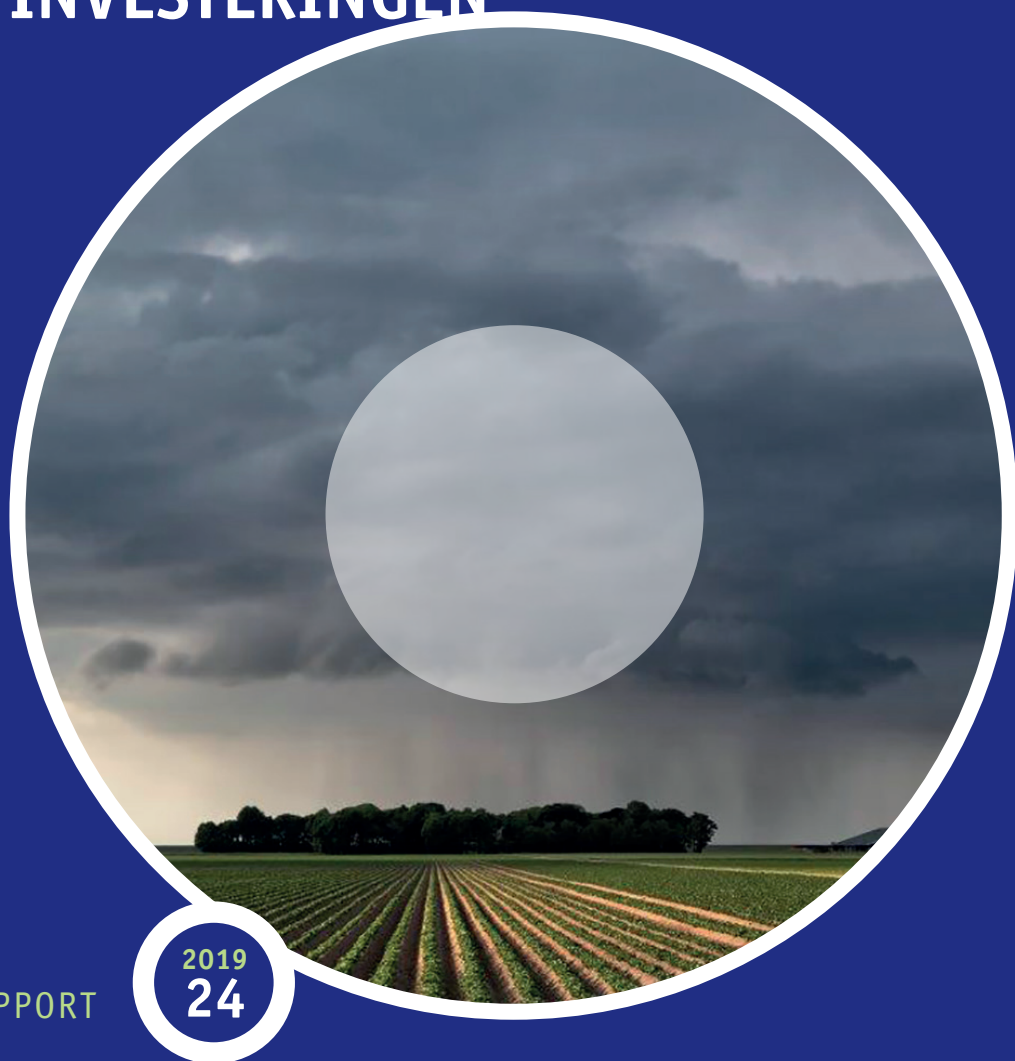


**stowa**

EINDRAPPORT

# ONZEKERHEDEN BIJ WATEROVERLAST

## IMPACT OP BEREKENDE SCHADES EN INVESTERINGEN



RAPPORT

2019  
24

ONZEKERHEDEN BIJ WATEROVERLAST  
IMPACT OP BEREKENDE SCHADES EN INVESTERINGEN

RAPPORT

2019

24

ISBN 978.90.5773.852.4



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEUR Daniël van Dijk  
Durk Klopstra  
Ton Botterhuis

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2019-24  
ISBN 978.90.5773.852.4

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

**De kennis van het watersysteem en de kwaliteit van de weerslag daarvan in modeldata zijn bepalend voor de berekende omvang van schade als gevolg van wateroverlast en dus voor de omvang van de wateropgave.**

Waterschappen staan voor de opgave om het watersysteem zo in te richten dat tegen aanvaardbare kosten zo min mogelijk wateroverlast ontstaat. Voor de besluitvorming over te nemen maatregelen wordt gebruik gemaakt van hydrologische modelresultaten. Modellen en de resultaten daarvan zijn en blijven vereenvoudigde weergaven van de werkelijkheid en kennen een onzekerheid. Het is voor de waterschappen van belang om deze onzekerheid zo veel mogelijk te reduceren en de effectiviteit van maatregelen zo 'zeker mogelijk te krijgen'. De vraag is waar de meeste winst in het reduceren van onzekerheden zit.

Deze studie maakt inzichtelijk dat aannames en onzekerheden een significant effect hebben op de berekende schades en wateropgave. Deze berekeningen hebben vervolgens invloed op de investeringen om de wateroverlast te mitigeren.

Het onderzoek wijst uit dat de grootste onzekerheden zitten in:

- De bodemeigenschappen, oftewel de kalibratieparameters die het neerslag-afvoerproces in de bodem beschrijven;
- Monitoringsgegevens van het oppervlaktewater (afvoeren en waterstanden);
- Het beheerregister (de locatie en dimensies van de dwarsprofielen en kunstwerken);
- De neerslagstatistiek van extreme neerslaggebeurtenissen (inbegrepen de onzekerheden in de waarnemingen, de klimaatontwikkeling en de statistische beoordeling zelf);
- De schadefuncties zoals opgenomen in de Waterschadeschatter.

Het rapport gaat dieper in op de gevonden onzekerheden en geeft aanbevelingen om deze onzekerheden te verkleinen. Data op orde is daar een van. Duidelijk is dat hier door de waterschappen nog veel te winnen valt. Vanzelfsprekend blijft ook STOWA werken aan de kennis die er nodig is om onzekerheden zo veel mogelijk te verkleinen. Zo houdt de STOWA de neerslagstatistiek en de Waterschadeschatter beschikbaar en up to date.

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.*

# ONZEKERHEDEN BIJ WATEROVERLAST

## IMPACT OP BEREKENDE SCHADES EN INVESTERINGEN

### INHOUD

	TEN GELEIDE DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding	1
1.2	Vraagstelling onderzoek	1
1.3	Voorgaand onderzoek	2
1.4	Leeswijzer	3
1.5	Begeleidingscommissie	3
<b>2</b>	<b>KWANTIFICEREN VAN ONZEKERHEDEN</b>	<b>4</b>
2.1	Inleiding	4
2.2	Interviews	4
2.3	Bepalen bandbreedte onzekerheden	5
2.3.1	Rekenmethodiek	5
2.3.2	De onderzochte onzekerheidsbronnen	7
2.4	Case studies Kockengen en Boxmeer	10
<b>3</b>	<b>RESULTATEN</b>	<b>13</b>
3.1	Inleiding	13
3.2	Resultaten Kockengen	13
3.3	Resultaten Boxmeer	15
<b>4</b>	<b>CONCLUSIES EN VERDERE TOEPASSING</b>	<b>17</b>
4.1	Conclusies en aanbevelingen	17
4.1.1	Schadefuncties grootste onzekerheid	17
4.1.2	Beheerregister; het effect van de kleinste schakel	17
4.1.3	Bodemparameters; onzekerheid rondom kalibratie	18
4.1.4	Effecten van doorgaand inzicht op neerslag van de toekomst	18
4.2	Verdere toepassing	18
4.2.1	Kosteneffectiviteit van inrichtingsmaatregelen	18
4.2.2	Prestatie-eisen aan de nauwkeurigheid kosten-batenanalyses?	19
<b>5</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>20</b>
BIJLAGE A	EXTRA GEBIEDSINFORMATIE	23
BIJLAGE B	GEÏNDEXEERDE RESULTATEN	27

FIGUUR 1

WATER OP STRAAT KOMT REGELMATIG VOOR IN KOCKENGEN, ZO OOK OP 5 SEPTEMBER 2018



In onder andere Amersfoort, Woerden, Soest en Kockengen kwamen straten blank te staan door de regen. Woerden spande de kroon: daar viel tot nu toe 78 millimeter water. Dat is net zoveel als er normaal in de hele maand september valt, [schrijft RTV Utrecht](#).

# 1

## INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING

Nederland is wereldwijd beroemd om haar aanpak in waterveiligheid en watermanagement. Dat komt door onze historie met leven in een delta in combinatie met gedegen kennis van theoretisch functioneren van watersystemen en doorgaande watersysteemverbeteringen. Samen met administratie van gegevens van het watersysteem zoals watergangen, bodemopbouw, kunstwerken en landgebruik, evenals het bijhouden en meten van (extreme) gebeurtenissen. Desondanks is ook in het Nederlandse waterbeheer sprake van diverse vormen van onzekerheden. Daar op een goede manier mee omgaan heeft dan ook regelmatig aandacht.

Waterschappen en gemeenten zijn verantwoordelijk voor het goed functioneren van hun watersystemen binnen de gestelde wettelijke normen. Daartoe voeren zij periodieke toetsingen uit, onderzoeken ze effecten van nieuwe ontwikkelingen en ontwerpen een watersysteem dat functioneert volgens de (plaatselijke) verordeningen. In de studies die in dit kader worden uitgevoerd, wordt gebruik gemaakt van de aanwezige systeemkennis bij gemeenten en waterschappen, inschattingen van klimaatontwikkelingen, (financiële) gevolgen als er inundatie optreedt en rekenmodellen. In al deze facetten zijn onzekerheden aanwezig en worden aannames gedaan. De onzekerheden zijn soms bekend, soms zijn ze in te meten en soms inherent aan het systeem.

Onbekend is in welke mate deze aannames en onzekerheden doorwerken in de kwaliteit van de besluitvorming over de inrichting en bijbehorende investeringen in het watersysteem. Immers, aan de besluitvorming ligt vaak een kosten-batenanalyse ten grondslag. Die analyse wordt gevoed met modelresultaten, die door aannames en onzekerheden ook onzeker zijn. De vraag is nu welke aannames en onzekerheden van belang zijn en in welke mate die doorwerken in de kwaliteit van de besluitvorming. In dit rapport gaan we op zoek naar de antwoorden op deze vragen.

### 1.2 VRAAGSTELLING ONDERZOEK

De hoofdonderzoeksvraag is welke, en in welke mate, aannames en onzekerheden in het waterbeheer van belang zijn voor investeringsbesluiten over de inrichting van de Nederlandse watersystemen. De deelvragen zijn:

- Welke aannames en onzekerheden dragen naar verwachting het meest bij aan de onzekerheid in de modelresultaten die gebruikt worden voor investeringsbesluiten;
- Hoe vertalen die aannames en onzekerheden zich door naar onzekerheden in berekende schades (die in een kosten-batenanalyse mede bepalend zijn voor de berekende kosteneffectiviteit van maatregelen);
- Is het nodig, en zo ja hoe zou dat dan moeten, om in de toekomst aannames en onzekerheden mee te nemen in de modelanalyses en berekende kosteneffectiviteit, om daarmee de kwaliteit van de besluitvorming verder te verhogen.



