

Stress in de beekdalen?

Een kwantitatieve studie naar modelnauwkeurigheid en toekomstige debietontwikkeling in het beekdalgebied van waterschap Noorderzijlvest voor 2050 door klimaatextremen

*BSc eindopdracht
Civiele Techniek
Vincent Verdonk
s1599682
10 juli 2018*



COLOFON

Auteur:	V.A. Verdonk		
Studentnummer:	s1599682		
Opleiding:	Universiteit Twente Bachelor Civiele Techniek		
Afstudeercommissie:	V. de Looij	Noorderzijlvest	Begeleider
	L. Visser	Noorderzijlvest	Begeleider
	V. Harezlak	Universiteit Twente	Begeleider
Noorderzijlvest:	Waterschap Stedumermaar 1 9735 AC Groningen Tel: +31(0) 50 304 8911		
Universiteit Twente:	Universiteit Drienerlolaan 5 7522 NB Enschede Tel: +31(0) 54 667 8888		
Verslagstatus:	Eindrapportage		

Voorwoord

Dit verslag is het eindproduct van de bachelor eindopdracht die is uitgevoerd bij waterschap Noorderzijlvest in Groningen. Deze opdracht is uitgevoerd in de periode van april 2018 tot juni 2018 als afronding van mijn bachelor Civiele Techniek. In dit voorwoord wil ik mijn begeleiders bij waterschap Noorderzijlvest; Vincent de Looij en Leendert Visser bedanken voor hun begeleiding, feedback en nuttige tips tijdens mijn onderzoek. Bij vragen of onduidelijkheden werd ondanks drukte vaak direct tijd beschikbaar gesteld voor uitleg. Ik heb hierdoor werkelijk de kans gekregen om mij te verdiepen in een onderwerp in de waterrichting en de uitdagende modelaspecten van dit onderzoek. Ook wil ik Arne Roelvink, Egon Dumont en Siebe Bosch bedanken die aan de hand van hydrologische inzichten in de loop van dit onderzoek hebben bijgedragen aan de voortgang van dit rapport. Als laatste wil ik vanuit de Universiteit Twente, Valesca Harezlak bedanken voor haar begeleiding, constructieve feedback en adviezen voor de verslaglegging van dit onderzoek.

Groningen, 04-07-2018

Vincent Verdonk

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek is om in te gaan op de invulling en uitvoer van gebied specifieke stresstesten. Dit is belangrijk omdat vastgesteld is dat gemeenten en waterschappen uiterlijk in 2019 een eerste stresstest uitvoeren maar, onbekend is op welke manier modelmatig invulling kan worden gegeven aan de uitvoer van deze test voor verschillende deelgebieden. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Wat zijn mogelijke onderzoeksrichtingen voor stresstesten en wat is het effect van deze test op het Drentse beekdalgebied van waterschap Noorderzijlvest?* Een model van het beekdalgebied wordt hierbij gebruikt voor benadering van effecten door klimaatverandering.

Om een antwoord te geven op de onderzoeksvraag richt dit onderzoek zich eerst op de mogelijke onderzoeksrichtingen voor stresstesten waarvoor door inventarisatie bij hydrologen, de model constructeur en een risicodialogo ontwerpmethoden met bestaande SOBEK-software zijn bepaald. Vervolgens wordt een stresstestbenadering voor extreme debietwaarden uitgevoerd. Hierbij is voor het onderzoeksgebied een onderzoeksmodel geconstrueerd en geactualiseerd waarna prestaties van het onderzoeksmodel zijn geëvalueerd en klimaatscenario's zijn doorgerekend.

Uit uitkomsten van de inventarisatie blijkt dat de invloeden van klimaatverandering modelmatig in beeld kunnen worden gebracht afhankelijk van de insteek van een stresstest. Inzicht kan hierbij worden verkregen met betrekking tot debietwaarden en waterstanden waarbij een globaal beeld van de hoeveelheid grondwater is op te stellen. Effecten van wateroverlast kunnen hierbij worden onderzocht aan de hand van verschillende neerslagontwerpmethoden terwijl dit voor droogte momenteel niet mogelijk is door modelbeperkingen. Uit modelsimulaties blijkt vervolgens dat bij een toekomstbenadering voor de waterkwantiteit in het Drentse beekdalgebied van waterschap Noorderzijlvest aan de hand van verkregen modelprestaties niet kan worden aangenomen dat simulatieresultaten van het onderzoeksmodel direct overeenkomen met een waargenomen situatie. Een uitwerking van deze deelvraag leidt tot de stressbenadering. De mate van klimaatverandering op basis van de toegepaste extreme scenario's resulteert in een piekdebiettoename van drie tot vier procent.

Inhoud

1	Inleiding.....	1
1.1	Aanleiding.....	1
1.2	Doelstelling en onderzoeksvragen.....	3
1.3	Leeswijzer.....	3
2	Scope.....	4
2.1	Soorten stresstesten.....	4
2.2	Klimaat effecten en tijdshorizon.....	5
2.3	Model afbakening.....	6
3	Onderzoeksmethode.....	7
3.1	Uitvoeren interviews klimaatstresstest.....	7
3.2	Bepalen van ontwerpmethoden.....	7
3.3	Studiegebied, data en modellen.....	7
3.3.1	Studiegebied.....	7
3.3.2	Boezemmodel.....	8
3.3.3	Onderzoeksmodel.....	8
3.3.4	Beschouwde debietmeetpunten.....	9
3.4	Modelactualisatie.....	9
3.4.1	Evaluatie uitgeknipt boezemmodel.....	9
3.4.2	Uitwerking waterbalans.....	9
3.5	Watersysteemanalyse.....	10
3.6	Klimaat benadering afvoeren.....	10
4	Resultaten.....	11
4.1	Inventarisatie hydrologen.....	11
4.2	Inventarisatie Neerslagontwerpmethoden.....	12
4.3	Evaluatie uitvoer stresstesten.....	13
4.4	Uitwerking waterbalans.....	14
4.5	Watersysteemanalyse.....	16
4.5.1	Afvoerplots.....	16
4.5.2	Nash-Sutcliffe-coëfficiënt.....	17
4.5.3	Cumulatieve afvoeren.....	18
4.5.4	Duurlijnen.....	19
4.5.5	Scatterplots van afvoeren.....	20
4.6	Evaluatie modelbenadering.....	22
4.7	Toekomstige klimaatverandering.....	23
4.7.1	Modelresultaten klimaat effecten.....	23

4.7.2	Interpretatie modelresultaten	25
4.8	Evaluatie van stochastenresultaten	26
5	Discussie	27
6	Conclusie en aanbevelingen	29
7	Bibliografie.....	31
	Bijlage A Klimaatstresstest gemeente Groningen	32
	Bijlage B Inventarisatie hydrologen.....	34
	Bijlage C Modelaanpassingen onderzoeksmodel.....	36
	Bijlage D Watersysteemanalyse	37
	Bijlage E Toelichting rekenmodel stochasten.....	39
	Bijlage F Reductiefactor voor neerslag.....	43
	Bijlage G Buibestand voor stochastenbenadering	43

