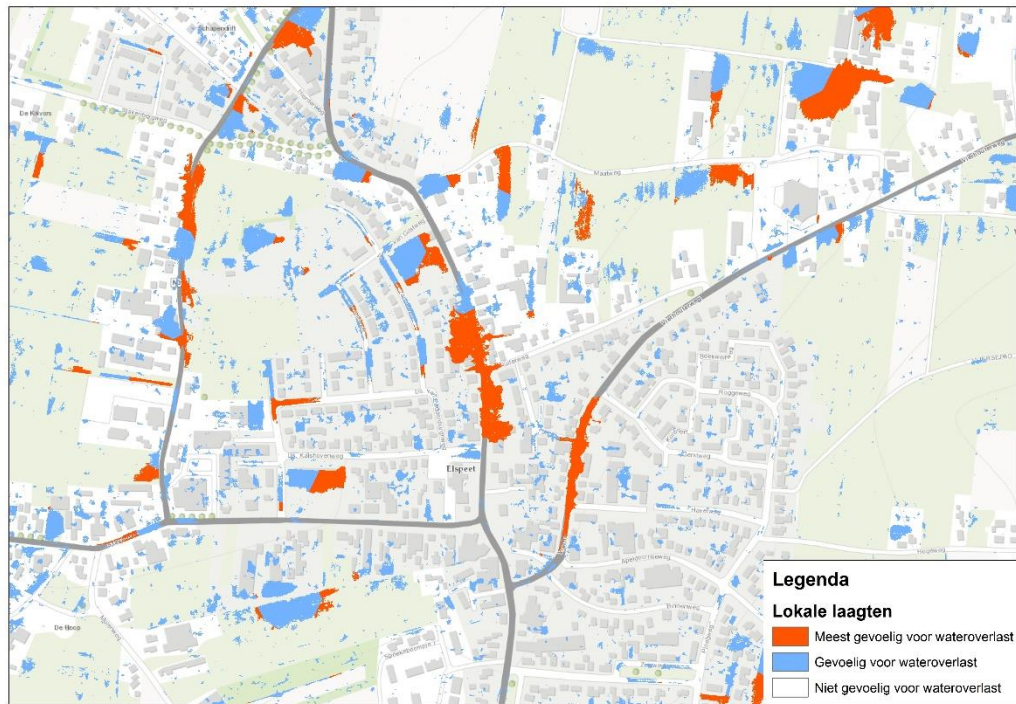
- een stroombanenkaart (figuur 4-4);
- een lokale laagten kaart (figuur 4-5).

De stroombanenkaart wordt gemaakt door een simulatie te laten lopen in ArcGIS waarin een virtuele bak water op een hoogtekaart terecht komt. Vervolgens wordt gekeken waar de meeste waterstromen zich verzamelen. Daar waar waterstromen bij elkaar komen ontstaan stroombanen. Hoe dikker de stroombaan hoe meer water er bij elkaar komt.



Figuur 4-4 Voorbeeld van een stroombanenkaart.

Daarnaast kan er met ArcGIS een kaart gemaakt worden van de lokale laagten zoals te zien is in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.5**. Dit zijn de laagste locaties op de kaart waar water zich mogelijk kan ophopen met als gevolg wateroverlast.



Figuur 4-5 Voorbeeld van een lokale laagten kaart.

Door inzichten uit de 1D-riool (en/of oppervlaktewater) analyse te combineren met de inzichten uit de maaiveldanalyse wordt beter inzicht verkregen in mogelijke probleemgebieden. Bovendien ontstaat er een beter beeld van de mogelijke oplossingsrichtingen. De stroombanen ondersteunen de adviseur bij het maken van keuzes en het opstellen van adviezen op het gebied van riool- en water (Steentjes, 2014)

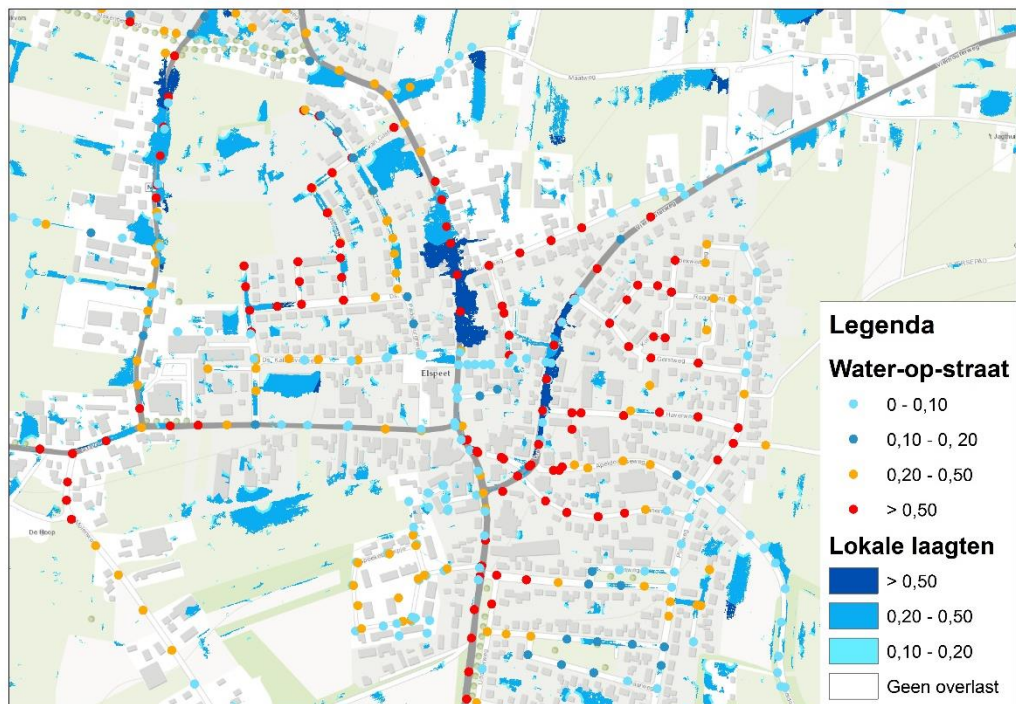
Beperkingen van een maaiveldanalyse:

- De maaiveldanalyse is een rekenmethode om te bepalen waar water naartoe zal stromen. In de huidige analysemethode is het (nog) niet mogelijk om te bepalen hoeveel water zich verzamelt bij een bepaalde neerslaggebeurtenis. Er wordt enkel voorspeld waar veel water zich zou verzamelen op basis van de dikte van de stroombaan. Dit is anders dan SOBEK, waar met daadwerkelijke waterstromen wordt gerekend.
- De nauwkeurigheid van de gebruikte hoogtekarte (AHN2) is 5 cm voor een raster van 0,5 x 0,5 m. Een verkeersdrempel of een verlaagde stoeprand kan gemist worden in de kaart, waardoor de berekende stroombanen niet langer representatief zijn.

1D/2D-methode riolering en oppervlaktewater (combinatie 1D/1D methode en maaiveldanalyse)

De 1D/2D-methode is een combinatie van de 1D/1D-methoden en een maaiveldanalyse in één rekenmodel in SOBEK. De riolering en het oppervlaktewatersysteem worden op gelijke wijze als in de 1D-methode gemodelleerd. Een voorbeeld van de resultaten van een 1D/2D-model is te zien in figuur 4-6.

Het bovengrondse maaiveldmodel bestaat uit een raster, waarbij van elk rastervlak een hoogte wordt bepaald. Hiervoor is een hoogte kaart beschikbaar, het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).



Figuur 4-6 Voorbeeld van resultaten van een 1D/2D-methode.

Het bovengrondse maaiveldmodel en het 1D/1D-model worden gekoppeld ter plaatse van de rekenpunten (putten riolering en knopen in het oppervlaktewater). Ter plaatse van deze putten en knopen is uitwisseling van water tussen het maaiveldmodel en het 1D/1D-model mogelijk. Dit betekent dat in deze methode de 1D en 2D aspecten tegelijkertijd worden gesimuleerd en doorberekend. Duidelijk wordt waar het water naartoe stroomt op het moment dat het 1D-systeem over onvoldoende afvoercapaciteit beschikt en waar hemelwater daadwerkelijk in of uit het riool- en oppervlaktewatersysteem kan komen.

Oorzaken dat het hemelwater niet in het systeem kan komen zijn:

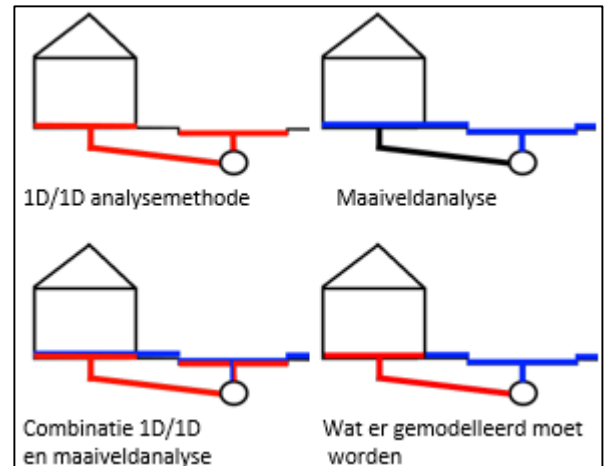
1. Het systeem is al geheel gevuld;
2. Het maaiveld stroomt niet af richting deze voorzieningen, maar het water verzamelt zich ter plaatse van lokale laagtes.

De combinatie van de 1D/1D-methode met de maaiveldanalyse geeft beter inzicht in het functioneren van het riool- en oppervlaktewatersysteem op momenten dat deze over onvoldoende afvoercapaciteit beschikt. Het antwoord op de vraag waar het water vervolgens naartoe gaat, wordt verkregen met deze gecombineerde methode. Ook ontstaat er beter inzicht

of het water überhaupt in het riool- of oppervlaktewatersysteem terecht komt op momenten dat het regent.

De methode die Antea Group momenteel hanteert is echter nog niet volledig doorontwikkeld en heeft verschillende beperkingen:

- In het model wordt geen rekening gehouden met verschillen in afstromingsnelheid. Dit betekent dat in het huidige model het water over wegen even snel stroomt als over groen en dergelijke.
- Door het combineren van het 1D/1D-model en het maaiveldmodel ontstaan er dubbelingen in het verhard oppervlak waarmee gerekend wordt. Deze beperking is visueel uitgelegd in figuur 4-7. In dit figuur wordt met de rode lijnen het verhard oppervlak waarmee er in de 1D/1D-methode wordt gerekend weergegeven. De blauwe lijnen laten zien wat wordt meegenomen in een maaiveldanalyse. Hierin is te zien dat door het combineren van de twee modellen het oppervlak van de huizen en wegen dubbel wordt gerekend.
- Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen de infiltratie- en verdampingscoëfficiënten van verschillende typen oppervlak (bijvoorbeeld weiland, bos, akker).



Figuur 4-7 Weergave van het probleem van dubbel oppervlak bij het combineren van de 1D/1Dmethode en een maaiveld.

4.2 Programma's / rekenmethoden bij andere bedrijven

Andere advies- en ingenieursbureau maken ook berekeningen om riool- en watersystemen te ontwerpen en te toetsen. Hieronder volgt een aantal programma's die op dit moment op de markt beschikbaar zijn voor het maken van deze berekeningen.

De beschrijvingen van de programma's zijn gebaseerd op deskresearch en interviews. Hiervoor is gebruik gemaakt van informatie rechtstreeks van de uitgever van de programma's of, indien mogelijk, interviews met gebruikers. In bijlage 2 staat het interview met

De verkregen informatie is gebruikt bij het bepalen van de verbetermogelijkheden voor de huidige analysemethoden die Antea Group hanteert.

WODAN123 van Grontmij

WODAN123 is het programma dat Grontmij gebruikt bij het maken van analyses op het gebied van wateroverlast. Wodan123 kan de afvoercapaciteit van het rioolstelsel controleren door verschillende extreme buien te simuleren in het 1D-model. Ook kan het programma de stroomrichtingen op straat simuleren door middel van een hoogtekaart, net als de maaiveldanalyse, en een koppeling maken met het 1D-model (Grontmij, 2015).

Een mogelijkheid die WODAN123 heeft is het presenteren van de resultaten in 3D. Grontmij heeft deze functie slechts enkele keren toegepast en is vooralsnog niet in staat de methode op een snelle manier te reproduceren.

WOLK van Tauw

WOLK staat voor WaterOverlast-LandschapsKaart en is het programma dat TAUW gebruikt voor het maken van overstromingsanalyses. WOLK is gericht op het maken van 1D-maaiveldanalyses. Het programma maakt gebruik van de AHN of AHN2 en de topografische ondergrond van het gebied. Met deze gegevens worden er in ArcGIS kaarten gemaakt van het maaiveldverloop, de depressies (lokale laagten) en de stroombanen.

Naast deze technische GIS-analyse verzamelt Tauw gegevens omtrent klachten over wateroverlast van burgers, zodat meer inzicht ontstaat in de overlastlocaties en de mate van overlast. Op basis van deze combinatie van modelmatige- en praktijkgegevens geeft WOLK meer inzicht in de wateroverlastlocaties (Tauw, 2015). Dit inzicht levert een bijdrage aan het zoeken naar en opstellen van de juiste oplossing.

Delft3D van Deltares

Delft3D is een modelsimulatiesysteem van dezelfde ontwikkelaars als van SOBEK. Het programma werkt met verschillende modules zoals 2D- en 3D-stromingsmodules. Delft3D kan de interactie van water, sediment, ecologie en waterkwaliteit simuleren in tijd en ruimte. Het programma wordt meestal gebruikt voor het modelleren van natuurlijke omgevingen zoals kust- en riviergebieden, maar het is in de toekomst ook geschikt voor meer kunstmatige omgevingen zoals stedelijk gebied. De rioolmodule is binnen Delft3D vooralsnog niet ontwikkeld. Binnen Delft3D is de functionaliteit aanwezig voor het maken van animaties en koppeling met een GIS-omgevingen (Deltares Systems, 2015).

3Di van Stichting 3Di

3Di gebiedsmodellen kunnen waterstromen en de effecten van overstromingen, hevige neerslag en droogte in kaart brengen. Dit kan zowel voor de huidige situatie, bijvoorbeeld tijdens hevige regenbuien, alsook voor klimaatscenario's in stedelijke en landelijke omgeving. Met name in landelijk gebied is 3Di een zeer krachtige rekenmotor om het risico op wateroverlast te berekenen.

De sterke punten van 3Di zijn de presentatiewijze in 3D en de interactie tussen het model en de gebruiker. De gebruiker, bijvoorbeeld een beleidsbepaler van de gemeente, kan het model aanpassen en vervolgens binnen korte tijd de resultaten van de aanpassing zien. Deze laatste mogelijkheid is mogelijk gemaakt door de krachtige rekenmotor in combinatie met slimme logaritmen (3Di Waterbeheer, 2015).

4.3 Vergelijk programma's

In tabel 4-8 hieronder staat een samenvatting met de verschillende analysemethoden en programma's zoals deze in de vorige paragrafen zijn beschreven. De functionaliteiten zijn bovenin de tabel weergegeven. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen de modellen die separaat rekenen, modellen die integraal rekenen en de presentatiemogelijkheden. Met een X wordt per analysemethode of programma aangegeven over welke functionaliteiten deze beschikt. De analysemethoden (links) is in een schema weergegeven.

	Separate modellen			Integrale modellen			Presentatie		
	Riool	Opp water	Maaiveld-analyse	Opp+Maaiveld	Riool+Opp water	Riool+Oppwater +Maaiveld	3D presenteren	Animaties	3D animaties
Antea Group 1D	X	X							
Antea Group 1D/1D					X				
Antea Group 2D			X						
Antea Group 1D/2D	X	X	X	X	X	X			
WODAN123	X		X		X		X		
WOLK			X				X		
Delft3D		X	X	X			X	X	X
3Di		X	X	X			X	X	X

Tabel 4-8 Overzicht van de functionaliteiten van de analysemethoden.

Uit de vergelijking met de overige programma's en methoden van andere partijen en de vergelijking tussen de verschillende methoden die Antea Group hanteert, blijkt dat Antea Group al over een goede basis voor riool-, water-, en maaiveldberekeningen beschikt evenals de combinaties hiervan. Er zijn echter programma's die over functionaliteiten beschikken die Antea Group nog niet toepast. Een kansrijk voorbeeld hiervan is het optimaliseren van de presentatiemethode in 3D en als animatie.

4.4 Keuze te verbeteren methode en referentie methode

Op basis van de informatie uit de vorige paragrafen van dit hoofdstuk is een keuze gemaakt welke methode in dit onderzoek is gebruikt om te verbeteren en welke methode is gebruikt als referentiemethode. Een overzicht van de gekozen methoden is te zien in tabel 4-9.

	Separate modellen			Integrale modellen			Presentatie		
	Riool	Opp water	Maaiveld-analyse	Opp+ Maaiveld	Riool+Opp water	Riool+Oppwater +Maaiveld	3D presenteren	Animaties	3D animaties
Referentie methode 1D/1D + 2D (niet integraal)			X		X				
Te verbeteren methode: 1D/2D	X	X	X	X	X	X			

Tabel 4-9 Overzicht van de functionaliteiten van de gekozen methoden.

Keuze voor te verbeteren / nieuwe analysemethode

De methode die in dit afstudeeronderzoek wordt genomen als vertrekpunt voor verbetering is de 1D/2D-methode riolering en oppervlaktewater. Deze methode heeft de meeste potentie om wateroverlast in stedelijk gebied in detail te berekenen, door de combinatie van het riool- en oppervlaktewaterstelsel en de koppeling met het raster van het maaiveld. Bovendien zijn er nog mogelijkheden om deze methode te verbeteren en te optimaliseren.

Zoals in paragraaf 4.2 beschreven heeft deze methode nog diverse beperkingen:

1. In het model wordt geen rekening gehouden met verschillen in afstromingsnelheid;
2. Er ontstaan dubbelingen tussen de afstroming van het 1D/1D-model en het maaiveldmodel;
3. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen de infiltratie- en verdampingscoëfficiënten van verschillende typen oppervlak.

Bovendien wordt in de huidige analysemethode gewerkt met een hoogteraster (AHN) met een resolutie die te laag is voor stedelijk gebruik.

De methode biedt, op basis van de uitgevoerde verkenningen, mogelijkheden om de huidige wijze van presenteren te verbeteren, te weten:

4. Het presenteren van de resultaten in 3D;
5. Het presenteren van de resultaten door het gebruiken van een tijdanimatie.

Dit zijn mogelijkheden waar andere programma's in de markt ook gebruik van maken.

Keuze voor referentiemethode

Als referentiemethode is de 1D/1D-methode inclusief de separate maaiveldanalyse gekozen. De 1D/1D-methode is een methode die Antea Group veelvuldig toepast. Dit betekent dat er ook een referentiecasi beschikbaar is. In dit geval de wateroverlaststudie Haaften (zie hoofdstuk 6).

5 Verbetermogelijkheden voor de huidige 1D/2D analysemethode

Voor dit onderzoek zijn verbetermogelijkheden opgesteld op basis van de hiervoor beschreven beperkingen van de huidige 1D/2D analysemethode en de mogelijkheden van andere programma's in de markt. De verbetermogelijkheden zijn in overleg met de opdrachtgever, Antea Group, gekozen op basis van belang en haalbaarheid binnen dit onderzoek. In de volgende paragrafen zijn de verbetermogelijkheden toegelicht en uitgewerkt. Drie van de verbetermogelijkheden betreffen modelmatige verbeteringen, twee verbetermogelijkheden zijn gericht op het verbeteren van de presentatiewijze van de resultaten.

Bij een aantal van de verbetermogelijkheden is gebruik gemaakt van Modelbuilder in ArcGIS. Deze modellen staan weergegeven in bijlage 3. Het voordeel van het werken met Modelbuilder is dat in de toekomst de uitgevoerde werkstappen eenvoudig en sneller kunnen worden herhaald. Dit leidt tot tijdwinst en maakt werkstappen reproduceerbaar.

