

# WAT IS MINIMAAL NODIG OM EEN GEBIED HYDROLOGISCH GOED TE MODELLEREN?



RAPPORT

2018  
68

WAT IS MINIMAAL NODIG OM EEN GEBIED HYDROLOGISCH  
GOED TE MODELLEREN?

VOORBEELDSTUDIE: VEENWEIDE MET DORPSKERN

RAPPORT

2018

68



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEUR Siebe Bosch, Hydroconsult

MET BIJDRAGEN VAN

Joost Heijkers  
Henk van Hardeveld  
Hans van Leeuwen  
Michelle Talsma

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2018-68

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

## **Wat is minimaal nodig om een gebied hydrologisch goed te modelleren?**

In 2017 heeft STOWA een benchmark uitgevoerd waarbij de prestaties van modelcodes die wateroverlast kunnen simuleren met elkaar zijn vergeleken (STOWA rapport 2017-34). De benchmark bestond uit twee delen:

- a. Inventarisatie van de functionaliteiten waarover de modelcodes beschikken;
- b. Een vergelijking van de prestaties van de modelcodes om wateroverlast (oppervlakkige afstroming) te kunnen simuleren.

De vereiste modelfunctionaliteiten zijn afhankelijk van het type gebied en de hydrologische opgave. In deze verkennende studie is een methodiek ontworpen om die modelfunctionaliteiten te kiezen die minimaal vereist zijn voor het goed simuleren van de inundatie als gevolg van neerslag van een veenweidegebied met dorpskern. Ook voor andere gebiedstypen en hydrologische opgaven in Nederland kan deze methodiek worden gebruikt.

Uit het onderzoek blijkt dat de volgende modelfunctionaliteiten minimaal vereist zijn om de processen in dit type gebied en bij deze hydrologische opgave goed te kunnen simuleren. Voor een veenweide gebied met dorpskern blijken de volgende processen cruciaal te zijn:

- het neerslag-afvoerproces
- het simuleren van kruinbewegingen van stuwen
- het nauwkeurig schematiseren van peilgrenzen
- het kunnen rekenen met riolering voor het stedelijke deel.

Een waardevolle bijvangst van de gevolgde systematiek is dat de simulatieresultaten sterk afhankelijk bleken te zijn van de gebruikte bron van neerslaggegevens. Dit is aanleiding voor de STOWA om met het KNMI en andere partijen te gaan werken aan een Internationaal Radar Composiet (IRC). De eerste versie hiervan komt eind 2018 voor alle waterbeheerders beschikbaar.

Joost Buntsma,  
Directeur STOWA

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# WAT IS MINIMAAL NODIG OM EEN GEBIED HYDROLOGISCH GOED TE MODELLEREN?

## VOORBEELDSTUDIE: VEENWEIDE MET DORPSKERN

## INHOUD

	TEN GELEIDE DE STOWA IN HET KORT	
1	BESTUURLIJKE SAMENVATTING	1
2	INLEIDING	3
3	WERKWIJZE	5
	3.1 Onderzoeksvraag	5
	3.2 Aanpak	5
	3.3 Gevoeligheidsanalyse	5
	3.4 Modeluitvoer	6
	3.5 Modelschematisaties	6
4	BOUW REFERENTIEMODELLEN	8
	4.1 Inleiding	8
	4.2 SOBEK	8
	4.3 HEC-RAS	10
5	KALIBRATIE	12
	5.1 Inleiding	12
	5.2 Werkwijze	12
	5.3 Uitkomsten	13
	5.4 Conclusie	16

<b>6</b>	<b>GEVOELIGHEIDSANALYSE</b>	<b>17</b>
<b>6.1</b>	Neerslag-afvoermodel	17
<b>6.2</b>	Het schematiseren van de riolering	20
<b>6.3</b>	Kruinbewegingen	22
<b>6.4</b>	Het schematiseren van peilgrenzen	24
<b>6.5</b>	De stromingsvergelijkingen	26
<b>6.6</b>	Het aanwenden van verschillende neerslagbronnen	28
<b>6.7</b>	Samenvatting berekende maxima	31
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>TOEKOMSPERSPECTIEF</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>34</b>

# 1

## BESTUURLIJKE SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft een onderzoek naar de functionaliteiten die software voor het simuleren van waterbeweging ten minste moet bezitten. Het onderzoek richt zich specifiek op de reconstructie van de inundatie van polder De Tol met de daarin gelegen dorpskern Kockengen, in juli 2014. Deze polder is gelegen in het beheergebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR).

De onderzoeksvraag luidt: *welke modelfunctionaliteiten zijn minimaal vereist voor het simuleren van inundatie als gevolg van de extreme neerslaggebeurtenis in juli 2014 in polder De Tol?*

Van deze polder zijn diverse gedetailleerde modelschematisaties beschikbaar, voortgekomen uit het project Inundatie: Reken Maar! van HDSR in november 2016. Twee van deze modelschematisaties zijn, in samenspraak met HDSR, in het kader van dit onderzoek doorontwikkeld: de schematisatie in HEC-RAS 5.0 en de schematisatie in SOBEK 2.14.

Beide modelschematisaties zijn opgewaardeerd om ze geschikt te maken voor een gevoeligheidsanalyse. Zo is de schematisatie in SOBEK uitgebreid met een neerslag-afvoercomponent en een gedetailleerde rioleringscomponent. Vervolgens is hij opnieuw geijkt. Van de HEC-RAS-schematisatie is de ruimtelijke discretisatie verbeterd.

In de gevoeligheidsanalyse zijn vijf modelaspecten onderzocht:

- Het wel of niet gebruiken van een neerslag-afvoermodel
- Het wel of niet gedetailleerd schematiseren van het rioolstelsel
- Het wel of niet simuleren van kruinbewegingen van stuwen
- Het wel of niet gedetailleerd schematiseren van peilgrenzen
- Het kiezen tussen twee natuurkundige stromingsvergelijkingen: de ondiepwatervergelijkingen en de *diffusive wave-approximation*

In de gevoeligheidsanalyse werd onderzocht in hoeverre het inundatiepatroon verandert als gevolg van de gemaakte keuze. Daarnaast zijn verschillende algemeen beschikbare neerslagbronnen met elkaar vergeleken.

De conclusies luiden als volgt:

- Een neerslag-afvoermodel komt uit dit onderzoek naar voren als onontbeerlijk.
- Het gedetailleerd modelleren van het rioolstelsel is in dit onderzoek alleen een minimumvereiste wanneer wordt gekeken naar waterhoogtes binnen de dorpskern.
- Het kunnen simuleren van kruinbewegingen is in dit onderzoek als minimumvereiste geïdentificeerd.
- Het goed kunnen schematiseren van peilgrenzen is volgens dit onderzoek een minimumvereiste voor een modelcode.
- Het kunnen rekenen met de volledige ondiepwatervergelijkingen is volgens dit onderzoek geen minimumvereiste, maar wordt wel gezien als wenselijk.



In de onderstaande tabel worden de uitkomsten samengevat.

Modelfunctionaliteit	Invloed op hoogwaterstanden	Invloed op duur inundatie	Oordeel
Neerslag-afvoermodel	Groot	Klein	Cruciaal
Ruimtelijke schematisering rioolstelsel	Klein	Nihil	Cruciaal voor uitspraken binnen de dorpskern
Simuleren kruinbewegingen stuwen	Klein	Groot	Cruciaal
Accuraat schematiseren peilgrenzen	Middel	Groot	Cruciaal
Stromingsvergelijkingen	Klein	Klein	Gewenst

Vergeleken met de gevoeligheidsanalyse blijkt de simulatie een orde van grootte gevoeliger voor de keuze van een geïjkt radarneerslagproduct. Omwille hiervan wordt aanbevolen om bij modelstudies altijd meerdere neerslag(radar)bronnen te raadplegen.

Inmiddels wordt in opdracht van de STOWA, Het Waterschapshuis en Rijkswaterstaat/WVL door het KNMI gewerkt aan de ontwikkeling van een wetenschappelijk onderbouwd Internationaal Radar Composiet die tot verbetering van de neerslagproducten moet leiden.

# 2

## INLEIDING

Door de STOWA is een benchmark uitgevoerd naar de verschillende modelcodes voor het berekenen van wateroverlast. In deze Benchmark zijn de modelfunctionaliteiten geïnventariseerd (wat kunnen de modellen?). De vraag wat de modelcodes tenminste moeten kunnen om wateroverlast te berekenen is echter niet beantwoord. Dit is ook gebiedsafhankelijk. Modellen kunnen zeer uitgebreid opgezet worden, met veel verschillende modelijkheden waaronder het al dan niet integraal rekenen met een oppervlaktewatermodel en een rioleringsmodel. Vanuit de STOWA willen we de waterschappen een handreiking bieden voor het bepalen van het 'minimum pakket' waarmee gerekend moet worden. In deze studie is een aanzet gemaakt voor deze methodiek, die in wezen bestaat uit het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse.

Als case is gestart met Kockengen waar de hevige neerslag van 28 juli 2014 tot wateroverlast leidde. Van dit gebied zijn veel gegevens en modellen beschikbaar.

### **CASE KOCKENGEN: INUNDATIE REKEN MAAR!**

Op 28 juli 2014 viel zeer hevige neerslag op het dorp Kockengen en omgeving. De daaropvolgende inundatie en overlast heeft veel teweeggebracht bij de bewoners, de gemeente en het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR).

De materiële en immateriële schade als gevolg van de inundatie waren voor het waterschap aanleiding om direct een zorgvuldige hydrologische reconstructie van de gebeurtenissen te laten uitvoeren met een geïntegreerd simulatiemodel. Doel was om feitelijk en transparant te kunnen communiceren naar gemeente en bewoners.

De uitgevoerde reconstructie gaf veel inzicht in hoe de overstroming zich van uur tot uur ontwikkelde. Echter, bij het waterschap leefde toen, specifiek ten aanzien van inundaties, de vraag welke modelfunctionaliteiten nu werkelijk nodig zijn om dit type vraag te kunnen beantwoorden.

Het waterschap besloot vervolgens om meerdere modelcodes te gaan onderzoeken. Dit heeft uiteindelijk geleid tot het zeer goed ontvangen symposium Inundatie: Reken Maar!, wat HDSR in november 2016 samen met STOWA organiseerde.

Na dit symposium heeft STOWA de performance van verschillende modelcodes aan de hand van daarmee geconstrueerde modellen mogen vergelijken. We citeren hier uit het STOWA-rapport *Benchmark Inundatiemodellen* (STOWA, 2017):

*In de testbank worden de verschillende modelcodes onderworpen aan zeven testcases. De uitkomsten van de verschillende modelcodes worden daarna vergeleken met de analytische resultaten en elkaar. Op deze manier kan een objectief beeld gevormd worden van de onderlinge prestaties van de verschillende hydrau-*

*lische modellen in termen van de nauwkeurigheid van het numerieke oplossingsalgoritme en de gekozen vergelijkingen.*

*De testcases zelf zijn zo gekozen dat een indruk verkregen kan worden van verschillende hydrologische en hydraulische aspecten die we tegenkomen bij met name inundaties in stedelijk gebied. De testbank bestaat uit zeven testcases.*

Vervolg onderzoek: uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse

Om nu naast de nauwkeurigheid van het numerieke oplossingsalgoritme en de gekozen vergelijkingen ook inzicht te krijgen in welke modelfunctionaliteiten noodzakelijk c.q. gewenst zijn heeft het waterschap bij STOWA aangegeven dat een vervolgstudie gewenst zou zijn.

Dit rapport beschrijft die vervolgstudie, waarin middels een gevoeligheidsanalyse verschillende modelfunctionaliteiten worden onderzocht. We onderzoeken de volgende aspecten die mogelijk invloed hebben op de kwaliteit van de simulatie:

- Het wel of niet gebruiken van een neerslag-afvoermodel
- Het wel of niet gedetailleerd schematiseren van het rioolstelsel
- Het wel of niet simuleren van kruinbewegingen van stuwen
- Het wel of niet gedetailleerd schematiseren van peilgrenzen
- Het kiezen tussen twee natuurkundige stromingsvergelijkingen: de ondiepwatervergelijkingen en de diffusieve wave-approximation

Daarnaast zijn verschillende algemeen beschikbare neerslagbronnen met elkaar vergeleken.

# 3

## WERKWIJZE

### 3.1 ONDERZOEKSVRAAG

De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd: *welke modelfunctionaliteiten zijn minimaal vereist voor het simuleren van inundatie als gevolg van de extreme neerslaggebeurtenis in juli 2014 in polder De Tol?*

### 3.2 AANPAK

Onderzocht worden de verschillende modelfunctionaliteiten middels een gevoeligheidsanalyse. Om de modellen geschikt te maken voor deze analyse worden ze eerst opgewaardeerd. De opgewaardeerde modellen worden onderworpen aan vijf specifieke analyses en de modeluitkomsten worden vergeleken.