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De in 2016 uitgebrachte nationale klimaatadaptatiestrategie rapportage beschrijft dat toekomstige gevolgen van klimaatverandering eerder en heviger merkbaar zijn dan oorspronkelijk werd verwacht (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptie, 2018a). Toekomstig wordt verwacht dat steeds vaker sprake is van extreme neerslag en extreme droogte. Een in 2012 door Deltares berekend schadebedrag van 71 miljard euro voor Nederland tot 2050, zal hierdoor, zonder klimaat adaptieve maatregelen, verder oplopen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

WB21

De commissie waterbeheer 21e eeuw (WB21) heeft zich ingezet voor het ontwikkelen van een samenhangend waterbeleid ter verhoging van de waterveiligheid (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000). Als leidraad fungeerde hierbij de trits van maatregelen: “vasthouden”, “bergen” en “afvoeren” voor beperking van benedenstroomse wateroverlast. Doel van deze trits is dat regenwater zoveel mogelijk bovenstrooms wordt gehouden en problemen in verminderde mate worden afgewenteld op benedenstroomse gebieden.

Op basis van doelstellingen van WB21 is in 2006 in het Nationaal Bestuursakkoord Water gezorgd voor normering met toelaatbare wateroverlast binnen het regionale watersysteem. Opgenomen doelstellingen voor 2015 zijn ondertussen vrijwel geheel gehaald (Adviescommissie Water, 2017). De Adviescommissie Water (2017) beschrijft echter dat vernieuwde inzichten in klimaatverandering en neerslagstatistieken resulteren in een nieuwe opgave.

DRPA

Om berekende schade verder te beperken is in 2018 het Deltaplan Ruimtelijke Adaptie (DRPA) opgenomen binnen het Deltaprogramma. Dit met als doel om Nederland weerbaar te maken tegen extreme weersomstandigheden in 2050 waarbij preventief en adaptief wordt voorbereid op klimaatverandering. Uitgangspunt van het DRPA is om het proces van ruimtelijke adaptie te versnellen en minder vrijblijvend te maken door afspraken met waterschappen en gemeenten te maken over doelen, werkwijzen en monitoring (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptie, 2018b).

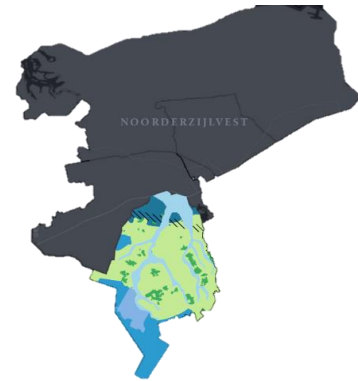
De doelstelling van het DRPA is dat Nederland zich in 2050 zo goed mogelijk klimaatbestendig en water robuust inricht. Het Deltaprogramma 2018 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017) beschrijft dat het uitvoeren van stresstesten bijdraagt aan robuuster inrichten van vitale en kwetsbare functies. Door stresstesten uit te voeren wordt inzage verkregen in de invloeden van wateroverlast, droogte, hitte en overstroming waarbij kwetsbare gebieden en effecten in kaart worden gebracht (Egging, Bos, van Veelen, & Grutters, 2017). Stresstesten maken hierbij deel uit van de fase “weten” waarna fases van “willen” en “werken” kunnen volgen door adaptiestrategieën op te stellen of over te gaan tot uitvoer van inrichtingsprojecten.

Waterschap Noorderzijlvest

Waterschappen zijn als beheerders van regionale wateren verantwoordelijk voor het beschermen van land tegen overstromingen (Rijksoverheid, 2017). Hierbij moet worden voldaan aan doelstellingen van het DRPA en WB21. Door een grote hoeveelheid kennis en expertise op het gebied van oppervlaktewater zijn waterschappen de aangewezen instanties om het proces van “weten” verder inzichtelijk te maken middels stresstesten. Ter ondersteuning van beleidskeuzes wordt door waterschappen namelijk gebruik gemaakt van simulatiesoftware om het afvoerproces van neerslag in hoofdwatgangen te simuleren. Hiervoor beschikt het waterschap over een uitgebreid, operationeel oppervlakte-afvoer model.

Beleid provincie Drenthe

Door de provincie Drenthe moet worden voldaan aan Europese en nationale beleidskaders zoals o.a. WB21 voor het provinciale waterbeleid. Een doelstelling voor 2030 is om risico's gerelateerd aan wateroverlast en watertekort verder te beperken tot een maatschappelijk aanvaardbaar niveau (Provincie Drenthe, 2013). Aan de hand van adaptiemaatregelen is ingezet op robuuste beekdalen en wordt een watersysteem beoogd dat op orde is om de te verwachten gevolgen van klimaatverandering op te vangen. Samen met waterschappen, grondgebruikers en gemeenten zijn beekherstelprojecten gerealiseerd om ruimte te maken voor water, bijvoorbeeld door waterbergingsgebieden aan te leggen. De beekdalen van Drenthe binnen waterschap Noorderzijlvest zijn in Figuur 1 gekleurd weergegeven.



Figuur 1: Het Drentse beekdal gebied binnen waterschap Noorderzijlvest

Probleemsituatie stresstesten

Binnen de Drentse beekdalen worden stroomgebieden als het Eelderdiep, de Schipsloot en het Peizerdiep in 2019 onderworpen aan een stresstest om kwetsbaarheid voor weersextremen inzichtelijk te maken. Deze beekdalen gelegen in het Drentse gebied van Noorderzijlvest kunnen mogelijk op middellange termijn worden ingezet om water vast te houden (Arcadis, 2014). Voor het uitvoeren van toekomstige stresstesten bestaan momenteel nog geen richtlijnen. Waterschap Noorderzijlvest kan hierdoor extreme wateroverlast of watertekortscenario's op verschillende manieren modelmatig evalueren. Onduidelijk is hoe huidige SOBEK-modelsoftware ingezet kan worden voor benadering van de functie "weten" voor klimaatstresstesten en wat de effecten zijn van een stresstest in dit gebied.

Een verdere detaillering gericht op stresstesten, effecten van klimaatverandering en het SOBEK-model voor dit onderzoek wordt gegeven in de scope van hoofdstuk 2.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Doel van dit onderzoek is het analyseren op welke manier, en in welke mate extreme wateroverlast en/of watertekortsituaties door klimaatontwikkeling modelmatig kunnen worden geanalyseerd en zich ontwikkelen in het Drentse beekdalgebied van Noorderzijvest als invulling voor stresstesten met huidige SOBEK software. De hoofdvraag kan daardoor worden gedefinieerd als: *Wat zijn mogelijke onderzoeksrichtingen voor stresstesten en wat is het effect van een stresstest op het Drentse beekdalgebied van waterschap Noorderzijvest?* Deze vraag wordt beantwoord aan de hand van de onderstaande deelvragen.