### 1.3 VOORGAAND ONDERZOEK

Stowa heeft de afgelopen jaren doorlopend gewerkt aan kennis en instrumenten op het gebied van onzekerheden in het waterbeheer. Hiervan is dankbaar gebruik gemaakt in het voorliggende onderzoek. Hieronder volgt een korte opsomming van het vorige onderzoek en de opgeleverde producten. Verderop in het rapport zal duidelijk worden hoe we die producten hebben ingezet voor de analyse. De bij de genoemde onderzoeken behorende referenties zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

#### KWANTIFICEREN VAN ONZEKERHEDEN

- Debietschattingen [Mulder ea, 2016]. In dit onderzoek is met een meetcampagne het verschil tussen het veronderstelde (berekende) maaldebiet en debieten over stuwen vergeleken met de werkelijke afvoeren. Gebleken is dat de werkelijke afvoeren van gemalen veelal lager zijn dan verondersteld. Verschillen tussen aangenomen en werkelijke afvoeren kunnen oplopen tot 25%.
- Water- en stofbalansen [van der Hauw, 2013]. In dit onderzoek is een methode ontwikkeld en geïmplementeerd in een spreadsheet om de onzekerheden in water- en stofbalansen te kwantificeren.
- Batea [Stowa 2010-15]. Dit betreft een Bayesiaanse methode van kalibreren van modellen, waarbij vooraf met de best beschikbare kennis onzekerheden worden geïntroduceerd in de belasting van het watersysteem (neerslag), de modelparameters en de meetgegevens. Met Batea wordt het model vervolgens probabilistisch (op basis van de beginselen van de Bayesiaanse statistiek) gekalibreerd. Het resultaat is een probabilistische beschrijving van de kalibratieparameters, inclusief een probabilistische beschrijving van de resterende (berekende) onzekerheid in de neerslagbelasting en meetgegevens. Zo wordt beter duidelijk wat de betrouwbaarheid van het modelresultaat is. Bovendien kan met deze methode de effectiviteit van maatregelen beter worden onderzocht, door de onzekerheden in de genoemde termen expliciet in beschouwing te nemen.
- BOWA-WSS [Stowa 2012-05; Hakvoort ea, 2013; Waterschadeschatter 2017]. Dit betreft een koppeling van twee instrumenten: de Waterschadeschatter (WSS), waarmee de schade als gevolg van wateroverlast kan worden berekend en BOWA (Berekenen Onzekerheid WaterOpgave) waarmee een onzekerheidsanalyse op de berekende wateropgave kan worden uitgevoerd door onzekerheden te introduceren in de berekende waterstandstatistiek, maaiveldhoogte en landgebruik. Met de koppeling komt dus ook de onzekerheid in de berekende schades tot uitdrukking.
- Neerslag en verdamping [onder andere Stowa 2004-26 en 26a; Heijkers ea, 2011; Meteobase, 2011; Stowa 2015-10 en 10a; Stowa 2015-23; WIWB 2016; Dekker ea, 2018; Stowa 2018-12 en 12a]. In de vaststelling van de statistiek van neerslag en verdamping, welke periodiek wordt geactualiseerd, is ook aandacht gegeven aan de onzekerheid omtrent i) de gevallen hoeveelheid neerslag, ii) de klimaateffecten en iii) de statistische onzekerheid. Deze resultaten zijn voor alle waterbeheerders ontsloten via [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl).

#### COMMUNICEREN OVER ONZEKERHEDEN

- De WUR heeft in een aantal onderzoeken [Stowa 2017-21; Knotters, 2002; Knotters en Heijkers 2007] gezocht naar manieren om te communiceren over onzekerheden, zodanig dat bestuurders daar ook wat mee kunnen.

#### 1.4 LEESWIJZER

In dit rapport zijn de aanpak en resultaten samengevat tot de hoofdzaken en uitgangspunten. In hoofdstuk 2 worden allereerst de uitkomsten van interviews gepresenteerd. Het betreft interviews met de hydrologen van de waterschappen, waarin zij zijn bevraagd over de onzekerheden die zij meemaken in hun werk en die naar hun ervaring belangrijk zijn voor modelstudies. Daarna volgt een beschrijving van de aanpak om de impact van deze aannames en onzekerheden op model- en eindresultaten (berekende schades en inundatieoppervlaktes) te kunnen benaderen. In hoofdstuk 3 wordt deze aanpak toegepast voor twee casegebieden. Hoofdstuk 4 geeft eerst de conclusies en aanbevelingen en gaat vervolgens in op de vraag wat we nu kunnen met de onderzoeksresultaten.

Als u dit document in pdf-formaat op uw beeldscherm leest, kunt u het beste de 'twee pagina weergave' of 'two page view' inschakelen. De linkerpagina bevat dan de figuren en de rechterpagina de bijbehorende tekst.

#### 1.5 BEGELEIDINGSKOMMISSIE

Het onderzoek is uitgevoerd in nauwe samenspraak met een begeleidingscommissie, waarin Dolf Kern (Hoogheemraadschap van Rijnland), Joost Heijkers (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden) en Robin Biemans (Stowa) de continue factoren waren. Naast hen waren Alex de Klerk (Waterschap Hollandse Delta), Jack de Wilt (Waterschap Aa en Maas) en Mark van de Wouw (Waterschap de Dommel) bij een aantal vergaderingen van de begeleidingscommissie aanwezig, met name in de definitiefase van het onderzoek en was Bert Hendriks (Waterschap Drentse en Overijsselse Delta) mee-lezer. Het onderzoek is tussentijds gepresenteerd aan de commissie Wateroverlast onder voorzitterschap van Roel Bronda. Suggesties en opmerkingen uit die commissie zijn meegenomen in het verdere onderzoek.

# 2

## KWANTIFICEREN VAN ONZEKERHEDEN

### 2.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de gevolgde aanpak van het onderzoek. Deze bestaat uit twee onderdelen.

- Er is een inventarisatie gemaakt van de grootste aannames en onzekerheden bij watermanagement-gerelateerde beleidsstudies. Hiervoor zijn hydrologen van alle waterschappen in Nederland geïnterviewd. Uit deze interviews en de ervaringen van de modellers van HKV zijn de belangrijkste onzekerheidsbronnen geïdentificeerd.
- Vervolgens zijn deze onzekerheidsbronnen met behulp van twee praktijk cases, respectievelijk in vlak en hellend Nederland, uitgewerkt in onzekerheden in berekende inundatieoppervlaktes en schades. Beide cases zijn geanalyseerd om de gevoeligheid van de onderzoeksuitkomsten voor het type watersysteem te toetsen.

### 2.2 INTERVIEWS

Begin 2018 is bij elk waterschap in Nederland een hydroloog benaderd voor een telefonisch interview, waaraan 23 waterschappen hebben meegewerkt. Aan de hand van een vragenlijst zijn de grootste onzekerheden rondom beleidsstudies in het waterbeheer geïnventariseerd en is bekeken welke factoren volgens de geïnterviewden de grootste onzekerheid leveren op het eindresultaat van de door hen uitgevoerde modelstudies. Hierbij is gefocust op hoogwaterstudies zoals stresstesten of wateropgaven. Onzekerheden geïntroduceerd door de keuze van een modelprogramma (modelcode), schematisatie of modelleur zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Uit deze inventarisatie komt een duidelijk beeld naar voren van de typen onzekerheden die als het meest bepalend worden beschouwd. Hierin kunnen twee categorieën worden onderscheiden:

#### **CATEGORIE 1 (VERANTWOORDELIJKHEID WATERSCHAP)**

- De bodemeigenschappen, oftewel de kalibratieparameters die het neerslag-afvoerproces in de bodem beschrijven;
- Monitoringsgegevens oppervlaktewater (afvoeren en waterstanden);
- Het beheerregister (de locatie en dimensies van de dwarsprofielen en kunstwerken).

#### **CATEGORIE 2 (DOMEIN VAN STOWA)**

- De neerslagstatistiek van extreme neerslaggebeurtenissen (inbegrepen de onzekerheden in de waarnemingen, de klimaatontwikkeling en de statistische beoordeling zelf)
- De schadefuncties zoals opgenomen in de Waterschadeschatter.

## 2.3 BEPALEN BANDBREEDTE ONZEKERHEDEN

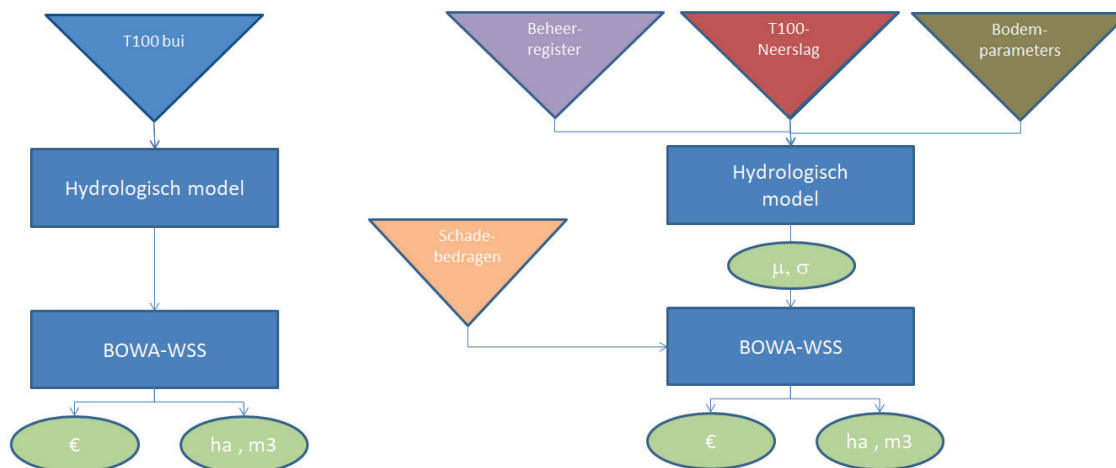
### 2.3.1 REKENMETHODIEK

Figuur 2 schetst in hoofdlijnen de toegepaste rekenmethodiek bij dit onderzoek. In de linker figuur staat de modellentrein weergegeven waarmee de referentiesituatie (zonder onzekerheden) wordt doorgerekend; in het rechterdeel is weergegeven hoe de diverse onzekerheidsbronnen worden geïntroduceerd.

Het referentiemodel bestaat uit een hydrologisch rekenmodel en een overstromingsschade-model (BOWA-WSS). Het hydrologische model bevat alle relevante bodemkenmerken, watergangen, kunstwerken en maaiveldhoogten. Dit model is doorgerekend met een extreme neerslaggebeurtenis die gemiddeld eens per 100 jaar voorkomt. Hieruit volgen maximale waterstanden voor de referentiesituatie. Deze worden met het BOWA-WSS instrument doorvertaald naar een geïnundeerd oppervlak en de daarbij optredende schade.

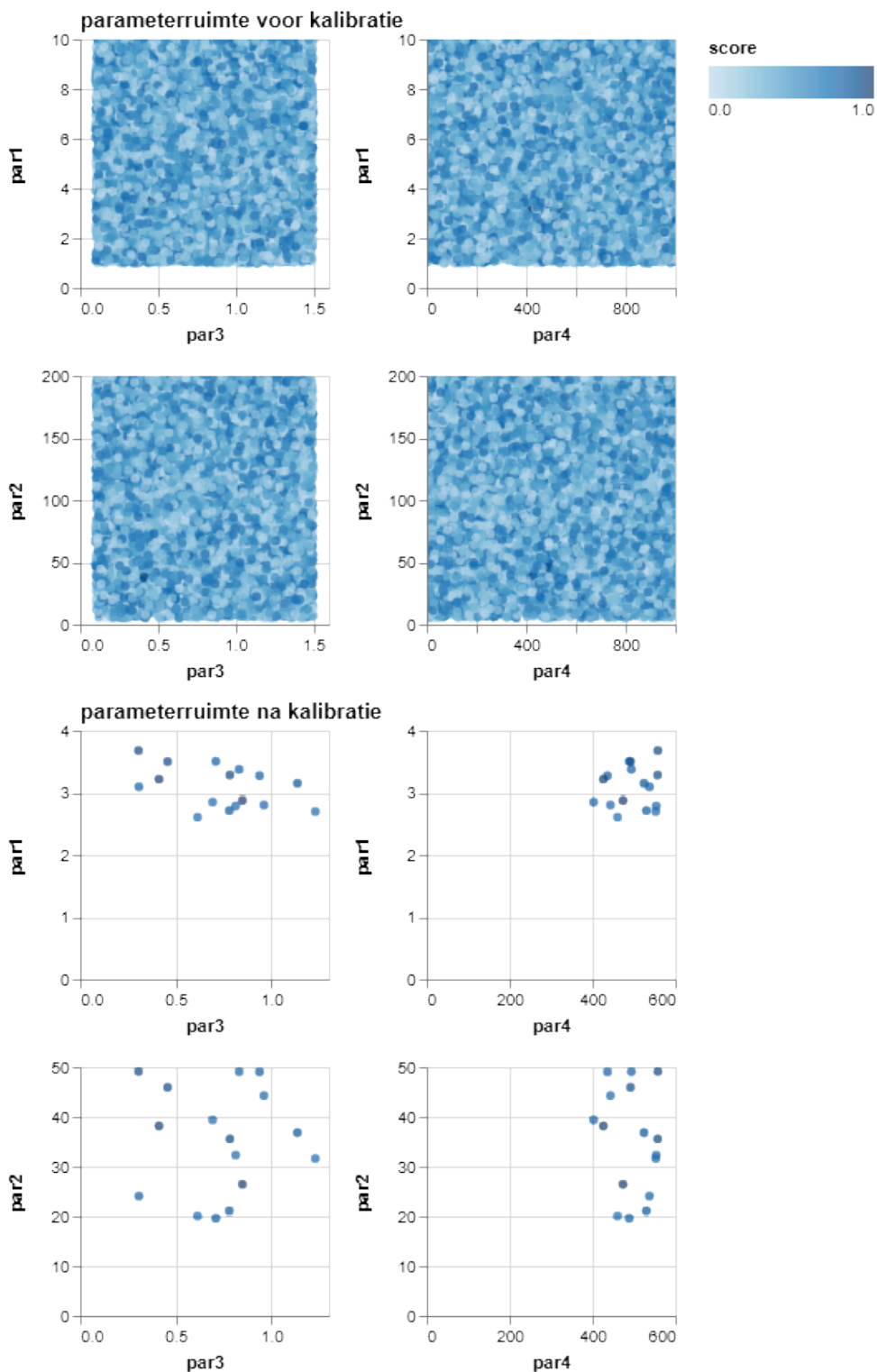
Het rechterdeel van Figuur 2 toont hoe de bronnen van onzekerheden zijn doorgerekend die uit de interviews naar voren zijn gekomen. De onzekerheden zijn onafhankelijk van elkaar beschouwd, dat wil zeggen dat de onzekerheid in de ene bron niet wijzigt als de onzekerheid in een andere bron toeneemt. Voor elke bron is een kansverdeling of bandbreedte van mogelijke waarden vastgesteld. Uit deze kansverdeling zijn willekeurig waarden getrokken (een zogenaamde Monte Carlo simulatie), waarbij iedere waarde een kans van optreden meekrijgt. Deze waarden zijn doorgerekend met het hydrologische rekenmodel. Hieruit volgen gemiddelden en standaarddeviatie van de maximale waterstanden. Het BOWA-WSS instrument berekend vervolgens een bandbreedte van geïnundeerd oppervlak en schade in euro's. Het wijzigen van de waarden van de onzekerheden (in simulaties) is zo vaak herhaald dat extra simulaties met deze onzekerheidsbron geen effect meer hebben op het eindresultaat.