Daarnaast wordt het model doorgerekend met verschillende algemeen beschikbare neerslagbronnen.

### 3.3 GEVOELIGHEIDSANALYSE

De modelschematisatie worden getest ten aanzien van vijf modelaspecten. De uitkomsten moeten inzicht bieden in de mate waarin de bijbehorende modelaspecten noodzakelijk zijn om voldoende nauwkeurig het verloop van de waterhoogtes in het studiegebied te kunnen simuleren. Het betreft de volgende vijf aspecten:

- Het wel of niet gebruiken van een neerslag-afvoermodel
- Het wel of niet gedetailleerd schematiseren van het rioolstelsel
- Het wel of niet simuleren van kruinbewegingen van stuwen
- Het wel of niet gedetailleerd schematiseren van peilgrenzen
- Het kiezen tussen twee natuurkundige stromingsvergelijkingen: de ondiepwatervergelijkingen en de diffusieve wave-approximation

De bovenstaande gevoeligheidsanalyses vertalen zich in de volgende praktische vraagstellingen:

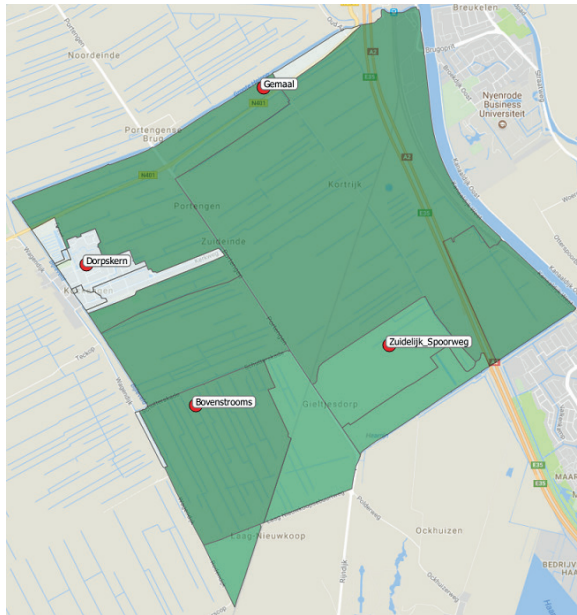
1. Is een neerslag-afvoermodel noodzakelijk of kan worden volstaan met een aanname voor de hoeveelheid netto uitstroming naar de watergangen?
2. Is het expliciet schematiseren van rioolbuizen relevant of kan worden volstaan met een conceptuele beschrijving van het gehele rioolstelsel?
3. Is het simuleren van de kruinbeweging van stuwen relevant of kan worden volstaan met stuwen met de kruinhoogte op streefpeil?
4. Is het nauwkeurig schematiseren van peilgrenzen relevant of voldoet een rekenrooster op lagere resolutie dan het AHN, zonder de peilgrenzen uitdrukkelijk mee te nemen?
5. Moet per sé met de volledige ondiepwatervergelijkingen worden gerekend of kan worden volstaan met de hiervan afgeleide diffusieve wave approximation?

### 3.4 MODELUITVOER

Voor elk van de genoemde aspecten wordt de modelschematisatie doorgerekend met de twee varianten en worden de inundatiedieptes op enkele vooraf vastgestelde tijdstappen vergeleken. Tenslotte worden de inundatiedieptes en verschilwaarden geplot.

Daarbij wordt op vier locaties in het gebied het verloop van de waterhoogte als functie van de tijd gepresenteerd. Zie Figuur 1.

FIGUUR 1 LOCATIES WAARVOOR DE WATERHOOGTE ALS FUNCTIE VAN DE TIJD WORDT GEPRÉSENTEERD



### 3.5 MODELSCHEMATISATIES

Om dit onderzoek wordt voortgebouwd op enkele van de modellen zoals die bij het symposium Inundatie: Reken Maar! zijn gepresenteerd. Daartoe wordt samengewerkt met diverse partijen die een aandeel in dat symposium hebben gehad.

De modellen die gegeven waren in Inundatie: Reken maar! behoeften echter nog enige verbeteringen om de benodigde gevoeligheidsanalyse te kunnen uitvoeren. Zo moest de schematisatie in SOBEK worden uitgebreid met een rioleringscomponent. Om het proces voortvarend en zelfstandig te kunnen uitvoeren wordt in plaats van het beschikbare SIMGRO-model een neerslag-afvoermodel in SOBEK-RR gebouwd.

De resulterende modelschematisatie wordt geijkt aan de beschikbare meetgegevens. Hierover meer in hoofdstuk 5 Kalibratie.

Bij het HEC-RAS-model is de uitdaging om de balansfout in de droge aanlooperperiode op te lossen. Hier wordt op aanraden van de makers van het programma het rekenrooster geoptimaliseerd en worden enkele numerieke instellingen aangepast.

Tabel 1 toont welke referentiemodellen zijn ingezet voor de onderzochte modelaspecten.

TABEL 1

## OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE MODELSCHEMATISATIE VOOR ELK VAN DE MODELASPECTEN.

<b>Analyse</b>	<b>Referentiemodel</b>
Neerslag-afvoermodel	SOBEK met riolering en neerslag-afvoer
Rioleringscomponent	SOBEK met riolering en neerslag-afvoer
Stuwkruinen	SOBEK met riolering en neerslag-afvoer
Peilgrenzen	HEC-RAS 5.0 met verbeterd rekenrooster
Stromingsvergelijkingen	HEC-RAS 5.0 met verbeterd rekenrooster

De analyse met verschillende neerslagbronnen voeren we uit met het SOBEK-model met riolering en neerslag-afvoercomponent.

Hoofdstuk 4 geeft u een korte presentatie van de wijze waarop de modellen zijn opgebouwd.

# 4

## BOUW REFERENTIEMODELLEN

### 4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de stappen gepresenteerd die genomen zijn om te komen tot de referentie-modelschematisaties waarmee de gevoeligheidsanalyse wordt uitgevoerd.

Het streven is om zowel in SOBEK als HEC-RAS te komen tot een zo compleet mogelijk referentiemodel met daarin opgenomen: alle te toetsen modelaspecten. Hierdoor kan iedere analyse beperkt blijven tot het simpelweg verwijderen of uitschakelen van het betreffende aspect:

In het SOBEK-model moet het mogelijk zijn om:

- de neerslag-afvoercomponent te verwijderen
- de rioleringscomponent te vervangen door een conceptueel model
- de kruinsturing uit te schakelen en te vervangen door een vast peil

In het HEC-RAS-model moet het mogelijk zijn om:

- de resolutie van de rekencellen grover maken
- te schakelen tussen de stromingsvergelijkingen

### 4.2 SOBEK

Het SOBEK-model geschikt maken voor de gevoeligheidsanalyse betekent dat zowel een rioleringscomponent als een neerslag-afvoercomponent moet worden toegevoegd. Dergelijke grote ingrepen kunnen niet worden gedaan zonder het resulterende model opnieuw te ijken aan meetgegevens. Dit proces wordt behandeld in hoofdstuk 5: Kalibratie.

#### RIOLERINGSCOMPONENT

Van HDSR is een modelschematisatie in SOBEK van het rioolstelsel van Kockengen ontvangen. Deze schematisatie werd gecombineerd met de bestaande 1D-modelschematisatie van de watergangen. Ter plaatse van de riooloverstorten zijn de beide modelschematisaties handmatig aan elkaar gekoppeld.

Bij het importeren van de rioolschematisatie blijkt dat het aan de westzijde van het dorp een iets groter oppervlakte dekt dan het oorspronkelijke SOBEK-model. Om de resultaten van berekeningen met en zonder riolering objectief vergelijkbaar te houden is dit uitstekende gedeelte uit de uiteindelijke modelschematisatie verwijderd.

FIGUUR 2

RIOOLSTELSEL VAN KOCKENGEN NA TOEVOEGING AAN DE POLDERSCHEMATISATIE IN SOBEK



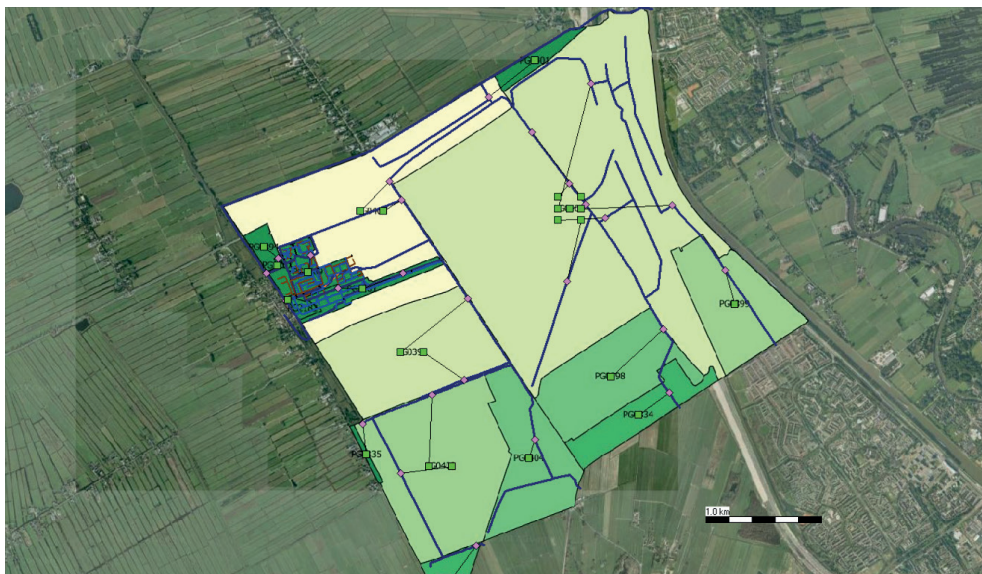
### NEERSLAG-AFVOERCOMPONENT

Van het gebied is een neerslag-afvoermodel in SIMGRO beschikbaar. Bij het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse werden echter grote uitdagingen voorzien om de oppervlaktes tussen de verschillende varianten consistent te houden. De riolering in SOBEK heeft namelijk zijn eigen neerslag-afvoercomponent, en hiervoor zou in de verschillende varianten moeten worden gecompenseerd. Daarnaast was de SIMGRO-schematisatie niet in eigen beheer, wat een voortvarende aanpak zou bemoeilijken. Daarom is er, in samenspraak met HDSR, voor gekozen om zelfstandig een nieuw neerslag-afvoermodel te bouwen in SOBEK-RR en deze aan de hydraulische modelschematisatie te koppelen.

Bij het bouwen van deze modelcomponent wordt voor ieder peilgebied een of meer knopen van het type *RR-Unpaved* aangemaakt. Als maaiveldhoogte wordt per afwaterende eenheid telkens de gemiddelde waarde uit het onderliggende AHN gebruikt en voor de bodemsoort de Bodemkaart van Nederland. Als landgebruik wordt aangenomen dat het hele gebied uit grasland bestaat. De randvoorwaarde voor iedere knoop is het onderhavige streefpeil.

FIGUUR 3

NEERSLAG-AFVOERSCHEMATISATIE IN SOBEK-RR





Tabel 2 toont de oppervlaktes in de modelschematisatie. Merk op dat het oppervlakte verhard in het referentiemodel onderdeel is van de rioleringsmodule en derhalve niet zichtbaar in de vorm van RR-knopen in de modelschematisatie.

TABEL 2 OPPERVLAKTES VERHARD EN ONVERHARD IN HET STUDIEGEBIED

Peilgebied	Onverhard (m <sup>2</sup> )	Verhard (m <sup>2</sup> )
PG0336	171466	0
PG0394	65964	0
PG0397	1069526	0
PG0398	747434	0
PG0399	685649	0
PG0400	5000110	0
PG0401	102677	0
PG0402	1766656	0
PG0403	1371581	0
PG0404	703547	0
PG0834	346322	0
PG0835	21643	0
PG1767	7281	0
PG1768	1779	0
PG1769	120840	92372
PG2181	131898	29002
PG2182	24376	8118
<b>Totaal</b>	<b>12338749</b>	<b>129493</b>

### 4.3 HEC-RAS

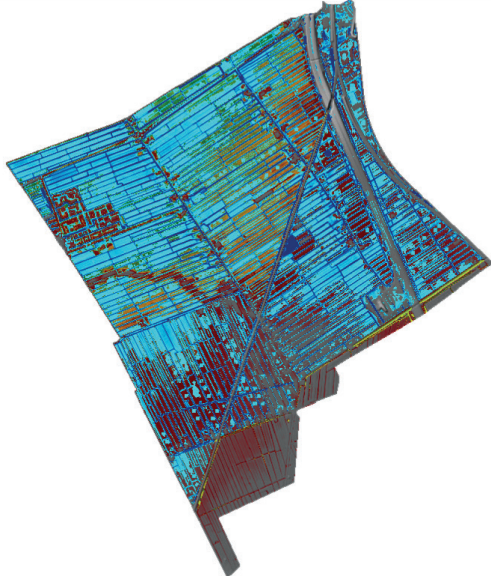
Als basis voor het HEC-RAS-model dient de modelschematisatie van Hydroconsult zoals opgeleverd in het project Inundatie: Reken Maar!