- 1a) Hoe wordt verwacht modelmatig een invulling te geven aan stresstesten gericht op waterkwantiteit voor droogte en wateroverlast?
- 1b) Welke toetsingsmethodiek is geschikt bij beoordeling van SOBEK voor de uitvoer van een stresstest?
 - 1) In hoeverre en waardoor verschillen gesimuleerde debieten t.o.v. gemeten debieten in de Schipsloot, het Eelderdiep en het Peizerdiep?
 - 2) Wat is het gesimuleerde effect van geselecteerde randvoorwaarden voor een stresstestanalyse op debietverandering in 2050?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de scope van het onderzoek toegelicht. Hier komt aan bod wat stresstesten inhouden, welke klimaateffecten en horizon is onderzocht en aan de hand van welke modelafbakeningen het beekdalgebied is bestudeerd. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de onderzoeksmethode beschreven waarbij wordt ingegaan op het onderzoeksmodel. Resultaten van stresstestinventarisatie en de uitgevoerde modevaluatie en -berekeningen volgen vervolgens in hoofdstuk 4 waarbij per deelvraag resultaten worden samengevat en geëvalueerd. Uit hoofdstuk 5 volgt de discussie met aanbevelingen waarbij wordt ingegaan op beperkingen en interpretaties van uitkomsten. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de conclusies van dit onderzoek.

2 Scope

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat stresstesten inhouden en welk onderscheid er kan worden gemaakt bij een uitwerking. Hiernaast wordt toegelicht op welke effecten van klimaatverandering wordt ingegaan tijdens dit onderzoek. Vervolgens is beschreven welke modelafbakening zijn opgenomen voor dit onderzoek.

2.1 Soorten stresstesten

Het algemene doel van stresstesten is om meer inzicht te krijgen in de effecten van klimaatverandering op de leefomgeving. De aandacht gaat hierbij uit naar de samenhang tussen verschillende klimaatthema's, waarbij wordt gekeken naar veranderingen in het watersysteem en de verstrekkende impact op ruimtelijke situaties. Binnen dit hoofdstuk wordt ingegaan op de uitgangspunten die zijn beschreven op de website ruimtelijkeadaptatie.nl van het Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie met betrekking tot de uitvoer en invulling van stresstesten. Een onderscheid wordt hierbij gemaakt tussen het uitvoeren van een Stresstest Light, en een zogenaamde uitgebreide Stresstest.

Stresstest light

De handreiking light gaat in op de in Figuur 2 weergegeven zeven stappen voor kwetsbaarheden en is bedoeld om met medeoverheden, maatschappelijke organisaties en private partijen het gesprek aan te gaan over het eerste beeld van kwetsbaarheid van een gebied. Hierbij is vanuit de stresstesten geen sprake van normen die moeten worden gehaald of gehanteerd, maar wordt een ambitie gevormd om te werken naar een regionale klimaatstrategie. Voor bepaling van ontwikkeling kan gebruik worden gemaakt van inzichten binnen de klimaateffectenatlas met kaartmateriaal over klimaateffecten. Ook is het mogelijk om andere gedetailleerde regionale of lokale informatie binnen of buiten de eigen organisatie met kwetsbaarheden te gebruiken. Na deze bevindingen volgt een risicodialoog.



Figuur 2: Zeven uitgangspunten van de Klimaatstresstest Light (Egging, Bos, van Veelen, & Grutters, 2017)

Stresstest

Ook kan worden overwogen in detail kwetsbaarheden te verkennen, hiervoor zijn uitgebreide stresstesten nodig waar modelinstrumenten aan te pas komen met technische informatie. Deze uitgebreide stresstesten kunnen worden uitgevoerd tijdens het risicodialoog of na de uitvoer van een stresstest light. De functie van deze stresstest is om aan de hand van een modelinstrumentarium de kwetsbaarheden van een gebied in detail te onderzoeken en mogelijke maatregelen te bepalen. Voor

totstandkoming van maatregelen wordt het effect van een kwetsbaarheid gekwantificeerd zodat tijdens een risicodialoog oplossingen verkend kunnen worden.

Afhankelijk van ambities binnen het waterschap en de ambities bij overige instanties wordt vastgesteld in welke mate huidige kennis, ofwel het traject van “weten”, juist en volledig is. Een uitkomst is dat er behoefte is aan aanvullend onderzoek waaruit modelmatig onderzoek voortvloeit. Door de modelmatige benadering gaat dit onderzoek hoofdzakelijk in op de uitvoer van een gebied specifieke stresstest.

2.2 Klimaat effecten en tijdshorizon

Binnen het onderzoeksgebied hebben de thema's droogte en wateroverlast een raakvlak met de taak van het waterschap om te voorzien in een passende neerslagafvoer. Voor waterschappen is het van belang dat er tijdens droge perioden genoeg water beschikbaar is terwijl bij hevige neerslag juist voldoende water wordt afgevoerd. Deze veranderingen van klimaat gerelateerd aan wateroverlast en droogte worden nu samengevat.

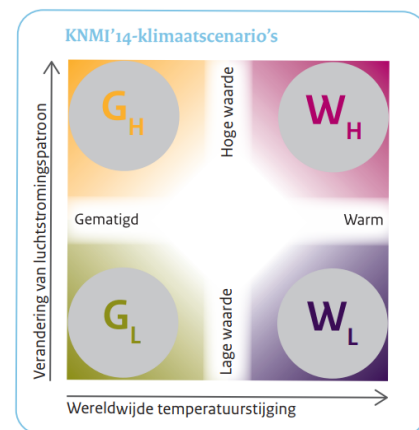
Wateroverlast

De KNMI 2014 klimaatscenario's (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2015) beschrijven een temperatuurstijging waardoor er zich meer waterdamp in de lucht bevindt, wat zorgt voor een neerslagtoename. Voorspeld wordt dat de winterse neerslag met 3-17% toeneemt. Ook neemt de uur intensiteit 5,5% tot 25% en dag intensiteit 1,7% tot 22% van zomerse buien toe. Door deze neerslagtoename is het mogelijk dat wateroverlast plaatsvindt in de vorm van overstroming vanuit regionaal oppervlaktewater, sprake is van hoge grondwaterstanden of dat juist onvoldoende afvoercapaciteit beschikbaar is om te af- of ontwateren. Schade kan hierdoor o.a. een grote impact hebben op sectoren voor veiligheid, infrastructuur, natuur en landbouw aan de hand van een breed scala van effecten.

Droogte

Binnen de KNMI 2014 klimaatscenario's wordt verwacht dat de zomers droger worden door een verandering in luchtstromingspatronen. Extreme droogte in de vorm van een neerslagtekort neemt hierdoor in de zomer toe bij twee van de vier klimaatscenario's waarbij zomerse neerslag 8% (Gh-scenario) en 13% (Wh-scenario) kan afnemen en het aantal opeenvolgende droge dagen toeneemt. Bij de twee scenario's (Wl en Gl) wordt uitgegaan van een nagenoeg stabiele neerslaghoeveelheid tijdens de zomer (met een neerslagverloop zoals in het bovenstaande hoofdstuk is toegelicht). Ook wordt bij elk van de klimaatscenario's verwacht dat verdamping (4% tot 11%) toeneemt in de zomer. Als gevolg van deze droogte effecten veranderen grondwaterstanden waardoor o.a. schade optreedt binnen de land- en tuinbouw sector door middel van droogtestress en binnen bebouwd gebied door het rotten van houten funderingspalen.