FIGUUR 2 STROOMSCHEMA'S BEREKENINGEN. LINKS: REFERENTIE-BEREKENING. RECHTS: GEVOELIGHEIDS-BEREKENINGEN



FIGUUR 3

BODEMPARAMETERS (FICTIEF HIER PAR 1 T/M PAR 4) MET HUN PRESTATIESCORE (0 ZEER SLECHT TOT 1 PERFECT).ELK PUNTJE REPRESENTEERT 1 SET AAN PARAMETERS (MET PAR 1 T/M PAR 4)  
 BOVENSTE FIGUUR GEEFT INGESCHATTE PARAMETERRUIMTE VOOR AANVANG KALIBRATIE. DE BEREKENDE UITKOMSTEN ZIJN GESCOORD ADHV METINGEN. DIT IS DE GEVOLGDE AANPAK VOOR CASE BOXMEER  
 ONDERSTE FIGUUR GEEFT RESTERENDE PARAMETERCOMBINATIES NA KALIBRATIE. ALLE COMBINATIES GEVEN EEN GOED RESULTAAT >0.75, MAAR ZIJN NIET IDENTIEK. DIT IS DE GEVOLGDE AANPAK VOOR CASE KOCKENGEN



### 2.3.2 DE ONDERZOCHE ONZEKERHEIDSBRONNEN

De geïnventariseerde onzekerheden uit paragraaf 2.2 zijn de bodemparameters, monitoringsgegevens, het beheerregister, de neerslagstatistiek en de schadefuncties. In deze paragraaf worden de onzekerheidsbronnen kwantitatief uitgewerkt. De monitoringsgegevens zijn in dit onderzoek verder niet meer apart in beschouwing genomen, maar als onderdeel van de onzekerheden in het beheerregister, op het onderdeel maaldebieten en stuweigenschappen en tevens in het onderdeel bodemparameters, aangezien de bodemrespons in de praktijk wordt gekalibreerd aan de hand van gemeten afvoeren (en waterstanden).

#### BODEMPARAMETERS

De bodemparameters representeren de dikte van de verschillende bodemlagen en de snelheid waarmee water door de bodem richting de watergang stroomt. Deze parameters worden in het modelleringsproces ingeschat op basis van veldkennis en ervaring, zie Figuur 4-boven. Daarna worden ze gekalibreerd om de berekeningsresultaten zo goed mogelijk in overeenstemming te brengen met de metingen van (grond)waterstanden en afvoeren, zie Figuur 3-onder.

In dit onderzoek zijn voor de twee cases (uitgewerkt in hoofdstuk 2.4) twee verschillende werkwijzen gevolgd die verband houden met het beschikbare model. Voor de case Kockengen is de bodem geschematiseerd en geparametriseerd in het modelprogramma Sobek RR. Met dit modelprogramma is eerder al een studie naar onzekerheden uitgevoerd met Batea, waarvan de resultaten zijn gebruikt in deze case. Dit gaat om de statistische beschrijving van de resterende onzekerheid rondom de bodemparameters na een probabilistische kalibratie met Batea (zie ook paragraaf 1.3).

Voor de andere case in Boxmeer wordt het Wageningenmodel toegepast om de neerslagafvoer van de bodem te berekenen. Op dit modelconcept zijn de resultaten van de Batea-studie niet rechtstreeks toepasbaar. Daarom zijn de bandbreedten van de bodemparameters in deze case ingeschat op basis van expert inschattingen.

TABEL 1

WILLEKEURIGE AANPASSINGEN BEHEERREGISTER OM ONZEKERHEDEN TE SIMULEREN

Beheerobject	Toegepaste afwijkingen op deel van de objecten
Duikers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5%; een grotere / kleinere diameter (bv rond 400mm wordt rond 500mm)</li> <li>• 10%; binnenkant onderkant buis +/- 0,5m (vooral voor hellend gebied van belang)</li> <li>• 0,5%; diameter factor 10 groter/kleiner (kommafout)</li> </ul>
Gemalen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 80%; pompcapaciteit +/- 20% [meetcampagne HDSR]</li> </ul>
Stuwen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20%; stuwstand +/- 0,15m (ten tijde van de gebeurtenis)</li> <li>• 5%; kruinbreedte +/- 0,5m</li> </ul>
Watergangen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25%; doorstroomoppervlak +/- 20%</li> <li>• 25%; bodemhoogte +/-0,15m (voor vlak gebied – Kockengen)</li> <li>• 25%; bodemhoogte +/-0,5m (voor hellend gebied - Boxmeer)</li> </ul>

TABEL 2

## ONZEKERHEDEN IN EEN EXTREME (T100) BUI (UIT EERDER STOWA ONDERZOEK)

Scenario	95% interval [mm]
	Gemiddelde [mm] Standaarddeviatie [mm]
S2004:	110 – 134
Het effect van statische onzekerheid op het huidige klimaat [Stowa 2004-26 en 26a]	122 6,12
S2015:	122 – 140
Het effect van klimatologische onzekerheid in 2050 volgens huidige klimaatmodellen [Stowa 2015-10 en 10a]	131 4,59
S2004_S2015 (vigerend T100):	110 – 152
Combinatie van statistische onzekerheid en huidige klimatologische onzekerheid. (vigerende klimaatscenario's voor lange dueren) [Stowa 2004-26 en 26a, Stowa2015-10 en 10a]	131 10,71
S2019:	140 – 162
Een inschatting van het effect de gedetrende reeksen op de klimatologische onzekerheid in 2050 [Stowa 2015-10 en 10a; Stowa 2018-12 en 12a; Dekker ea, 2018]	151 5,61
S2004_S2019:	128 – 174
Combinatie van statistische onzekerheid en verwachte klimatologische onzekerheid [Stowa 2004-26 en 26a; Stowa 2018-12 en 12a]	151 11,74

**BEHEERREGISTER**

Het beheerregister van waterschappen bevat de ligging en dimensies van watergangen en kunstwerken. Het beheerregister dient als input voor de rekenmodellen. Steeds vaker worden rekenmodellen automatisch gegenereerd vanuit de basisgegevens uit het beheerregisters. In de praktijk blijkt dat beheerregisters niet onfeilbaar zijn. De onvolkomenheid van de registers, zoals incorrecte ligging of dimensies of ontbreken van objecten, leidt tot rekenmodellen die niet de werkelijke praktijk schematiseren.

Deze onzekerheid is geschematiseerd door willekeurig veelvoorkomende afwijkingen te introduceren in het beheerregister conform methodes die ook eerder in het stedelijk waterbeheer zijn toegepast [Clemens, 2001], zie Tabel 1. We nemen (hypothetisch) aan dat de referentiemodellen de correcte gegevens bevatten.

**NEERSLAGSTATISTIEK EN EXTREME NEERSLAGGEBEURTENISSEN**

Waterschappen en gemeenten voeren watersysteemtoetsen uit bij extreme waterstanden die bij verschillende herhalingstijden (gekoppeld aan de normen per type landgebruik) voorkomen. In dit onderzoek is volstaan met een 1:100 jaar (T100) bui en de daarin optredende onzekerheden.

Stowa laat regelmatig onderzoek uitvoeren (door het KNMI en HKV) naar de statistiek van de neerslag in het huidige en het veranderde klimaat in 2050 en 2100 voor de verschillende klimaatscenario's.

In voorliggend onderzoek zijn effecten in beeld gebracht van de statistische onzekerheid, dat is de onzekerheid die ontstaat rond het afleiden van herhalingstijden rondom extreme neerslag, en de klimaatonzekerheid richting 2050, dat is de onzekerheid die geïntroduceerd wordt door de verschillende klimaatscenario's en doorgaand inzicht rondom klimaat in het algemeen.

De diverse onzekerheden zijn samengevat in vijf verschillende T100 kansverdelingen, zie Tabel 2. In dit onderzoek gebruiken we de vigerende klimaatstatistiek (de gecombineerde onzekerheidsbandbreedten van S2004 en S2015) en de omhullende van alle kansverdelingen. Dit laatste noemen we de ontwikkeling van de klimaatstatistiek. We gaan in dit onderzoek uit van een 4-daags neerslagevent met een neerslagpatroon MiddenHoog.

Het referentiemodel is doorgerekend met de verwachtingswaarde van de 4-daagse T100 neerslagebeurtenis, namelijk 130 mm.

**TABEL 3** OVERZICHT GETESTE GEVOELIGHEDEN SCHADEFUNCTIES EN MAXIMALE SCHADEBEDRAGEN VOOR WATERSCHADESCHATTER

Scenario's	Omschrijving: Aftasten gevoeligheid van
Referentiescenario	Standaard parameters gehanteerd voor schadefuncties en gemiddelde maximale schadebedragen. Voor enkel de directe schade.
Scenario's 1 t/m 4 en Scenario's 13 + 14	Minimale en maximale schadebedragen icm extreemste parametercombinaties voor schadefuncties
Scenario's 5 t/m 12	Maximale directe schadebedragen; delen door en vermenigvuldigen met factor 1,25; 1,5; 2 en 5. Geen onderscheid naar BOWA-klasse
Scenario's 15 t/m 18 BOWA-klasse: Grasland	
Scenario's 19 t/m 22 BOWA-klasse: Akkerland	Maximale schadebedragen binnen BOWA-klasse gevarieerd (de overige klassen behouden gemiddelde maximale schade). Gemiddelde maximale schade van BOWA-klasse delen door en vermenigvuldigen met factor 1,5 en 2.
Scenario's 23 t/m 26 BOWA-klasse: Hoogwaardige landbouw	
Scenario's 27 t/m 31 BOWA-klasse: Stedelijk gebied en hoofdinfrastructuur	
Scenario's 32 t/m 36 Hersteltijd; kosten indirecte schade <sup>1</sup>	Indirecte schade. Hierbij zijn de volgende hersteltijden gecombineerd: Voor wegen: 6 uur, 1 dag, 2 dagen en 5 dagen. Voor bebouwing: 2 dagen en 5 dagen. De schadebedragen en -functies voor zowel directe als indirecte schade zijn gemiddeld toegepast.

**TABEL 4** OVERZICHT CASE STUDIES KOCKENGEN EN BOXMEER

Kockengen (HDSR)	Boxmeer (WSAM)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleilig/venig poldergebied</li> <li>• Kleine kern (dorp Kockengen) met overstorten in lokale sloten</li> <li>• Peilgestuurde polder</li> <li>• Sobek Rural 2.14 RR</li> <li>• Sobek Rural 2.14 CF</li> <li>• Rekentijd: &lt;10 minuten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hellend gebied met beekdal.</li> <li>• Gemiddelde kern (plaats Boxmeer) met overstorten op landelijke systeem</li> <li>• Vrij-afwaterend gebied</li> <li>• Neerslag-afvoerproces in Wageningenmodel</li> <li>• Sobek Rural 2.14 CF – Pluvius<sup>2</sup></li> <li>• Sobek 2D</li> <li>• Rekentijd: ca 1,5 uur</li> </ul>

- 1 Deze scenario's zijn alleen uitgevoerd voor case Kockengen.
- 2 Dit is een manier om (afvoer van) stedelijk gebied te schematiseren



## SCHADEBEPALING

In de regel bepalen waterschappen de omvang van inundaties en financiële schade voor een kosten-batenanalyse van maatregelen, waarbij de kosten worden bepaald door de investerings- en onderhoudskosten van de maatregelen zelf en de baten door de vermeden schade. Om de (vermeden) schade te bepalen worden schadefuncties en maximale schadebedragen gebruikt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de Waterschadeschatter (WSS) [Waterschadeschatter, 2017], waarin onderscheid wordt gemaakt in directe en indirecte schade. Verschillende waterschappen hebben onderzoek laten uitvoeren om de gevoeligheid van schadefuncties te bepalen [bijvoorbeeld Bakker ea, 2013; Leenders, 2014; Leenders en Jong, 2018]. Uit deze studies blijkt onder andere de impact van onzekere maximale schadebedragen op de totale schade. Volgens Wagenaars en anderen [Wagenaar, 2016] kunnen deze maximale schadebedragen 'een factor 2 tot 5' afwijken van de werkelijkheid.