De simulatie beslaat de periode van 28 juli 2014 10:00 uur tot 29 juli 00:00.

Ten behoeve van een goede initialisatie is een *restartfile* op basis van een simulatie van 8 dagen gemaakt: van 20 tot 28 juli 2014. De simulatie ten behoeve van de *restartfile* vangt aan met een neerslagvolume van 20 mm in twee uur tijd, gevolgd door geen neerslag in de resterende tijd.

Om het model geschikt te maken voor de gevoeligheidsanalyse is het rekenrooster opnieuw aangemaakt. Op advies van de makers van HEC-RAS zijn enkele numerieke instellingen verfijnd.

FIGUUR 4 MODELSCHEMATISATIE VAN POLDER DE TOL IN HEC-RAS



# 5

## KALIBRATIE

### 5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de kalibratie van de modelschematisatie in SOBEK beschreven. Deze wordt geijkt aan cumulatieve maaldebieten uit 2013. Hiertoe wordt het model belast met neerslaggegevens uit het re-analysisbeeld van KNMI, te weten KNMI Tertiair. Daarnaast wordt een gepubliceerd grondwaterregime (STOWA, 2010) gebruikt om het verloop van de gesimuleerde grondwaterstanden aan te ijken.

### 5.2 WERKWIJZE

De kalibratie richt zich op het zo goed mogelijk reproduceren van gemeten cumulatieve afvoeren van gemaal De Tol alsmede een realistische bandbreedte tussen GLG en GHG.

De volgende gegevens worden gebruikt in het kalibratieproces:

- Neerslag: KNMI Tertiair, geaggregeerd van 5 minuten naar uurneerslagsommen
- Debieten: het totaaldebiet van vijzelpompen 1 en 2 van gemaal De Tol, gecumuleerd
- Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken (STOWA, 2010)

Er wordt nadrukkelijk niet geijkt aan gemeten waterhoogtes. Dit wordt gedaan om de resultaten van de uiteindelijke vergelijking van de beschikbare neerslagbronnen zo objectief mogelijk te houden.

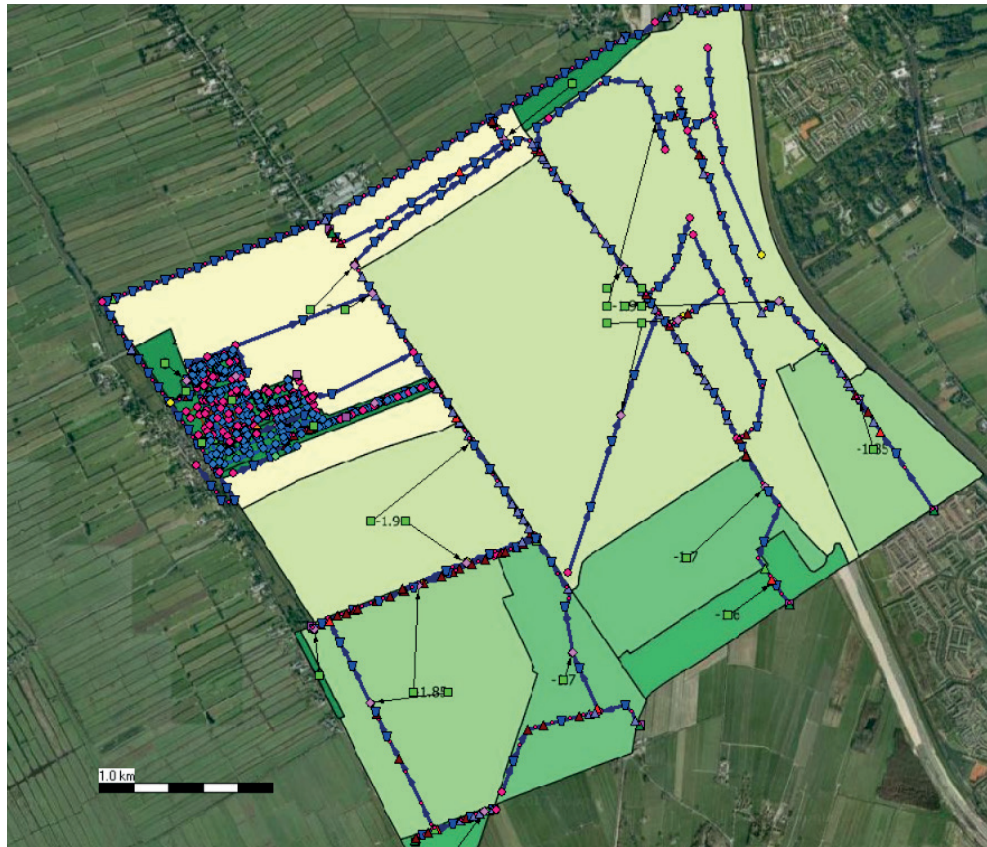
In het model worden de volgende stuwen uitgerust met beweegbare kruin, met een blokfunctie die het zomer- en winterstreefpeil volgt:

- Schutterskade West
- Schutterskade Oost
- Portengen
- Kortrijk
- Kerkweg noord

Om droogval in de zomermaanden te voorkomen, wordt de modelschematisatie ten behoeve van het kalibratieproces op een zestal welbepaalde locaties van een peilgestuurde inlaat voorzien.

FIGUUR 5

LIGGING VAN DE ZES PEILGESTUURDE INLAATVOORZIENINGEN



De volgende modelparameters worden als parameters beschouwd waaraan mag worden gedraaid tijdens de kalibratie:

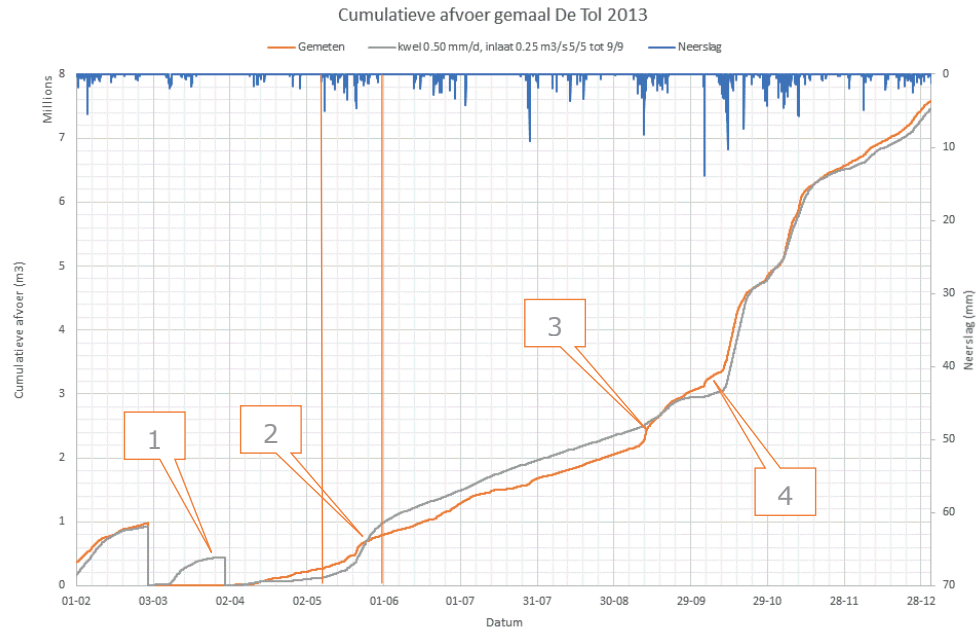
- Drainageweerstand: waarden volgens Ernst tussen 10 en 50 dagen
- Infiltratieweerstand: waarden tussen de 300 en 600 dagen
- Kwelflux, met als opgelegde beperking dat alleen een constante waarde mag worden ingezet: waarden tussen -1 en +1 mm/d.
- Peilgestuurde inlaat en doorspoeldebiet: waarden tussen 0 en 0.75 l/s/ha (0.93 m<sup>3</sup>/s; pers. comm. Joost Heijkers, 2018).

Bij het kalibreren aan de cumulatieve maalstaten wordt rekening gehouden met de overgangen tussen zomer- en winterstreefpeil. Om deze datums te bepalen wordt gebruik gemaakt van de beschikbare meetgegevens voor de stuwen op de gegevens-website van HDSR: <https://hdr.lizard.net>. Hieruit blijkt dat zomerstreefpeil in 2013 werd ingesteld rond half april en winterstreefpeil tegen eind september.

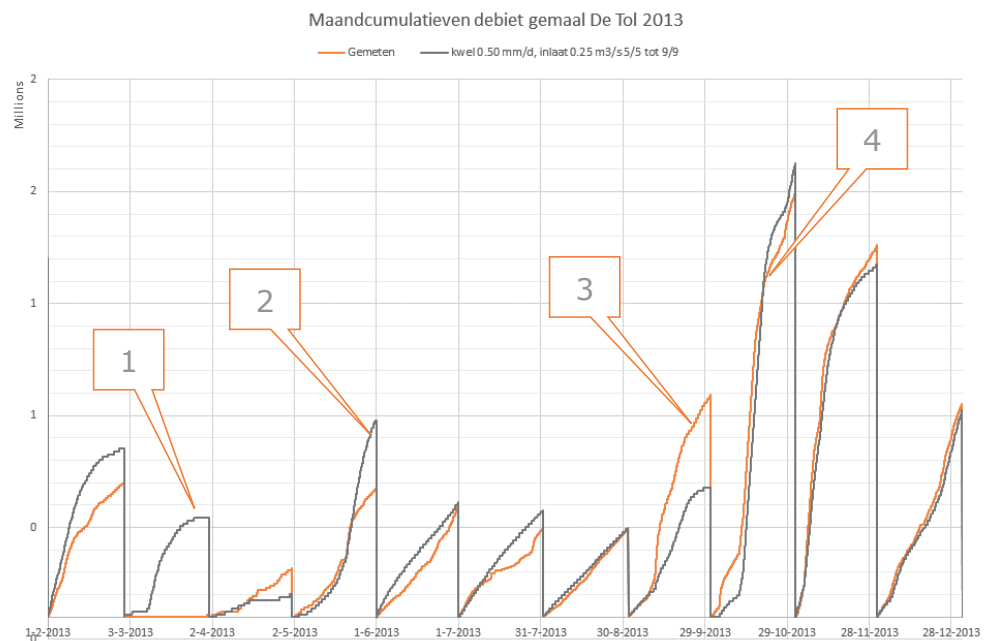
### 5.3 UITKOMSTEN

Analyse van de aangeleverde maalstaten leert dat de gegevens van 1 maart 2013 01:00 uur tot 30 maart 2013 hierin ontbreken. Deze maand worden daarom weggelaten uit de hieronder getoonde uitkomsten. Figuur 6 toont de cumulatieven, met daarin genummerd vier aandachtspunten. Figuur 7 toont de maandcumulatieven.