5.1 Modelmatige verbeteringen

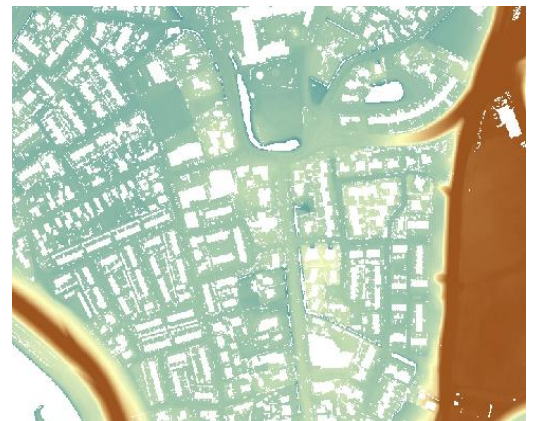
1. AHN2 gebruiken in plaats van AHN1

Antea Group maakt in de huidige 1D/2D methode gebruik van het AHN1. Het AHN1 heeft een raster met een resolutie van 5 bij 5 meter. Deze resolutie is onvoldoende om een meerwaarde te bieden aan de analyses in stedelijk gebied. Het AHN2 heeft een raster met een resolutie van 0,5 bij 0,5 meter. Dit raster is 100 keer gedetailleerder dan het AHN1 en hiermee geschikt voor analyses in stedelijk gebied. Naast de resolutie is ook de nauwkeurigheid van de hoogtecomponent van het AHN2 groter. Bij het AHN2 wordt de hoogte met 3 tot 5 centimeter nauwkeurig gemeten.

Net zoals met het AHN1 moet het AHN2 worden bewerkt voordat deze kan worden gebruikt als hoogtekartaal in SOBEK. Het maaiveldniveau onder bomen, overkappingen en dergelijke kunnen tijdens het inmeten van het AHN niet worden bepaald waardoor er gaten in de kaart ontstaan. Deze gaten in het AHN zijn gevuld op basis van hoogtes uit de omgeving, hiervoor had Antea Group al een tool in Modelbuilder.

Doordat de resolutie van het AHN2 vele malen hoger is dan die van het AHN1 zijn er meer rastercellen waarmee SOBEK moet rekenen. SOBEK heeft echter beperkingen op de reken capaciteit, waardoor het rekenen met meer dan 1,2 miljoen rastercellen niet mogelijk is. Dit komt overeen met een raster van het AHN2 van circa 30 hectare.

Om onder het maximaal aantal rastercellen te blijven kan de resolutie van het raster teruggebracht worden naar bijvoorbeeld 1 bij 1 meter. Op dat moment kan een hoogtekartaal van circa 120 hectare worden toegepast.



Figuur 5-1 Het ruwe AHN2.



Figuur 5-2 De bewerkte AHN2.

2. Voorkomen van dubbel rekenen van verhard oppervlak

Door het samenvoegen van de 1D/1D- en de maaiveldanalysemethode ontstaan er dubbelingen in de hoeveelheid verhard oppervlak waarmee gerekend wordt. Een uitgebreide uitleg hiervan staat in paragraaf 4.1 bij de uitleg over de huidige 1D/2D analysemethode.

Om dit te corrigeren is een methode bedacht om de neerslag niet dubbel te rekenen maar wel de gebouwen in het model te houden. Neerslag dat op de hoogtekaart valt wordt afgevangen door een fictieve muur rondom de gebouwen te plaatsen. Hierbij is gebruik gemaakt van ArcGIS. De omtrek van de gebouwen is gebaseerd op de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG), te zien in figuur 5-4.

Om de gebouwen is een fictieve buffer gemaakt van 1 meter breed. Deze buffer krijgt een standaardhoogte van 20 meter. Vervolgens is deze buffer samengevoegd met het AHN2-raster, zodat in het AHN2-raster “dammen” ontstaan ter plaatse van de huizen. Het water dat in het model binnen deze dammen valt blijft geborgen en wordt niet meer via het oppervlak afgevoerd naar het riool of het oppervlaktewater (figuur 5-5). Op deze manier wordt het water dat in het raster valt op de gebouwen niet meegenomen.

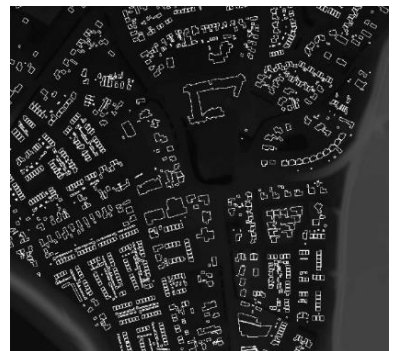
Doordat de fictieve dammen zijn toegevoegd wordt de invloed van huizen op de bovengrondse afstroming gehandhaafd. Immers, gebouwen kunnen hierin belemmerend werken en het water een andere kant op laten stromen.



Figuur 5-3 De bewerkte AHN2.



Figuur 5-4 Huizen uit het Basisregistraties Adressen en Gebouwen.

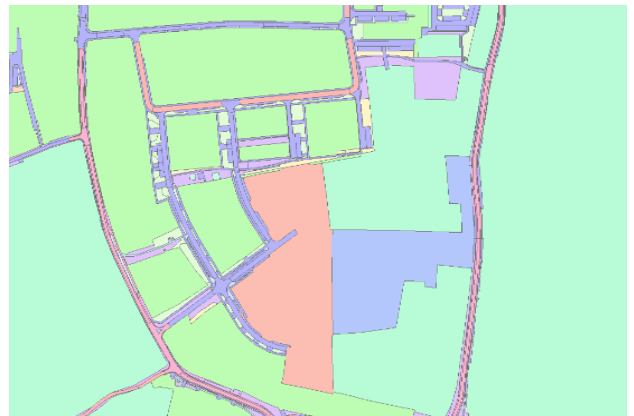


Figuur 5-5 Het AHN2 met de omtrek van huizen erin verwerkt.

3. Bovengrondse afstroming in SOBEK baseren op het type oppervlak.

Water stroomt niet met dezelfde snelheid over alle oppervlakken. Over verharde wegen zal het water sneller stromen dan over een grasveld omdat het oppervlak veel gladder is. In de huidige 1D/2D methode is er geen onderscheid gemaakt in afstromingssnelheid.

In SOBEK bestaat de mogelijkheid om onderscheid in de afstromingssnelheid te maken. Hiervoor is naast de hoogtekaart nog een apart raster gemaakt met daarop de Manning waarde. De Manning waarde is een weerstandwaarde, elk type ondergrond heeft zijn eigenwaarde. De Manning waarde bepaalt in combinatie met het hoogteverschil de snelheid waarmee water over het maaiveld stroomt.



Figuur 5-6 Raster van Bestand Bodemgebruik 2010 en gegevens van de gemeente.



Om een raster met onderscheid in Manning waarde te maken is gebruik gemaakt van het Bestand Bodemgebruik 2010 (BBG) en gegevens van de gemeente, te zien in figuur 5-6. Elke kleur in deze figuur staat voor een terreintype zoals bosbeplanting of dicht asfaltbeton. Er wordt met deze gegevens weergegeven wat weg, bebouwing en groen is. De BBG is gemaakt door het Centraal Bureau voor de Statistiek en het Kadaster en geeft een ruwe weergave van het bodemgebruik. De gegevens van de gemeente zijn specifieker. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het type weg, zoals tegels of asfalt, en het type groen, zoals gras en bos.

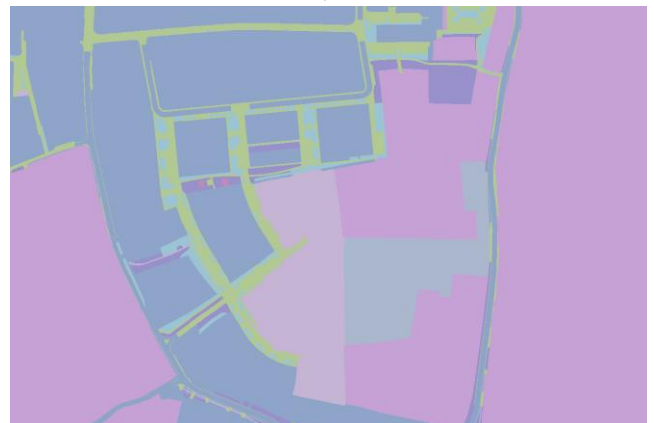
Terrein	Manning	Beschrijving
Bepanting	0,05	waarde van struiken
Bosplantsoen	0,05	waarde bomen, geen struiken
Cementbeton	0,015	waarde beton
Dicht asfaltbeton	0,016	waarde asfalt
Elementen	0,015	waarde steen betrating
Gras	0,03	waarde gras
Grind	0,025	waarde grind
Haag	0,05	waarde van struiken

Figuur 5-7 Tabel voor het omzetten van het type bodemgebruik naar een Manning waarde.



Op basis van het bodemgebruik is de Manning waarde bepaald. Deze Manning waarde is gekozen op basis van gegevens uit "Open-Channel Hydraulics" van Ven Te Chow (Chow, 1959), zie figuur 5-7.

Het raster met de nieuwe Manning waarde kan samen met het AHN2-raster in SOBEK worden ingevoerd. Dit raster is te zien in figuur 5-8. Nu geven de verschillende kleuren geen terreintype meer aan maar een Manning waarde.



Figuur 5-8 Raster met Manning waarde.

5.2 Verbeteren van de presentatiewijze

4. Het presenteren van de resultaten in 3D

Het presenteren in 3D maakt het mogelijk om mensen die weinig kennis hebben van riolering- en watermodellerings (zoals burgers en bestuurders) eenvoudig inzicht te geven in de gevolgen van een extreme regenbui. Dit kan een meerwaarde bieden aan het komen tot oplossingen en het toetsen van de betrouwbaarheid van de modelresultaten.

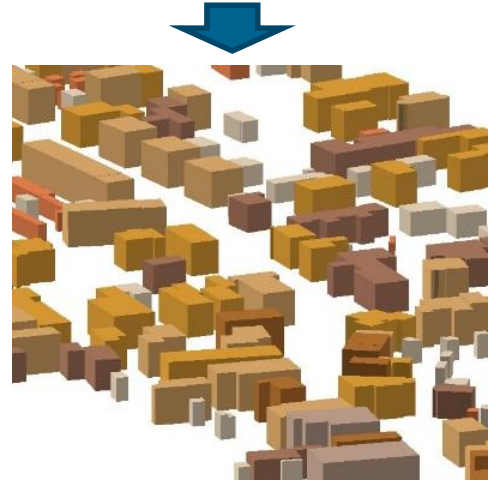
Voor het presenteren van de resultaten in 3D is er gebruik gemaakt van ArcScene. De stappen voor het maken van de 3D omgeving zijn te zien in de figuren rechts. Allereerst zijn de vlakken van de huizen, uit figuur 5-9, over het ruwe AHN gelegd. Op basis van de hoogte van elke cel in het AHN is een gemiddelde hoogtewaarde gegeven aan individuele huizen. Op basis hiervan zijn de gegevens in 3D weergegeven zoals te zien is in figuur 5-10.

Daarna zijn de wegen en watergangen toegevoegd, deze worden direct boven op het AHN2 gelegd. Door de wegen een halve meter hoger te leggen dan het AHN2 komen deze beter naar voren komen in de 3D omgeving.

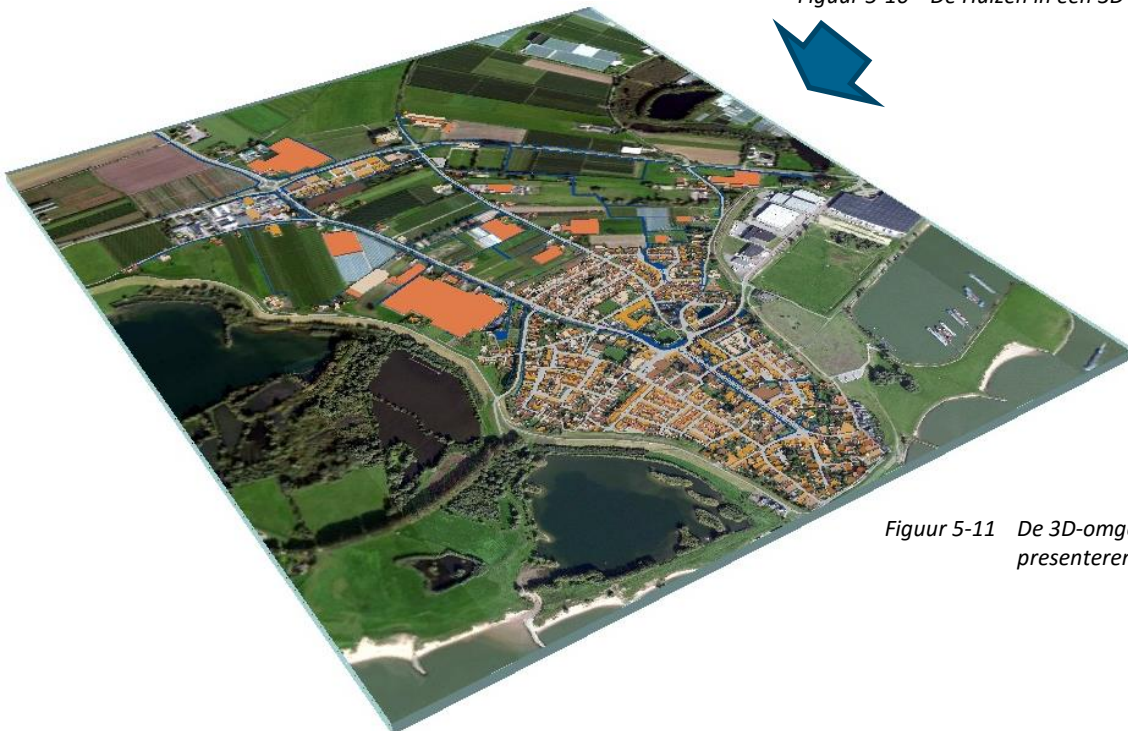
Door het toevoegen van de ondergrondkaart wordt de 3D omgeving herkenbaar. Hiervoor kunnen verschillende kaarten worden gebruikt zoals een bodemkaart of een luchtfoto. In figuur 5-11 is gekozen voor een luchtfoto. De hoogtekarte wordt gebruikt om de weergave uit de ondergrondkaart op de goede hoogte weer te geven.



Figuur 5-9 Huizen uit het Basisregistraties Adressen en Gebouwen.



Figuur 5-10 De Huizen in een 3D-omgeving.



Figuur 5-11 De 3D-omgeving voor het presenteren van de resultaten.

5. Het presenteren van de resultaten in een tijdanimatie

Een andere toevoeging aan het presenteren van de resultaten is het werken met animaties. Door neerslag in een 3D-omgeving en in de tijd weer te geven ontstaat beter inzicht in de verspreiding van water gedurende een regenbui. Dit extra inzicht kan een meerwaarde bieden om te komen tot oplossingen. Bovendien kan dit leiden tot een betere bewustwording van de kans op wateroverlast als gevolg van hevige neerslag.

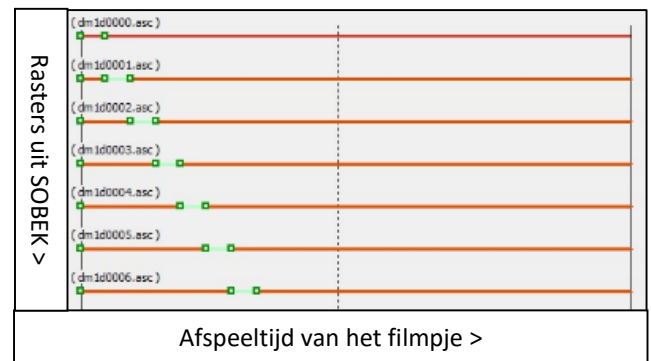
Ook voor het maken van de animaties is gebruik gemaakt van het programma ArcScene. SOBEK heeft de optie om van de resultaten van elke rekentijdstap een raster te maken. Op dit raster is te zien hoeveel water, en waar, boven het maaiveld aanwezig is. In figuur 5-12 en in de film (figuur 5-14) zijn de eerste 30 minuten van een bui gesimuleerd. Voor elke minuut is er door SOBEK een raster gemaakt op basis van 1 raster per minuut.



Figuur 5-12 3D omgeving met raster van wateroverlast.



Met deze rasters kan een animatie worden gemaakt. Hiervoor is gebruik gemaakt van de in figuur 5-13 weergegeven Animation Manager. De rode lijn in het figuur geeft de gehele afspeeltijd weer. De groene lijnen geven weer wanneer een raster, en dus een momentopname van de resultaten, wordt weergegeven. Met behulp van de Animation Manager kunnen de rasters achter elkaar worden afgespeeld. Hierdoor is per tijdstap te zien waar en hoeveel water er op het maaiveld aanwezig is.



Figuur 5-13 Het instellen van de animaties van de rasters.



<https://youtu.be/FH26g0N7JXw>

Figuur 5-14 Een QR-code en link om de 3D omgeving en animaties te bekijken.

Het eindresultaat is niet weer te geven in dit verslag. In figuur 5-14 staat een QR-code en een link naar YouTube om een filmpje van het eindresultaat te bekijken. Als er geen mogelijkheid is om de beelden op YouTube te bekijken staan in bijlage 5 van dit rapport een aantal afbeeldingen om een impressie te krijgen van het eindbeeld van de nieuwe analysemethode.

6 Resultaten wateroverlastanalyse

Na het uitwerken van de verbetermogelijkheden is gekeken hoe de resultaten van de nieuwe analysemethode opwegen tegen die van de referentiemethode. Hiervoor is gebruik gemaakt van de case Haaften.

Case Haaften

Haaften is een dorp in het zuidwesten van Gelderland in de gemeente Neerijnen.

Antea Group heeft van AVRI de opdracht gekregen om een wateroverlastanalyse te maken van het riool- en oppervlaktewatersysteem in Haaften. In figuur 6-1 is het onderzoeksgebied van deze case weergegeven.

Het doel van de opdracht is om te onderzoeken op welke locaties in Haaften er kans is op wateroverlast en wat het afvoer- en bergingstekort is van het aanwezige riool- en oppervlaktewatersysteem.

Deze opdracht is gebruikt als casus om de nieuwe analysemethode te kunnen vergelijken met de referentiemethode. De gemeente heeft hiervoor toestemming gegeven.

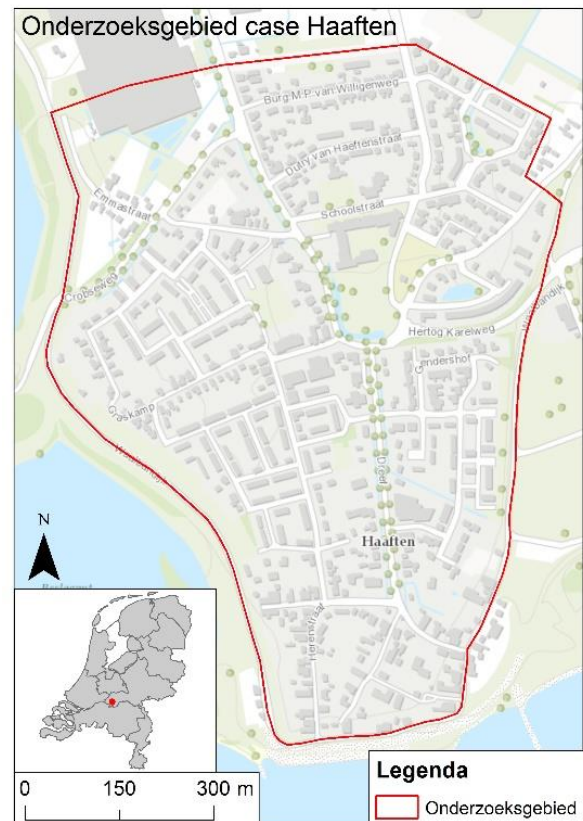
De resultaten

De wateroverlastanalyse is door Antea Group uitgevoerd met separaat de 1D/1D methode en de maaiveldanalysemethode (de referentiemethode). In het kader van dit afstudeeronderzoek is de wateroverlastanalyse uitgevoerd met de nieuwe analysemethode, de integrale 1D/2D methode met doorgevoerde verbeteringen.