In dit onderzoek is een gevoeligheidsanalyse gedaan naar de maximale schadebedragen en schadefuncties. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de verschillende landgebruikclassen stedelijk, hoogwaardige land- en tuinbouw, akkerbouw en grasland. Ook is er onderscheid gemaakt tussen directe schade en indirecte schade (deze laatste is vooral de kosten van uitval van een gebouw of weg). In totaal zijn er 36 scenario's onderscheiden, zie als Tabel 3.

De spreiding van de schades is bepaald met behulp van de BOWA-WSS. Dit gecombineerde instrumentarium berekend de wateropgave in m<sup>3</sup>, hectare en schade in euro's. Voor alle scenario's is het bodemgebruik in BOWA niet onzeker verondersteld en dus niet gevarieerd, voor de maaiveldhoogten is rekening gehouden met de standaardafwijking van het AHN zoals die standaard door BOWA wordt aangehouden.

## 2.4 CASE STUDIES KOCKENGEN EN BOXMEER

Het effect van de onzekerheidsbronnen is onderzocht voor twee cases, zie Tabel 4:

- Case Kockengen (polder De Tol met daarin de plaats Kockengen) in het beheergebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden [Stowa 2018-68] en
- Case Boxmeer (het gebied de Zandkant [GDHM Aa en Maas, 2013] in het hellende gebied van de Raam rond de plaats Boxmeer) in het stroomgebied van waterschap Aa en Maas.

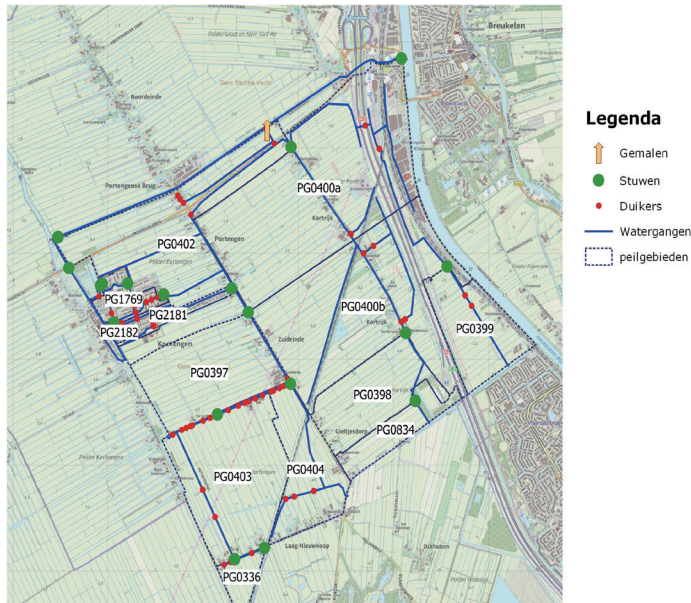
Van beide gebieden zijn modellen beschikbaar die gekalibreerd en gevalideerd zijn in eerdere studies. Hieronder lichten we beide case verder toe.

### KOCKENGEN

De plaats Kockengen is gelegen in polder de Tol. De polder en daarmee Kockengen heeft verschillende keren last gehad van wateroverlast en water op straat, zie ook Figuur 1. Het gebied is uitgebreid geanalyseerd met diverse modelcodes in de Stowa Benchmark 'inundatie reken maar' [Henckens en Engel, 2017]. De polder bestaat uit verschillende peilvakken. Het gemaal aan de noordzijde maalt het water uit in de boezem welke uitstroomt in het Amsterdam-Rijnkanaal, zie Figuur 4.

FIGUUR 4

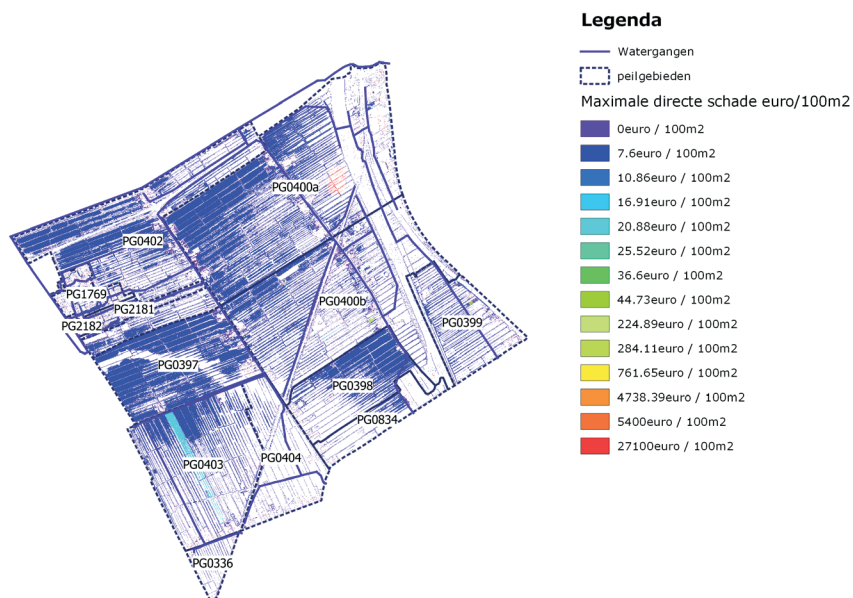
WATERSYSTEEM KOCKENGEN MET PEILVAKKEN, GEMALEN, STUWEN, DUIKERS EN WATERGANGEN. ACHTERGROND: OPEN TOPO ©



Figuur 5 toont de met het Sobek-model en de WSS berekende schade bij een T=100 gebeurtenis van 130 mm neerslag. Op al de gekleurde gebieden staat water. De kleur staat voor het maximale schadebedrag bij een inundatieoppervlakte van 100 m<sup>2</sup>. In de bijlage zijn extra kaartjes toegevoegd met landgebruik, schadebedragen en berekende inundaties.

FIGUUR 5

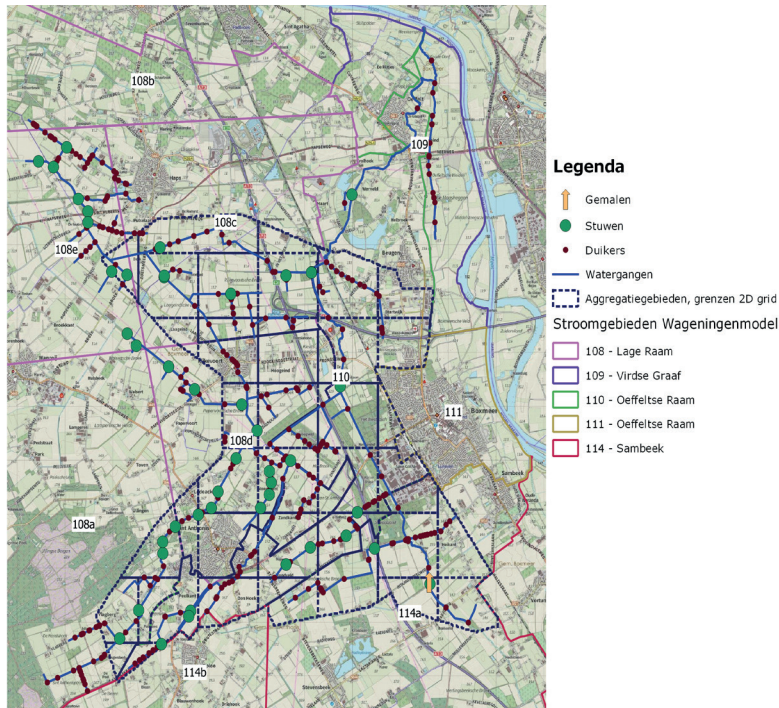
BEREKENDE SCHADE BIJ T100 REFERENTIESITUATIE. DE GEKLEURDE VLAKKEN ZIJN GEÏNUNDEERD. DE KLEUR STAAT VOOR DE MAXIMALE SCHADEBEDRAGEN VOLGENS DE WATERSCHADESCHATTER



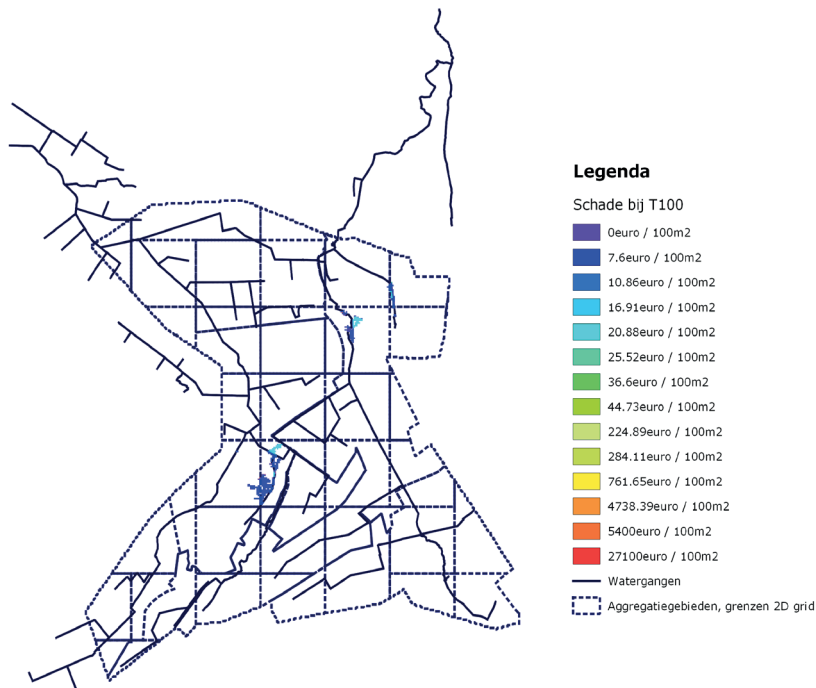
### BOXMEER

Het stroomgebied van de Raam valt onder waterschap Aa en Maas. In de zomer van 2016 heeft hevige neerslag gezorgd voor inundaties in de beekdalén. In Figuur 6 is het watersysteem globaal weergegeven. De (on-) bemeten stroomgebieden van de Lage Raam, Virdse Raam, Oeffeltse Raam en de Sambeek zijn geschematiseerd met het Wageningenmodel. De waterlopen en stroming over maaiveld zijn berekend met Sobek. Het hele gebied watert af richting het noorden waar het onder vrij verval in de Maas stroomt.

FIGUUR 6 WATERSYSTEEM BOXMEER MET STROOMGEBIEDEN VOOR HET HYDROLOGISCHE MODEL (WAGENINGENMODEL), WATERGANGEN, DUIKERS, STUWEN EN DE AGGREGATIEGEBIEDEN WAARIN DE WATERSTANDEN ZIJN GEANALYSEERD. DEZE GEBIEDEN ZIJN GEBASEERD OP HET 2D GRID IN HET REKENMODEL. ACHTERGROND: OPEN TOPO ©



FIGUUR 7 BEREKENDE SCHADE BIJ T100 REFERENTIESITUATIE. DE GEKLEURDE VLAKKEN ZIJN GEÏNUNDEERD. DE KLEUR STAAT VOOR DE MAXIMALE SCHADEBEDRAGEN [BRON WSS]



Figuur 7 laat de berekende inundaties zien van het referentiemodel bij een neerslagvolume van 130 mm. De kleuren representeren de bijbehorende met de WSS berekende schadebedragen. De inundaties worden vooral berekend in de beekdalen.

# 3 RESULTATEN

## 3.1 INLEIDING

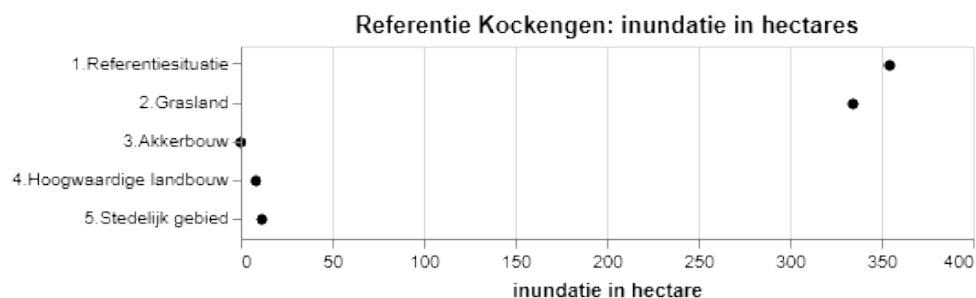
Aannames en onzekerheden rondom de T=100 neerslagbelasting, het beheerregister (dimensies watergangen en kunstwerken), bodemparameters en de maximale schadebedragen worden in dit hoofdstuk voor de twee beschreven cases doorvertaald naar effect op de uitkomsten van hydrologische modelstudies, uitgedrukt in berekende inundatieoppervlaktes en daarbij optredende schade. In bijlage B zijn de figuren van hoofdstuk 3 geïndexeerd ten opzichte van de referentiesituatie. Hierdoor is de impact van de onzekerheidsbronnen tussen de verschillende cases beter met elkaar te vergelijken.