**FIGUUR 6** GEMETEN EN GESIMULEERDE CUMULATIEVE AFVOER VOOR GEMAAL DE TOL IN 2013. DE MAAND MAART IS WEGGELATEN IN VERBAND MET HET ONTBREKEN VAN MEETGEGEVENS



**FIGUUR 7** GEMETEN EN GESIMULEERDE MAANDELIJKE CUMULATIEVE AFVOEREN VOOR GEMAAL DE TOL IN 2013



De vier aandachtspunten betreffen:

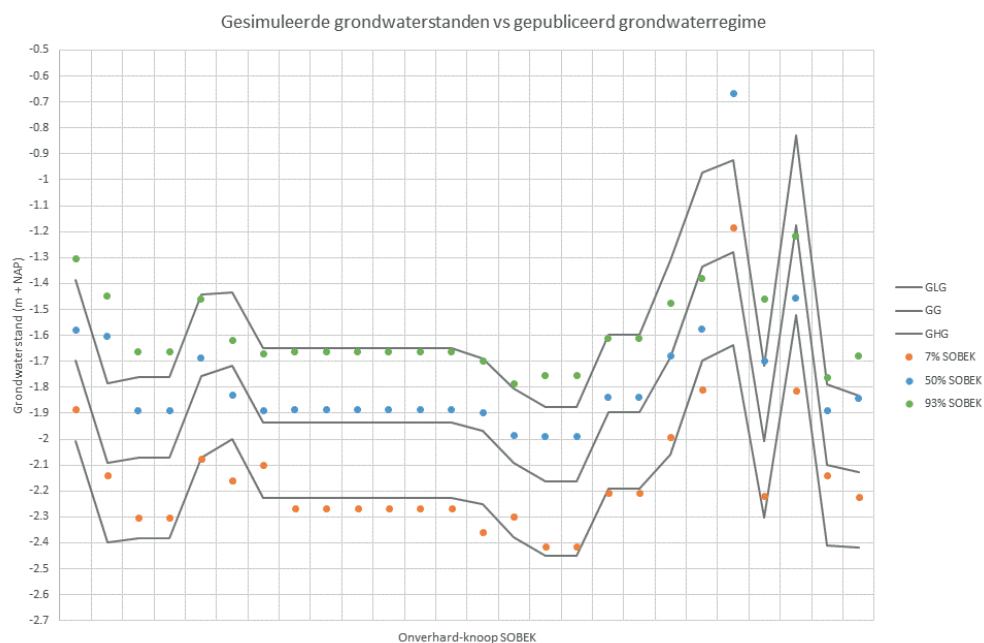
1. Meetgegevens voor de maand maart ontbreken. Derhalve wordt het cumulatief op 1 maart en 1 april terug op nul gezet.
2. De gemeten cumulatieven geven hier slechts een geringe toename van de afvoer terwijl het model een forse afvoer geeft. In de neerslagbron (KNMI Tertiair) komt rond deze datum een neerslagvolume van 38 mm in 96 uur voor. Zie de verticale lijnen in de grafiek.
3. Na de zomer lijkt het achterbleven volume volgens de meetgegevens alsnog tot afvoer te komen.
4. Vanaf dit punt loopt het cumulatieve volume weer gelijk op met de meetgegevens.

De gesimuleerde grondwaterstanden voor het gehele jaar 2013 worden geoptimaliseerd aan de hand van het grondwaterregime uit de publicatie (STOWA, 2010). Er is van uit gegaan dat een simulatie van één jaar afdoende is om een kwantitatieve vergelijking te kunnen maken met de GG's aangezien het 'geheugen' van veenweidepolders met een kleine drooglegging erg kort is.

Op basis van Averink (2013) worden resp. de 7-, 50- en 93-percentielwaarden van de berekende grondwaterstanden als representatief beschouwd voor de GLG, GG en GHG uit STOWA (2010). De parameter infiltratieweerstand stelt in staat om de berekende GLG te optimaliseren en de parameter drainageweerstand om GHG te optimaliseren. Figuur 9 toont het resultaat.

FIGUUR 8

## GESIMULEERD VS. GEPUBLICEERD GRONDWATERREGIME VOOR ELK VAN DE ONVERHARD-KNOPEN IN DE MODELSCHEMATISATIE



De gesimuleerde grondwaterregimes komen goed overeen met de gepubliceerde waarden: voor de meeste onverhard-knopen is het verschil niet groter dan 5 cm.

Geconstateerd wordt dat het model zowel de afvoer als het grondwaterregime goed simuleert, met name in de winter en de zomer. Voor de zomer is het goede resultaat vooral te danken aan de opgedrukte inlaatflux (peilgestuurd + doorspoeldebiet). Het model heeft moeite met de overgang van winter naar zomer en vice versa. Dit is een bekend fenomeen in talloze neerslag-afvoerconcepten. Omdat de periode van interesse voor deze studie in juli ligt, gaan we er in het kader van dit onderzoek niet dieper op in.

Het resultaat wordt verkregen met de volgende parameterinstellingen:

- Drainageweerstand: 40 dagen (Ernst)
- Infiltratieweerstand vanuit de watergang: 400 dagen (Ernst)
- Weerstand oppervlakkige afstroming: 0.1 dag
- Infiltratiecapaciteit bodem: 10 mm/u
- Berging op land: maximaal 5 mm

Daarnaast is een constante kwelflux en een zomers doorspoeldebiet afgeleid uit de meetgegevens:

- Kwelflux constant 0.5 mm/d
- Doorspoeldebiet: 0.10 m<sup>3</sup>/s tussen 1 april en 5 mei en 0.25 m<sup>3</sup>/s tussen 5 mei en 9 september

Deze waarden vallen binnen de eerder vanuit het waterschap opgegeven bandbreedte.

#### 5.4 CONCLUSIE

Geconcludeerd wordt dat de kalibratie van de modelschematisatie aan de cumulatieve afvoeren van 2013 en het grondwaterregime is geslaagd voor het doel van deze studie. Het resultaat werd bewerkstelligd door de infiltratieweerstand te optimaliseren aan GLG en de snelle drainageweerstand aan GHG. Daarnaast moest het model worden uitgebreid met peilgestuurde inlaat, een kwelflux en een doorspoeldebiet om de waterbalans sluitend te krijgen.

# 6

## GEVOELIGHEIDSANALYSE

### 6.1 NEERSLAG-AFVOERMODEL

#### INLEIDING

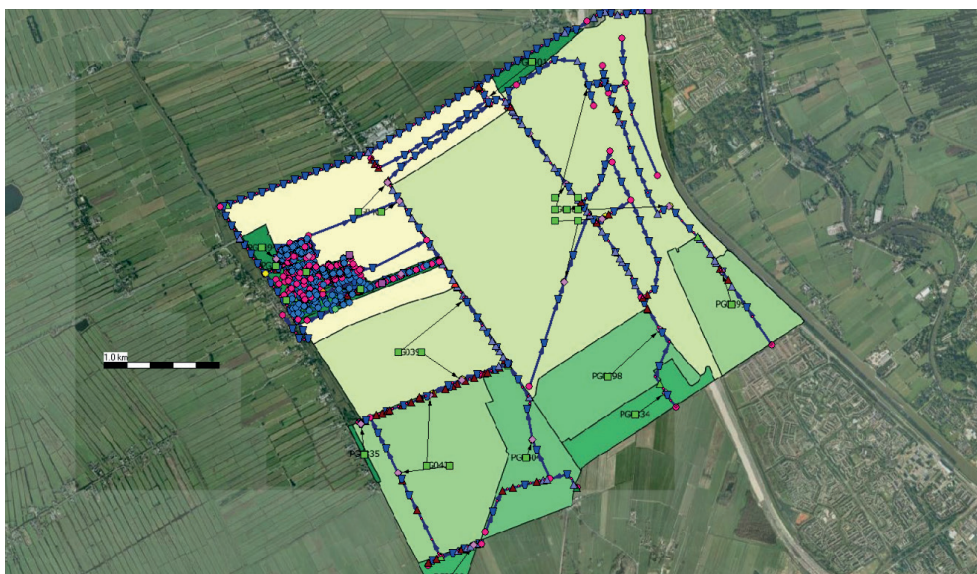
Deze paragraaf behandelt de noodzaak voor het opnemen van een neerslag-afvoercomponent in de modelschematisatie. De aanleiding is dat in het project *Inundatie: Reken Maar!* werd gewerkt zonder neerslag-afvoermodel. Daar werd een uniforme netto neerslag rechtstreeks als blokfunctie opgedrukt aan de hydraulische modelschematisatie. De vraag is of deze aanname acceptabel is.

In *Inundatie: Reken Maar!* werd over een tijdsspanne van drie uren 75 mm aan netto neerslag opgedrukt aan het oostelijke gedeelte van de modelschematisatie en 90 mm aan het westelijke gedeelte. Ons werd te kennen gegeven dat deze waarden tot stand waren gekomen door 50 mm af te trekken van het totale buivolume uit de Nationale Regenradar.

#### WERKWIJZE

De modelschematisatie wordt ontdaan van alle knopen van het type *RR-Unpaved* en de bijbehorende *RR-On-Flow-Connections* worden vervangen door knopen van het type *Flow Lateral*. Deze knopen worden uitgerust met hetzelfde oppervlak als de oorspronkelijke *unpaved*-knoop had. Aan deze knoop zal de aangenomen netto neerslag rechtstreeks worden opgedrukt.

FIGUUR 9 MODELSCHEMATISATIE MET NEERSLAG-AFVOERCOMPONENT (GROENE VIERKANTJES)



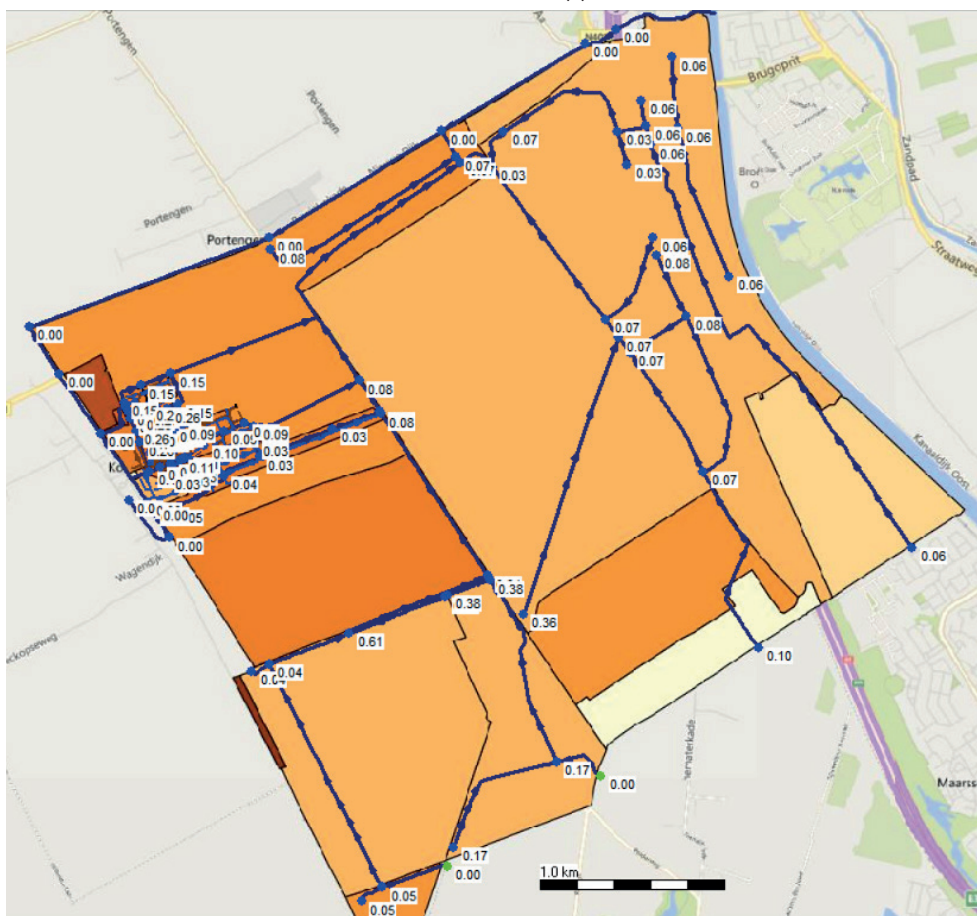


Er wordt een nieuwe .BUI-file in SOBEK gecreëerd die twee neerslagstations bevat: resp. West en Oost. Hierin wordt de aangenomen netto neerslag opgegeven, conform de aanpak in *Inundatie: Reken Maar!*: 90 en 75 mm, uniform verdeeld over drie uren.

### UITKOMSTEN

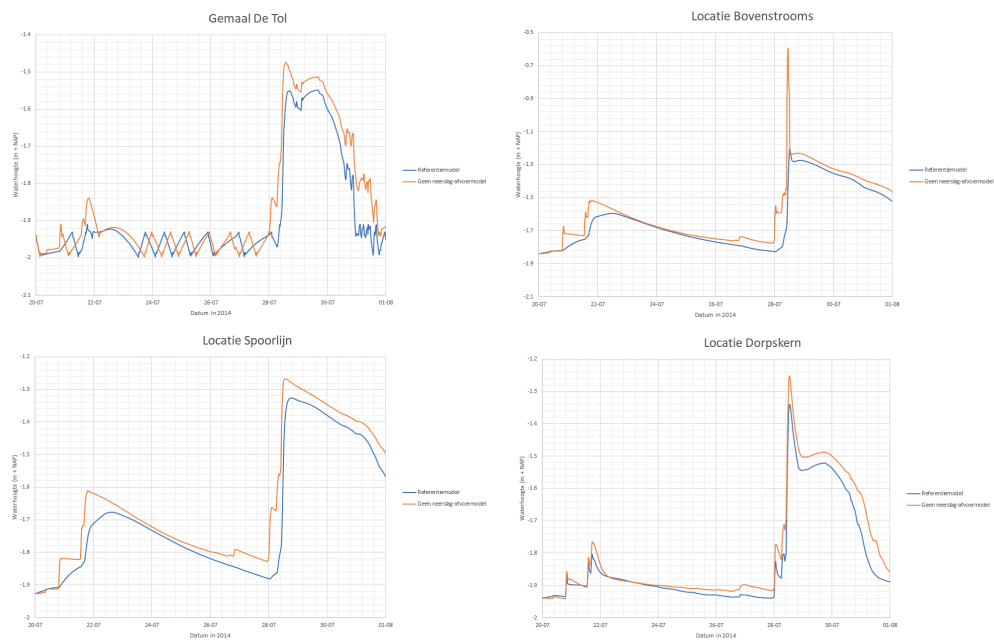
Figuur 10 toont het verschil tussen de maxima zoals berekend zonder en met neerslag-afvoermodel. Het model zonder neerslag-afvoermodel berekent binnen het bemalingsgebied hogere waterstanden, in de grote peilgebieden tot 10 cm hoger, maar in de hoger gelegen peilgebieden tot enkele tientallen centimeters; met een uitschieter tot 61 cm. Ook in de dorpskern worden verhogingen met ca. 10 cm gezien; in het noordwestelijke deel tot zelfs 26 cm.