De volgende berekeningsresultaten van beide methoden zijn weergegeven:

- water-op-straat: putdeksels
- water-op-straat: maaiveld
- oppervlaktewater: waterstand

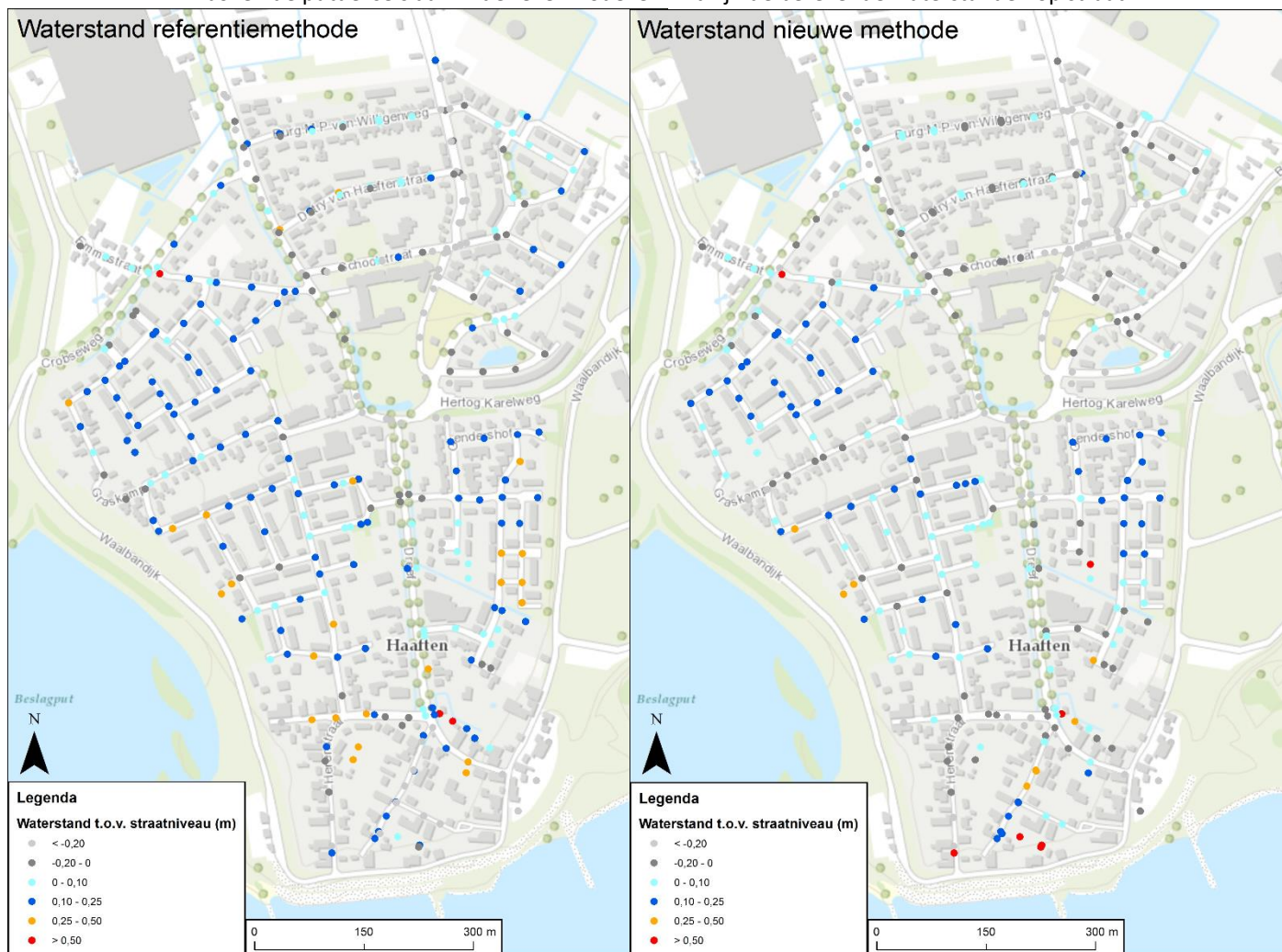
Per onderdeel zijn de resultaten naast elkaar gelegd. De kaarten zijn ook in groter formaat weergegeven in bijlage 6 om de leesbaarheid te vergroten. In dit hoofdstuk zijn alleen de feitelijke resultaten gepresenteerd. In hoofdstuk 7 worden de methoden met elkaar vergeleken.



Figuur 6-1 Onderzoeksgebied in Haaften.

6.1 Waterstand: water-op-straat

In de figuren hieronder zijn de waterstanden te zien van de referentiemethode (figuur 6-2) en de nieuwe analysemethode (figuur 6-3). De punten die op de kaart staan geven de waterstand boven de putdeksels aan in de rekenmodellen. Dit zijn de berekende waterstanden op straat.



Figuur 6-2 Waterstand: water-op-straat referentiemethode.

Figuur 6-3 Waterstand: water-op-straat nieuwe methode.

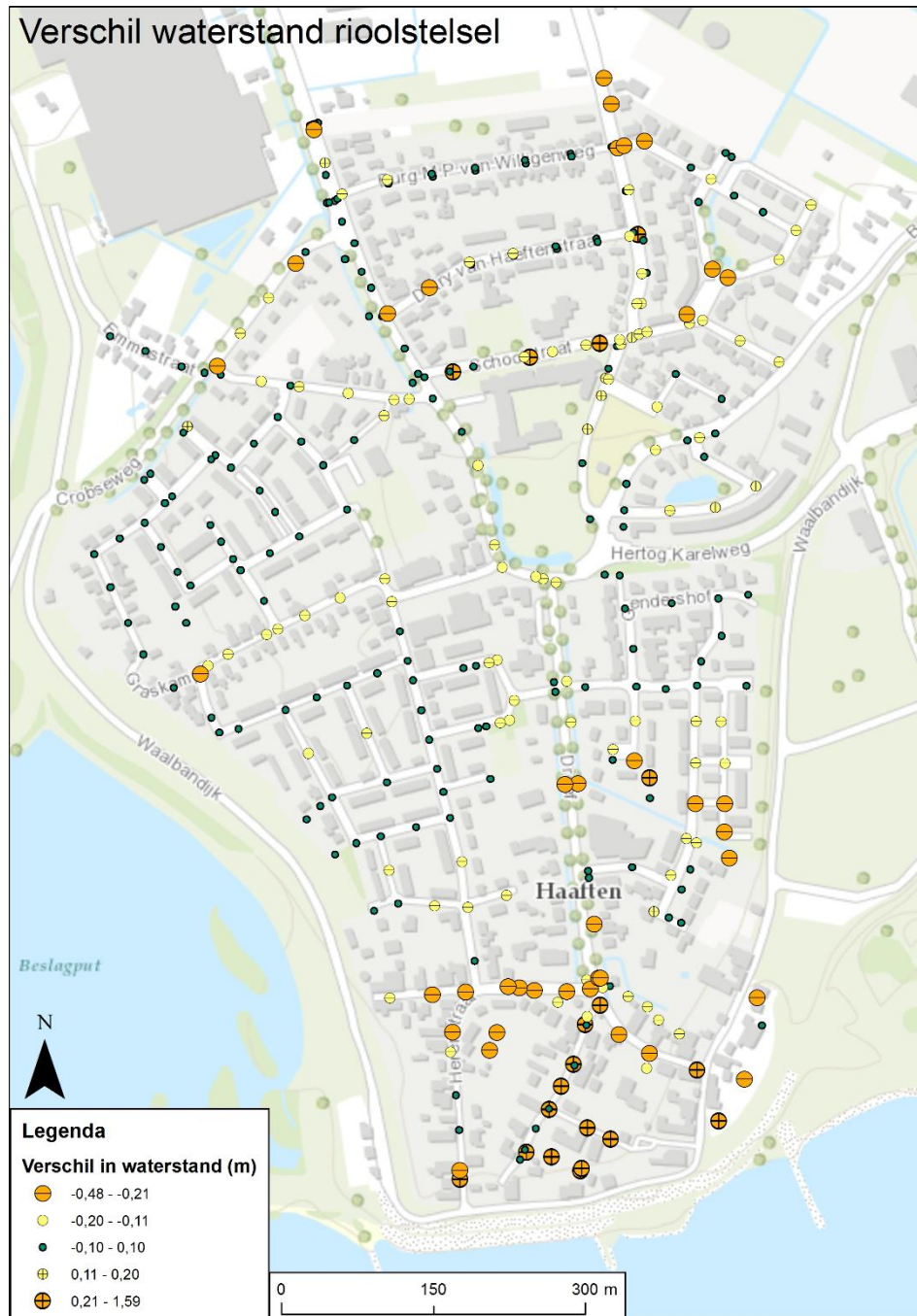
In tabel 6-4 hiernaast is het verschil tussen de twee methoden weergegeven. In de linker kolom staat aangegeven hoe groot het verschil is van de nieuwe methode ten opzichte van de referentiemethode. In de rechter kolom staan aangegeven hoe vaak dit verschil voorkomt. Op de volgende pagina staan de verschillen in een kaart weergegeven. Hierbij zijn de categorieën ' - 0,10 tot 0' en '0 tot 0,10' samengevoegd omdat dit verschil te klein is om op de kaart weer te geven.

Verskil in waterstand water-op-sstraat	Aantal verschillen
< -0,20	40
-0,20 tot -0,11	88
- 0,10 tot 0	138
0 tot 0,10	27
0,10 - 0,20	9
> 0,20	18

Tabel 6-4 Verskil in waterstand: water-op straat.

In figuur 6-5 is het verschil van deze berekeningen weergegeven. Voor het opstellen van deze kaart is de referentiemethode als basis genomen. De plussen en minnen op de kaart staan geven aan of de resultaten van de nieuwe analysemethode hoger of lager uitvallen.

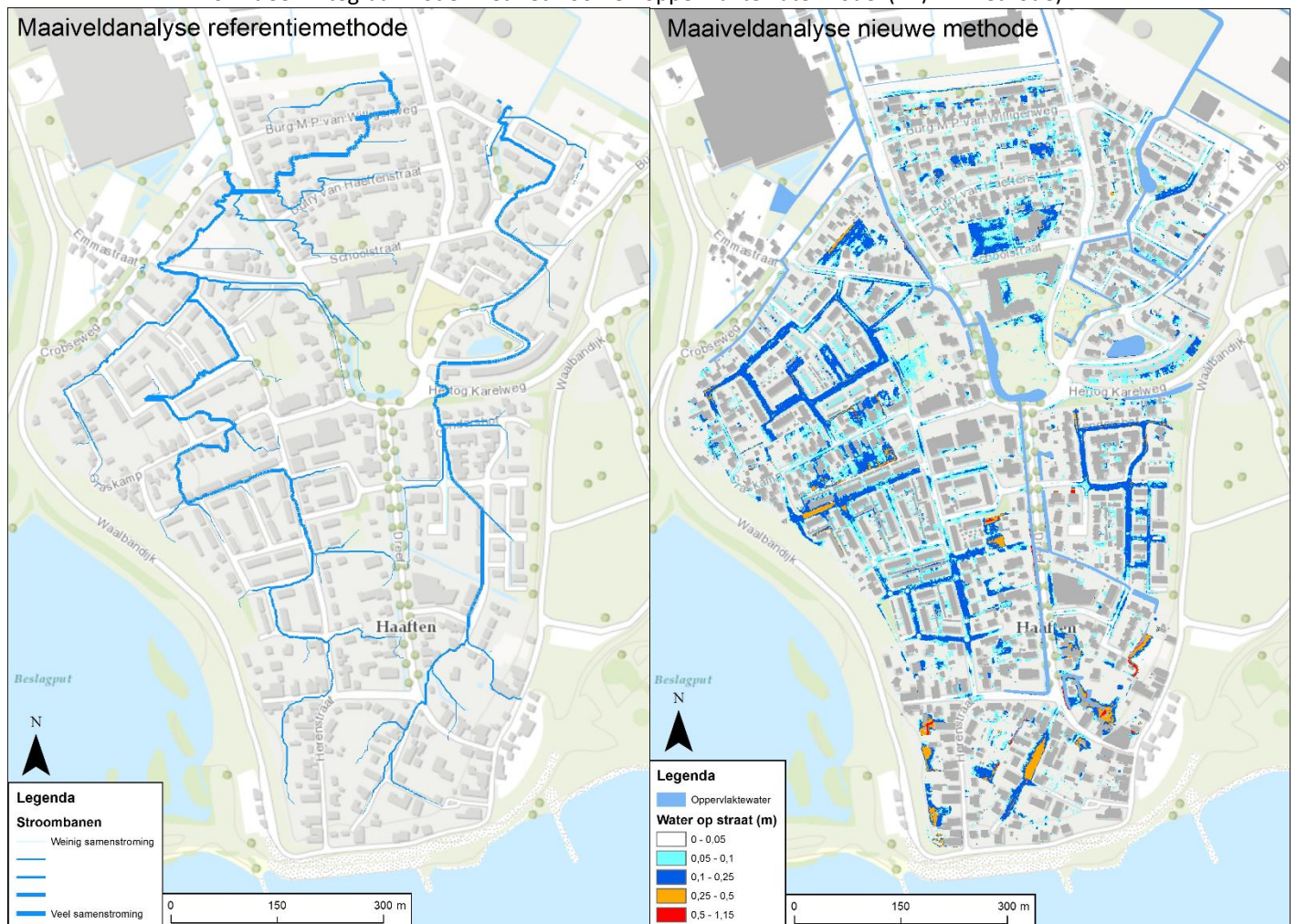
In het rioolstelsel is te zien dat er op diverse plaatsen verschillen zijn. In hoofdstuk 7 wordt er beschreven hoe dit zich vertaalt naar de betrouwbaarheid.



Figuur 6-5 Verschil waterstand: water-op-sstraat.

6.2 Maaiveld: water-op-straat

Hieronder staan de resultaten van de uitgevoerde maaiveldanalyses weergegeven. In figuur 6-6 staat de resultaten van de referentiemethode. In figuur 6-7 staan de resultaten van de nieuwe analysemethode. Bij een maaiveldanalyse wordt gekeken naar de stroming van het water over het oppervlak. In de referentiemethode is deze analyse uitgevoerd met ArcGIS met een stroombanenkaart als resultaat. Er is geen interactie met het riool- en oppervlaktewatermodel. Om een goed beeld te krijgen van mogelijke wateroverlast moeten de resultaten uit deze maaiveldanalyse gecombineerd worden met de resultaten uit het riool- en oppervlaktewatermodel (zie figuur 6-2 en 7). De maaiveldanalyse in de nieuwe analysemethode vormt een integraal model met het riool- en oppervlaktewatermodel (1D/2D methode).



Figuur 6-6
Maaiveldanalyse
referentiemethode.

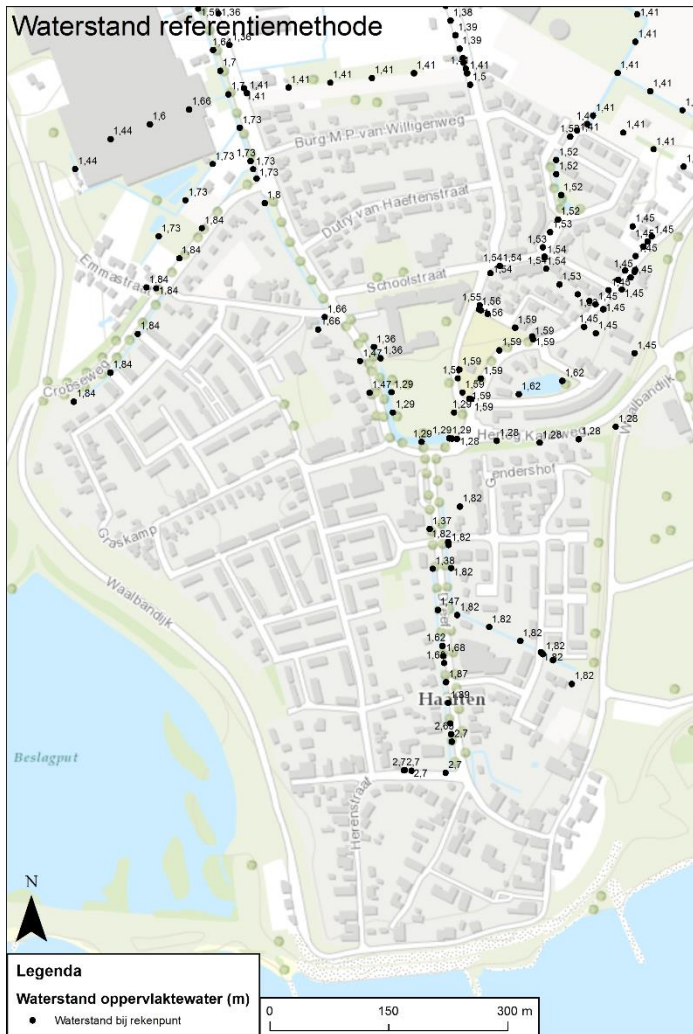
Het verschil in detail wordt gelijk zichtbaar. In de referentiemethode wordt er een globale lijn gemaakt die aangeeft welke richting het water op kan stromen en waar meerdere waterstromen zich verzamelen. Bij de nieuwe analysemethode is duidelijk te zien in welke straat er mogelijk kans is op wateroverlast. Dit komt door het integraal berekenen van de nieuwe analysemethode.

Er zijn ook overeenkomsten te zien tussen de twee methoden. De stroombanen die met de referentiemethode zijn berekend komen grotendeels overeen met de gebieden in de nieuwe analysemethode. Dit geeft aan dat, ondanks de verschillen in detailniveau, de referentiemethode een goed beeld kan geven van waar de problematiek zicht kan voordoen.

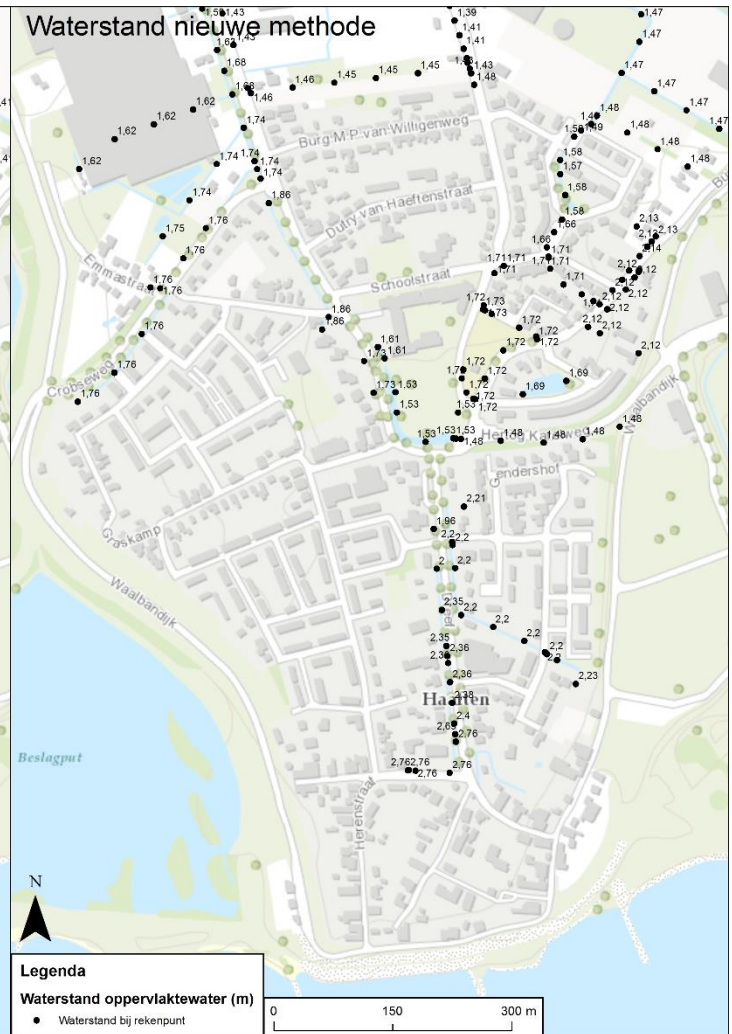
Figuur 6-7
Maaiveldanalyse
nieuwe methode.

6.3 Waterstand: Oppervlaktewater

In de figuren hieronder zijn de waterstanden te zien van de referentiemethode (figuur 6-8) en de nieuwe analysemethode (figuur 6-9). De punten die op de kaart staan zijn de rekenpunten in het model. Deze geven de berekende waterstand van het oppervlaktewater aan.



Figuur 6-8 Waterstand: oppervlaktewater referentiemethode.



Figuur 6-9 Waterstand: oppervlaktewater nieuwe methode.

In tabel 6-10 hiernaast is het verschil tussen de twee methoden weergegeven. In de linker kolom staat aangegeven hoe groot het verschil is van de nieuwe methode ten opzichte van de referentiemethode. In de rechter kolom staan aangegeven hoe vaak dit verschil voorkomt. Op de volgende pagina staan de verschillen op een kaart weergegeven. Hierbij zijn de categorieën '- 0,10 tot 0' en '0 tot 0,10' samengevoegd omdat dit verschil te klein is om op de kaart weer te geven.