Dit onderzoek is gebaseerd op klimaatscenario's en geeft een beeld van kwetsbaarheid 'rond 2050'. Klimaatveranderingen voor de KNMI 2014 klimaatscenario's zijn gebaseerd op de periode 2036-2065 als aansluiting op de ambitie van de stresstest light in 2050.



Figuur 3: KNMI'14-Klimaatscenario's (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2015)

2.3 Model afbakening

Voor dit onderzoek worden kwantitatief extremen geïnventariseerd voor benadering van de klimaatthema's wateroverlast en droogte. Hiervoor is gebruik gemaakt van een bestaand model genaamd het boezemmodel waarbinnen de primaire wateren van waterschap Noorderzijlvest zijn opgenomen. Voor dit onderzoek zijn de instellingen met eerder gekalibreerde parameters overgenomen en is in voor ieder kwartier de neerslag en afvoer gesimuleerd. Ontwikkeling van wind en temperatuur wordt voor benadering buiten beschouwing gelaten hoewel ontwikkeling voor deze zijn verwerkt in de toegepaste klimaatscenario's. In paragraaf 3.3.2 wordt verder ingegaan op de werking en functie van het boezemmodel.

3 Onderzoeksmethode

In dit hoofdstuk wordt de methode van het onderzoek toegelicht. Dit wordt gedaan door stap voor stap de gebruikte methode te beschrijven. De eerste stap van dit onderzoek is het in kaart brengen van toepasbaarheid van stresstesten met behulp van SOBEK.

3.1 Uitvoeren interviews klimaatstresstest

De ambitie van dit onderzoek is om het klimaat gebaseerd op scenario's in kaart te brengen, aan de hand van simulaties met SOBEK. Binnen het stroomgebied van Noorderzijlvest worden toekomstig stresstesten uitgevoerd om de effecten van klimaatverandering te analyseren. Waterschappen dragen primair de verantwoordelijkheid over het oppervlaktewater. Omdat grondwater en oppervlaktewater elkaar kunnen beïnvloeden heeft waterschap Noorderzijlvest ook een rol in het beheer van ondiep grondwater. Bestudeerde klimaateffecten (beschreven in hoofdstuk Klimaateffecten) voor droogte en wateroverlast hebben hierdoor een invloed op: oppervlaktewateroverlast, watertekort van oppervlaktewater en grondwateroverlast en -onderlast. Benadering van deze effecten is verkend door inventarisatie bij hydrologen in hoofdstuk 4.1. Vragen zijn hierbij gesteld aan de hand van een bijgewoond risicodialog voor de gemeente Groningen (zie bijlage A). Mogelijkheden en beperkingen zijn vervolgens samengevat.

3.2 Bepalen van ontwerpmethoden

Vervolgens is geïnventariseerd welke methoden bij de uitvoer van een stresstest in landelijk gebied inzetbaar zijn voor benadering van wateroverlast, watertekort en grondwateroverlast- en onderlast. Effecten van verschillende klimaatscenario's zijn op verschillende manieren door te rekenen. Voor de uitvoer van een watersysteemanalyse in Nederland zijn drie methodes beschikbaar, bij uitvoer van een stresstest kan hierdoor worden gekozen om een ontwerpbuimethode, stochastenmethode of tijdreeksmethode toe te passen (STOWA, 2011). In hoofdstuk 4.2 wordt ingegaan op deze methoden, de uitvoer van stresstesten en ervaringen waarna in hoofdstuk 4.3 een evaluatie plaatsvindt gericht op toepasbaarheid van ontwerpmethoden.

3.3 Studiegebied, data en modellen

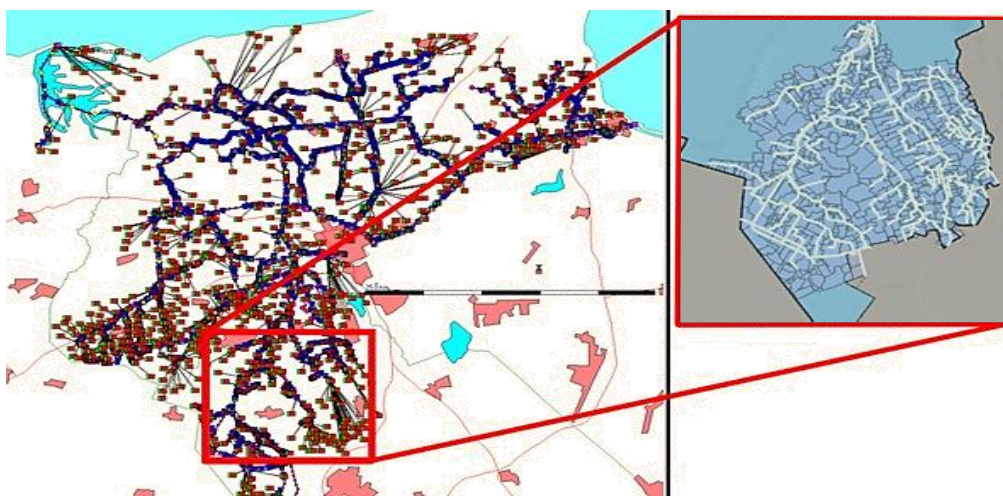
In deze paragraaf wordt het studiegebied beschreven waarna wordt ingegaan op het gebruikte boezemmodel van waterschap Noorderzijlvest. Vervolgens wordt ingegaan op het uitgeknipte onderzoeksmodel en de ligging van meetpunten.

3.3.1 Studiegebied

Het studiegebied is het beekdalgebied gebied in de provincie Drenthe en beslaat grofweg 19.700 hectare met voornamelijk landbouw- en natuurgebied. Het gebied is landelijk ingericht en bevat, in tegenstelling tot de rest van het stroomgebied, aanzienlijke hoogteverschillen. In de lager gelegen gebieden binnen het onderzoeksgebied bevinden zich beken waaronder beekdalen. De beekdalen binnen het onderzoeksgebied met aangrenzende, vaak lagere gelegen beekdalgronden dragen bij aan het vasthouden van water door neerslag te bergen, maar ook door voor droge periodes aan neerslag te bufferen.