## 3.2 RESULTATEN KOCKENGEN

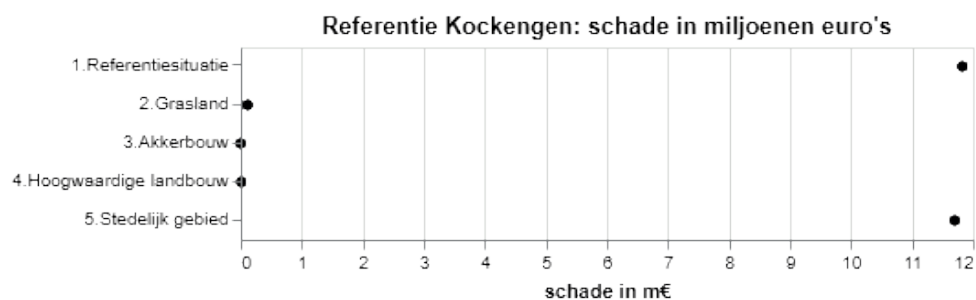
De referentieberekening voor Kockengen resulteert in een directe schade van ongeveer € 11,8 miljoen euro (Figuur 8) en een bijbehorend geïnundeerd gebied ter grootte van 350 hectare (Figuur 9). Deze uitkomsten volgen uit het gebruikte en beschreven rekenmodel met een 4-daagse neerslagbelasting van 130 mm met een neerslagpatroon midden-hoog, waarbij de gemiddelde maximale schadebedragen volgens de Waterschadeschatter zijn gehanteerd.

Uit de figuren blijkt dat de berekende schades worden gedomineerd door het stedelijk gebied, waarin ook de primaire weg- en spoorweginfra is opgenomen, terwijl het werkelijke inundatieareaal voor deze gebieden klein is in verhouding tot overige BOWA landgebruiksklassen.

FIGUUR 8 REFERENTIE-BEREKENING KOCKENGEN: BEREKENDE INUNDATIE IN HECTARES ONDERVERDEELD NAAR LANDGEBRUIK



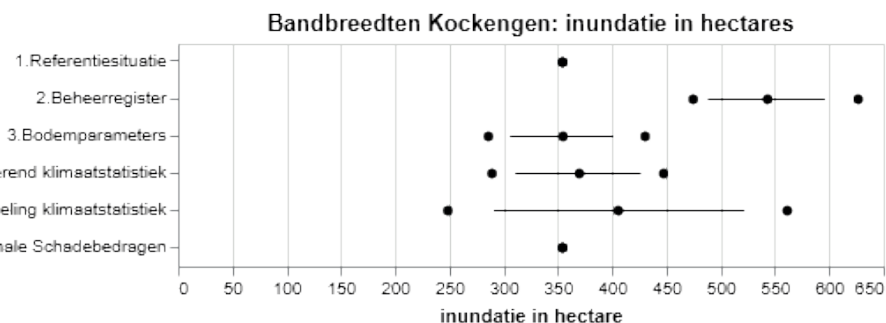
FIGUUR 9 REFERENTIE-BEREKENING KOCKENGEN: BEREKENDE SCHADE IN MILJOENEN EURO'S ONDERVERDEELD NAAR LANDGEBRUIK



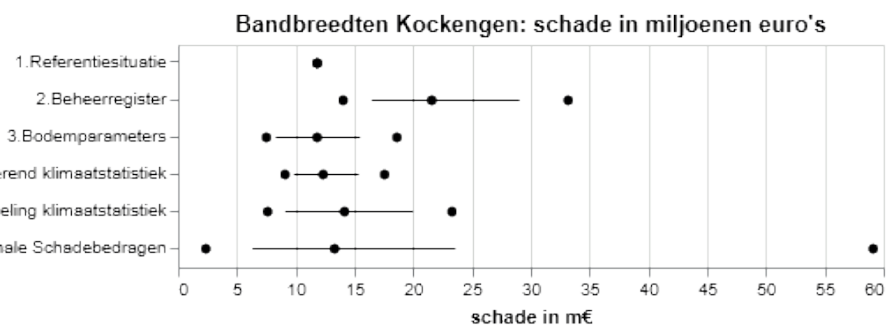
Per beschouwde onzekerheidsbron is een bandbreedte in berekend geïnundeerd areaal en bijbehorende schadebedragen geplot in Figuur 10 en Figuur 11. In de figuren zijn per categorie drie punten en een lijn weergegeven. Het linker punt betreft de minimale, de middelste de verwachtingswaarde en de meest rechter de maximaal berekende schade / inundatie. De lijn presenteert het 90 percentiel interval en is een maat voor de spreiding van de uitkomsten.

Uit de figuur blijkt dat willekeurige fouten in het beheerregister altijd leiden tot hogere berekende schadebedragen. Dit komt doordat het vlakke poldersysteem gedomineerd wordt door de krapste / kleinste doorstroomoppervlak. Als bijvoorbeeld ergens een duiker kleiner wordt, terwijl alle omliggende duikers groter worden, dan bepaalt de kleinste duiker toch de maximale waterstanden.

FIGUUR 10 ONZEKERHEID IN INUNDATIEAREAAL IN HECTARE ALS GEVOLG VAN T100 SITUATIE VOOR GEBIED KOCKENGEN



FIGUUR 11 ONZEKERHEID IN SCHADE IN MILJOENEN EURO'S ALS GEVOLG VAN EEN T100 SITUATIE VOOR GEBIED KOCKENGEN



De restonzekerheid in de bodemparameters, dus na een intensieve kalibratie gedaan met zeer goede metingen laat een bandbreedte van circa € 5,5 miljoen zien. Dat is het gevolg van een snellere of tragere gebiedsreactie op neerslag.

De bandbreedte van de T100 neerslagbelasting is bepaald voor de vigerende klimaatscenario's inclusief statistische onzekerheid. Voorlopige schattingen voor de in 2019 vast te stellen klimaateffecten geven een extra toename voor neerslagvolumen in 2050. Dit resulteert dan in een hogere verwachtingswaarde van schade en inundatieoppervlak, weergegeven bij 'Ontwikkeling klimaatstatistiek'.

Tenslotte is de gevoeligheid van de directe maximale schadebedragen en de parameters van de schadefuncties onderzocht. Deze spreiding is feitelijk volledig gedomineerd door de optredende schades in stedelijk gebied en primaire weg- en spoorinfrastructuur. De gevoeligheidsbandbreedte ontstaat door de maximale schade aan gebouwen / wegen te delen en vermenigvuldigen met factoren 1.5, 2 en 5. Overige landgebruikklassen tonen een veel kleinere invloed.

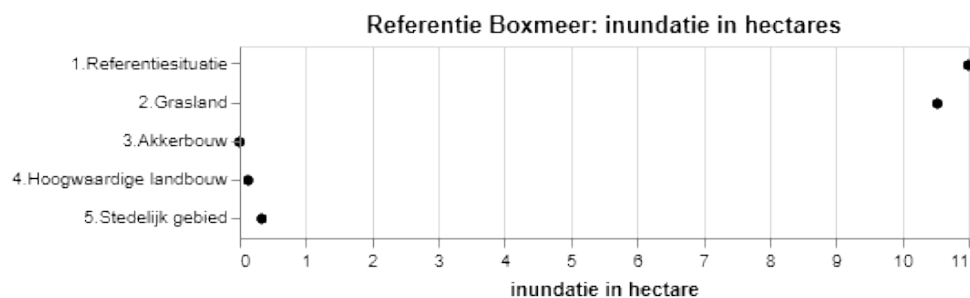
Wanneer ook indirecte schade meegenomen is in de analyse, neemt de berekende schade met nog eens een factor 5 toe. Deze schade is afhankelijk van de ingeschatte kosten als gevolg van uitval van de functie vermenigvuldigd met de tijdsduur van uitval. Deze tijdsduur is daarmee erg bepalend. Uit deze en andere analyses is gebleken dat de met de Waterschadeschatter berekende indirecte schade anomalieën vertoont, deze is daarom in de analyse verder niet in beschouwing genomen.

Als gevolg van onzekerheid in de modelinvoer kan de berekende schade ongeveer worden gehalveerd tot drie keer zo groot orden als in de referentie. Vooral de onzekerheid in het beheerregister draagt bij aan de toename van de schade. De onzekerheid in schadeformules levert een zeer grote spreiding in berekende schade.

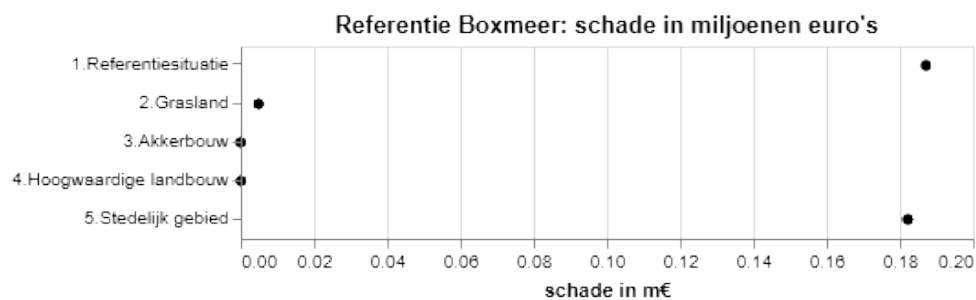
### 3.3 RESULTATEN BOXMEER

De totale schade in de Boxmeer casus bedraagt circa € 200.000 met een geïnundeerd areaal van ongeveer 11 hectare (zie Figuur 12 en Figuur 13). Deze getallen zijn veel kleiner dan in de case Kockengen. Het zijn vooral de beekdalén die inunderen, in stedelijk gebied treden geen inundaties op. De berekende schades zijn hierdoor kleiner.

FIGUUR 12 REFERENTIE-BEREKENING BOXMEER: BEREKENDE INUNDATIE IN HECTARES GEDIFFERENTIEERD NAAR LANDGEBRUIKKLASSEN



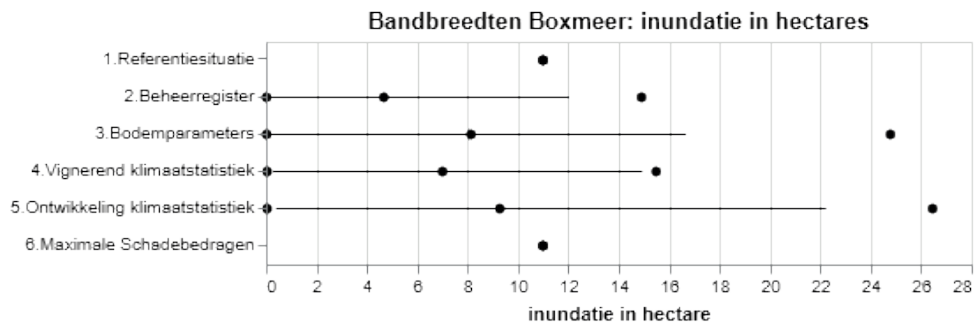
FIGUUR 13 REFERENTIE-BEREKENING BOXMEER: BEREKENDE SCHADE IN MILJOENEN EURO'S GEDIFFERENTIEERD NAAR LANDGEBRUIKKLASSEN



Vervolgens zijn de onzekerheidsbronnen in de analyse betrokken, zie Figuur 14 en Figuur 15. Uit de figuren blijkt dat de spreiding als gevolg van de onzekerheid in bodemparameters relatief gezien groter is dan bij Kockengen. Dit komt doordat er gerekend is met een bandbreedte aan mogelijke waarden van parameters, dus onzekerheid *voor* kalibratie in plaats van restonzekerheid *na* kalibratie.

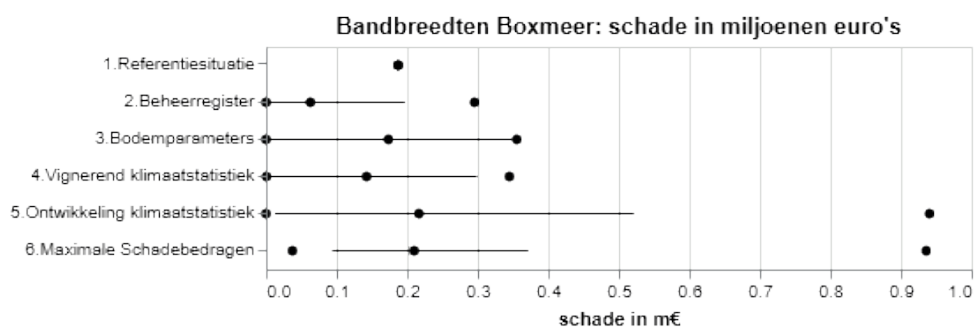
FIGUUR 14

ONZEKERHEID IN INUNDATIEAREAAL IN HECTARE ALS GEVOLG VAN T100 SITUATIE VOOR GEBIED BOXMEER



FIGUUR 15

ONZEKERHEID IN SCHADE IN MILJOENEN EURO'S ALS GEVOLG VAN EEN T100 SITUATIE VOOR GEBIED BOXMEER



In de case Boxmeer verminderen doorgerekende onvolkomenheden in het beheerregister, in tegenstelling tot Kockengen, vaak de wateroverlast. Dit komt doordat water dan (achter een kleine duiker bijvoorbeeld) meer bovenstrooms wordt vastgehouden (en ook buiten het geëvalueerde gebied). Dit geeft een verlichting voor de schadegevoelige gebieden.