Verskil in waterstand oppervlaktewater	Aantal verschillen
< -0,20	0
-0,20 tot -0,11	0
- 0,10 tot 0	13
0 tot 0,10	23
0,10 - 0,20	31
> 0,20	56

Tabel 6-10 Verschil in waterstand: oppervlaktewater.

In figuur 6-11 zijn de verschillen tussen de analysemethoden in waterstand van het oppervlaktewater weergegeven. Voor het opstellen van deze kaarten is de referentiemethode als basis genomen. De plussen en minnen die op de kaart staan geven aan of de resultaten van de nieuwe analysemethode hoger of lager uitvallen.



*Figuur 6-11
Vershil waterstand:
oppervlaktewater.*

In figuur 6-11 is te zien dat er met de nieuwe analysemethode er een hogere waterstand in het oppervlaktewater is berekend. Dit is te zien aan het grote aantal plussen op de kaart en relatief weinig minnen. Een oorzaak hiervan kan zijn dat er via het maaiveldraaster meer water tot afstroming is gekomen dan in de referentiemethode was aangegeven.

7 Vergelijking methoden

In dit hoofdstuk wordt de nieuwe analysemethode vergeleken met de referentiemethode. Dit wordt gedaan aan de hand van een viertal vergelijkingscriteria die in overleg met de opdrachtgever zijn opgesteld. De criteria zijn:

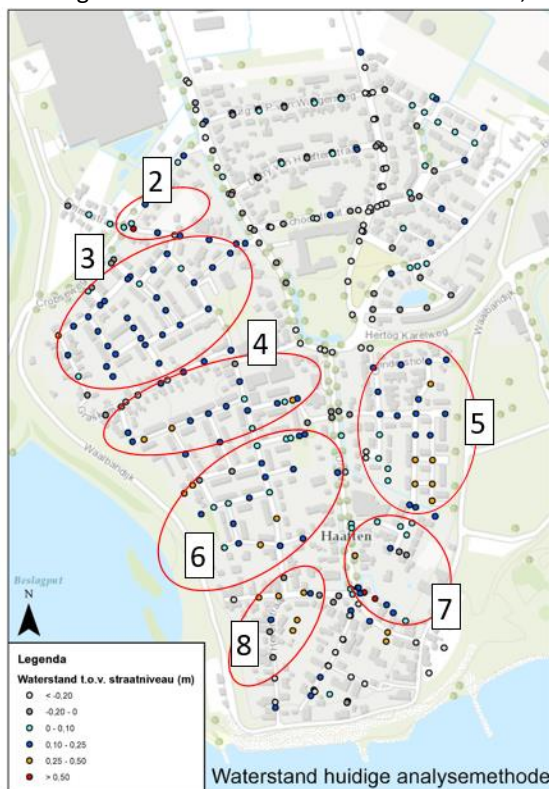
- **Betrouwbaarheid:** met het criterium 'betrouwbaarheid' wordt beoordeeld hoe accuraat de resultaten zijn door deze te vergelijken met de praktijk.
- **Werktijd:** met het criterium 'werktijd' wordt onderzocht hoeveelheid inspanning (in werkuren) nodig is om de analyse uit te voeren.
- **Rekentijd:** het criterium 'rekentijd' behandelt de tijd die de computer nodig heeft om een berekening te laten uitvoeren.
- **Visualisatie:** bij het criterium 'visualisatie' wordt de presentatiewijze beoordeeld.

Aan het einde van het hoofdstuk wordt de conclusie van de vergelijking gegeven.

7.1 Betrouwbaarheid

Validatie

Voor het beoordelen van de betrouwbaarheid van de twee analysemethoden is de accuraatheid van het voorspellen van overlastlocaties onderzocht. Deze locaties worden weergegeven in figuur 7-1 (de nieuwe analysemethode) en in figuur 7-2 (de referentiemethode). Deze locaties zijn gekozen op basis van de hoeveelheid berekend water op straat. Bij de referentiemethode is gekeken naar clusters van donkerblauwe, oranje en rode punten. Bij de nieuwe analysemethode is gekeken naar clusters van donkerblauwe, oranje en rode vlekken.



Figuur 7-2 Overlastlocaties volgens de referentiemethode.



Figuur 7-1 Overlastlocaties volgens de nieuwe analysemethode.

Om te kijken of deze locaties correct zijn is er onderzocht wat de praktijksituatie is. Om dit te bepalen zijn allereerst de resultaten besproken met een gebiedsdeskundige, Nicole Aarts. Nicole Aarts is vakspecialist Integraal Beheer Openbare Ruimte (IBOR) en werkt voor Avri. Nicole Aarts is bekend met de waterproblematiek in Haaften en kan hierdoor beoordelen of de berekende overlastlocaties kloppen. Tijdens het gesprek zijn negen locaties besproken waar volgens de nieuwe analysemethode een grote kans is op wateroverlast. De kaart die is gebruikt voor het bespreken van de locaties is te zien in bijlage 7.

Wanneer er op basis van het gesprek met Nicole Aarts niet duidelijk was of een locatie overlast had is ervoor gekozen om op deze locaties een enquête onder de bewoners af te nemen. Hiervoor zijn 5 locaties gekozen. Een exemplaar van het gebruikte vragenformulier staat in bijlage 8.

Vergelijking resultaten

Op basis van het gesprek met Nicole Aarts en de enquête onder bewoners kan de conclusie worden getrokken of er ter plaatse van de berekende overlastlocatie in de praktijk daadwerkelijk sprake is van wateroverlast.

In tabel 7-3 is de vergelijking van de resultaten weergegeven. In de linker column zijn alle overlastlocaties aangegeven. Onder 'Praktijksituatie' staat aangegeven er op deze locaties inderdaad sprake is van wateroverlast. De overlastlocaties die juist zijn voorspeld zijn met een plus (+) weergegeven. De locaties waar +1 bij staat zijn voormalige wateroverlastlocaties. De maatregelen die voor het verhelpen van de overlast zijn uitgevoerd zijn niet in het model meegenomen. Dit kan betekenen dat de berekende overlastlocatie correct is, maar reeds verholpen. Met een ? is aangegeven dat het onbekend is of het een overlastlocatie is. Deze locaties kunnen dus niet verder worden meegenomen in de vergelijking of in de totale optelling.

Onder 'Voorspelde situatie' wordt per analysemethode weergegeven met welke methode wel of geen wateroverlast is voorspeld. Een + geeft aan dat er sprake is van wateroverlast. Een – geeft aan dat er geen wateroverlast is voorspeld.

Onder 'Vergelijk voorspelde en praktijk situatie' is met een ✓ is aangegeven dat de voorspelde overlast overeenkomt met de praktijk. Een X geeft aan dat de voorspelde situatie niet correct is. Een ? geeft aan dat de praktijksituatie onbekend is en er geen oordeel mogelijk is. Uit de vergelijking blijkt dat de referentiemethode vijf overlastlocaties correct heeft voorspeld en de nieuwe analysemethode er zeven correct heeft voorspeld. De nieuwe analysemethode heeft dus meer locaties correct voorspeld. De uitwerking van deze vergelijking is te vinden in bijlage 9.

Overlast-locatie	Praktijk - situatie	Voorspelde situatie		Vergelijk voorspelde en praktijk situatie	
		Referentie-methode	Nieuwe analysemethode	Referentie-methode	Nieuwe analysemethode
1	+ ¹	-	+	X	✓
2	+	+	+	✓	✓
3	+	+	+	✓	✓
4	+ ¹	+	+	✓	✓
5	?	+	+	?	?
6	+	+	+	✓	✓
7	+ ¹	+	+	✓	✓
8	?	+	+	?	?
9	+ ¹	-	+	X	✓

Tabel 7-3 Overzicht van de overlast locaties, de voorspelde locaties en een vergelijking tussen de praktijk en de voorspelde locaties.

+	Er is wateroverlast	?	De praktijksituatie is onbekend
+ ¹	Er was wateroverlast	✓	De overlast is correct voorspel
-	Er is geen wateroverlast	X	De overlast is niet correct voorspel

7.2 Werktijd

Met het criterium werktijd wordt de hoeveelheid inspanning (in werkuren) onderzocht die nodig is om de analyses uit te voeren.

Referentiemethode

Het opbouwen van een riool- en watermodel inclusief een maaiveldanalyse is een uitgebreide taak die sterk afhankelijk is van de beschikbare data en de betrouwbaarheid van deze data. Als de data beschikbaar en betrouwbaar is, kost het opstellen van het model en het uitvoeren van de toetsingen circa 200 werkuren (bij een schaalgrootte conform het onderzoeksgebied Haaften).

Nieuwe analysemethode

Voor de nieuwe analysemethode is, naast de tijd die nodig is voor het opstellen van het riool- en oppervlaktewatermodel, tijd nodig om het maaiveldraster en Manning waarde raster gereed te maken en te koppelen met het riool- en oppervlaktewatermodel. Ook is er extra tijd nodig om de resultaten in een 3D omgeving te presenteren.

Deze stappen kunnen versneld worden uitgevoerd door gebruik te maken van Modelbuilder waardoor veel handelingen automatisch gaan. Echter kost het nog steeds meer tijd in vergelijking met de referentiemethode. Deze extra werkstappen kosten ongeveer 50 extra werkuren, ten opzichte van de referentiemethode.

7.3 Rekentijd

Het criterium rekentijd behandelt de tijd die een computer nodig heeft om de berekeningen voor de analysemethoden uit te voeren.

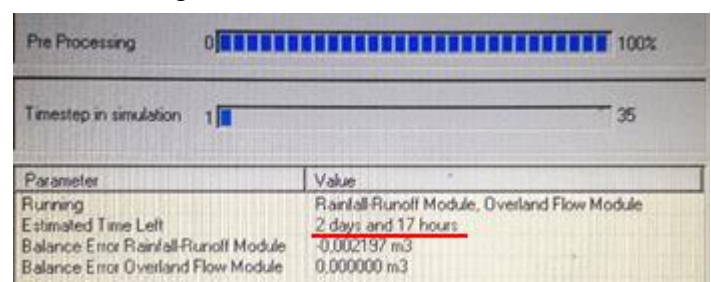
Referentiemethode

De rekentijd van de referentiemethode is kort. Afhankelijk van de grootte van de bui en het riool- en watermodel, kan de rekentijd tussen 5 minuten en een paar uur liggen. Deze korte rekentijd brengt veel voordelen. Zo kunnen er in een korte tijd meerdere varianten en oplossingsrichtingen worden berekend en kan gerekend worden met verschillende regenbuien.

Nieuwe analysemethode

De rekentijd van de nieuwe analysemethode is aanzienlijk langer. In figuur 7-4 links is het rekenscherm van SOBEK te zien. Deze foto is genomen tijdens een berekening met de nieuwe analysemethode.

Op de foto is te zien dat de berekening nog minstens 2 dagen en 17 uur zou duren. Uiteindelijk heeft deze berekening er 4 dagen over gedaan. Dit terwijl er is gerekend met een bui van een half uur. Dit is in verhouding met de referentiemethode erg lang.



Figuur 7-4 Screenshot van het rekenscherm van SOBEK met een resterende tijd van bijna 3 dagen met de nieuwe analysemethode.

Door deze lange rekentijd zijn, om de doorlooptijd van projecten beperkt te houden, de mogelijkheden om verschillende varianten door te rekenen beperkt. Eventuele fouten in het model worden pas na vier dagen inzichtelijk. Na het herstellen van dergelijke fouten zijn weer vier dagen nodig om het herstelde model door te rekenen.

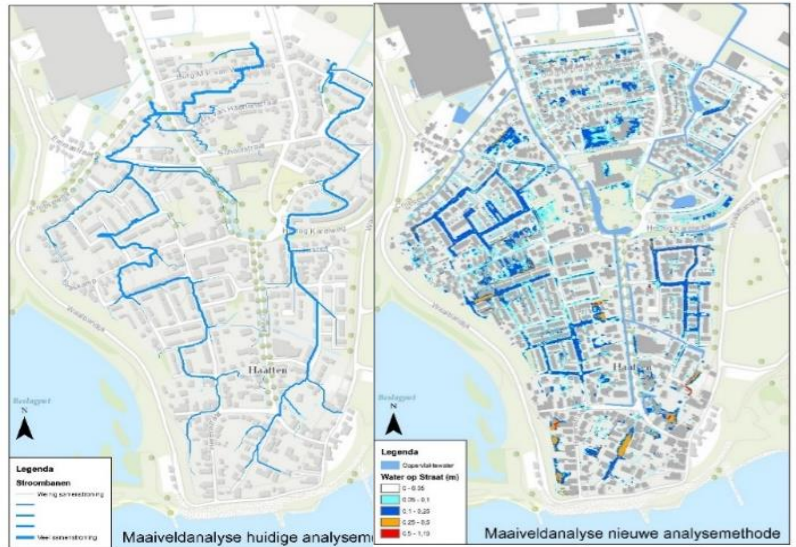
7.4 Visualisatie

Op het gebied van visualisatie is gekeken naar de manier waarop de twee methoden worden gepresenteerd. Voor de visualisatie in de nieuwe methode wordt verwezen naar het volgende internetadres: <https://youtu.be/FH26g0N7JXw> (zie QR-code figuur 7-5). Voor de vergelijking middels de figuren in dit verslag is gebruik gemaakt van het 2D materiaal van beide methoden. Als er geen mogelijkheid is om de beelden op YouTube te bekijken staat in bijlage 7 van dit rapport aan aantal afbeeldingen om een impressie van deze beelden te geven.

Presenteren in 2D

In figuur 7-5 is de maaiveldanalyse in de referentiemethode en de nieuwe analysemethode weergegeven. Te zien is dat het, door het gedetailleerder berekenen van de overlastlocaties, het presenteren van dergelijke locaties ook in meer detail kan.

De wijze waarmee overlast wordt gepresenteerd is voor mensen zonder technische achtergrond eenvoudiger te begrijpen. Hierdoor ontstaat meer begrip en bewustwording op het gebied van wateroverlast.



Figuur 7-5 Een kaart van een maaiveldanalyse met de referentiemethode (links) en de nieuwe analysemethode (rechts)

Presenteren in 3D met animaties

Zoals te zien is in figuur 7-6 heeft de nieuwe analysemethode de mogelijkheid om de wateroverlastlocaties in een 3D omgeving weer te geven en om de afstroming van het water bij die locaties in een animatie af te spelen. Hierdoor is te zien hoeveel water valt en waar het vervolgens naar toe stroomt. Dit leidt tot herkenning van de problematiek bij de kijker. Door deze herkenning is het eenvoudiger om te communiceren met mensen zonder technische achtergrond (bijvoorbeeld bewoners). Bovendien leidt het inzicht en de herkenning van de problematiek tot betere oplossingen.

Bij de referentiemethode wordt enkel gepresenteerd in 2D. Dit kunnen kaarten zijn met resultaten van berekende water-op-sstraat situaties en de berekende waterstand in het oppervlaktewater. Dit zijn statische kaarten. Hierdoor is het niet mogelijk om bijvoorbeeld de stijging van de waterstand in de loop van een bui te volgen. Ook zijn de kaarten voor mensen zonder technische achtergrond vaak lastig te begrijpen.



Figuur 7-6 Een vergelijking tussen het presenteren in 2D en het presenteren in 3D. (Gebruik de QR-code of kijk op <https://youtu.be/FH26g0N7JXw> om de animatie te zien).

7.5 Conclusie

Op basis van de voorgaande paragrafen is het schema in tabel 7-7 ingevuld. In het schema staat met een X aangegeven welke methode (boven) beter scoort per criteria (links). Hierin is te zien dat de referentiemethode beter scoort op de criteria werktijd en rekentijd. De nieuwe analysemethode scoort beter op de criteria betrouwbaarheid en visualisatie. Beide methoden hebben dus hun voor- en nadelen.

Voor Antea Group is het van belang dat wateroverlast op een betrouwbare manier berekend wordt. In combinatie met de verbeterde visualisatie wegen de voordelen zodoende ruimschoots op tegen de nadelen. Daarnaast wordt verwacht dat de nadelen verholpen kunnen worden door gebruik te maken van verbeterde hardware of software.

Criteria	Referentiemethode	Nieuwe analysemethode
Betrouwbaarheid		X
Werktijd	X	
Rekentijd	X	
Visualisatie		X

Tabel 7-7 Samenvattende tabel van de vergelijking tussen de referentiemethode en nieuwe analysemethode waarin is aangegeven welke methode op bij welk criterium beter is.

De conclusie is dat de nieuwe methode als beste gebruikt kan worden door Antea Group. Opgemerkt wordt dat deze conclusie is gebaseerd op het vergelijk van één enkele case. Om een objectiever vergelijk te kunnen maken wordt aangeraden om voor meerdere cases de referentiemethode en de nieuwe analysemethode toe te passen en vervolgens onderling te vergelijken.

Daarnaast wordt geadviseerd de nieuwe analysemethode te blijven doorontwikkelen om de betrouwbaarheid verder te vergroten.

8 Discussie, conclusies en aanbevelingen

8.1 Discussie

Onderzoeksmethode

Voorafgaand aan het onderzoek is een plan van aanpak voor dit onderzoek opgesteld. In dit plan van aanpak is een onderzoeksmethodiek vastgelegd. Gedurende het onderzoek zijn er enkele aanpassingen gemaakt in deze onderzoeksmethodiek. Zo is er gekozen de multicriteria-analyse te laten vervallen. Het bleek niet mogelijk om op basis van het vergelijk van één case middels een goed onderbouwde multicriteria-analyse uit te voeren.

Het aanscherpen van de onderzoeksmethodiek en het optimaliseren van de onderzoeksvragen leidt tot een duidelijker structuur en sluit aan bij de doel- en probleemstelling van dit onderzoek. De aangescherpte onderzoeksmethodiek maakt het beter mogelijk een beoordeling te maken of de nieuwe analysemethode een meerwaarde biedt ten opzichte van de referentiemethode. Opgemerkt wordt dat deze beoordeling is gebaseerd op één enkele case. Om een objectiever vergelijk te kunnen maken wordt aangeraden om voor meerdere cases de referentiemethode en de nieuwe analysemethode toe te passen en vervolgens onderling te vergelijken.

Betrouwbaarheid resultaten wateroverlastanalyse

Eén van de criteria in de beoordeling is het criterium betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid is gevalideerd door middel van interviews met bewoners en een gesprek met de gebiedsexpert Nicole Aarts. De bui waarmee gerekend is in de uitgevoerde analyses komt gemiddeld 1 x per 100 jaar voor. Het gaat zodoende om een zeer extreme bui.

Niet bekend is of in het onderzoeksgebied Haaften een dergelijke bui in het verleden is gevallen. Dit maakt het lastig om de berekende resultaten te toetsen met de ervaringen uit de praktijk. Daarnaast is het niet gelukt om op elke berekende overlastlocatie meerdere mensen te interviewen. Hierdoor is het aantal ondervraagden per locatie beperkt. Bij een volgend onderzoek wordt aangeraden het aantal interviews uit te breiden en hiervoor extra tijd in het onderzoeksplan op te nemen.

8.2 Conclusies

Aan het begin van het onderzoek is de volgende probleemstelling opgesteld:

Welke verbetermogelijkheden kunnen aangebracht worden in de huidige analysemethode waarmee Antea Group, met behulp van de programma's SOBEK en ArcGIS, wateroverlast in stedelijk gebied voorspelt en visualiseert?

Voor het beantwoorden van deze probleemstelling zijn er een aantal deelvragen opgesteld. Deze zijn hieronder beantwoord.

Wat zijn de huidige analysemethoden bij het maken van een wateroverlastanalyse bij Antea Group en andere bedrijven?

Er zijn een aantal analysemethoden beschikbaar bij Antea Group voor het maken van wateroverlastanalyses met elk zijn eigen functionaliteiten. De verschillende analysemethoden zijn:

- een 1D-analyse die alleen het functioneren van het rioolsysteem berekent;
- een 1D/1D-methode die het functioneren van het riool- en oppervlaktewatersysteem berekent;

- een maaiveldanalyse die de afstroming van neerslag over het maaiveld op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) berekent;
- en een 1D/2D-methode die integraal het functioneren van het riool- en oppervlaktewaterstelsel en de afstroming over het maaiveld berekent.

De meest uitgebreide methode die Antea Group gebruikt is de 1D/2D analysemethode. Deze methode bevat echter nog een aantal beperkingen. Deze methode is gekozen als basis om door te ontwikkelen in het onderzoek en wordt gezien als huidige analysemethode.