3.3.2 Boezemmodel

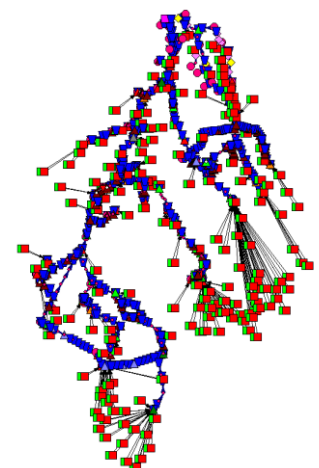
Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt gebruik gemaakt van het SOBEM-boezemmodel. Waterschap Noorderzijvest heeft het SOBEM-boezemmodel in gebruik dat onder andere voor 2008 van januari tot augustus is gekalibreerd en gevalideerd voor januari 2007 (Prinsen, 2013). Het boezemmodel is het operationele model dat wordt ingezet voor benadering van extreme situaties en als hulpmiddel voor strategie bepaling. Tijdens dit onderzoek wordt gewerkt met het herziende boezemmodel waarin tussentijds aanpassingen zijn doorgevoerd. Het SOBEM-boezemmodel bevat modules voor "Rainfall Runoff Open Water" (RR-module) en "Channel Flow" (CF-module). De RR-module simuleert onder andere de input in de vorm van neerslag en verdampingsreeksen waarna met de CF-module, debietenwaarden en waterstanden worden gesimuleerd van de hoofdwatgangen. Knooptypes (ofwel processen) zijn geprogrammeerd om het neerslag-afvoerproces (RR) te modelleren. Knooptypen staan in verbinding met de stromingsmodule zodat water wordt afgevoerd. Afvoerverloop vindt plaats aan de hand van Saint-Venant vergelijkingen. De schematisatie van het boezemmodel wordt in Figuur 4 afgebeeld.



Figuur 4: Het SOBEM-boezemmodel van waterschap Noorderzijvest (Arcadis, 2014) met rechts de watgangen binnen het onderzoeksgebied

3.3.3 Onderzoeksmodel

Doel van het onderzoeksmodel is om het werkelijke afvoerverloop van oppervlaktewater te simuleren zonder dat rekentijd een beperkende factor wordt. Bij simulatie van historische neerslag in het bovenbeschreven boezemmodel werd duidelijk dat de rekentijd voor een historisch jaar meerdere dagen in beslag neemt. Door enkel het studiegebied op te nemen werd het mogelijk deze rekentijd met een factor tien te reduceren. Het onderzoeksmodel zoals te zien in Figuur 5 is hiervoor losgeknipt uit het bestaande SOBEM-boezemmodel (Figuur 4), waarbij afvoeren met behulp van twee flow boundary knopen zijn ingesteld op een maatgevend peil van -0,93m. Deze peilhoogte is gebaseerd op het zomer- en winter streefpeil van voor het gebied 'Electraboezem 3^e schil'.

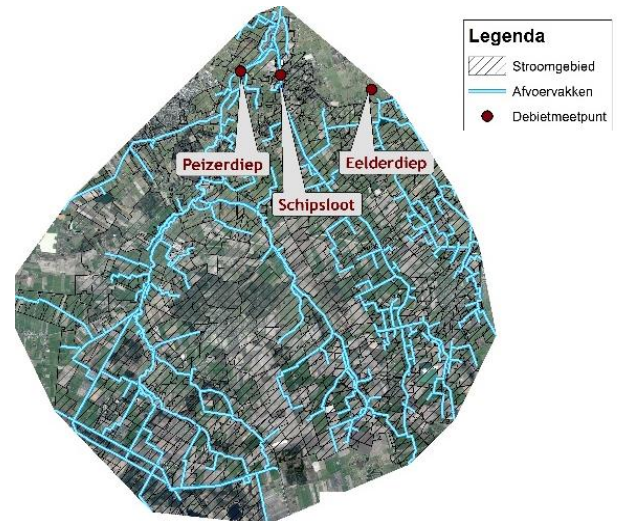


Figuur 5: Sobem-onderzoeksmodel

Binnen het onderzoeksmodel is ervoor gekozen om de twee modules in serie te runnen om de afvoer vanuit het beekdalgebied te modelleren. Deze instelling wordt gebruikt als standaardinstelling waarbij allereerst de neerslag binnen de RR-module wordt doorgerekend, waarna aan de hand van de CF-module debietwaarden en waterstanden worden verkregen. Deze functie zorgt voor een snellere rekentijd ten opzichte van berekeningen waarbij de twee modules tegelijk worden aangezet.

3.3.4 Beschouwde debietmeetpunten

Uitgangspunt voor het onderzoek is dat het huidige SOBEK-boezemmodel wordt gevalideerd voor het Drentse beekdalgebied van Noorderzijlvest. Validatie wordt uitgevoerd met waterstand- en debietgegevens van drie meetlocaties die zich bevinden in het te onderzoeken stroomgebied. De drie meetpuntlocaties vertegenwoordigen de uitstroom in noordelijke richting vanuit het studiegebied. De locatie van de drie debietmeetpunten zijn in Figuur 6: Geselecteerde meetpunten binnen het onderzoeksgebied Figuur 6 weergegeven. Deze drie debietmeetpunten bevinden zich binnen het Eelderdiep, het Peizerdiep en de Schipsloot. Resultaten worden vergeleken met gemodelleerde debietwaarden. De historische meetwaarden bij deze debietmeetpunten zijn verkregen uit de database van waterschap Noorderzijlvest. Meetgegevens zijn voor alle drie de debietmeetpunten beschikbaar vanaf 2 september 2015.



Figuur 6: Geselecteerde meetpunten binnen het onderzoeksgebied

3.4 Modelactualisatie

Door fysieke ingrepen in het stroomgebied van het boezemmodel is de modelschematisatie van het onderzoeksmodel aangepast. Voordat modelresultaten zijn geanalyseerd zijn initiële modelaanpassingen doorgevoerd zoals beschreven in Bijlage C Modelaanpassingen onderzoeksmodel. Vervolgens is de modelbenadering van debietwaarden bestudeerd.

3.4.1 Evaluatie uitgeknipt boezemmodel

Het is vastgesteld dat gesimuleerde debieten op de plek van de drie meetpunten een afwijking vertonen met de gemeten debietwaarden bij input van historische neerslag (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2018). Hier werd duidelijk dat gemodelleerde afvoer bij debietmeetpunten 34,4% van de gemeten afvoer genereert bij analyse van een periode van anderhalf jaar (1 oktober 2016 tot 27 maart 2018). Dit afvoerverschil is aanzienlijk en kon niet direct worden verklaard. Vanwege dit modelverschil en de doelstelling van dit onderzoek om extreme klimaateffecten te analyseren is de keuze gemaakt om werkelijke afvoerwaarden nauwkeuriger te benaderen aan de hand van een waterbalans.

3.4.2 Uitwerking waterbalans

De verschillen tussen de totale gesimuleerde en gemeten afvoeren geven aanleiding tot het afleiden van een waterbalans, om te achterhalen wat de oorzaak zou kunnen zijn van de grote verschillen tussen de gemeten en gemodelleerde afvoeren. Aan de hand van een waterbalansanalyse zijn vijf modelparameters (neerslag, verdamping, uitstroom, wegzijging en berging) geïdentificeerd met een gecombineerde 99% invloed op de gehele gemodelleerde waterbalans. Omdat na observatie van de gemeten afvoeren bij de debietmeetpunten is geconstateerd dat de afvoerhoeveelheid bij het Peizerdiep enerzijds het Eelderdiep en de Schipsloot anderzijds verschilt, is gekozen om de stroomgebieden van het Peizerdiep en het Eelderdiep met de Schipsloot op te splitsen om op deze manier twee gebied specifieke waterbalansen samen te stellen. Wijzigingen in het SOBEK-onderzoeksmodel van de waterbalans uit hoofdstuk 4.4 zijn vervolgens verwerkt in Bijlage C Modelaanpassingen onderzoeksmodel.