FIGUUR 10 VERSCHIL TUSSEN BEREKENDE MAXIMA MET EN ZONDER NEERSLAG-AFVOERMODEL (M)



FIGUUR 11

VERLOOP VAN DE WATERHOOGTE BIJ DE VIER GEKOZEN LOCATIES ONDER DE KEUZE VOOR EEN NEERSLAG-AFVOERMODEL EN EEN BENADERING VAN DE INSTROMING



Met een inschatting van het netto instroomdebiet in plaats van een neerslag-afvoermodel ontstaan toch forse verschillen met het opnemen van een neerslag-afvoermodel. Ter hoogte van hydraulische knelpunten lijken de verschillen nog extra groot uit te vallen.

### CONCLUSIE

De keuze voor het al opleggen van een eenvoudige blokfunctie met laterale instroming ter vervanging van een neerslag-afvoermodel resulteert in een substantiële afwijking.

Oordeel: een neerslag-afvoermodel komt uit dit onderzoek naar voren als onmisbaar voor een goede simulatie.

## 6.2 HET SCHEMATISEREN VAN DE RIOLERING

### INLEIDING

In deze paragraaf wordt de noodzaak van het opnemen van een gedetailleerde rioleringscomponent in de modelschematisatie onderzocht. Deze vraag is relevant in het kader van de keuze voor modelcodes omdat ze lang niet allemaal ondersteuning bieden voor het rekenen aan rioolbuizen.

### WERKWIJZE

Het referentiemodel wordt ontdaan van alle rioolbuizen en neerslag-ontvangende oppervlak wordt ondergebracht in een drietal nieuwe knopen van het type *RR-Paved*. Deze worden uitgerust met standaardwaarden voor berging in het riool (7 mm) en Pompovertcapaciteit (0.7 mm/u). Vervolgens wordt de gecreëerde variant doorgerekend en het verschil met de uitkomsten uit het referentiemodel geplot.

FIGUUR 12

SCHEMATISATIE VAN HET VERHARDE OPPERVLAK TER VERVANGING VAN DE RIOLERINGSCOMPONENT



### UITKOMSTEN

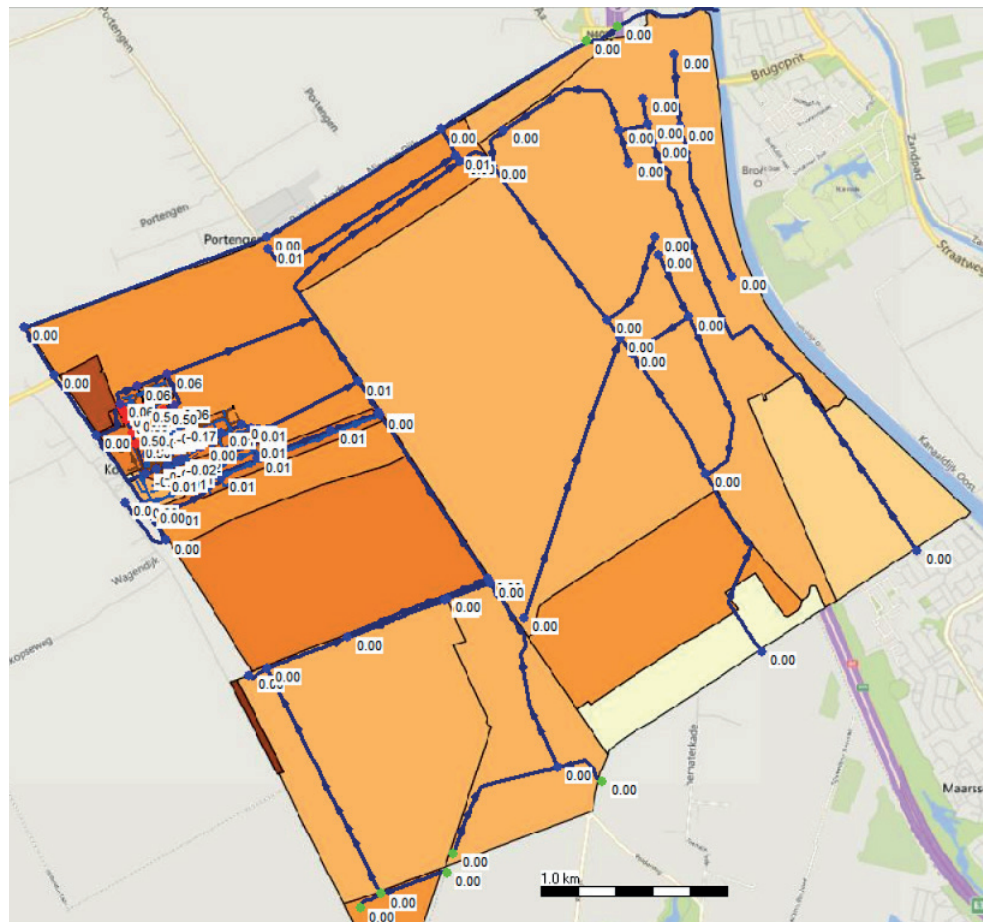
In Figuur 13 toont het verschil tussen de berekende maxima uit beide varianten. Hieruit wordt afgeleid dat de grootste verschillen in de stedelijke kern zitten. Daar zien we op lokaal niveau zowel forse verhogingen (tot 50 cm) als verlagingen (tot -17 cm).

De verschillen zijn het gevolg van de schematiseringskeuze voor een drietal knopen van het type *RR-paved*, ter vervanging van de in werkelijkheid tientallen riooloverstortlocaties. Als gevolg van deze keuze belasten grote volumes water gebundeld slechts enkele locaties in het oppervlaktewater van het dorp.

Buiten de stedelijke kern is het effect van het weglaten van de rioolschematisatie marginaal.

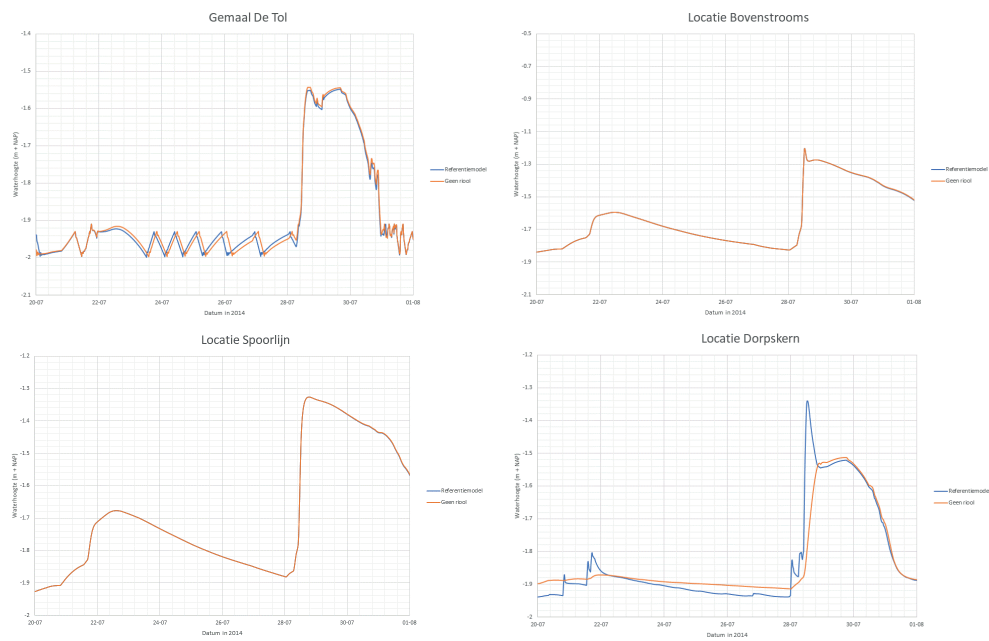
FIGUUR 13

VERSCHIL (M) TUSSEN BEREKENDE MAXIMA ZONDER EN MET RIOLINGSCOMPONENT



FIGUUR 14

VERLOOP VAN DE WATERHOOGTE BIJ DE VIER GEKOZEN LOCATIES ONDER DE KEUZE VOOR HET WEL EN NIET RIJMTIELIJK SCHEMATISEREN VAN HET RIOOL



**CONCLUSIE**

Het niet in detail schematiseren van het rioolstelsel heeft buiten de dorpskern zelf nauwelijks invloed op het verloop van het hoogwater. Binnen de dorpskern zelf ontstaan plaatselijk grote verschillen tot tientallen centimeters.

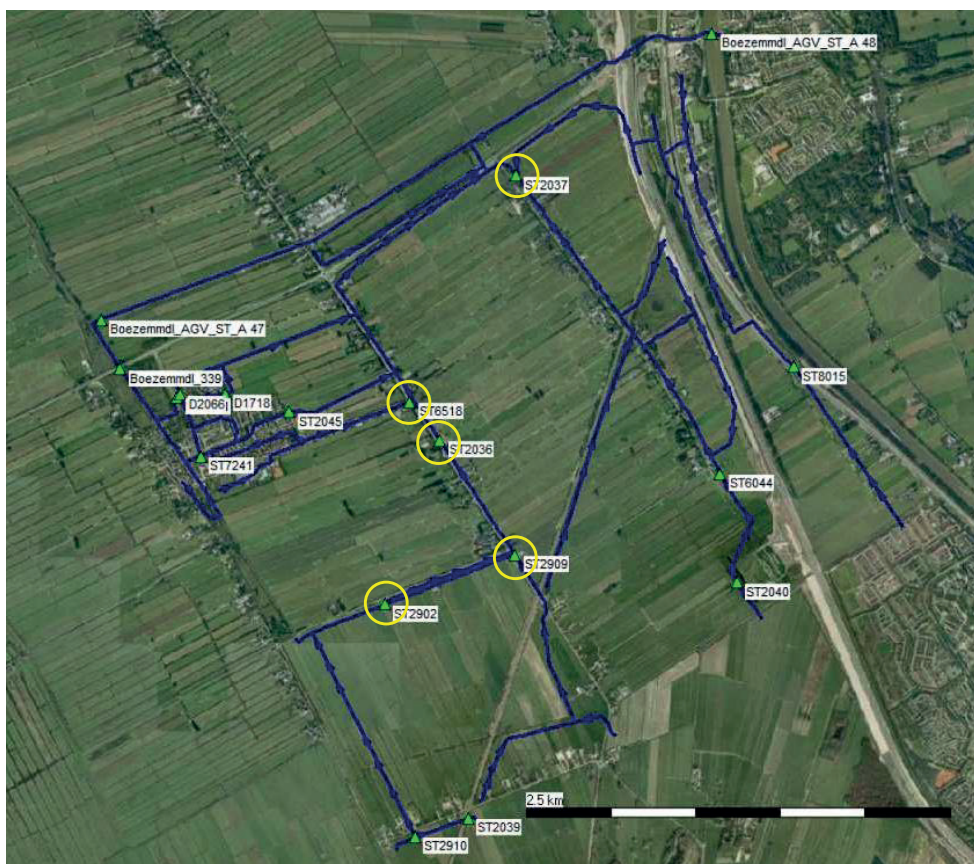
Oordeel: het gedetailleerd modelleren van het rioolstelsel is in dit onderzoek alleen een minimumvereiste bij het beoordelen van waterhoogtes binnen de dorpskern.

### 6.3 KRUIBEGINGEN

#### INLEIDING

Een aantal stuwen in het bemalingsgebied van gemaal De Tol wordt actief gestuurd. Figuur 15 toont omcirkeld welke stuwen dit zijn.