Op welke manier kan de huidige analysemethode worden verbeterd en hoe kunnen deze worden uitgewerkt?

Op basis van de beperkingen van de huidige analysemethode en functionaliteiten van andere methoden op de markt zijn er vijf verbeteringen doorgevoerd in de huidige analysemethode van Antea Group. De verbeterde methode vormt de nieuwe analysemethode. De vijf verbeteringen zijn:

1. De AHN2 gebruiken in plaats van AHN1.
2. Het voorkomen van dubbel rekenen van verhard oppervlak.
3. De bovengrondse afstroming in SOBEK baseren op het type oppervlak.
4. Het presenteren van de resultaten in 3D.
5. Het presenteren van de resultaten in een tijdanimatie.

Het eindbeeld van de nieuwe analysemethode van Antea Group is te zien in een filmpje op YouTube. Om deze te bekijken kan gebruik worden gemaakt van de QR-code in figuur 8-1 op deze link: <https://youtu.be/FH26g0N7JXw>

Als er geen mogelijkheid is om de beelden op YouTube te bekijken staat in bijlage 7 van dit rapport een aantal afbeeldingen om een impressie te geven van het eindbeeld van de nieuwe analysemethode.



Figuur 8-1 Een QR-code om het filmpje te bekijken.

Wat zijn de resultaten van beide analysemethoden?

Met de nieuwe methode zijn wateroverlastberekeningen voor het onderzoeksgebied Haaften uitgevoerd. Daarna zijn deze berekeningen ook met de referentiemethode uitgevoerd. Voor beide methoden is als basis gebruik gemaakt van een riool- en oppervlaktewatermodel dat beschikbaar was bij Antea Group.

De resultaten op het gebied van water-op-straat ter plaatse van de putten, water op het maaiveld en de waterstand van het oppervlaktewater zijn van beide analyses gepresenteerd en vergeleken. Er zijn verschillen geconstateerd tussen de resultaten van beide methoden. Zo blijkt dat in de nieuwe methode plaatselijk het berekende oppervlaktewaterpeil hoger is. Daarentegen is het berekende water-op-straat ter plaatse van de putten lager.

Hoe kunnen de referentiemethode en de nieuwe analysemethode met elkaar worden vergeleken?

Gekozen is de analyses op verschillende criteria te vergelijken. De volgende criteria zijn in overleg met Antea Group bepaald:

- betrouwbaarheid;
- werktijd;
- rekentijd;
- visualisatie.

Welke analysemethode kan Antea Group het beste gebruiken voor het maken van de wateroverlastanalyse?

Uit de vergelijking komt naar voren dat de nieuwe analysemethode beter scoort op de criteria betrouwbaarheid en visualisatie. De referentiemethode scoort beter op de criteria werktijd en rekentijd. Beide methoden hebben dus hun voor- en nadelen.

Voor Antea Group is het van belang dat wateroverlast op een betrouwbare manier berekend wordt. In combinatie met de verbeterde visualisatie wegen de voordelen zodoende ruimschoots op tegen de nadelen. Daarnaast wordt verwacht dat de nadelen verholpen kunnen worden door gebruik te maken van verbeterde hardware of software. De nieuwe methode wordt dus gezien als de betere methode voor het uitvoeren van wateroverlastanalyses

8.3 Aanbevelingen

Nieuwe programma's:

Aanbevolen wordt de ontwikkelingen op het gebied van wateroverlastprogramma's te blijven volgen. De ontwikkelaars van SOBEK zijn bezig met het ontwikkelen van Next Generation Hydro Software wat al hun huidige programma's moet vervangen. Het programma zou de mogelijkheid hebben om 1D, 2D en 3D berekeningen te combineren. Ook zijn er ontwikkelingen bij ESRI die van belang zijn. Antea Group werkt op dit moment met ArcGIS 10.1. ESRI is op dit moment bij ArcGIS 10.3. Deze heeft de mogelijkheid om binnen 1 programma in zowel 2D als 3D te werken. Het aanschaffen van een dergelijk programma zou Antea Group veel tijd kunnen besparen bij het maken van de 3D omgeving en het maken van de animaties.

Doorontwikkelen nieuwe 1D/2D analysemethode

Niet alle beperkingen uit de voormalige 1D/2D methode zijn verholpen. Er wordt nog steeds geen onderscheid gemaakt in de infiltratie en verdampingswaarde op basis van het type ondergrond. Dit kan een belangrijke stap zijn om de betrouwbaarheid van de resultaten verder te verbeteren. Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar de mogelijkheid om deze beperking in de toekomst ook te verhelpen.

Verder zijn er steeds meer en betere openbare data beschikbaar die gebruikt kunnen worden in wateroverlastanalyses. Zo wordt in de loop van 2015 en 2016 de nieuwe AHN3 uitgebracht. Deze heeft dezelfde resolutie als de AHN2 maar is actueler en heeft een betere nauwkeurigheid van de hoogtecomponent. Het is belangrijk dit soort ontwikkelingen te blijven volgen en de meest actuele data te gebruiken.

Technische aanbevelingen

Eén van de grootste beperkingen van de nieuwe analysemethode is de rekentijd. Om een bui van een half uur door te rekenen duurt op dit moment circa 4 dagen. Om effectief gebruik te kunnen maken van de nieuwe analysemethode zal er nieuwe hardware moeten worden aangeschaft zodat deze berekeningen sneller kunnen worden uitgevoerd. Tevens wordt aangeraden met de softwareleverancier van SOBEK (Deltares) te verkennen of optimalisaties mogelijk zijn.

Bibliografie

- 3Di Waterbeheer. (2015). Website van 3Di Waterbeheer.
Geraadpleegd op 23-03-2015 van: <http://www.3di.nu/onder-de-motorkap/>.
- Chow, V. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill: New York.
- De Telegraaf. (2015, augustus 13). Veel hinder door zware regenval.
Geraadpleegd op 15-09-2015 van:
http://www.telegraaf.nl/teleweer/24372614/_Zware_regenval_in_zuiden_.html.
- De Volkskrant. (2015, augustus 14). Onweer en regen zorgen voor overlast. Geraadpleegd op 03-09-2015 van: <http://www.volkskrant.nl/binnenland/onweer-en-regen-zorgen-voor-overlast~a4120788/>
- Deltares Systems. (2015). Delft3D Suite.
Geraadpleegd op 27-02-2015 van:
<http://www.deltaresystems.com/hydro/product/621497/delft3d-suite>.
- Dijk, E. van, Meulen, J. van, Kluck, J., & Straatman, J. (2012). Vergelijking modelconcepten voor bepaling water-op-straat: Gevoeligheid voorspelling water-op-straat voor keuze modelconcept en parameterkeuze. WT-afvalwater, 74 - 89.
- Doorewaard, H. & Verschuren, P. (2007). Het ontwerpen van een onderzoek. Den Haag: Uitgeverij LEMMA.
- Europa Nu. (2015). Klimaatconferentie Parijs 2015 (COP21). Geraadpleegd op 28-12-2015 van: http://www.europa-nu.nl/id/vjmhg41ub7pp/klimaatconferentie_parijs_2015_cop21.
- Franssen, S. (2013, oktober 23). "Duidelijk verband tussen bosbranden Australië en klimaatverandering". Geraadpleegd op 27-04-2015 van:
<http://www.dewereldmorgen.be/artikels/2013/10/23/duidelijk-verband-tussen-bosbranden-australie-en-klimaatverandering>.
- Grontmij. (2015). Een nieuwe aanpak van wateroverlast in de stad.
Geraadpleegd op 27-04-2015 van:
<http://www.grontmij.nl/Productinnovaties/Documents/WODAN123%20een%20nieuwe%20aanpak%20van%20wateroverlast%20in%20de%20stad.pdf>.
- KNMI & PBL. (2015). Klimaatverandering. Samenvatting van het vijfde IPCC-assessment en een vertaling naar Nederland. Den Haag / De Bilt: PBL / KNMI.
- KNMI. (2011). Klimaatverandering.
Geraadpleegd op 09-03-2015 van:
http://www.klimaatatlas.nl/klimaatverandering_index.html#Inhoud_2.
- KNMI. (2014). KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals. De Bilt: KNMI.
- Lenderink, G., Oldenborgh, G. van, Meijgaard, E. van, & Attema, J. (2011). Intensiteit van extreme neerslag in een veranderend klimaat. Geraadpleegd op 03-03-2015 van:
http://www.knmi.nl/cms/content/101220/intensiteit_van_extreme_neerslag_in_een_veranderend_klimaat.
- Lizard Flooding. (2015, Januari 25). Productblad Lizard Flooding.
Geraadpleegd op 03-03-2015 van:
http://www.modelwalhalla.nl/wiki/pub/Tools/LizardFlooding/Lizard_flooding_productblad.pdf.

Maas, P. (z.j.). gemengde riolering. Overzicht van gratis illustraties. Stichting RIONED, Tilburg. Geraadpleegd op 12-07-2015 van: http://www.riool.net/c/document_library/get_file?uuid=98f62471-bbfc-446a-bb64-d90c17902462&groupId=10180&targetExtension=jpg.

Milieucentraal. (2013). Klimaatverandering. Geraadpleegd op 13-04-2015 van: <http://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>

NOS. (2015, maart 29). *Problemen door onstuimig weer*. Geraadpleegd op 03-03-2015 van: <http://nos.nl/artikel/2027537-problemen-door-onstuimig-weer.html>.

Minnen, J. van, & Ligetvoet, W. (2012). Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

NU.nl. (2015) Evacuaties vanwege overstromingen in Noord-Engeland. Geraadpleegd op 28-12-2015 van: <http://www.nu.nl/buitenland/4188915/evacuaties-vanwege-overstromingen-in-noord-engeland.html>.

Oldenborgh, G. van, & Lenderink, G. (2014, Augustus 29). Hoe vaak komt extreme neerslag zoals op 28 juli tegenwoordig voor, en is dat anders dan vroeger? Geraadpleegd op 17-04-2015 van: http://www.knmi.nl/cms/content/120817/hoe_vaa_komt_extreme_neerslag_zoals_op_28_juli_tegenwoordig_voor_en_is_dat_anders_dan_vroeger.

Rijksoverheid. (2015). Wat is de relatie met Delft3D? Geraadpleegd op 12-05-2015 van: http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/water_en_ruimte/baseline/meest-gestelde-0/@22087/delft3d/

Rijksoverheid. (2015). Waterwet. Opgehaald van Overheid.nl: Geraadpleegd op 18-05-2015 van: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/>

Schut, M., & Mols, J. (2012). Gemeentelijke aansprakelijkheid bij wateroverlast. Bennekom: Stichting RIONED.

Smits, M. (2015, maart 29). Flinke overlast door storm in Midden- en West-Brabant. Geraadpleegd op 31-03-2015 van: <http://www.dichtbij.nl/bergen-op-zoom/regionaal-nieuws/artikel/3957335/flinke-overlast-door-storm-in-midden-en-westbrabant.aspx>

Steentjes, B. (2014). Albergen: meer inzicht in wateroverlast met integrale modelbenadering van riolering (1D), oppervlaktewater (1D) en maaiveld (2D). In S. R. Harry van Luijtelaa, Ervaringen met de aanpak van regenwateroverlast in bebouwd gebied (pp. 88-103). Bennekom: Drukkerij Modern.

Stichting RIONED. (2009). Riool in cijfers 2009-2010. Ede: Stichting RIONED.

Stichting Rioned. (2012). Gemeentelijke aansprakelijkheid bij wateroverlast. Bennekom: Drukkerij Modern.

Tauw. (2015). Wateroverlast in beeld. Opgehaald van Website van Tauw: Geraadpleegd op 16-03-2015 van: http://development.tauw.nl/fileadmin/downloads/WA016_WOLK.pdf.

Bijlagen

1 Onderzoeksvragen en uitwerking onderzoeksmethodiek	46
2 Interview Grontmij over Wodan123	50
3 Interview Tauw over WOLK	52
4 Uitwerkingen verbetermogelijkheden met modelbuilder	54
5 3D beelden nieuwe analysemethode	58
6 Kaarten resultaten wateroverlastanalyse	60
7 Kaart besproken met Nicole Aarts	78
8 Enquête: voorbeeld ingevuld vragenblad	80
9 Bepalen praktijksituatie	82

1 Onderzoeksvragen en uitwerking onderzoeksmethodiek

Probleemstelling

Welke verbetermogelijkheden kunnen aangebracht worden in de huidige methode waarmee Antea Group, met behulp van de programma's SOBEK en ArcGIS, wateroverlast in stedelijk gebied voorspelt en visualiseert?

1. **Wat zijn de huidige analysemethoden bij het maken van een wateroverlastanalyse bij Antea Group en andere bedrijven?**
 - 1.1. Welke informatie is er nodig bij het maken van een analyse?
 - 1.2. Hoe worden de programma's gebruikt bij het maken van een analyse?
 - 1.3. Welke stappen worden ondernomen bij het maken van de analyse?
 - 1.4. Hoe verhoudt de analysemethode van Antea Group zich tot andere adviesbureaus?
 - 1.5. Welke methode wordt als basis genomen om verbeteringen aan te brengen?
 - 1.6. Welke methode wordt gebruikt als referentiemethode voor de vergelijking?
2. **Op welke manier kan de huidige analysemethode worden verbeterd en hoe kunnen deze worden uitgewerkt?**
 - 2.1. Wat zijn problemen met de huidige analysemethode waarop de analyse wordt uitgevoerd?
 - 2.2. Hoe kunnen deze problemen worden verholpen?
 - 2.3. Wat zijn nog ongebruikte functionaliteiten van de programma's waar gebruik van gemaakt kan worden?
 - 2.4. Hoe kunnen de verbeteringen worden uitgewerkt zodat deze makkelijk herhaalbaar zijn?
3. **Wat zijn de resultaten van beide analysemethoden?**
 - 3.1. Wat zijn de resultaten van de wateroverlastanalyse met de referentiemethode?
 - 3.2. Wat zijn de resultaten van de wateroverlastanalyse met de nieuwe analysemethode?
 - 3.3. Wat is het verschil tussen de resultaten van referentiemethode en de nieuwe analysemethode?
4. **Hoe kunnen de referentiemethode en de nieuwe analysemethode met elkaar worden vergeleken?**
 - 4.1. Met welke criteria kunnen de resultaten en het proces van de referentiemethode en nieuwe analysemethode met elkaar worden vergeleken?
 - 4.2. Hoe kunnen de resultaten van de analysemethoden worden gevalideerd?
 - 4.3. Wat is het resultaat van de vergelijking?
5. **Welke analysemethode kan Antea Group het beste gebruiken voor het maken van de wateroverlastanalyse?**

Voor het uitvoeren van het onderzoek en het beantwoorden van de onderzoeksvragen is er een onderzoeksmethodiek opgesteld. Met deze methodiek is er per deelvraag gekeken welke onderzoeksstrategie van toepassing is, welke bronnen zijn gebruikt, welke activiteiten zijn uitgevoerd en wat er met de verkregen informatie gedaan is.

1. Wat is de huidige analysemethode bij het maken van een wateroverlastanalyse bij Antea Group?				
Deelvraag	Onderzoeksstrategie	Bronnen	Onderzoeksactiviteiten	Resultaat
1.1 Welke informatie is er nodig bij het maken van een analyse?	Bureauonderzoek	Deskundige: Niels IJsseldijk (adviseur stedelijk water), Jaap Schoonhoven (adviseur GIS), Benno Steentjes (projectingenieur) Literatuur: Handleiding SOBEK	Open gesprekken met deskundigen binnen Antea Group over de huidige analysemethode waarop de wateroverlastanalyses worden uitgevoerd	Een schriftelijke beschrijving van de methoden waarop Antea Group en andere bedrijven wateroverlast analyses uitvoeren met daarbij de voor- en nadelen van.
1.2 Hoe worden de programma's gebruikt bij het maken van een analyse?	Bureauonderzoek		Onder begeleiding van de deskundigen binnen Antea Group meehelpen met het uitvoeren van een analyse met de huidige analysemethode.	
1.3 Welke stappen worden ondernomen bij het maken van de analyse?	Bureauonderzoek		Inlezen en kennis opdoen over de huidige analysemethode door mee te werken aan wateroverlastanalyses van andere steden.	
1.4 Wat is de analysemethode die andere adviesbureaus gebruiken bij het maken van een wateroverlastanalyse?	Interviews	Deskundige: Wilbert Peters (adviseur bij TAUW), Gert Lemmen (adviseur bij Grontmij) & 3Di	Kennis opdoen over de analysemethode door interviews af te nemen bij deskundigen van andere onderzoeksbureaus over hoe zij wateroverlast analyses uitvoeren	Een keuze in welke methode wordt verbeterd en welke als referentiemethode wordt gebruikt.
1.5 Welke methode wordt als basis genomen om verbeteringen aan te brengen?	Bureauonderzoek	Kennis over de huidige analysemethoden bij Antea Group en andere bedrijven	Op basis van de kennis van de bekende analysemethoden kan in overleg met de opdrachtgever een keuze worden gemaakt welke methode wordt verbeterd en de referentiemethode.	
1.6 Welke methode wordt gebruikt als referentiemethode voor de vergelijking?	Bureauonderzoek			

2. Op welke manier kan de huidige analysemethode worden verbeterd?				
Deelvraag	Onderzoeksstrategie	Bronnen	Onderzoeksactiviteiten	Resultaat
2.1 Wat zijn problemen met de huidige analysemethode waarop de analyse wordt uitgevoerd?	Bureauonderzoek & Casestudy	Deskundige: Niels IJsseldijk (adviseur stedelijk water), Jaap Schoonhoven (adviseur GIS), Benno Steentjes (projectingenieur) Ervaring en kennis over de huidige analysemethode die Antea Group hanteert	Door persoonlijke communicatie met deskundigen van Antea Group over de huidige methode zijn er tekortkomingen en beperkingen zijn vastgesteld	Een lijst met beperkingen en mogelijke oplossingen voor deze beperkingen en nieuwe toevoegingen op de huidige analysemethode waarop wateroverlastanalyses worden uitgevoerd.
2.2 Hoe kunnen deze problemen worden verholpen?	Bureauonderzoek		Door persoonlijke communicatie met deskundigen van Antea Group over de	

		bij het maken van wateroverlast analyses	huidige methode en literatuuronderzoek kunnen verbeteringen worden opgesteld.	
2.3	Wat zijn nog ongebruikte functionaliteiten van de programma's waar gebruik van gemaakt kan worden?	Bureauonderzoek	Onderzoek doen naar de ongebruikte mogelijkheden van de programma's die bij Antea Group aanwezig zijn.	
2.4	Hoe kunnen de verbeteringen worden uitgewerkt zodat deze makkelijk herhaalbaar zijn?	Bureauonderzoek & Experiment	Literatuur: Internet (ESRI forums / GIS Stack Exchange), Intro to GIS boek Deskundige: Mark Chrisstoffels (technisch specialist) Lijst met verbetermogelijkheden	Het uitwerken van de opgestelde verbetermogelijkheden in de Modelbuilder van ArcGIS.