3.5 Watersysteemanalyse

Voor dit onderzoek wordt de werking van het in hoofdstuk 3.3.3 besproken onderzoeksmodel beoordeeld aan de hand van historische debietmetingen voor de in hoofdstuk 3.3.4 beschouwde debietmeetpunten. Uitspraken worden hierbij gedaan over de modelbenadering van huidige en toekomstige simulaties zodat de prestaties van het model onder extreme neerslagomstandigheden inzichtelijk worden. Een evaluatie wordt uitgevoerd op basis van de uitgangspunten van een watersysteemanalyse, aan de hand van: afvoerplotten, de Nash-Sutcliffe-coëfficiënt, cumulatieve afvoeren, duurlijnen en scatterplots (STOWA, 2011).

De afvoerplots worden opgesteld om inzicht te krijgen in de totale aan- en afvoerverhoudingen bij neerslag tijdens een langere periode. De Nash-Sutcliffe-coëfficiënt (NSE-coëfficiënt) voor modefficiëntie, wordt hierbij toegepast als benadering voor de kwaliteit van een model aan de hand van metingen. Simulaties van modellen worden hierbij beoordeeld aan de hand van de waargenomen data. Waarden in de buurt van 1,0 worden over het algemeen gezien als acceptabel afhankelijk van de gedefinieerde doelstellingen. Een waarde lager dan nul geeft aan dat de gemiddelde waarde van alle waargenomen waarden als basering een betere aanname geeft dan de gesimuleerde modelwaarden. Cumulatieve afvoeren worden gebruikt voor een vergelijking van het totale volume dat langs de debietmeetpunten stroomt. De grafiek met cumulatieve afvoeren geeft een beeld van de toe- en afname van afvoeren in de tijd, en dus het modelgedrag. De duurlijnen geven vervolgens een beeld van het verloop van extremen; aan de hand van een bereik van debietwaarden wordt hierdoor het modelgedrag geëvalueerd. Uit scatterplots van afvoeren kunnen vervolgens modelverschillen afgeleid worden die consequent optreden, bijvoorbeeld bij extreme debieten tijdens periodes van droogte en neerslag. De bovenstaande uitgangspunten voor een watersysteemanalyse worden in het hoofdstuk 4.5 uitgewerkt.

3.6 Klimaatbenadering afvoeren

De doelstelling van gebied specifieke stresstest is om toekomstige uitdagingen in het gebied inzichtelijk te maken en aan te gaan die worden veroorzaakt door klimatologische veranderingen. Als afvoeren toenemen vanuit het beekdalgebied is het mogelijk dat probleemsituaties ontstaan in het stedelijk gebied of bij benedenstroomse waterlopen.

Om wateroverlast ook toekomstig benedenstrooms te voorkomen is het vasthouden van water in de beekdalen belangrijk. Gerelateerd aan wateroverlast wordt daarom: 'de afvoer niet afgewenteld op een ander gebied of verschoven naar de toekomst' (Provincie Drenthe, 2018, p. 122). Door te identificeren in welke mate debieten aan de hand van klimaatscenario's toenemen is een inschatting gemaakt van de omvang waarin toekomstig aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn om zo afwenteling van debieten te voorkomen. Voor de uitvoer van een stresstest is op basis van de uit hoofdstuk 4.3 in Tabel 2 gedefinieerde toepassingsmethoden uit praktische overwegingen in de vorm van rekentijd gekozen voor het uitvoeren van de stochastenmethode. Deze keuze is gemaakt omdat het onderzoeksgebied een groot, landelijk gebiedsoppervlakte omvat. Een ontwerpbeurt benadering zoals beschreven in n is op basis van uitgangspunten in Tabel 2 niet toereikend voor landelijk gebied.

Uitvoer en vergelijk

Twee KNMI 2014-scenario's door te rekenen voor de scenario's 'WI' en 'Wh'. Binnen dit onderzoek zijn stochasten voor een buivolume, buipatroon en initiële grondwaterstand geïdentificeerd als invloedrijk voor hoge debietsituaties. De keuze is gemaakt om een ontwerpbeurt van 9 dagen door te rekenen maatgevende neerslagsituatie. Deze keuze is gebaseerd op de maatgevende periode die (vanaf 4 dagen) is gedefinieerd voor landelijk gebied (STOWA, 2011). Debieten voor het jaar 2050 zijn verkregen voor de eerder onderzochte debietmeetpuntlocaties. De volledige uitwerking van de stochastenmethode is te vinden in Bijlage E toelichting rekenmodel stochasten.

4 Resultaten

Binnen dit hoofdstuk zijn de resultaten uitgewerkt voor de uitgevoerde onderzoeksmethode. De resultaten worden vervolgens per deelvraag geëvalueerd.

4.1 Inventarisatie hydrologen

Gebaseerd op de werkgebieden, huidige expertise en toegepaste software is een interpretatie verkregen van mogelijkheden en beperkingen voor de uitvoer van stresstesten. Hierbij is aan de hand van ongestructureerde interviews geïnventariseerd of, en op welke manier SOBEM kan worden ingezet voor een benadering van wateroverlast en droogte. De visie en verwachtingen ten aanzien van stresstesten zijn uitgewerkt in Bijlage B Inventarisatie hydrologen. Binnen dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven met uitgangspunten voor benadering van stresstesten gericht op wateroverlast en droogte.

Wateroverlast

Op basis van geïdentificeerde knelpunten is het mogelijk om met behulp van SOBEM aanvullende modelberekeningen uit te voeren gericht op ontwikkeling van waterstanden en debietwaarden voor benadering van wateroverlast. Hierbij is het een uitdaging om veranderingen van kwetsbaarheden inzichtelijk te maken die binnen een onderzoeksgebied wenselijk zijn.

- Waterstanden: Voor het uitvoeren van stresstesten voor wateroverlast kan worden gewerkt met modellen die zijn gebruikt voor NBW-toetsing van wateroverlast.
- Debieten: Door benadering van ontwikkeling van debietwaarden wordt inzicht verkregen in de kwantitatieve ontwikkeling van wateroverlast.
- Grondwater: Een modelmatige benadering van klimaateffecten door wateroverlast is met huidige MIPWA-software niet mogelijk. Voor een basale benadering voor Interactie met grondwater, volstaat SOBEM op zichzelf. Koppeling met grondwatermodellen is noodzakelijk bij het voorspellen van toekomstige (extreme) grondwaterstanden.