FIGUUR 15 STUWEN IN HET PROJECTGEBIED, MET DE ACTIEF GESTUURDE EXEMPLAREN OMCIRKELD



#### WERKWIJZE

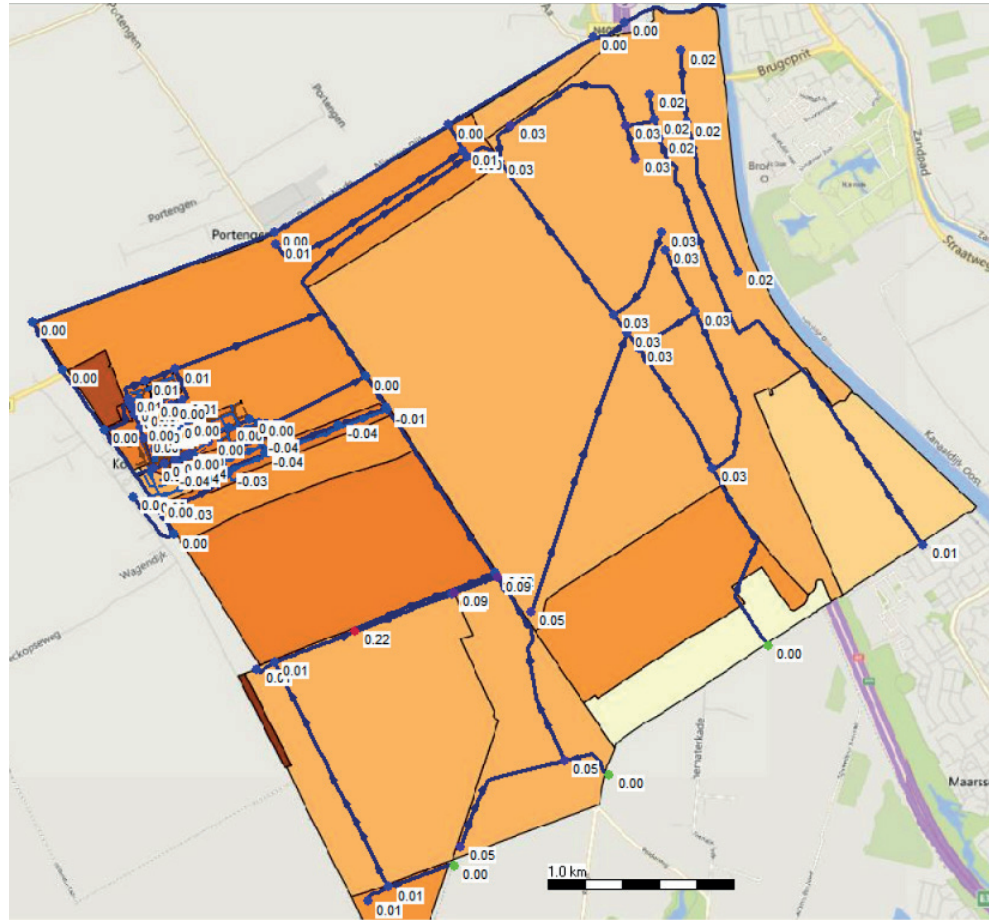
In de referentie-case hebben deze stuwen het daadwerkelijk gemeten verloop van de kruinhoogtes opgelegd gekregen. In de variant zonder sturing zijn de kruinhoogtes vastgezet op zomerstreefpeil.

#### UITKOMSTEN

Het vastzetten van de stuwkruinen geeft over het algemeen verhogingen van de maximale waterstand tot enkele centimeters. Langs de randen van het studiegebied zien we enkele uitschieters, die veroorzaakt worden door afwijkingen tussen het daadwerkelijke peilbeheer en de streefwaterstanden.

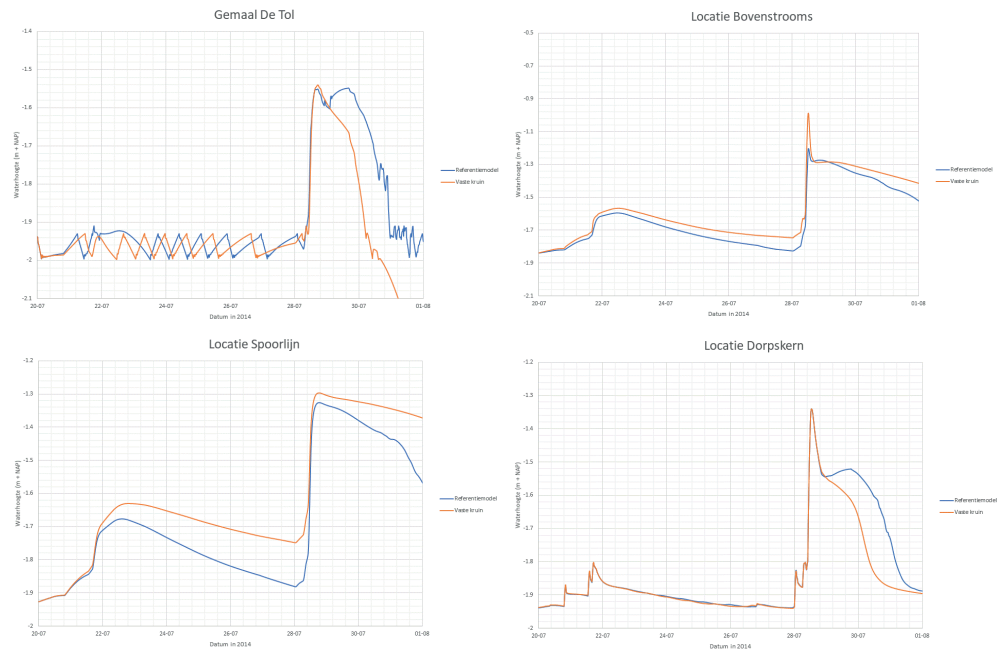
FIGUUR 16

HET VERSCHIL TUSSEN DE HOOGSTE WATERSTAND IN DE SIMULATIE MET EN ZONDER KRUINBEWEGING, IN METERS



FIGUUR 17

VERLOOP VAN DE WATERHOOGTE BIJ DE VIER GEKOZEN LOCATIES ONDER DE KEUZE VOOR HET WEL EN NIET SCHEMATISEREN VAN HET RIOOLSTELSEL



Interessant is het verloop van de waterhoogtes in de dorpskern en bij het gemaal. Hieruit komt naar voren dat het strijken van de stuwen hier een tweede hoogwaterpiek heeft veroorzaakt. Dit onderschrijft de conclusies uit de oorspronkelijke reconstructie van de inundatie.

### CONCLUSIE

Het sturen van de stuwkruinen heeft een duidelijk waarneembaar effect op de waterhoogtes van doorgaans enkele centimeters. Aan benedenstroomse zijde van het gebied resulteert de sturing bovendien in een extra hoogwatergolf. De duur van de wateroverlast in de simulatie neemt hierdoor significant toe.

Oordeel: het kunnen simuleren van kruinbewegingen is in de onderzochte casus een minimumvereiste voor de gebruikte modelcode.

## 6.4 HET SCHEMATISEREN VAN PEILGRENZEN

### INLEIDING

Voor deze analyse wordt als basis de modelschematisatie in HEC-RAS 5.0 gebruikt. Gebruikt wordt de casus waarin de volledige ondiepwatervergelijkingen worden doorgerekend en waarin alle peilscheidingen aanwezig zijn. De resolutie van het rekenrooster bedraagt 40x40m.

In HEC-RAS zorgen de zgn. *breaklines* ervoor dat de modelschematisatie onderscheid tussen peilgebieden afdwingt. Dit gebeurt doordat de rekencellen langs de breaklines worden geforceerd. Zonder breaklines verliest de schematisatie in HEC-RAS zijn complete peilscheidend vermogen; zowel peilscheidingen die volgen uit de ligging van kades als peilscheidingen die het resultaat zijn van peilregulerende kunstwerken.

### WERKWIJZE

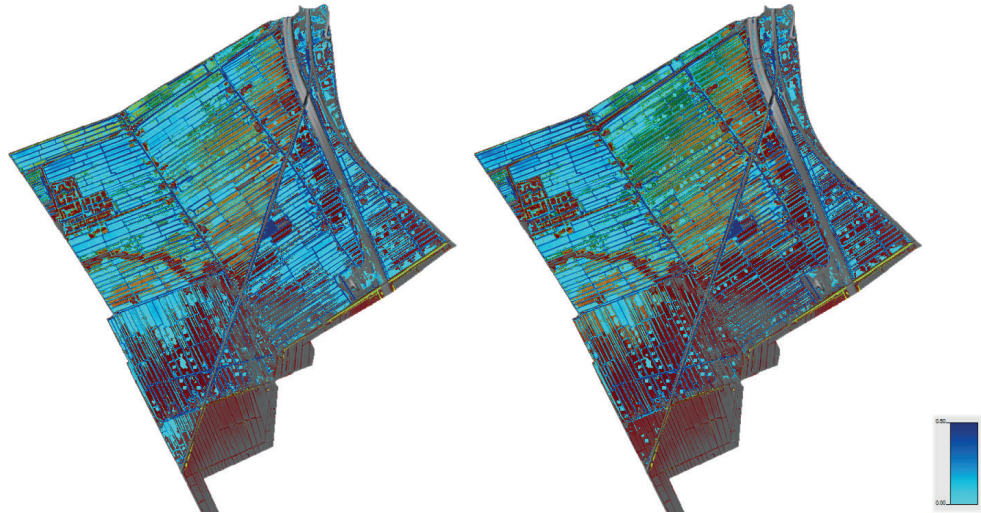
Om een variant zonder peilgebieden door te kunnen rekenen, zijn alle breaklines verwijderd en wordt het rekenrooster opnieuw gegenereerd. Vanwege het aangepaste rekenrooster is een nieuwe *restartfile* nodig. Deze wordt gegenereerd door de simulatie op een relatief hoog peil van -1.90 m NAP te beginnen en de simulatie 8 dagen te laten lopen: van 20 juli 00:00 tot 28 juli 00:00.

### UITKOMSTEN

De onderstaande figuur toont de maximale waterdieptes voor beide simulaties: links de simulatie met peilscheidingen en rechts de simulatie zonder peilscheidingen.

FIGUUR 18

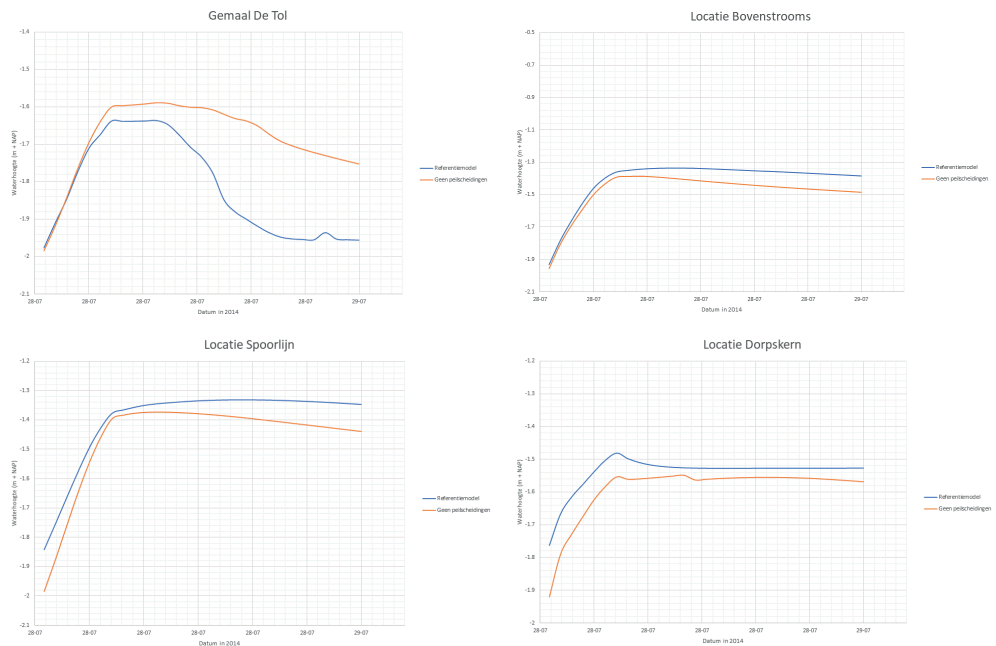
MAXIMALE WATERDIEPTE (M) VOOR BEIDE VARIANTEN: RESP. A) MET PEILSCHEIDINGEN EN B) ZONDER PEILSCHEIDINGEN



Op basis van de bovenstaande afbeeldingen wordt geconstateerd dat de modelschematisatie met peilgrenzen significant andere waterdieptes geeft. Dit wordt gestaafd met getallen: In de modelschematisatie met peilgrenzen ligt het gemiddelde van de maxima 7 cm hoger. Hierin zijn wel alle rekencellen die inactief blijven meegenomen. Het werkelijke verschil zal nog fors hoger zijn.