3. Wat zijn de resultaten van beide analysemethoden en hoe verhoudt de oude analysemethode zich met de nieuwe analysemethode?				
Deelvraag	Onderzoeksstrategie	Bronnen	Onderzoeksactiviteiten	Resultaat
3.1	Wat zijn de resultaten van de wateroverlastanalyse met de oude analysemethode?	Water- en rioolmodel Haaften Inzicht huidige analysemethode	Uitvoeren van de analyse met het watersysteem van Haaften met de oude analysemethode.	Een overzicht van de analyseresultaten van de wateroverlastanalyse op de huidige en nieuwe analysemethode waarbij ook wordt gekeken naar de verschillen
3.2	Wat zijn de resultaten van de wateroverlastanalyse met de nieuwe analysemethode?	Water- en rioolmodel Haaften Uitwerking nieuwe analysemethode Uitwerkingen van de opgestelde verbetermogelijkheden	Uitvoeren van de analyse met het watersysteem van Haaften met de nieuwe analysemethode.	
3.3	Wat is het verschil tussen de resultaten van de huidige en de nieuwe analysemethode?	Casestudy	Vergelijkingsmethode en criteria Uitvoeren van de vergelijken tussen de resultaten van de twee analysemethoden	

4. Hoe kunnen de oude en de nieuwe analysemethode met elkaar worden vergeleken?				
Deelvraag	Onderzoeksstrategie	Bronnen	Onderzoeksactiviteiten	Resultaat
4.1 Met welke criteria kunnen de resultaten en het proces van de huidige en nieuwe analysemethode met	Bureauonderzoek	Resultaten wateroverlast analyses (huidige en nieuwe methode)	Door middel van bureauonderzoek is een geschikte vergelijkingsmethode gekozen.	Een multicriteria-analyse volgens de methode die is beschreven door Ron Janssen en Marjan van Herwijnen in

elkaar worden vergeleken?		Deskundige: Niels IJsseldijk (adviseur stedelijk water)		“Decision support for discrete choice problems: the DEFINITE program” met beoordelingscriteria voor het vergelijken van de huidige en nieuwe analysemethode.
4.2 Op basis van welke criteria kunnen ze met elkaar worden vergeleken?	Bureauonderzoek		Door overleg met deskundigen binnen Antea Group zijn er beoordelingscriteria opgesteld die zijn gebruikt bij het maken van de vergelijking.	
4.3 Wat zijn de wegingen van de verschillende criteria?	Bureauonderzoek		Door overleg met deskundigen binnen Antea Group zijn de uitgekozen criteria gekwantificeerd.	
4.4 Wat is het resultaat van de vergelijking?	Bureauonderzoek			

5. Welke analysemethode kan het Antea Group het beste gebruiken voor het maken van de wateroverlastanalyse?			
Onderzoeksstrategie	Bronnen	Onderzoeksactiviteiten	Resultaat
Bureauonderzoek	Antwoorden op de voorgaande onderzoeksvragen.	Opstellen advies aan Antea Group	Een advies aan Antea Group over wat de beste analysemethode is voor het maken van wateroverlast analyses.

2 Interview Grontmij over Wodan123

Geïnterviewde: Gert Lemmen (Senior adviseur riolering)

Interviewers: Niels Kortenschijl

Datum: 02/03/2015

Doel interview: Informatie verkrijgen over WODAN123

Wat kan je vertellen over de functionaliteiten van Wodan123?

Wodan123 maakt gebruik van het programma SOBEK net als veel andere bedrijven, en Wodan123, heeft als basis WOLK van TAUW gebruikt. Deze versie is echter eenvoudiger dan die van TAUW. Er is geen koppeling tussen de twee programma's. Ze worden individueel gebruikt maar de resultaten worden wel naast elkaar gepresenteerd om een duidelijk beeld te geven. Er zijn wel een aantal problemen met SOBEK zoals het Grid dat niet veel groter kan zijn dan een gemiddelde stad.

Voor het eindresultaat zijn de tussenstappen zichtbaar en ook de mogelijkheid om een eindbeeld te geven om hoeveel er in totaal langs en locatie heen heeft gestroomd.

Wat is de rekentijd van Wodan123?

Er is weinig extra voorwerk nodig. De meeste data is al beschikbaar binnen Grontmij. De rekentijd is afhankelijk van de grootte van de stad waarvoor gerekend wordt. Een kleine drop is binnen een paar uur klaar met rekenen maar een grotere stad doet er langer over. Een exacte rekentijd kan ik niet geven.

Wat gebeurt er met de resultaten? Oplossingsgericht? Probleem anticiperend? Beide?

De resultaten zijn meestal oplossingsgericht. Er is al een probleem bekend bij de klant kan hier specifiek worden gezocht naar oplossingen. Maar ook is het mogelijk om nieuwe problemen te ontdekken met de resultaten uit Wodan123 waardoor preventieve maatregelen mogelijk zijn.

Welke data wordt gebruikt voor Wodan123?

De meeste data is al intern bij Grontmij beschikbaar. Wel wordt de AHN2 gebruikt voor de hoogtekartaart. Deze moet nog wel worden bewerkt maar dat doet een andere afdeling binnen het bedrijf.

Hoe groot is de kans op rekenfouten?

De kans is altijd aanwezig maar dan zijn het verschillen van een aantal centimeter. Het gaat hier dan niet om complete verkeerde berekeningen waardoor er ineens een overlastlocatie wordt berekend waar in de praktijk geen sprake van is.

Andere programma's die gebruik maken van de AHN i.c.m. 1D rioolmodellen hebben problemen met het dubbel rekenen van verhard oppervlak. Heeft dit programma daar ook problemen mee?

Zover ik weet zijn hier geen problemen mee. Het kan zijn dat er aanpassingen worden gemaakt in de hoeveelheid neerslag waarmee wordt gerekend maar dat zal weinig effect hebben op de resultaten.

Zijn er andere problemen? Zoals: wordt er rekening gehouden met bruggen en tunnels?

Het enige probleem dat ik me kan bedenken is dat er zonder riool moeilijker oplossingen door te rekenen zijn. Het totaalbeeld ontbreekt te veel om daar een goed advies over te geven als het probleem in het riool zit.

Wordt het programma nog regelmatig geüpdatet?

Om de zoveel tijd worden er kleine aanpassingen aan het programma gemaakt maar de basis is al erg goed dus echte grote updaten zijn niet meer nodig.

Hoe is de 3D presentatie precies tot stand gekomen? Is het in ArcScene?

Er wordt minimaal gebruik gemaakt van de 3D aspecten van Wodan123. Dit komt omdat er niet veel vraag naar is en het veel tijd kost om de 3D omgeving te maken. Dit gebeurt inderdaad in het programma ArcScene. Het kan ook in Google Earth maar dit wordt bijna nooit gebruikt.

Hoe worden 1D en 2D berekeningen gemaakt? Integraal of separaat?

De twee worden separaat berekend, er is geen uitwisseling tussen de twee modellen.

Wat zijn de meest recente aanpassingen aan WODAN123 en welke aanpassingen zijn er in de toekomst gepland?

Er zijn op dit moment geen geplande aanpassingen.

Hoe actief wordt er gebruik gemaakt van het programma? Is het iets waar jullie vaak naar wordt gevraagd om uit te voeren?

Dit is het programma dat altijd wordt gebruikt bij het maken van wateroverlast analyses. Voor welke vraag die wij daarover krijgen wordt het gebruikt.

3 Interview Tauw over WOLK

Geïnterviewde: Peter Wilbert (Adviseur Water en Ruimtelijke Kwaliteit)

Interviewers: Niels Kortenschijl

Datum: 02/03/2015

Doel interview: Informatie verkrijgen over WODAN123

Wat zijn de mogelijkheden met betrekking tot 1D, 2D en 3D berekeningen?

WOLK berekend alleen in 2D, met een hoogtekkaart. Er wordt gebruik gemaakt van een maaiveldanalyse. Dit heeft als resultaat een stroombanenkaart en een lokale laagten kaart.

Oplossingen worden ook doorgerekend voor o.a. Bluswolk en Hittestress

Wat is de rekentijd van het programma? (Hou hierbij rekening met de grote van het gebied: (kwantificeren met stad/dorp format of vierkante km)

Binnen een paar minuten is het doorgerekend. Hoewel grotere steden er langer over doen dan kleine is zelf dan de rekentijd niet meer dan ongeveer een uur.

Wat gebeurt er met de resultaten? Oplossingsgericht? Probleem anticiperend? Beide?

Met WOLK kunnen beide worden berekend. Het hangt af van de vraag die wordt gesteld. Hierbij gaat het vooral om efficiënt gebruik maken van je resultaten en berekeningen. Het gaat er niet om hoe goed je resultaten zijn, maar hoe je die als professional interpreteert en welke oplossingen je bedenkt.

Hoe worden de resultaten gepresenteerd?

De resultaten worden in gepresenteerd op een kaart. Hierin staan de stroombanen en de lokale laagten. Eventuele oplossingen kunnen ook op de kaart worde gepresenteerd.

Wat zijn de mogelijkheden van het presenteren in 2D en 3D?

Dit is zeker mogelijk maar met WOLK worst daar geen gebruik van gemaakt.

Is de data die wordt gebruikt up-to-date?

We maken gebruik van de AHN2 de meest recente hoogtekkaart. De ruwe data van de AHN2 downloaden en bewerken we zelf om ervoor te zorgen dat we goede input gebruiken voor WOLK.

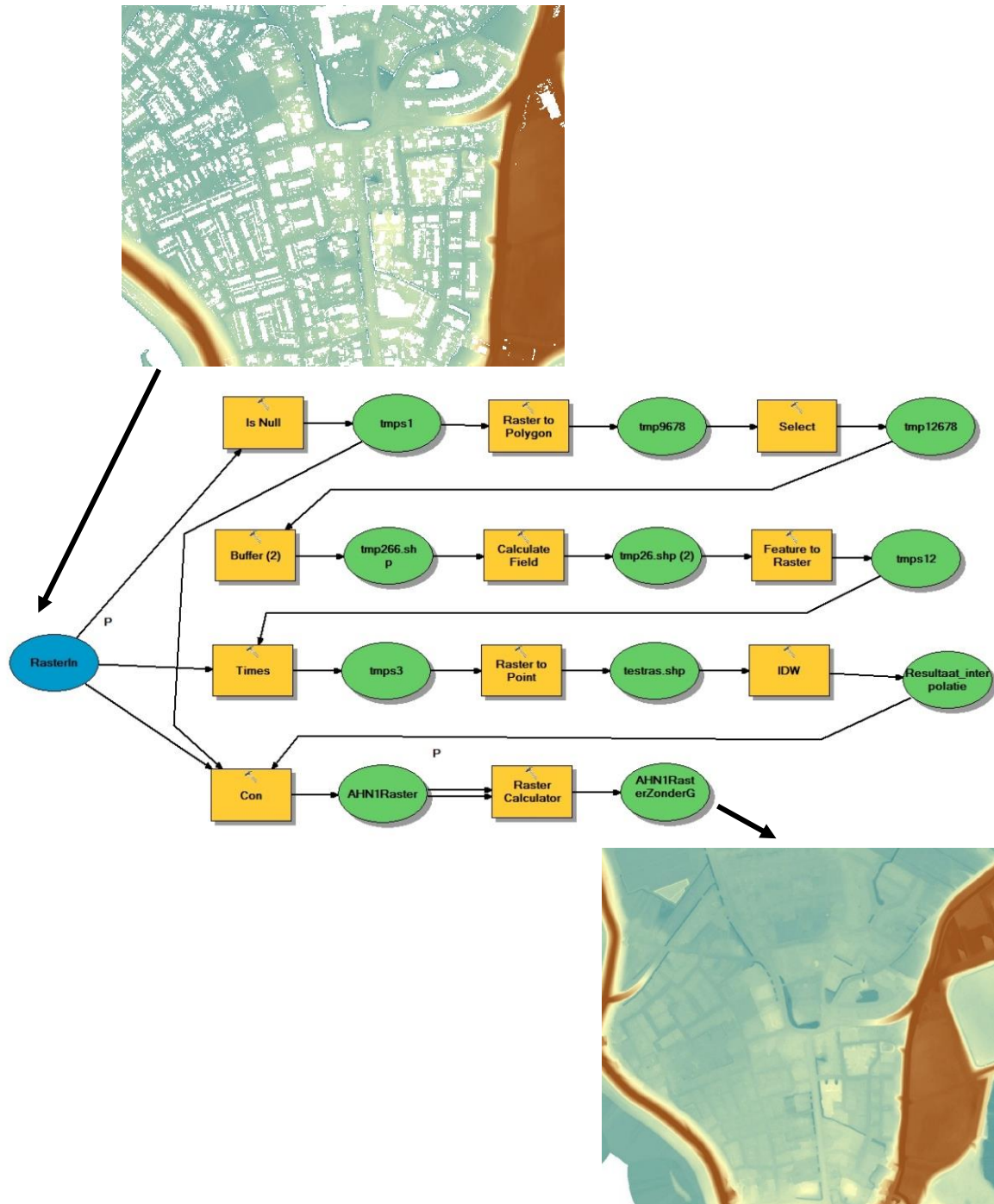
Zijn er problemen met het programma? Zoals: wordt er rekening gehouden met bruggen en tunnels?

Tunnels hebben in de praktijk een pomp waarmee de water kan worden afgevoerd dus deze worden meestal buiten beschouwing gelaten. Maar het is mogelijk om gaten of kuilen te maken in de hoogtekkaart om extra of minder water op te vangen afhankelijk van de situatie.

4 Uitwerkingen verbetermogelijkheden met modelbuilder

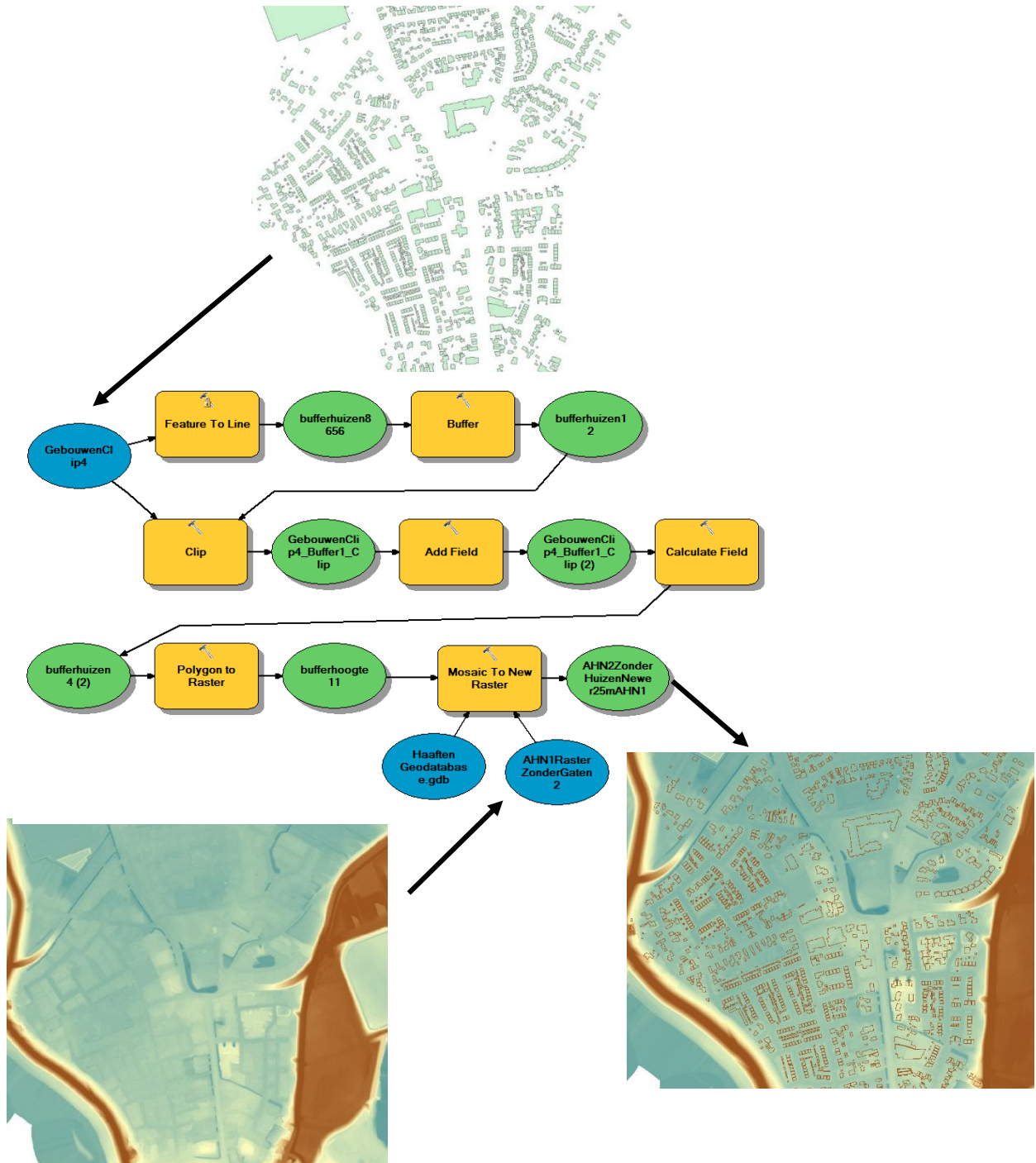
1 AHN2 gebruiken in plaats van AHN1

Hier staat de modelbuilder weergegeven die is gebruik voor het vullen van de gaten in de AHN2. Als input wordt de ruwe AHN2 ingevoerd met gaten in de data op de plekken van onder andere huizen, oppervlaktewater en bomen. In dit model wordt er in de omgeving van deze gaten gekeken naar de hoogte die hierin wordt aangegeven. Hiervan wordt berekend wat de meest waarschijnlijke hoogte is van de onbekende hoogte. Het resultaat is een gevulde hoogtekaart.



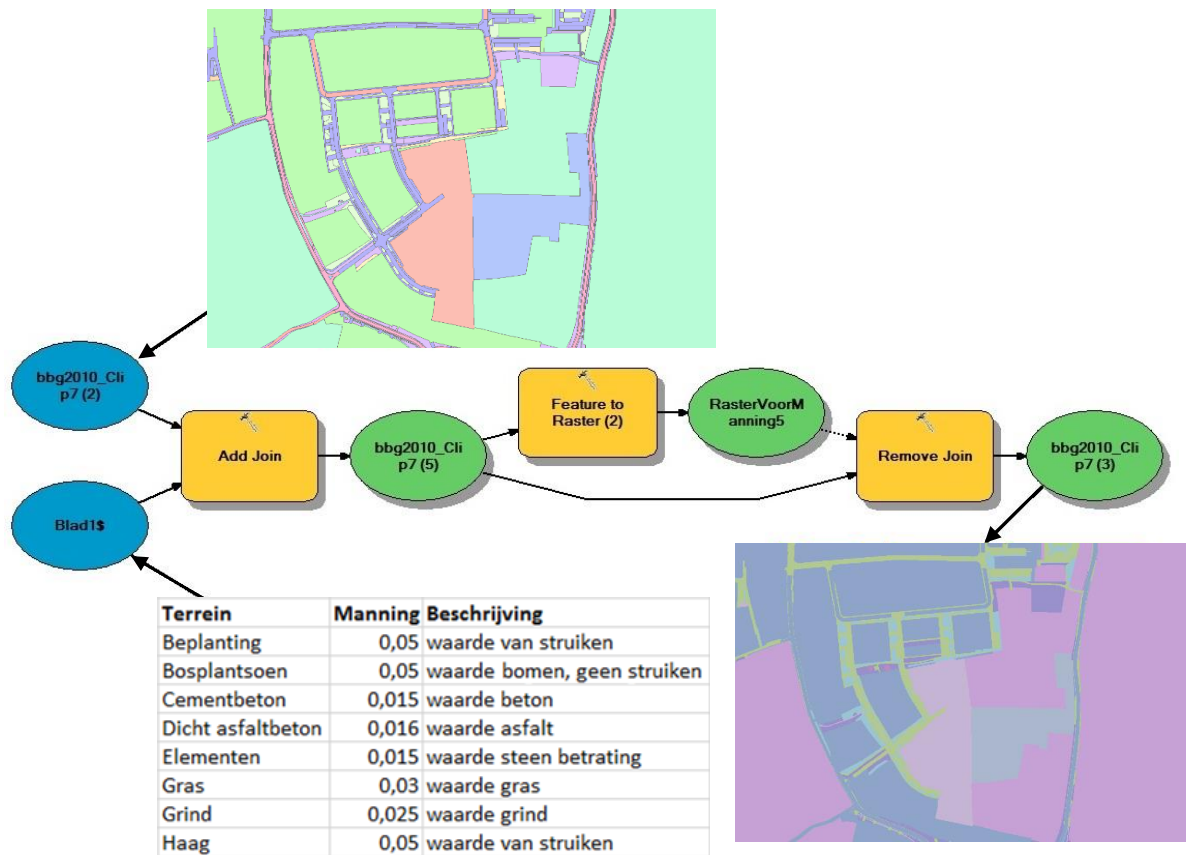
2 Voorkomen van dubbel rekenen van verhard oppervlak

Hieronder staat de modelbuilder dat wordt gebruik om de huizen toe te voegen aan de hoogtekkaart. Hiervoor wordt als input de BAG paden gegevens gebruik en de hoogtekkaart die met de vorige modelbuilder is gemaakt. Hierbij wordt er een buffer geplaatst om de panden. Deze buffer krijgen een waarde toegekend van 50 meter. Deze buffers worden dan omgezet naar een raster en wordt gecombineerd met de hoogtekkaart. Het resultaat is een hoogtekkaart met de huizen erin.