Droogte

Op basis van geïdentificeerde knelpunten is het theoretisch gezien mogelijk om met behulp van SOBEM toekomstige ontwikkelingen van droogte te benaderen aan de hand van modelberekeningen. Echter zijn hierbij aanvullingen op de huidige schematisatie vereist, aangezien SOBEM crasht bij droogval. Ook wordt, door grote waterafhankelijkheid vanuit het IJsselmeer bovenstroomse neerslaaanvoer vanuit inlaten momenteel niet meegenomen. Hiernaast wordt aanbevolen om modelinstellingen mee te nemen waardoor de neerslag in, en de verdamping vanuit waterwegen kan plaatsvinden.

4.2 Inventarisatie Neerslagontwerpmethoden

Inzage is verkregen in toetsingsmethoden die kunnen worden gebruikt bij de uitvoer van stresstesten aan de hand van het risicodialoog (zie bijlage B) en door overleg met de SOBEM-modelontwerper Siebe Bosch. Binnen dit hoofdstuk worden bevindingen met betrekking tot de toetsingsmethoden kort toegelicht.

De ontwerpmethoden worden onderstaand geïntroduceerd.

1. Bij de ontwerpboommethode wordt een watersysteem doorgerekend met één buivorm per herhalingstijd (het gemiddelde tijdsinterval waarin gebeurtenissen een grenswaarde overschrijden). Deze ontwerpboom wordt beschouwd als maatgevend voor een herhalingstijd en bijbehorende waterstand. Aannames worden hierbij gemaakt voor randvoorwaarden gemaakt voor randvoorwaarden, zoals een initiële (grond)waterstand.
2. Bij de tijdreeksmethode wordt een historische reeks met extreme en minder extreme neerslaggebeurtenissen doorgerekend aan de hand van neerslag- en verdampingsreeksen. Waterniveaus worden bepaald bij het doorrekenen van meerdere jaren. Statistiek kan vervolgens (achteraf) worden gebruikt om op basis van extrapolatie de herhalingstijden bij extreme neerslagsituaties te verkrijgen. Randvoorwaarden, zoals initiële grondwaterstanden of seizoensgebonden peilen, kunnen bij deze methode tijdsafhankelijk worden gekoppeld of worden berekend binnen het model.
3. Bij de stochastenmethode wordt gerekend aan een watersysteem met een veelvoud van factoren die kunnen leiden tot een hoog waterniveau. Herhalingstijden worden verkregen door de combinatie van factoren (stochasten) die kunnen leiden tot hoge waterstanden. Voor berekening worden stochasten (vooraf) statistisch gecombineerd voor een individuele kans op optreden. Aannames voor randvoorwaarden zoals initiële grondwaterstanden kunnen bij deze methode worden meegenomen als stochast.

Risicodialoog

Bij het bijgewoone risicodialoog zijn aan de hand van ontwerpboeien voor wateroverlast stresstesten uitgevoerd voor het stedelijke gebied. Als aansluiting op doelstellingen van het DRPA werd de gewenste klimaatbestendigheid niet beoordeeld maar zijn risico's en knelpunten in kaart gebracht. Door een ontwerpboom toe te passen wordt vergelijk met toekomstige stresstesten vergemakkelijkt en zijn onderzochte overlastsituaties eenvoudig te standaardiseren of onderling te vergelijken.

Modelbouwer

Door dhr. Bosch is aangegeven dat huidige toepassing van neerslagmethoden vaak is gericht op de bepaling van NBW-normering voor standaarden voor een toelaatbare kans op overstroming voor verschillende gebieden. Zowel de stochasten- als de tijdreeksmethode kunnen door waterschappen worden toegepast voor de benadering van wateroverlast. De ontwerpboommethode wordt hierbij niet geschikt bevonden voor de uitvoer van een uitgebreide watersysteemtoetsing omdat met deze methode geen duidelijk inzicht wordt verkregen in de herhalingstijden bij extremen.

Methodes in de praktijk

Ook is door dhr. Bosch in de praktijk ondervonden dat voor een wateroverlasttoetsing met de tijdreeksmethode vaak binnen waterschappen vanwege een grote rekentijd niet de complete tijdreeksen worden doorgerekend. Als gevolg hiervan wordt gewerkt met uitgeknipte neerslagextremen uit een reeks waarbij aannames worden gemaakt voor bijvoorbeeld de initiële grondwaterstanden. Voor benadering van droogte binnen het boezemmodel is statistiek nog niet herleid in de vorm van stochasten. Droogval bij klimaatscenario's is modelmatig te benaderen door aanpassing van tijdreeksen waarbij bijvoorbeeld de droogteperiodes worden verlengd.

4.3 Evaluatie uitvoer stresstesten

Binnen dit hoofdstuk worden de resultaten uit hoofdstuk 4.1 en 4.2 samengevat en geëvalueerd. Hierbij wordt ingegaan op de bevindingen met betrekking tot huidig toepasbare ontwerpmethoden voor benadering van droogte en wateroverlast.

Uit de inventarisatie is naar voren gekomen dat zowel debietwaarden als waterstanden met SOBEK zijn te benaderen voor wateroverlast. Hiernaast is het mogelijk om globaal de ontwikkeling van grondwater inzichtelijk te maken. Voor een nauwkeurige grondwaterstand benadering is echter een koppeling noodzakelijk met aanvullende software. Ook vereisen stresstesten gericht op droogte meerdere modelaanpassingen; deze aanpassingen zijn niet gemakkelijk door te voeren. Evaluatie voor toepasbaarheid van stresstesten is daarom toegespitst op debietwaarden en waterstanden bij wateroverlast.

Verwacht wordt dat stresstesten binnen het deelgebied van waterschap Noorderzijlvest worden gebruikt voor grote deelgebieden. Deze landelijke deelgebieden zijn in SOBEK volledig geschematiseerd waarbij aannames en versimpelingen zijn opgenomen voor het stedelijke gebied. Modelmatig wordt binnen het waterschap gefocust op benadering van wateroverlast om te voldoen aan gestelde normering. De tijdreeksmethode en de stochastenmethode kunnen hiervoor worden toegepast en zijn ook te gebruiken voor het uitvoeren van stresstesten. Voor het gebruik van ontwerpbuïen kan niet zomaar worden aangenomen dat een geregistreerde (ontwerp)bui plaatsvindt in een gebied dat meerdere malen groter is dan in een waargenomen gebied. Aanbevolen wordt daarom een afleiding voor neerslag in uitgestrekt landelijk gebied te baseren op radarbeelden of op een combinatie van meetstations zodat er geen sprake is van over- of onderschatting van neerslag.

De benaderwijze van ontwerpmethoden is gekoppeld aan de benaderde parameters voor stresstesten.