FIGUUR 19

VERLOOP VAN DE WATERHOOGTE BIJ DE VIER GEKOZEN LOCATIES ONDER DE KEUZE VOOR HET WEL EN NIET SCHEMATISEREN VAN PEILSCHEIDINGEN



De resultaten zijn niet verrassend. Het verwijderen van peilscheidingen en peilscheidende kunstwerken resulteert in het niet kunnen vasthouden van water bovenstrooms, wat resulteert in grotere waterdieptes benedenstrooms.

Naast de maximale waterstand is ook de *duur* van de peilstijgingen hier van belang. In de situatie zonder peilscheidingen ontstaat bij het gemaal een hoogwatersituatie die duidelijk langer aanhoudt dan in de situatie met peilscheidingen. Bovenstrooms is dit precies andersom.



## CONCLUSIE

Het belang van het kunnen schematiseren van peilscheidingen uit zich zowel in de maximale waterhoogtes als in de duur van de peilstijgingen.

Oordeel: het goed kunnen schematiseren van peilscheidingen is in dit onderzoek een minimumvereiste voor een modelcode.

## 6.5 DE STROMINGSVERGELIJKINGEN

### INLEIDING

Van oudsher wordt de hydraulica van overstromingen gesimuleerd met de ondiepwatervergelijkingen: een vereenvoudiging van de Navier-Stokes-vergelijkingen.

Recentelijk zijn er modelcodes op de markt gekomen die gebruik maken van een nog verdere vereenvoudiging, namelijk de *Diffusive Wave Approximation*. Deze vereenvoudiging bestaat eruit dat de advection termen zijn weggelaten. Bij plaatselijke versnellingen en vertragingen (grote  $\delta Q/\delta t$  en  $\delta Q/\delta x$ ) kunnen daardoor verschillen ontstaan ten opzichte van de ondiepwatervergelijkingen.

### WERKWIJZE

Voor deze analyse wordt de modelschematisatie in HEC-RAS ingezet. Dit model is in staat om zowel met de *Diffusion Wave Approximation* als met de volledige ondiepwatervergelijkingen (*Full Momentum*) te rekenen.

Er worden twee varianten doorgerekend van de modelschematisatie. Daarbij wordt gekozen voor de numerieke instellingen, zodanig dat de balansfout bij beide oplossingen verwaarloosbaar is.

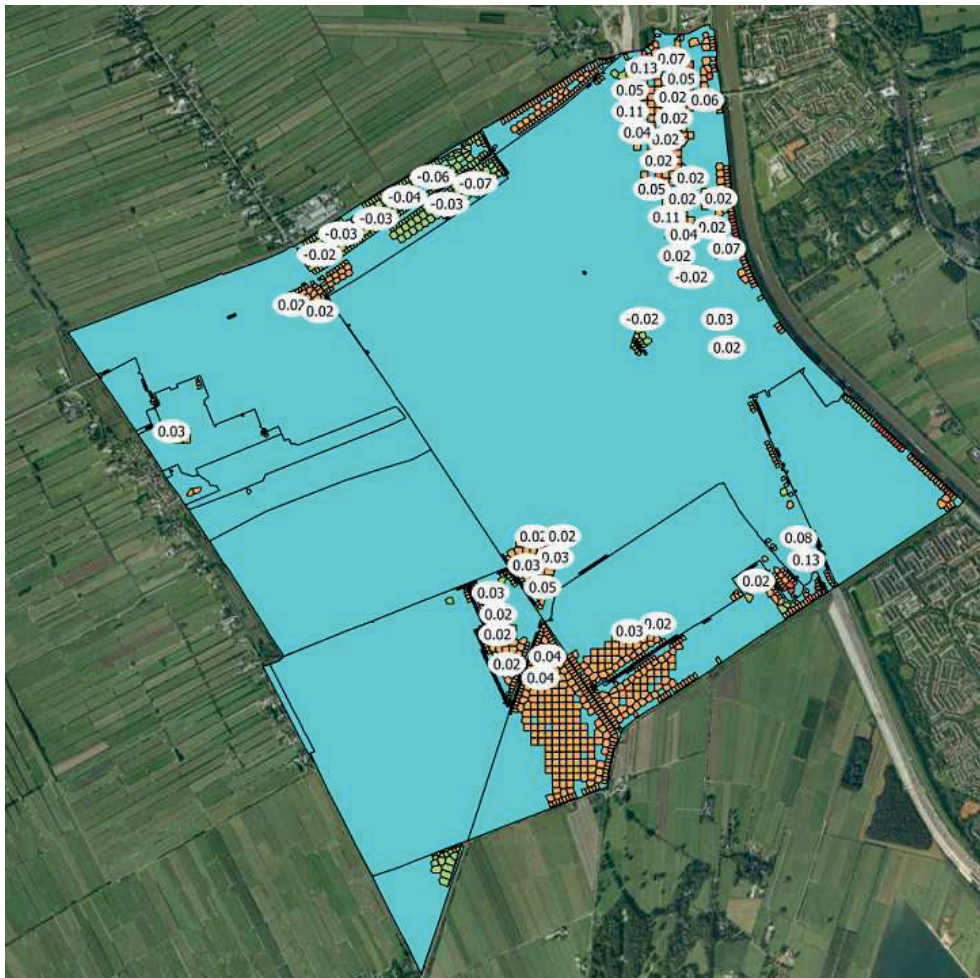
Ook hier worden de waterhoogtes en de onderlinge verschillen berekend.

### UITKOMSTEN

Figuur 20 toont het verschil tussen de hoogste waterstanden uit beide berekeningen. Hierbij is de simulatie met de ondiepwatervergelijkingen als referentie gebruikt. Positieve waarden duiden op een hogere waterstand bij de *diffusive wave approximation*.

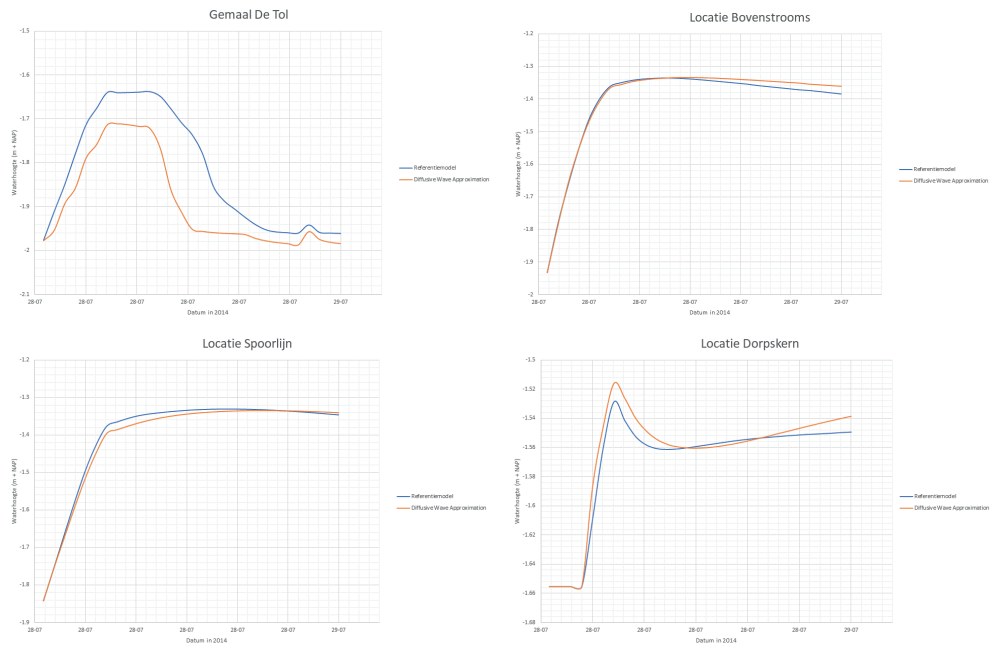
FIGUUR 20

HET VERSCHIL TUSSEN DE HOOGSTE WATERSTAND BEREKEND MET DE DIFFUSIE WAVE APPROXIMATION TEN OPZICHTE VAN DE VOLLEDIGE ONDIEPWATERVERGELIJKINGEN



In het gebied zijn enkele regio's met duidelijke verschillen te onderscheiden: in de directe omgeving van het gemaal (noordzijde gebied) resulteert de *diffusive wave approximation* in een lagere hoogwaterstand tot 10 cm. Bovenstrooms resulteert het gebruik van de *diffusive wave approximation* in enkele peilvakken in hogere maxima tot 13 cm.

FIGUUR 21 WATERHOOGTES ALS FUNCTIE VAN DE TIJD OP DE VIER GEKOZEN LOCATIES



Vooral bij het gemaal resulteert het rekenen met de *diffusive wave approximation* tot structurele afwijkingen gedurende de hele simulatie. Dit is in lijn met de verwachting dat grote verschillen zich vooral voordoen in de nabijheid van lokale versnellingen van water.

In het algemeen wordt geconstateerd dat verschillen zich voordoen langs de randen van het rekendomein. Centraal is het gebied zijn de verschillen minimaal.

## CONCLUSIE

Over het algemeen blijven de verschillen als gevolg van de keuze voor de *diffusive wave approximation* beperkt tot enkele centimeters. Wel zijn er clusters aan te wijzen, vooral langs de randen van het modelgebied, waar de verschillen oplopen tot 13 cm.

Oordeel: het kunnen rekenen met de volledige ondiepwatervergelijkingen is in dit onderzoek geen minimumvereiste, maar wordt wel gezien als wenselijk.

## 6.6 HET AANWENDEN VAN VERSCHILLENDE NEERSLAGBRONNEN

### INLEIDING

Het doel van deze analyse is om te onderzoeken in welke mate de modeluitkomsten gevoelig zijn voor het gebruik van verschillende neerslagbronnen.

Er wordt gekozen voor neerslagbronnen die ontwikkeld zijn door ofwel een overheidsinstantie (KNMI) ofwel in opdracht van overheidsorganisaties zoals waterschappen:

1. Uurneerslagsommen KNMI, grondstations Cabauw en De Bilt
2. Geijkte radarbeelden Meteobase: ruimtelijk geaggregeerd naar het projectgebied.
3. Nationale Regenradar, re-analysesbeeld. Hiervan is ons een tijdreeks met puntmetingen ter plaatse van gemaal De Tol toegezonden. Wij aggregeren deze reeks naar urneerslagsommen.

4. KNMI Tertiair: re-analysesbeeld radarneerslag; ruimtelijk geaggregeerd naar het projectgebied en temporeel naar uurneerslagsommen.
5. Nationale Regenradar operationeel: ruimtelijk geaggregeerd naar het projectgebied en temporeel naar uurneerslagsommen.
6. KNMI Primair: ruw radarbeeld; ruimtelijk geaggregeerd naar het projectgebied en temporeel naar uurneerslagsommen

Vanwege de gevoeligheden rond dit onderwerp zijn de verschillende radarproducten in dit rapport geanonimiseerd. De lezer kan zich zo een objectief beeld vormen van de onzekerheid die gepaard gaat bij de keuze voor een neerslagproduct.

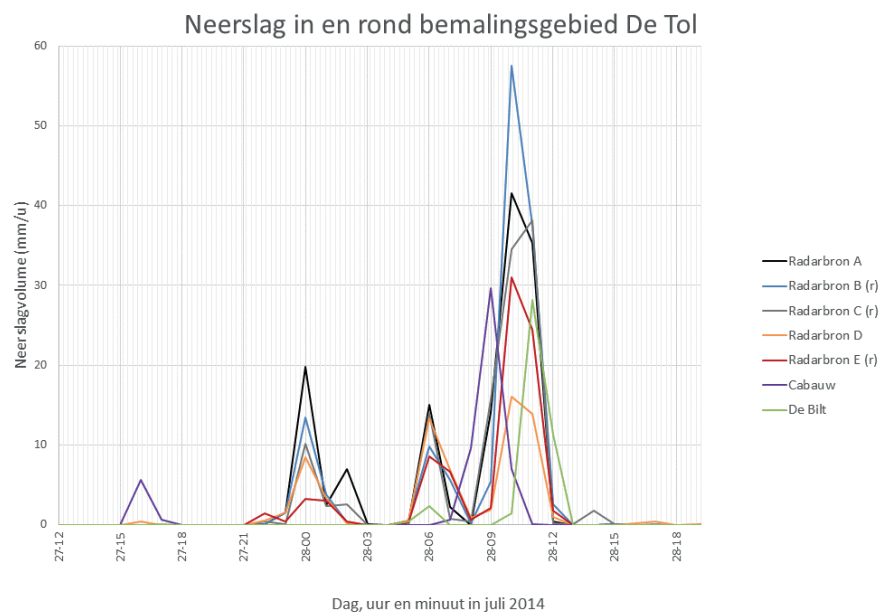
Ten behoeve van het anonimiseren wijkt de volgorde van de bronnen zoals hierboven gepresenteerd af van de volgorde waarin ze gepresenteerd worden in de grafieken. De toevoeging (r) in de grafieken duidt op een re-analysesbeeld. Re-analysesbeelden zijn geijkt aan waarnemingen van grondstations.