3 Bovengrondse afstroming in SOBEK baseren op het type oppervlak.

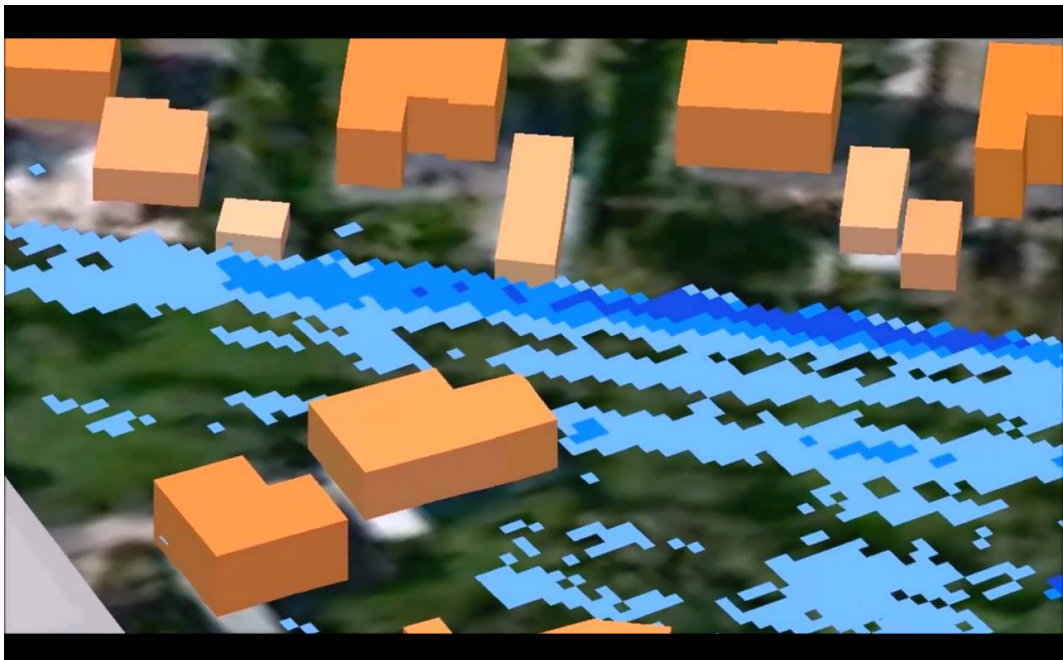
Hieronder staat de Modelbuilder voor het bepalen van de afstromingswaarde voor de verschillende oppervlaktetype. Als input wordt er eerst alle gegevens die beschikbaar zijn over het type oppervlak samengevoegd. Daarna wordt er een tabel gekoppeld op basis van het type terrein / oppervlakte dat in de data is aangegeven. Hierdoor kan de Manning waarde worden toegevoegd. Deze waarde worden omgezet in een raster dat gebruikt kan worden in SOBEK>



5 3D beelden nieuwe analysemethode



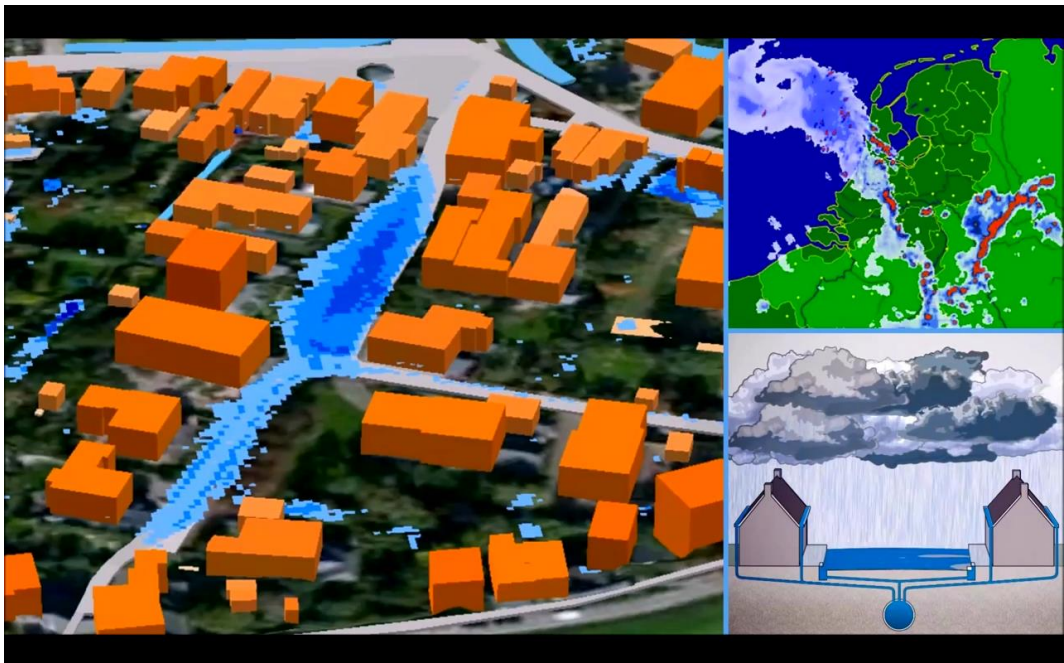
Een weergave van de 3D omgeving waarin de resultaten kunnen worden gepresenteerd. Naast het gebruik van een luchtfoto is het ook mogelijk om een hoogtekarte als ondergrond te gebruiken.



Een frame uit het filmpje dat het detail niveau van de nieuwe methode weergeeft. Zelfs in de achtertuinen is het zichtbaar dat daar mogelijk wateroverlast problemen kunnen ontstaan.



Een blik van bovenaf van een wijk in Haaften

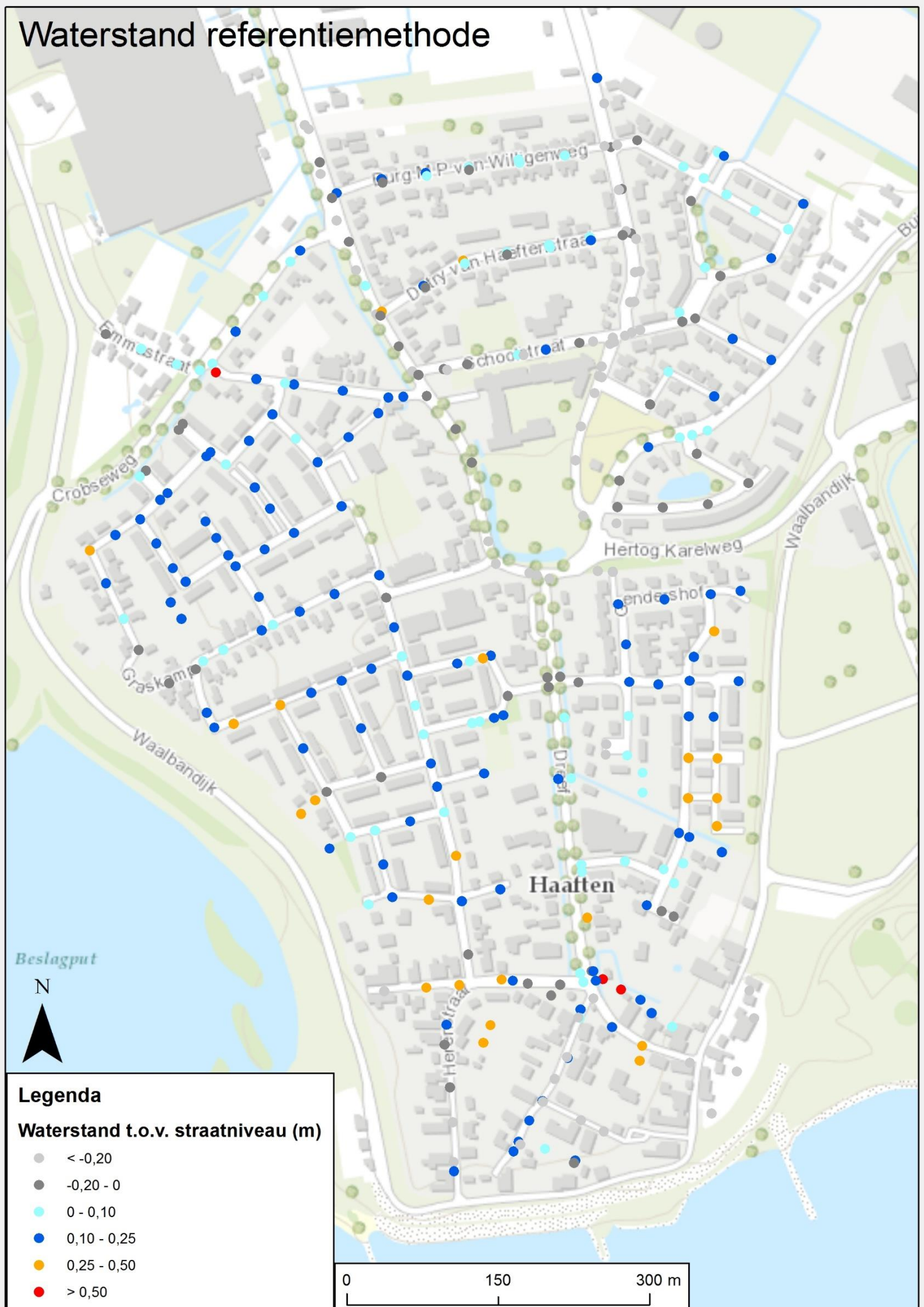


Door het combineren van verschillende beelden kan het snel inzichtelijk worden gemaakt wat er precies gebeurt en is berekend in het model. Zo kunnen de beelden van Buienradar het type en de ernst van een bui weergeven en de beelden linksonder een beeld dat schematisch laat zien wat er in de praktijk gebeurt.

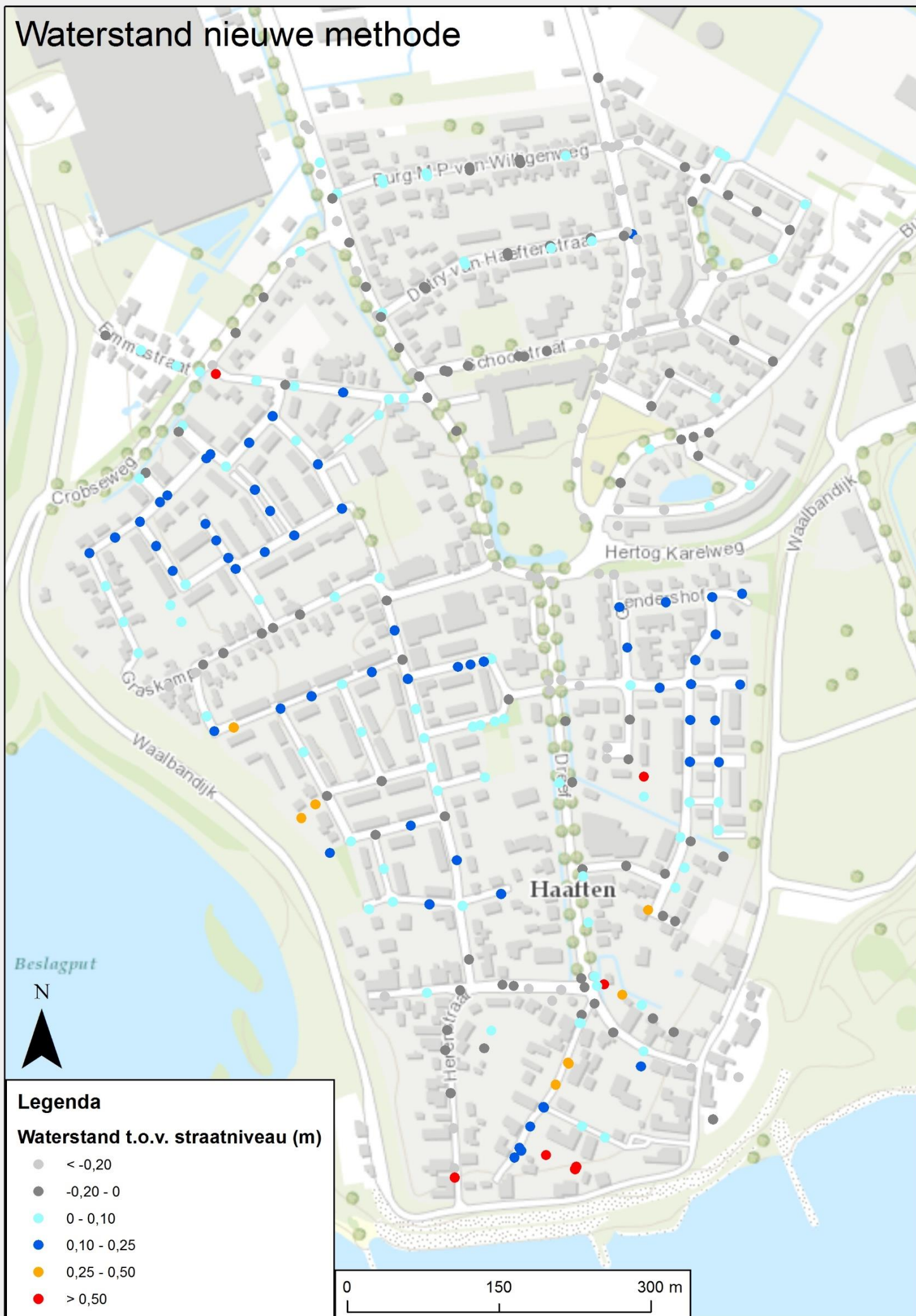
6 Kaarten resultaten wateroverlastanalyse

In deze bijlage staan de kaarten die in hoofdstuk 6 “Resultaten wateroverlastanalyse” van het hoofdrapport zijn besproken in het groot weergegeven.