Bij de T100 neerslag die is samengevat in de klimaatstatistiek, is de bandbreedte van de vignerende statistiek in de orde van de bodemparameters. De ontwikkeling van het klimaat levert meer onzekerheid in inundaties en schade.

De gevoeligheid van de schadefuncties is opnieuw gedomineerd door stedelijk gebied en wordt veroorzaakt door de maximale schadebedragen te delen en vermenigvuldigen met factoren 1.5, 2 en 5.

Als gevolg van onzeker modelinvoer en schadeformules, kan de berekende schade zowel vrijwel nihil worden als vijf keer zo groot als in de referentie.

# 4

## CONCLUSIES EN VERDERE TOEPASSING

### 4.1 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De resultaten uit het vorige hoofdstuk tonen aan dat de effecten van aannames en onzekerheden in modelstudies een significant effect hebben op de berekende wateropgave en bijbehorende schades. In de volgende paragrafen vatten we de belangrijkste bevindingen samen. Daarna beschrijven we hoe de hier ontwikkelde kennis en methodes kunnen worden gebruikt voor de onderbouwing van investeringsbesluiten op basis van een modelstudie en een kosten-batenanalyse met de resultaten daarvan.

#### 4.1.1 SCHADEFUNCTIES GROOTSTE ONZEKERHEID

De grootte van de maximale schadebedragen voor de verschillende landgebruiksklassen leveren de grootste bijdrage aan de onzekerheid in berekende schades als gevolg van inundaties. Onderzoek geeft aan dat maximale schadebedragen een factor 2 tot 5 kunnen afwijken. Dit heeft direct effect op een kosten-batenanalyse. Verder is uit dit onderzoek en eerdere ervaringen van waterschappen gebleken dat de met de waterschadeschatter berekende indirecte schades anomalieën vertonen waardoor deze niet in een kosten-baten analyse kunnen worden gebruikt.

Deze constatering leidt tot een belangrijke aanbeveling voor Stowa, namelijk om de maximale schadebedragen en schadefuncties in de Waterschadeschatter (WSS) te verbeteren en (regelmatig) te actualiseren met de nieuwste inzichten zoals die door diverse partijen (waterschappen, bedrijfsleven, kennisinstellingen, universiteiten) worden gepubliceerd. Zodoende vervult het platform van de waterschadeschatter haar oorspronkelijk beoogde functie, namelijk als een condensatiepunt voor de state-of-the-art kennis en als een bruikbaar hulpmiddel bij dagelijkse vraagstukken van waterschappen en adviesbureaus.

#### 4.1.2 BEHEERREGISTER; HET EFFECT VAN DE KLEINSTE SCHAKEL

In het beheerregister komt vooral in poldersystemen het effect van de kleinste schakel sterk naar voren. Als de afmetingen van kunstwerken en watergangen in het beheerregister kleiner zijn dan in werkelijkheid wordt voor het hele gebied bovenstrooms te hoge hoogwaterstanden berekend. Een goed en nauwkeurig beheerregister is dus een belangrijke factor in de nauwkeurigheid van de berekende wateropgave, die zonder fouten in het beheerregister op te sporen dus veelal te hoog zal uitvallen. Anders gezegd: door de fouten uit het beheerregister te halen zal een deel van de berekende wateropgave verdwijnen en de benodigde investeringen lager worden.

Voor hellende gebieden kunnen fouten in afmetingen van watergangen en kunstwerken bovenstrooms van bebouwde gebieden zowel tot een hogere (in geval van te grote afmetingen in het beheerregister) als lagere (in geval van te kleine afmetingen in het beheerregister) wateropgave leiden. In sommige gevallen kan dit gunstig uitvallen omdat inundaties daarvoor in het buitengebied optreden. In andere gevallen ontstaan er juist problemen in stedelijk gebied, waardoor schades enorm toenemen.



De analyse toont aan dat fouten in beheerregister een belangrijke bijdrage leveren aan fouten in berekende hoogwaterstanden, en daarmee de wateropgave en de noodzaak van investeringen in het watersysteem. Het behoeft nauwelijks betoog dat het opsporen van deze fouten een kosten-effectievere manier is om de wateropgave in de juiste proporties te krijgen, dan door te investeren in maatregelen in het watersysteem. Deze analyse wordt onderschreven door geïnterviewde waterschappers.

De aanbeveling voor de waterschappen is dan ook: zorg er voor dat er zo weinig mogelijk fouten in het beheerregister zitten, de energie en de kosten die daarvoor worden gemaakt zijn naar verwachting altijd lager dan de kosten van investeringen in het watersysteem.

#### **4.1.3 BODEMPARAMETERS; ONZEKERHEID RONDOM KALIBRATIE**

Het onderzoek heeft aangetoond dat ook de onzekerheid van de bodemparameters significant doorwerkt in berekende schades. Hoe beter de calibratie van een model kan worden uitgevoerd, hoe kleiner deze onzekerheid wordt. We bevelen de waterschappen daarom aan om blijvend te investeren in goede meetprogramma's voor afvoeren en waterstanden omdat dit een goed inzicht blijft geven in het functioneren van het watersysteem en tevens gebruikt kan worden om modellen en studies aan te kalibreren.

Richting de Stowa bevelen we aan om waterschappen te ondersteunen door beschikbare (bodem)gegevens vanuit het dataportaal van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) breed onder de aandacht te brengen. Daarnaast kan de Stowa best practices van hydrologische modellen en kalibraties onder de aandacht brengen, conform de benchmark "inundatie reken maar" waar dit is gedaan voor overstromingsmodellen.

#### **4.1.4 EFFECTEN VAN DOORGAAND INZICHT OP NEERSLAG VAN DE TOEKOMST**

Het onderzoek geeft aan dat de onzekerheid in de neerslagbelasting, ondanks alle producten die op dit vlak zijn ontwikkeld en ondanks alle onderzoeken naar klimaateffecten en statistieken van neerslag, nog altijd sterk bijdraagt aan de totale onzekerheid in berekende inundatieoppervlaktes en berekende schades. Dit toont aan dat door de waterschappen en Stowa gefinancierde producten en onderzoeken, zoals Weer Informatie WaterBeheer [WIWB, 2016], de klimaatstudies en de studies naar de statistiek van neerslag- en verdamping nuttig en noodzakelijk zijn. Het onderzoek bevestigt de juistheid van het voornemen van Stowa om te blijven investeren in deze producten en studies.

### **4.2 VERDERE TOEPASSING**

Nu in de voorgaande hoofdstukken is beschreven in welke mate aannames en onzekerheden in het waterbeheer doorwerken in modelresultaten, berekende schades en daarmee kosten-batenanalyses voor besluitvorming over de inrichting van watersystemen, dient zich de vraag aan of en hoe de ontwikkelde kennis en methode verder kan worden ingezet. Daarom zijn hier een aantal voorbeelden beschreven hoe aanvullend meerwaarde kan worden gecreëerd.

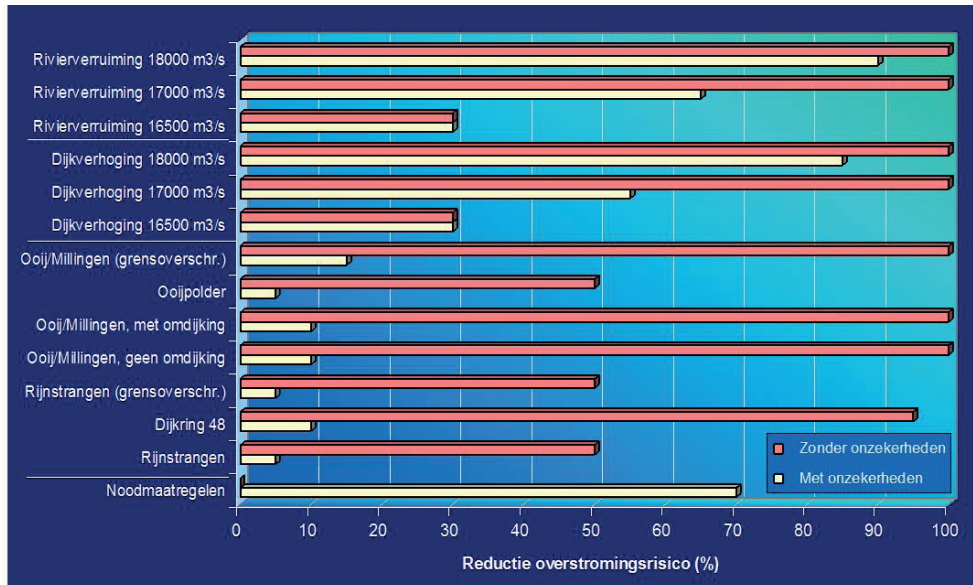
#### **4.2.1 KOSTENEFFECTIVITEIT VAN INRICHTINGSMATREGELEN**

Uit het verleden is bekend dat als gevolg van onzekerheden in het gedrag van het watersysteem, de effectiviteit van inrichtingsmaatregelen te rooskleurig wordt voorgesteld als met die onzekerheden geen rekening wordt gehouden. Een bekend voorbeeld is de effectiviteit van noodoverloopgebieden (bergingsgebieden) langs de grote rivieren. Door onzekerheden in onder meer de precieze timing en vorm van de hoogwatergolf en de precieze verdeling van

de afvoer over splitsingspunten in de rivier een afvoerbereik dat nog niet eerder bemeten is, is gebleken dat de effectiviteit van de noodoverloopgebieden fors tegenviel.

FIGUUR 16

**BEREKENDE REDUCTIE VAN HET OVERSTROMINGSRISICO (IN €, HIER UITGEDRUKT ALS % VAN HET TOTALE OVERSTROMINGSRISICO) VAN DIVERSE TYPEN MAATREGELLEN VOOR DE VERBETERING VAN DE BESCHERMING TEGEN OVERSTROMINGEN VANUIT DE RIJNTAKKEN, INCLUSIEF DE NOODOVERLOOPGEBIEDEN OOIJPOLDER EN RIJNSTRANGEN**



Met de in dit onderzoek ontwikkelde kennis en methoden is het mogelijk geworden om de effectiviteit van inrichtingsmaatregelen door te rekenen met medeneming van onzekerheden in zowel het gedrag van het watersysteem als de typen onzekerheden die hier beschreven zijn. We bevelen aan om middels een casestudie in het regionaal waterbeheer een type maatregel (denk bijvoorbeeld aan een bergingsgebied, onderwater drainage, etc.) volledig probabilistisch, met medeneming van alle genoemde onzekerheden, door te rekenen. Als resultaat wordt dan duidelijk of en hoe die onzekerheden de kosteneffectiviteit van inrichtingsmaatregelen beïnvloeden.

#### 4.2.2 PRESTATIE-EISEN AAN DE NAUWKEURIGHEID KOSTEN-BATENANALYSES?

Om aannames en onzekerheden rondom wateroverlast terug te dringen en daarmee de risico's op verkeerde beleidsinvesteringen, kan ook een andere invalshoek gekozen worden. Door bijvoorbeeld een prestatie-eis te stellen aan de nauwkeurigheid waarmee de kosten-batenverhouding van maatregelen wordt berekend. Als voorbeeld, stel dat als prestatie-eis wordt gesteld dat de baten, oftewel de vermeden schade en daarmee de schade, met 25% nauwkeurigheid moet worden berekend. Dan zouden we dat met de in dit rapport beschreven werkwijze vertalen naar een 95% betrouwbaarheidsband van de berekende schade die maximaal 0.75 en 1.25 maal de verwachtingswaarde mag zijn. Vervolgens kan met een iteratieve werkwijze worden herleid tot welke eisen dit leidt aan de betrouwbaarheidsbanden van de in dit onderzoek onderscheiden onzekerheden. Als de werkelijke betrouwbaarheidsbanden daar dan buiten liggen, is dit het sein om te gaan investeren in bijvoorbeeld meetcampagnes om die onzekerheden terug te dringen.

Dit is een geheel nieuwe denkwijze die misschien enige gewenning vraagt, maar waarvan het de moeite waard is om te onderzoeken of het in de praktijk ook werkt en tot een objectieve opdracht kan leiden de onzekerheden te verminderen, en daarvoor dus ook met een objectieve onderbouwing de benodigde budgetten vrij te maken.