### WERKWIJZE

Voordat de modelschematisatie doorgerekend worden met gegevens uit de verschillende bronnen, worden eerst de neerslaggegevens zelf naast elkaar gelegd. Figuur 22 toont het verloop van de neerslag uit de verschillende bronnen voor de relevante periode rond 28 juli 2014.

FIGUUR 22

#### VERGELIJKING VAN DE VERSCHILLENDE NEERSLAGREEKSEN VOOR HET PROJECTGEBIED



Tabel 3 toont de neerslagvolumes in tabelvorm voor de periode 28 juli 04:00 tot 28 juli 15:00.

TABEL 3

## NEERSLAGVOLUMES UIT DIVERSE GEGEVENSBRONNEN

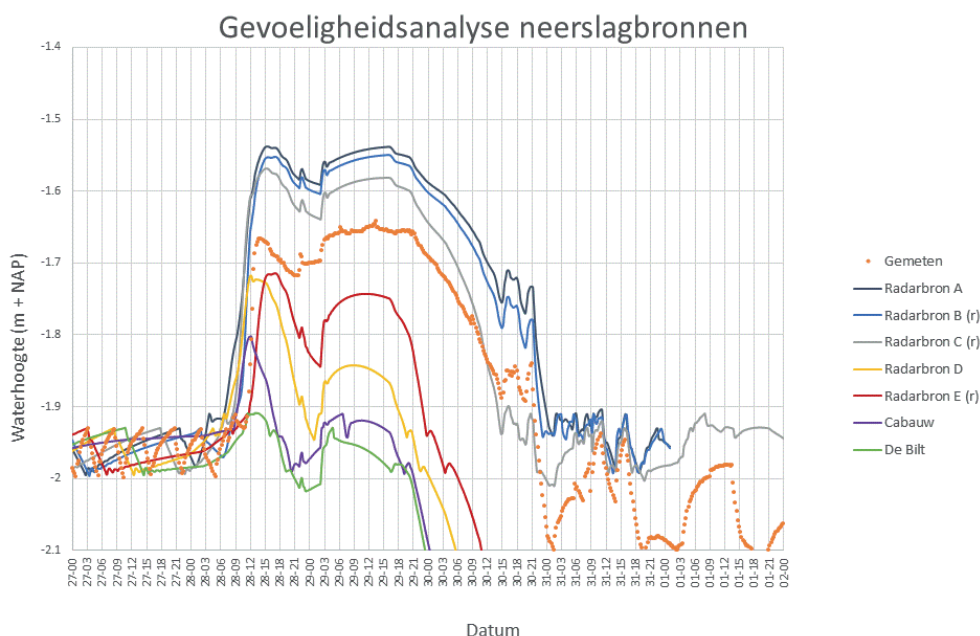
Neerslagbron	Neerslagsom (mm)
Radarproduct A	109
Radarproduct B (r)	119
Radarproduct C (r)	106
Radarproduct D	54
Radarproduct E (r)	76
KNMI grondstation Cabauw	47
KNMI grondstation De Bilt	44

## UITKOMSTEN

Het gebruik van de onderscheide neerslagbronnen resulteert in grote verschillen in de berekende waterhoogtes bij gemaal De Tol. Figuur 23 toont die verschillen.

FIGUUR 23

## GEMETEN EN GESIMULEERD VERLOOP VAN DE WATERHOOGTES BIJ GEMAAL DE TOL



De figuur toont duidelijk de meerwaarde van neerslagradarproducten aan ten opzichte van metingen van grondstations.

Daarnaast wordt geconstateerd dat het resultaat op basis van alle re-analysesbeelden beter is dan dat op basis van de ruwe radargegevens.

De uitkomsten tonen wel een grote spreiding in de gesimuleerde waterhoogtes: ook wanneer alleen gekeken wordt naar de re-analysesbeelden. De maximale waterhoogte als gevolg van het hoogste en laagste re-analysesbeeld verschilt ca. 16 cm. Ook de duur van de peilstijging verschilt sterk.

## CONCLUSIE

De gevoeligheidsanalyse geeft als resultaat dat er een grote spreiding is tussen de neerslagvolumes uit de verschillende neerslagbronnen. Dit werkt door in een grote bandbreedte in berekende waterhoogtes ter hoogte van gemaal De Tol.

Vergeleken met de gemeten waterhoogtes geven alle radarneerslagproducten een beter resultaat dan de twee gebruikte KNMI-grondstations, die zich op afstand van het studiegebied bevinden.

Geijkte radarneerslagproducten geven weer een beter resultaat dan de niet-geijkte producten. Zelfs binnen de geijkte radarneerslagproducten treden echter nog grote verschillen in neerslagvolumes op.

Vergeleken met de oorspronkelijke gevoeligheidsanalyse is de modelschematisatie een orde van grootte gevoeliger voor de keuze van een van de geijkte radarneerslagproducten dan voor de analyse van de vijf modelaspecten.

### AANBEVELING

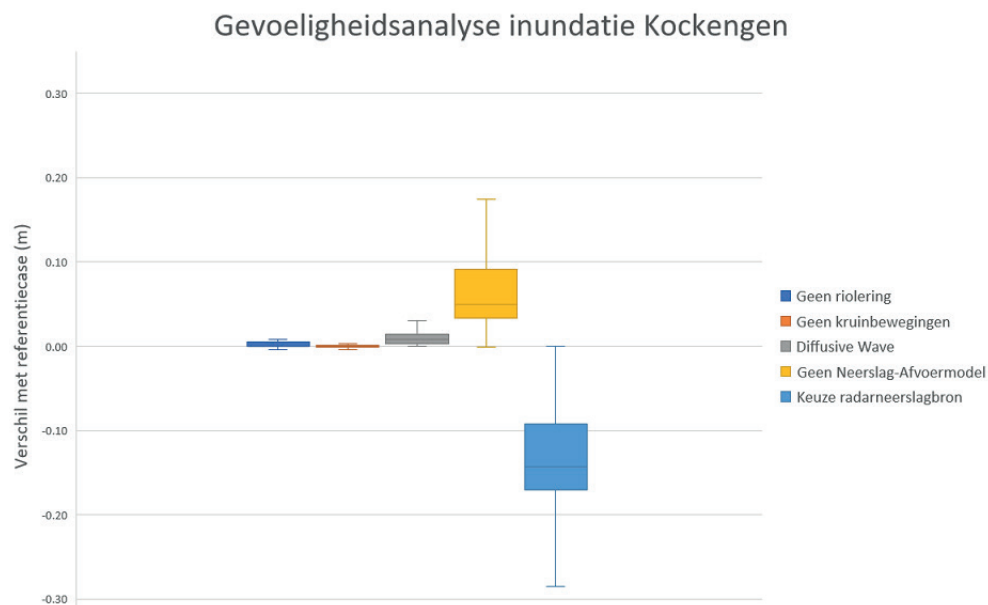
Aanbevolen wordt om, zolang de verschillen tussen geijkte neerslagradarproducten zo groot zijn, in modelstudies standaard te werken met meerdere neerslagbronnen.

## 6.7 SAMENVATTING BEREKENDE MAXIMA

Figuur 24 toont een boxplot van de uitkomsten van het gehele onderzoek. De plot toont voor elke analyse, behalve die met peilscheidingen, hoe het verschil tussen de berekende maximale waterhoogtes verdeeld is.

FIGUUR 24

VERDELING VAN DE VERSCHILLEN IN BEREKENDE MAXIMA VOOR ELK VAN DE ANALYSES



N.B. de tijdsduur van het hoogwater wordt hier niet getoond.

## 7

## CONCLUSIES

In dit rapport wordt een gevoeligheidsanalyse omtrent modelfunctionaliteiten beschreven, waarbij de onderzoeksvraag luidt:

*Welke modelfunctionaliteiten zijn minimaal vereist voor het simuleren van inundatie als gevolg van de extreme neerslaggebeurtenis in juli 2014 in polder De Tol?*

Voor het adequaat kunnen simuleren van de onderhavige casus worden de volgende modelfunctionaliteiten beschouwd als minimaal vereist:

- een neerslag-afvoercomponent
- een gedetailleerde schematisatie van het rioolstelsel
- het kunnen simuleren van kruinbewegingen van stuwen
- het accuraat kunnen schematiseren van peilgrenzen

De volgende modelfunctionaliteit worden als gewenst beschouwd, maar niet strikt noodzakelijk:

- Het kunnen doorrekenen van de volledige ondiepwatervergelijkingen. De *diffusive wave approximation* kan een acceptabele benadering vormen.

De onderstaande tabel vat de bevindingen samen.

TABEL 4 CONCLUSIES OP BASIS VAN DE GEVOELIGHEIDSANALYSES

Modelfunctionaliteit	invloed op hoogwaterstanden	invloed op duur inundatie	Oordeel
Neerslag-afvoermodel	Groot	Klein	Cruciaal
Ruimtelijke schematisering rioolstelsel	Klein	Nihil	Cruciaal voor uitspraken binnen de dorpskern
Simuleren kruinbewegingen stuwen	Klein	Groot	Cruciaal
Accuraat schematiseren peilgrenzen	Middel	Groot	Cruciaal
Stromingsvergelijkingen	Klein	Klein	Gewenst

In aanvulling op de gevoeligheidsanalyse is een groot aantal berekeningen uitgevoerd met verschillende neerslagbronnen. De simulatieresultaten blijken uiterst gevoelig voor de gebruikte neerslagbron: zo gevoelig dat de invloed van de keuze voor een neerslagbron alle in Tabel 4 vermelde invloeden overschaduwet.

# 8

## TOEKOMSTPERSPECTIEF

De hier ontwikkelde onderzoeksmethodiek kan worden doorgetrokken naar alle andere geografisch onderscheiden gebieden en hydrologische opgaven. Op die manier kan voor elk type gebied en opgave worden onderzocht welke modelfunctionaliteiten essentieel zijn voor het uitvoeren van kwalitatief hoogstaande simulaties.

De methodiek kan ook van toepassing worden in de Landelijke Stresstest Wateroverlast die in 2019 door alle Nederlandse gemeenten moet worden uitgevoerd. De gevoeligheidsanalyses realiseren een essentiële schakel in de gehele procedure door inzicht te geven in welke fysische processen relevant zijn. Gemeenten kunnen op deze manier worden ondersteund bij het maken van goede modelkeuzes.

Deze studie heeft verder een verrassende bijvangst opgeleverd, namelijk de conclusie dat er een grote bandbreedte zit in neerslagvolumes uit verschillende radarneerslagproducten. Die bandbreedte blijkt een grote impact te hebben op de uitkomsten van de simulaties.

De afgelopen jaren heeft de discussie in hydrologisch Nederland zich vooral toegespitst op modelcodes: hoe goed, snel en mooi ze zijn. De uitkomsten van deze studie tonen echter aan dat het laaghangende fruit niet zit in modelfunctionaliteiten, maar nog altijd in de kwaliteit van de invoergegevens.

Schermtuelingen tussen makers van modelcodes over 'onmisbare' functionaliteiten zoals riolering, grondwater, grote rekensnelheid, flexibele rekenroosters etc. kunnen gerelativeerd worden in het licht van de grote onzekerheidsband die het gevolg is van de keuze uit neerslagbronnen. Inmiddels is de wens om tot een meer eenduidige neerslagproduct te komen opgepakt door STOWA, Het Waterschapshuis en Rijkswaterstaat/WVL. In opdracht van deze partijen wordt de komende jaren door het KNMI een methodiek ontwikkeld voor een wetenschappelijk onderbouwd Internationaal Radar Composiet.



# 9

## LITERATUUR

Averink, J., *Methoden voor bepalen hoogste en laagste grondwaterstanden*, Scriptie Universiteit Twente, juni 2013. [http://essay.utwente.nl/64285/1/Averink\\_Arjan.pdf](http://essay.utwente.nl/64285/1/Averink_Arjan.pdf)

STOWA, *Benchmark Inundatiemodellen*, Modelfunctionaliteiten en testbankberekeningen, rapport 34, 2017, ISBN 978.90.5773.759.6

STOWA, *Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken*, rapport 41, 2010, ISBN 978.90.5773.501.1