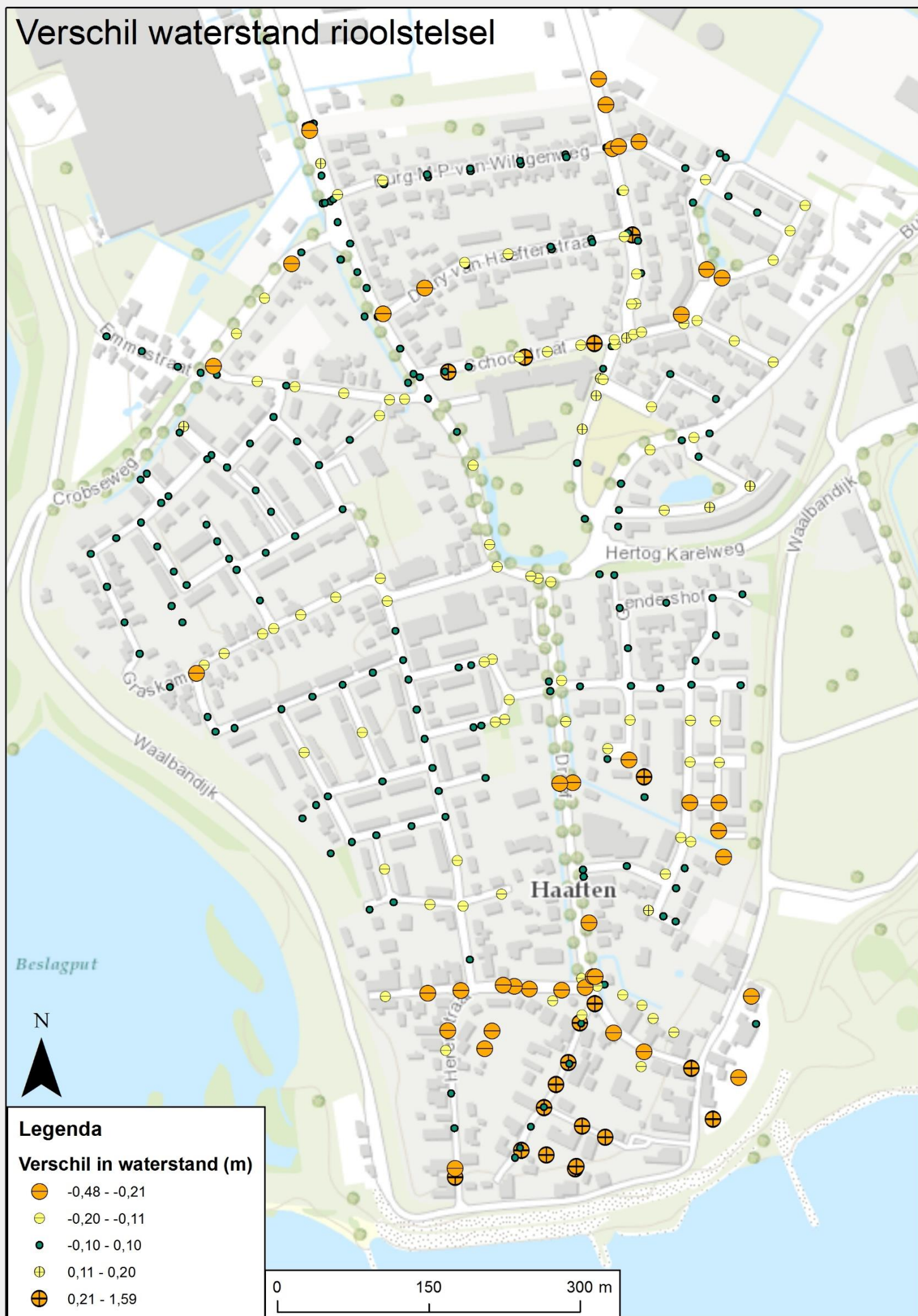
Waterstand referentiemethode



Waterstand nieuwe methode



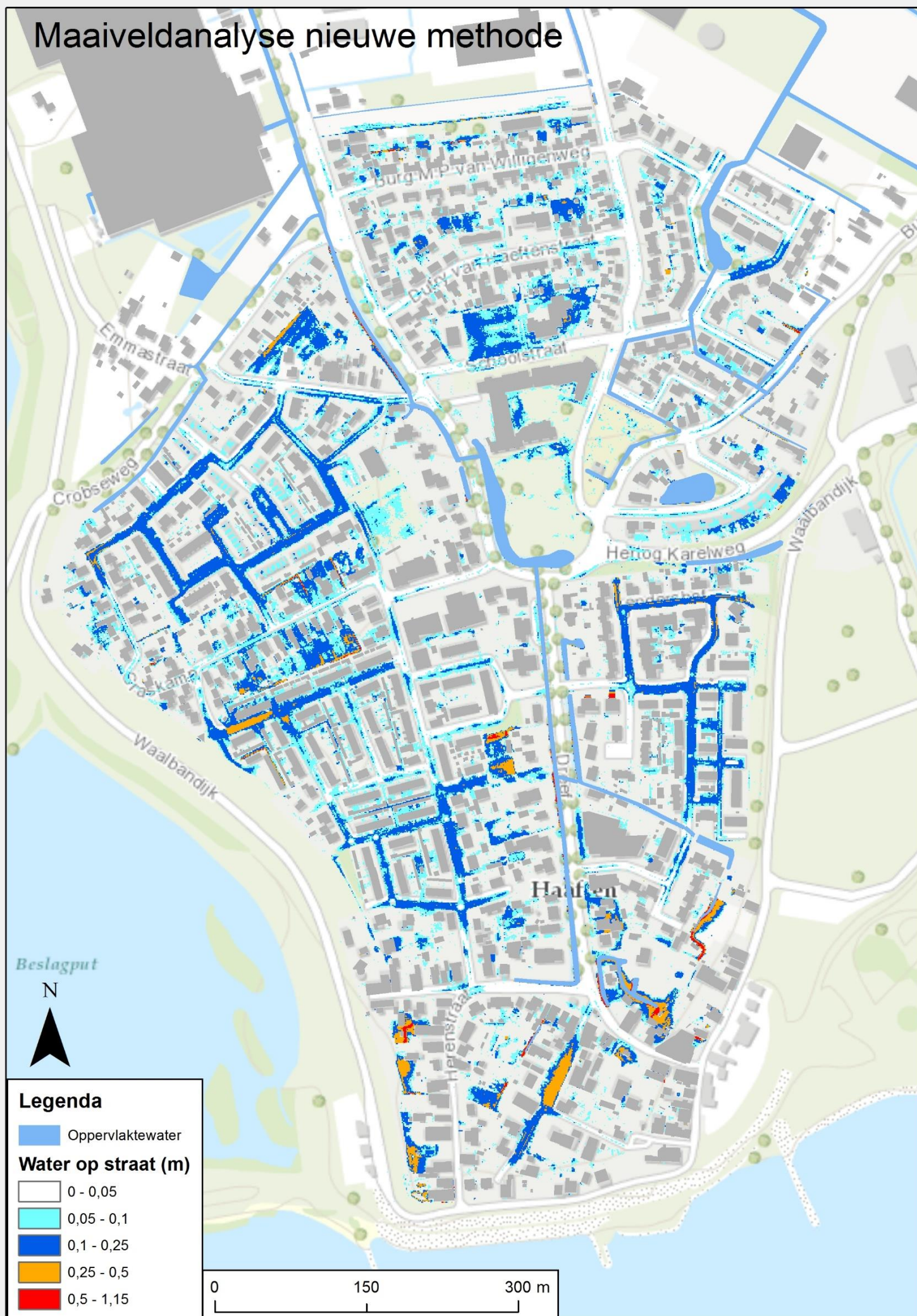
Verschil waterstand rioolstelsel



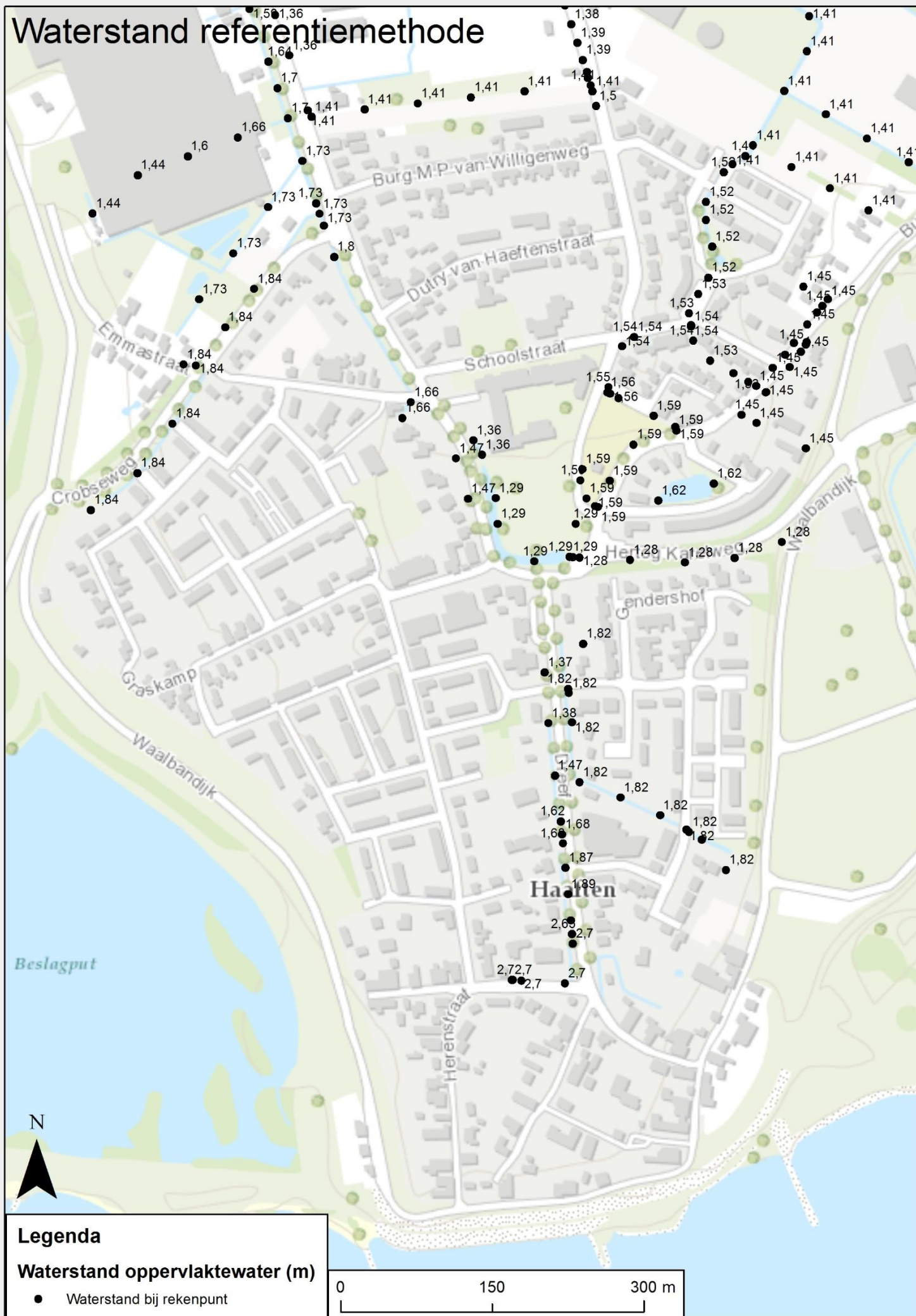
Maaiveldanalyse referentiemethode



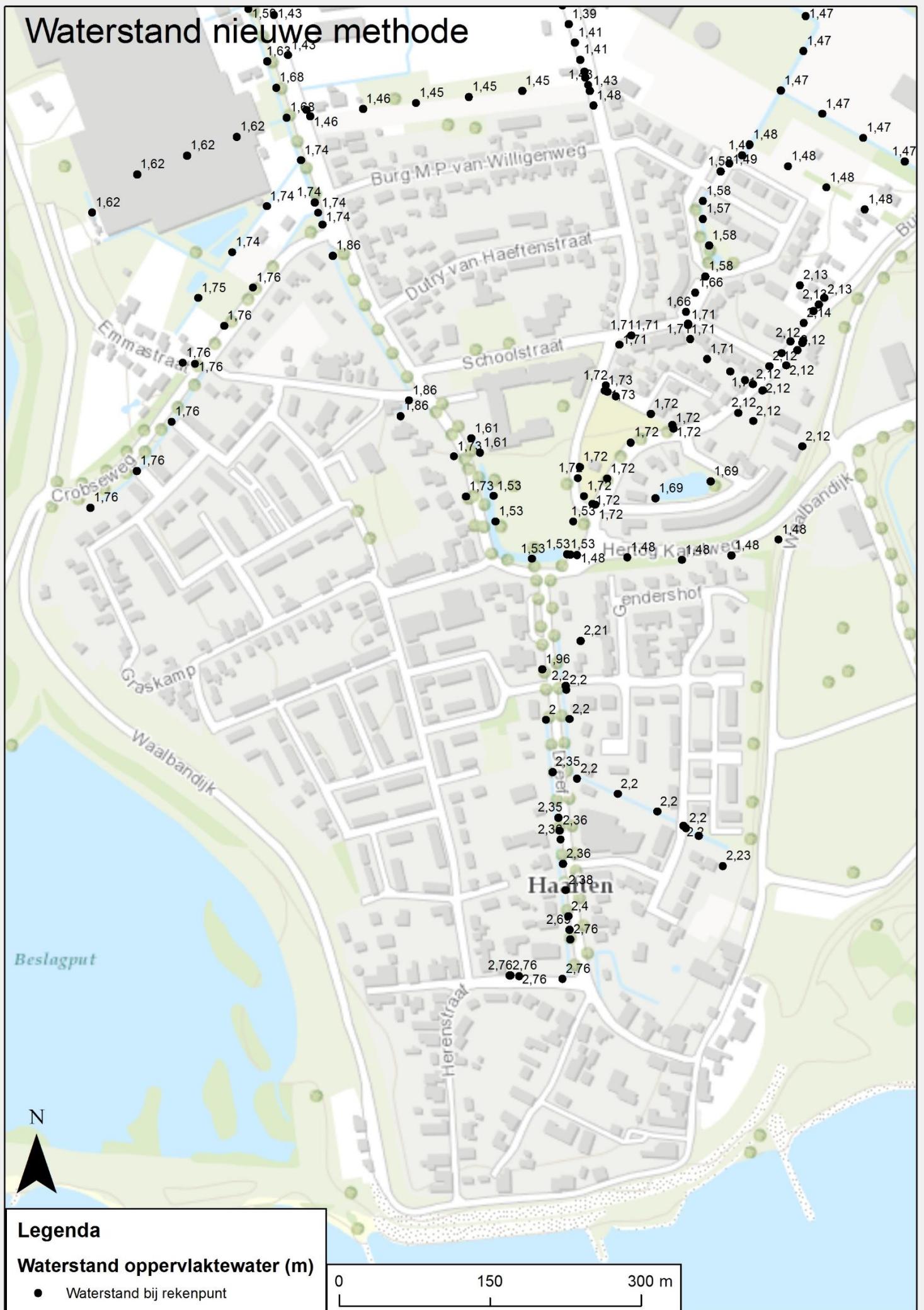
Maaiveldanalyse nieuwe methode



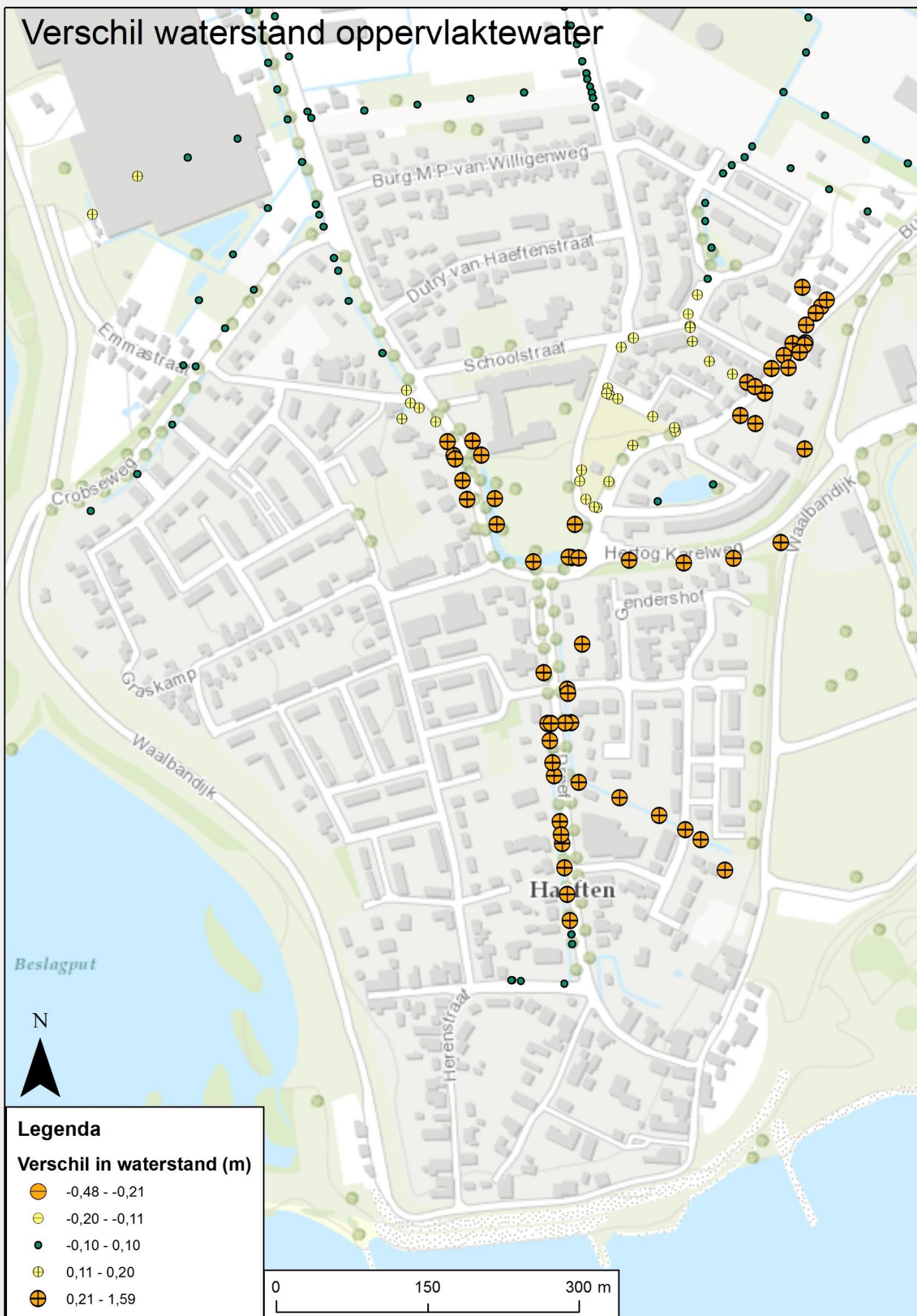
Waterstand referentiemethode



Waterstand nieuwe methode



Vershil waterstand oppervlaktewater



7 Kaart besproken met Nicole Aarts

Hieronder staat de kaart die als basis is gebruik voor het gesprek met Nicole Aarts. Hierop is door Nicole Aarts aangegeven welke overlastlocaties wel of niet bekend voorkomen. Ook staan er eventuele aanpassingen die recent zijn toegepast in de praktijk maar die nog niet in het model zijn meegenomen waarmee is gerekend.

8 Enquête: voorbeeld ingevuld vragenblad

Hieronder staat een voorbeeld van een ingevuld vragenblad. Deze is gebruikt tijdens het uitvoeren van de enquête onder de bewoners om erachter te komen of in de praktijksituatie sprake is van wateroverlast.

Gebied:	1
Postcode:	
Huisnummer:	Crabbeeweg 8

Vraag 1. Heeft u in uw straat ooit last gehad van water op straat?

Ja

Nee

wel in tuin van de buren

Vraag 2. Hoe hoog kwam het water?

Tussen 0 en 10 cm

Tussen 10 en 20 cm

Meer dan 20 cm

Vraag 3. Kwam het tot boven de stoeprand?

Niet boven stoeprand

Boven de stoeprand

Vraag 4. Hoe lang bleef het water ongeveer op straat staan?

Tussen 0 en 10 minuten

Tussen 10 en 30 minuten

Meer dan 30 minuten

Vraag 5. Veroorzaakte het water overlast buiten het huis om?

Ja

Nee

Vraag 6. Veroorzaakte het water overlast binnen het huis?

Ja

Nee

9 Bepalen praktijksituatie

In deze bijlage staat beschreven hoe er tot het oordeel is gekomen of er in de praktijk wel of geen wateroverlast plaats vindt op de locaties zie zijn berekend. Hieronder volgen twee tabellen waaruit kan worden opgemaakt hoe tot de beoordeling is gekomen. In tabel 9-1 is een vergelijking te zien tussen de mening van de gebiedsdeskundige en uitkomst van de enquête. Op basis van deze twee meningen kan een conclusie worden getrokken over de praktijksituatie.

Overlast-locatie	Mening Gebiedsdeskundige	Uitkomst enquête	Conclusie praktijksituatie
1	Niet bekend als overlast locatie	Wel wateroverlast	Overlast locatie
2	Voormalige overlast locatie	-	Voormalige overlast locatie
3	1 ^e deel wel overlast, 2 ^e deel geen overlast	Niet afdoende ondervraagden	Overlast locatie
4	Voormalige overlast locatie	Voormalig overlast	Voormalige overlast locatie
5	Niet bekend als overlast locatie	Onbekend	Onbekend
6	Overlast locatie	-	Overlast locatie
7	Voormalige overlast locatie	-	Voormalige overlastlocatie
8	Niet bekend als overlast locatie	-	Onbekend
9	Voormalige overlast locatie	Voormalig overlast	Voormalige overlastlocatie

Tabel 9-1 Vergelijking tussen de mening van de gebiedsdeskundige en uitkomst van de enquête leidend tot de conclusie over de praktijksituatie.

In tabel 9-2 staat de uitkomst van de enquête. Hierin zijn gegevens te zien zoals het aantal ondervraagden en het response percentage. In de laatste kolom is de conclusie te zien of een locatie wel of geen overlast heeft, of dat nog steeds onbekend is of dat het een voormalige overlastlocatie is.

Locatie	Maximaal mogelijk te ondervragen	Aantal ondervraagd	Response percentage	Verwacht antwoord	Aantal ja	Aantal nee of vroeger	Percentage volgens verwachting	Conclusie overlast locatie
1. Emmastraat	7	4	57,1 %	Ja	4	0	100 %	Ja
3. Pauwenkamp	10	2	20 %	Nee of vroeger	1	1	50 %	Onbekend
4. Landréstraat	8	6	75 %	Nee of vroeger	1	5	85,7 %	Voormalig
5. Gendershof	14	7	50 %	Ja	2	7	22,2 %	Onbekend
9. Koningsstraat	7	5	71,4 %	Nee of vroeger	1	4	80 %	Voormalig

Tabel 9-2 Overzicht van de gegevens van de enquête en de uitkomst.

Locatie 1

De eerste locatie stond niet bekend bij de gebiedsdeskundige als overlast locatie. Voor het controleren van deze locatie was dus een veldbezoek nodig. Tussen de Emmastraat en Crobseweg zijn tuinen met daarvoor een grasveld met bomen. Uit de enquête blijkt dat tijdens en na een hevige regenbui dit gebied een tijd onder water blank blijft staan. De tuinen horen bij twee huizen maar ook bij andere omwonenden gevraagd of dat dit gebied last heeft van wateroverlast bij een hevige bui.



Figuur 9-3 Tuinen aan de Emmastraat

Locatie 2

Deze locatie stond bij de gebiedsdeskundige bekend als voormalige overlast locatie. De overlast locaties lagen in de tuinen van bewoners. De gemeente heeft hier twee sloten aangelegd om de wateroverlast te voorkomen. Dit blijkt niet te zijn verwerkt in het riool- en watermodel van Haaften dat gebruikt is voor de analyse is.

Locatie 3

Van locatie 3 stond bij de gebiedsdeskundige een deel bekend als overlast locatie. In het oostelijke deel van deze locatie is inderdaad sprake van wateroverlast. Er zijn al plannen om in 2018 een hemelwaterafvoer aan te leggen om dit aan te pakken. De overlast in het westelijke deel van de locatie is onbekend bij de gebiedsdeskundige. Dit kan echter komen doordat er op de dijk een grindcover aanwezig is die niet in het model is opgenomen zin. Deze houdt een deel van het water dat van de dijk afstroomt tegen.

Op deze locatie is ook een enquête afgenomen. Het is echter moeilijk om op basis van deze enquête een goede beoordeling hierover te geven, omdat er maar twee bewoners aanwezig waren om vragen te beantwoorden. Daarom wordt er voor deze locatie op alleen op basis van de kennis van de gebiedsdeskundige een conclusie getrokken.



Figuur 9-4 Pauwenkamp in het westelijke deel van locatie 3

Locatie 4

De Landréstraat op locatie 4 heeft volgens de gebiedsdeskundige geen problemen met water op straat. De reden dat dit wel in de analyse naar voren kwam heeft dezelfde reden als locatie 3. Op de dijk is een grindkoffer die niet in het model staat. Deze grindcover houdt een deel van het water dat van de dijk afstroomt tegen. Tijdens de enquête bleek inderdaad dat er een geen last is van water op straat naar een hevige regenbui.



Figuur 9-5 De Landréstraat

Locatie 5

Volgens de gebiedsdeskundige stond deze locatie niet bekend als overlast locatie. Volgens de gebiedsdeskundige kan er een duiker verbinding aanwezig zijn met een nabijgelegen oppervlakte water, maar dit is niet zeker. Een veldbezoek was noodzakelijk om te bepalen of de wateroverlast correct was voorspeld.

Uit de enquête van de bewoners bij Gendershof bleek er geen sprake te zijn van wateroverlast. Ook was de duiker die de verbinding vormt met het oppervlaktewater niet te vinden. Er moet dus nog worden onderzocht hoe dat in het model wel naar voren is gekomen.



Figuur 9-6 Gendershof

Locatie 6

Deze locatie was stond bekend als overlast locatie. Deze locatie is echter een bouwplaats en was niet toegankelijk en kon er derhalve ook geen controle op worden uitgevoerd. Voor deze locatie is op basis van de gebiedsdeskundige een conclusie getrokken.

Locatie 7

Locatie 7 stond bekend als een voormalig knelpunt van waterafvoer. De gemeente heeft hier al aanpassingen doorgevoerd om de wateroverlast tegen te gaan. En is op deze locatie een duiker aangelegd die drie oppervlakte wateren met elkaar verbindt.

Locatie 8

Deze locatie stond niet bekend als overlast locatie. Echter blijkt hier op de dijk een grindkoffer te liggen. Na het raadplegen van de model blijkt deze er niet in te zitten. Dit zou dus de reden kunnen zijn dat het wel als overlastlocatie is aangemerkt door de wateroverlast analyse.

Locatie 9

Volgens de gebiedsdeskundige was er op locatie 9 vroeger wel sprake van wateroverlast. Maar na aanpassing van de gemeente is daar geen last meer van. Deze aanpassingen stonden niet in het model weergegeven. Uit de enquête kwam naar voren dat er inderdaad geen problemen met water op straat na een hevige regenbui.



Figuur 9-7 Koningsstraat