# 5

## REFERENTIES

Bakker M, Hakvoort H, Tempelaars J, Wouw van de M, 2013  
Watersysteemtoets 2013, beheergebied De Dommel. In opdracht van Waterschap De Dommel.  
Rapportnummer: HKV Eindrapport PR2553.10 oktober 2013.

Clemens F, 2001  
Hydronic models in urban drainage: applications and calibration. Proefschrift.  
Gepubliceerd door: Delft University Press.

Dekker G, Goedbloed D, Kaptijn R, Pieneman J, Heideveld M, Boomgaard M, Poort M, Kern D, Heijkers J, Peerdeman K, Heijens F, Gastkemper H, Luijtelaar van H, Buntsma J, Talsma M, Roeling A, Nootenboom T, 2018  
Standaardisatie neerslaggebeurtenissen stresstest wateroverlast. Notitie van ‘Werkgroep standaardisatie stresstest wateroverlast’ aan Stichting RIONED, STOWA en het ministerie van I&W.  
Datum 14 juni 2018.

Hakvoort H, Heijkers J, Peerdeman K, Talsma M, 2013  
Methode berekenen onzekerheid in wateropgave nu beschikbaar. Gepubliceerd in: Stromingen 19 (2013), nummer 1.

Hauw van der K, 2013  
Water- en stofbalansen: betrouwbaar of drijfzand?. Gepubliceerd in: Stromingen 19 (2013), nummer 2.

Heijkers J, Kallen MJ, Crook de R, 2011  
Bouw van de Neerslagdatabank Midden-Nederland. Gepubliceerd in: H2O -02 2011.

Ijpelaar R, Bosch S, Moorman J, 2013  
Gebiedsdekkend Hoogwatermodel 2.0 van Waterschap Aa en Maas. In opdracht van: Waterschap Aa en Maas. November 2013 (in voorbereiding)

Knotters M, 2002  
Onzekerheid is welkom bij beslissingen in het grondwaterbeheer. Gepubliceerd in: Stromingen 8 (2002), nummer 4.

Knotters M, Heijkers J, 2007  
Onzekerheid in de hydrologie: hoe nu verder? Gepubliceerd in: Stromingen 13 (2007), nummer 2.

Leenders J, 2014

Schadebepaling Friese polders met HIS-SSM; Vergelijking resultaten schade per kadering in Friesland volgens ipo-richtlijnen, waterschadeschatter en HIS-SSM. In opdracht van: Provincie Friesland. Notitienummer: HKV PR2992.11, 17 december 2014.

Leenders J, Jong de AK, 2018

Watersysteemtoets De Dommel, knelpuntenanalyse. In opdracht van: Waterschap de Dommel. Rapportnummer: HKV PR3809.10 eindrapport. Juli 2018.

Meteobase, 2011

Website: <http://www.meteobase.nl/>

Mulder M, Schipper P, Jongman E, Heijkers J, 2016

Onzekere debietschattingen. Gepubliceerd in: Stromingen 16 (2011), nummer 3.

#### **STOWA 2004-26**

Smits I, Wijngaarden J, Versteeg R, Kok M, 2004

Statistiek voor extreme neerslag in Nederland. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Stowa 2004-26.

#### **STOWA 2004-26A**

Versteeg R, Kok M, 2004

Statistiek voor extreme neerslag in Nederland, uitwerking neerslagpatronen. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Stowa 2004-26a.

#### **STOWA 2010-15**

Botterhuis T, 2010

Hydrologische modelonzekerheid, Kalibratie van gebiedsneerslag en modelparameters (Batea onderzoek). In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Stowa 2010-15.

#### **STOWA 2012-05**

Kallen MJ, Botterhuis AAJ, Hakvoort H, 2012

Berekenen onzekerheid van de Wateropgave (BOWA) ): rekenmodule ten behoeve van de toetsing watersystemen aan regionale wateroverlast. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Stowa 2012-05

#### **STOWA 2015-10**

Beersma, J, Bessembinder J, Brandsma T, Versteeg R, Hakvoort H, 2015

Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015, neerslag- en verdampingsreeksen. In opdracht van Stowa. Rapportnummer: Stowa 2015-10.

#### **STOWA 2015-10A**

Bessembinder J, Peerdeman K, Hakvoort H, Weeren van BJ, 2015

Nieuwe neerslagstatistiek voor het waterbeheer, extreme neerslaggebeurtenissen nemen toe en komen vaker voor. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Stowa 2015-10a.

**STOWA 2015-23**

Calje R, Schaars F, 2015

Vergelijking landsdekkende neerslagproducten. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Stowa 2015-23

**STOWA 2017-21**

Knotters, M, Poortvliet PM, Verstoep J, Wijk van J, Bergsma P, 2017

Communiceren van statistische informatie over onzekerheid in het tactisch-strategische waterkwantiteitsbeheer. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: STOWA 2017-21.

**STOWA 2017-34**

Henckens G, Engel W, 2017

Benchmark Inundatiemodellen, Modelfunctionaliteiten en testbank berekeningen. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: stowa 2017-34.

**STOWA 2018-12**

Beersma J, Versteeg R, Hakvoort H, 2018

Neerslagstatistiek voor korte duren, actualisatie 2018. In opdracht van Stowa. Rapportnummer: Stowa 2018-12.

**STOWA 2018-12A**

Weeren van BJ, 2018

Nieuwe neerslagstatistiek voor de korte duren, Extreme buien zijn extremer geworden. In opdracht van Stowa. Rapportnummer: Stowa 2018-12a.

**STOWA 2018-68**

Bosch S, 2018

Meer zicht op vereisten die aan een hydrologisch model gesteld moeten worden; onderzoek naar modelfunctionaliteiten in een veenweidegebied met dorpskern. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Stowa 2018-68 (in review).

Wagenaar DJ, Bruijn de KM, Bouwer LM, Moel de H, 2016

Uncertainty in flood damage estimates and its potential effect on investment decisions. Gepubliceerd in: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 1–14, 2016. doi:10.5194/nhess-16-1-2016.

WaterSchadeSchatter, 2017

WaterSchadeSchatter (WSS), gebruikshandleiding. In opdracht van: Stowa. Rapportnummer: Nelen & Schuurmans en Deltares M0183, R0127. 8 juni 2017. Website: [www.waterschadeschatter.nl](http://www.waterschadeschatter.nl)

WIWB, 2016

Weer Informatie Waterbeheer. Website:

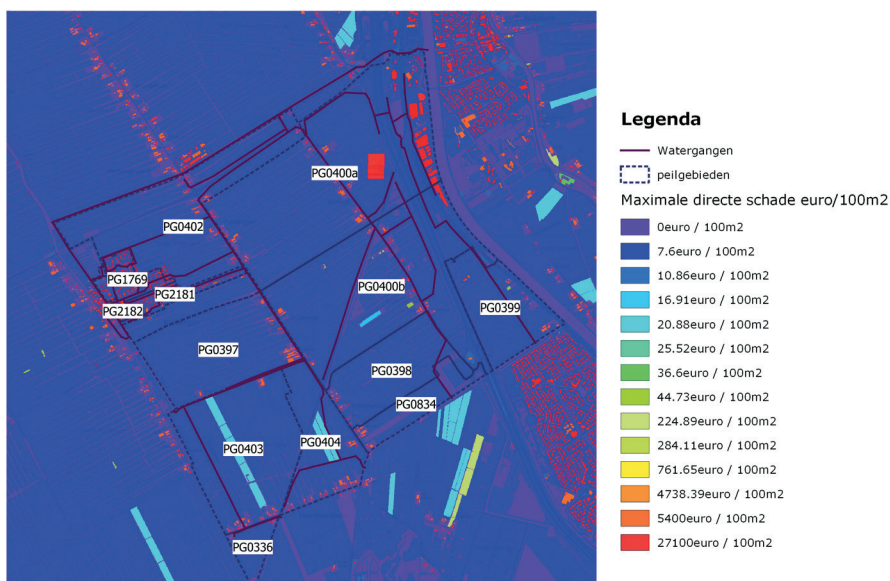
<https://www.hetwaterschapshuis.nl/pagina/producten/waterveiligheid/weer-informatie-waterbeheer-wiwb.html>, laatst gecontroleerd 19 november 2018.

BIJLAGE A

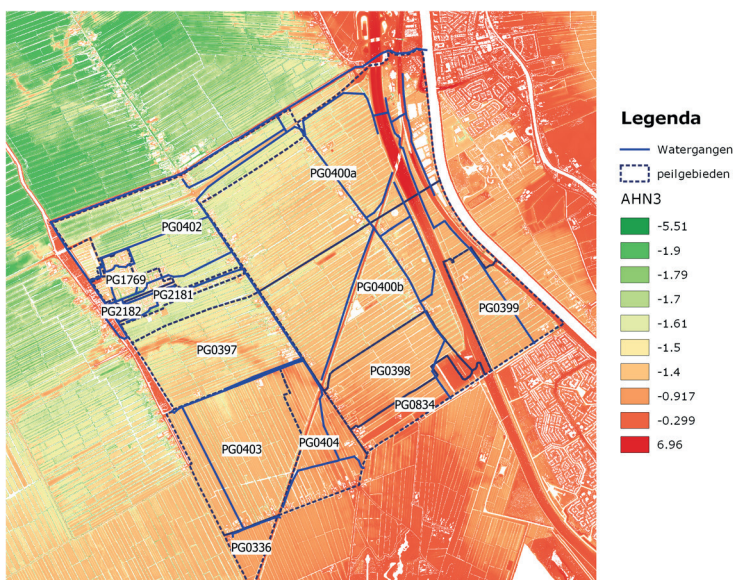
# EXTRA GEBIEDSINFORMATIE

## A.1 KOCKENGEN

FIGUUR 17 MAXIMALE SCHADEBEDRAGEN PER LANDGEBRUIK-CATEGORIE. AFKOMSTIG UIT WSS

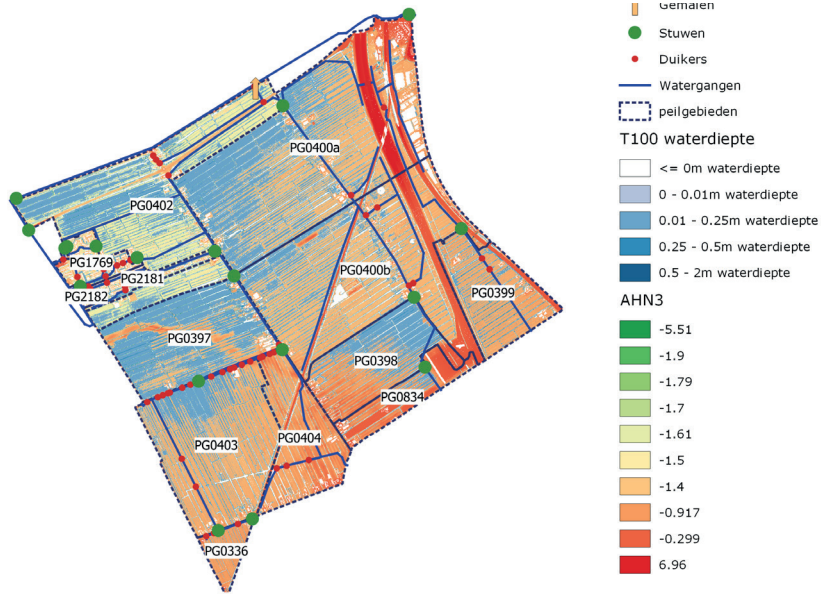


FIGUUR 18 KOCKENGEN: AHN3 HOOGTEKAART



FIGUUR 19

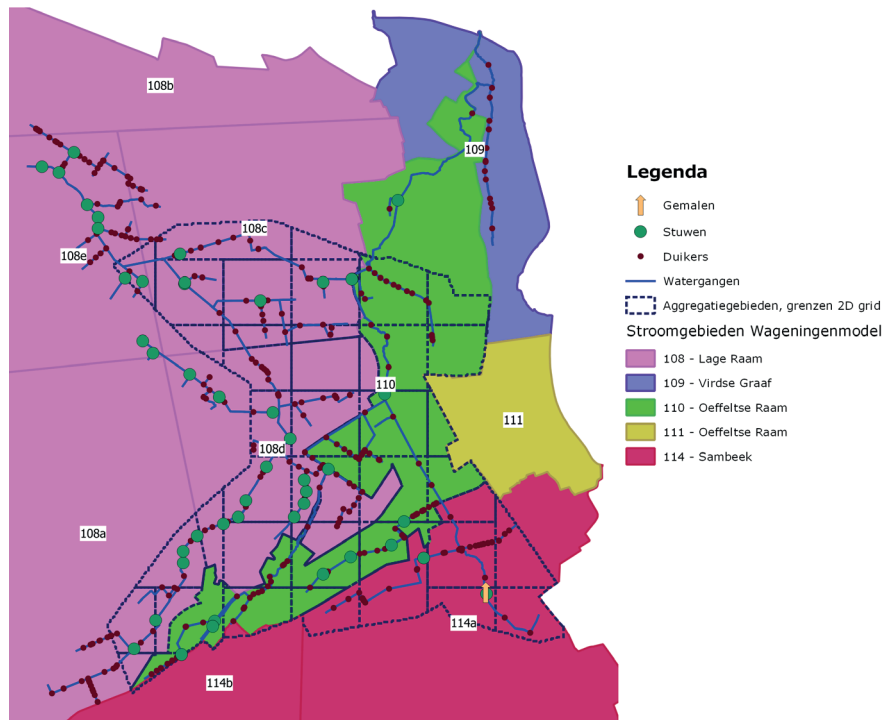
KOCKENGEN: BEREKENDE WATERDIEPTEN BIJ T100 IN REFERENTIESITUATIE



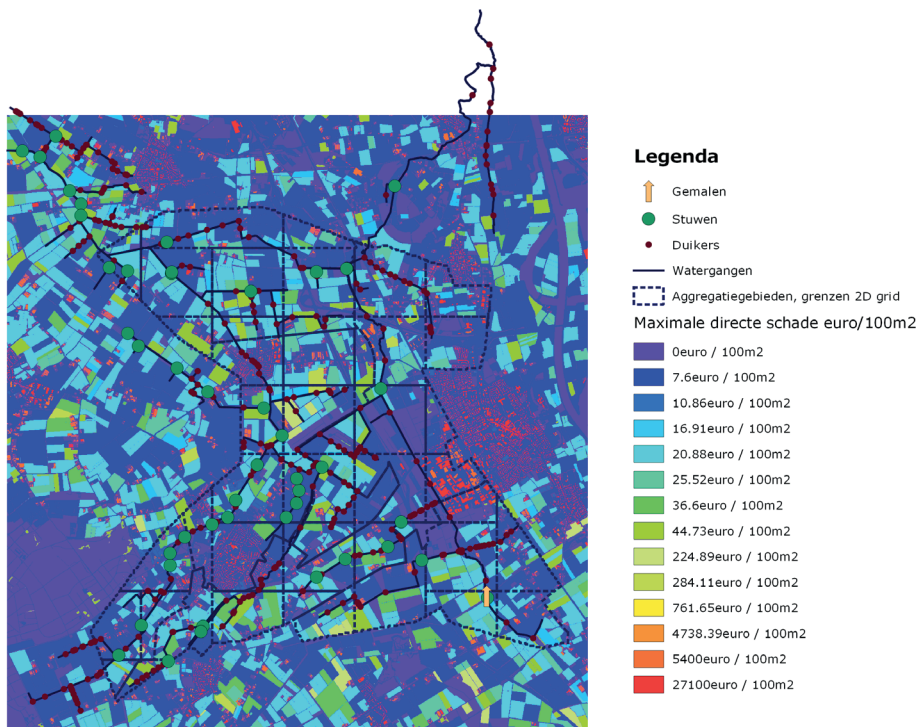
## A.2 BOXMEER

FIGUUR 20

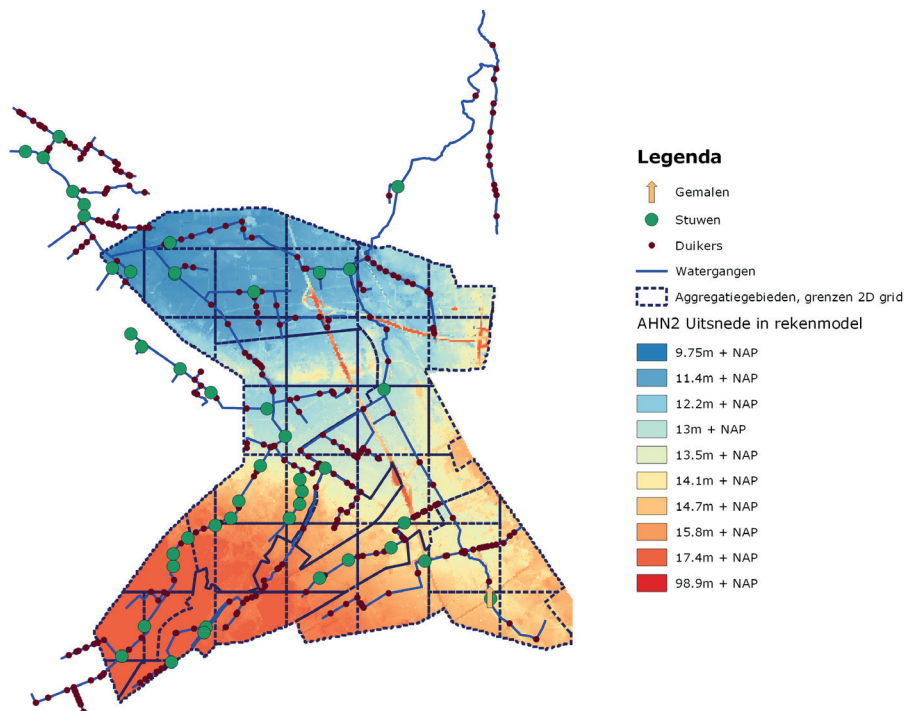
BOXMEER: HYDROLOGISCHE STROOMGEBIEDEN EN WATERSYSTEEM INCLUSIEF AGGREGATIEGEBIEDEN WAARBINNEN DE RESULTATEN ZIJN UITGELEZEN



FIGUUR 21 BOXMEER: MAXIMALE SCHADEBEDRAGEN NAAR LANDGEBRUIK VOLGENS WSS



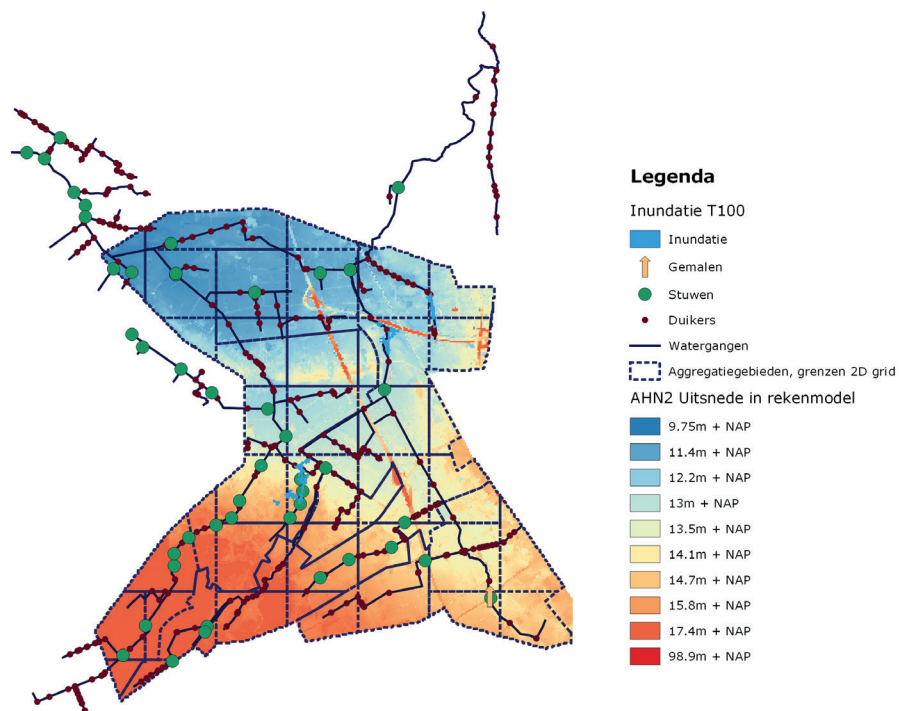
FIGUUR 22 BOXMEER: AHN HOOGTEKAART WELKE IS GEBRUIKT IN HET SOBEKMODEL





FIGUUR 23

BOXMEER: BEREKENDE INUNDATIE BIJ T100 IN REFERENTIESITUATIE

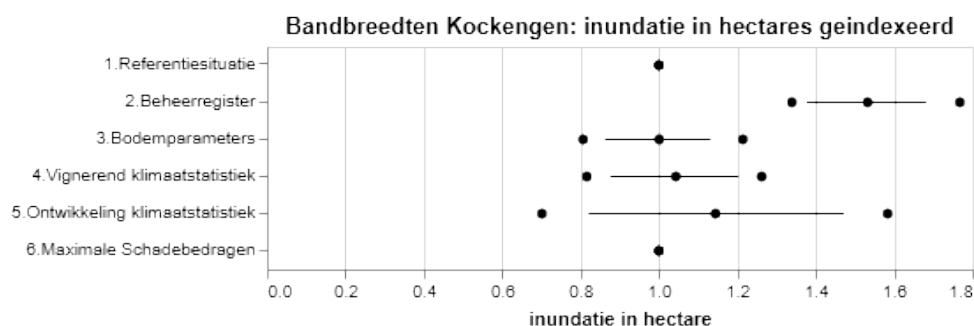
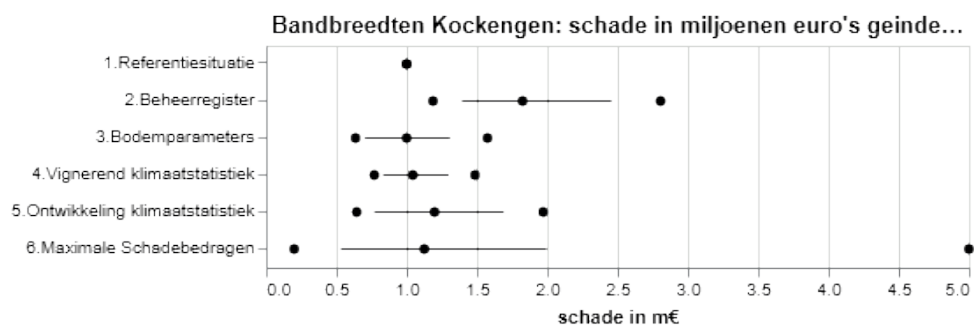
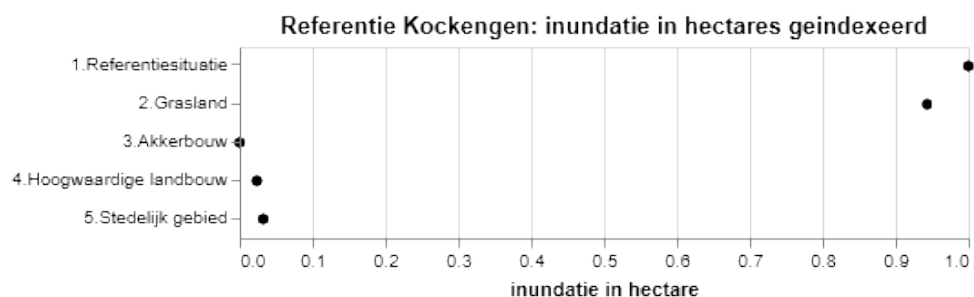
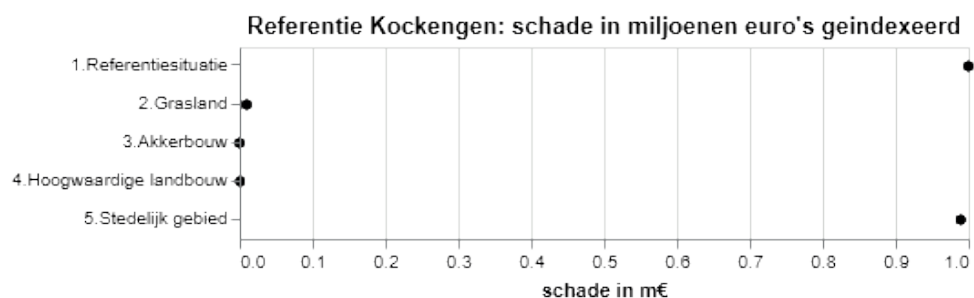


## BIJLAGE B

## GEÏNDEXEERDE RESULTATEN

## B.1 KOCKENGEN

De inundatieoppervlakten en -schades uit hoofdstuk 3 zijn geïndexeerd ten opzichte van de referentiesituatie. Dat is gedaan door de berekende inundatie oppervlakten en schades van de verschillende onderdelen te delen door de berekende schade en inundatie oppervlakten van de referentiesituatie. Hierdoor worden de uitkomsten relatief en zijn beide casestudies beter met elkaar te vergelijken.



## B.2 BOXMEER

De inundatieoppervlakten en –schades uit hoofdstuk 3 zijn geïndexeerd ten opzichte van de referentiesituatie. Dat is gedaan door de berekende inundatie oppervlakten en schades van de verschillende onderdelen te delen door de berekende schade en inundatie oppervlakten van de referentiesituatie. Hierdoor worden de uitkomsten relatief en zijn beide casestudies beter met elkaar te vergelijken.