1. Een evaluatie van waterstanden zal in de praktijk vaak niet noodzakelijk zijn door inzichtelijke waterstanden en wateroverlast bij extreme herhalingstijden die volgen uit NBW-toetsing.
2. Toepasbaarheid is afhankelijk van de waargenomen ontwerp-bui en de omvang van het gebied.
3. Benadering van droogte binnen SOBEK vereist modelaanpassing.
4. Benadering van droogte voor deze methode is momenteel niet mogelijk

Aan de hand van de bovenstaande criteria is in Tabel 1 een klasseindeling met de toepasbaarheid van onderzoeksmethoden opgesteld. Tabel 2 toont op basis van inzichten uit hoofdstuk 4.1 en 4.2 de toepasbaarheid van de beoordeelde ontwerpmethoden bij benadering van debieten en waterstanden. Aan de hand van deze tabel is een algemene basering opgesteld voor het uitvoeren van stresstesten voor debietwaarden en waterstanden. In hoofdstuk 4.7 wordt aan de hand van deze tabel een ontwerpmethode geselecteerd en uitgewerkt voor het onderzoeksgebied.

Tabel 1: Klasseindeling toepasbaarheid

Geen beperkingen	
Reeds inzichtelijk ¹	
Afhankelijk van bui data ²	
Vereist modelaanpassingen ³	
Vereist model- en neerslagaanpassingen ⁴	

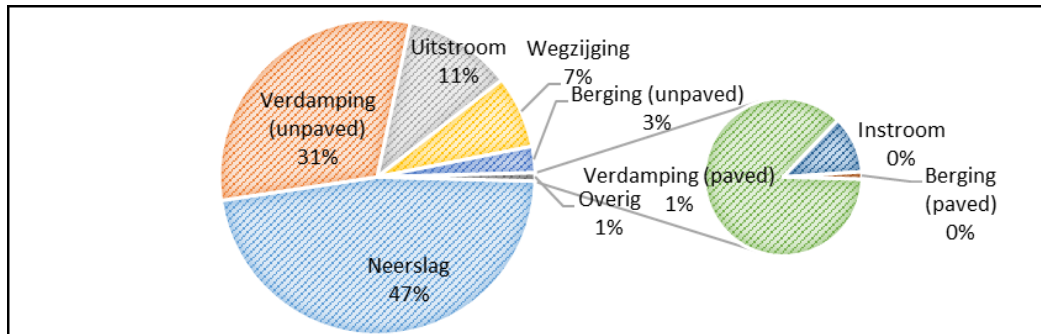
Tabel 2: Toepasbaarheid van een ontwerpmethode voor uitvoer van stresstesten met SOBEK

	Landelijk gebied				Stedelijk gebied*	
	Tijdreeksmethode		Stochastenmethode		Ontwerp-bui	
	Water-overlast	Droogte	Water-overlast	Droogte	Water-overlast	Droogte
Debietwaarden						
Waterstanden						

* Tenzij ontwerp-buïen zijn gebaseerd op gedetailleerde radarbeelden en/of een combinatie van meetstations

4.4 Uitwerking waterbalans

In dit hoofdstuk zijn de parameters geanalyseerd die het grootste aandeel van de in- en uitlaat van het uitgeknipte boezemmodel vertegenwoordigen. Hiervoor is met het SOBEK-boezemmodel een modelrun uitgevoerd voor een periode van twee jaar (3 september 2015 tot 3 september 2017). Het aandeel van parameters over de gehele periode is te zien in Figuur 7. De werking en invloed van parameters op de waterbalans wordt onderstaand toegelicht.



Figuur 7: Input- en outputparameters voor de waterbalans van het uitgeknipte boezemmodel

Neerslag: Binnen het onderzoeksgebied zorgt neerslag voor de primaire wateraanvoer. Hierbij infiltreert de neerslag vaak eerst in de bodem of stroomt het af boven een vastgestelde drempelwaarde. Neerslag komt vanuit het landelijke gebied terecht in waterwegen, via oppervlakteaafvoer en drainage.

Verdamping (unpaved): Verdamping komt voornamelijk voor in de zomerperiode. Het onderzoeksgebied bestaat hoofdzakelijk uit onverhard gebied. De verdamping en gewasverdamping die optreden in de verschillende gebieden, maken een aanzienlijk deel uit van de totale neerslagopname.

Uitstroom: Vanuit waterwegen wordt water afgevoerd naar één lager gelegen knooppunt dat is ingetekend voor het onderzoeksmodel. De waterwegen komen hier samen.

Wegzijing: In het model treedt oorspronkelijk wegzijing op. Dat wil zeggen dat water zich verplaatst naar diep grondwater. Wegzijing is het tegenovergestelde van kwel: een situatie waarin water zich juist vanuit diep grondwater naar boven verplaatst, richting ondiep grondwater.

Berging (unpaved): De berging in onverhard gebied vindt plaats in verschillende grondlagen. Neerslag wordt hierdoor afgevoerd door verschillende drainagelagen met eigen -weerstand. Voor deze afvoer wordt de formule van Ernst gehanteerd, waarbij het uitgangspunt een lineair reservoir is met een eigen drainageweerstand.

Verdamping (paved): In verhard gebied kan verdamping plaatsvinden vanuit berging op straat. Deze invloed is in het onderzoeksgebied niet substantieel.

Instroom: Instroom van water kan plaatsvinden vanuit overige waterwegen. Deze invloed blijkt beperkt, blijkt uit de simulatie.

Berging (paved): In verharde gebieden wordt nauwelijks water geborgen, dit komt door de grote hoeveelheid verharding. Het aandeel van berging binnen het onderzoeksgebied is laag. Opgemerkt kan worden dat waterberging een natuurlijk verloop volgt, waardoor bergingswaarden gedurende het jaar sterk kunnen fluctueren. Dit geldt voornamelijk voor onverhard gebied vanwege een groot gebiedsoppervlak.

Uit de waterbalansanalyse kan worden opgemaakt dat neerslaghoeveelheden voor verdamping en berging van stedelijk gebied een klein aandeel hebben in de totale waterbalans. Ook is het aandeel van overige inlaat in de gesimuleerde toestand klein. De vijf benoemde parameters van de linker cirkeldiagram uit Figuur 7 maken 99% uit de gemodelleerde waterbalans.

Voor deze vijf parameters is een waterbalans opgesteld waarbij historische meetdata zijn gebruikt voor neerslag, verdamping, en afvoeren. Van de waterberging in het gebied wordt uitgegaan van een natuurlijk verloop, waardoor de hoeveelheid berging aan het begin en eind van de periode niet verandert. Als basering voor de werkelijke verdamping is gebruikgemaakt van een gebiedsbasering op basis van tabel 2.10 gewasfactoren en bodemverdamping (Bot, 2016). Gemiddelde werkelijke verdamping in het gebied van 90% wordt hierbij verondersteld. De werkelijke verdamping wordt berekend door vermenigvuldiging van de potentiële evaporatie met een factor 0.9 voor Makkink-referentiegewasverdamping vanuit Meteobase (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2018). De resultaten van deze waterbalans zijn opgenomen in Tabel 3. De aan- en afvoer van deze parameters is voor deze analyse teruggerekend naar neerslag (mm) van het onderzoeksgebied.

Opvallend is om te zien is dat de uitstroom vanuit het model zoals in Figuur 7 te zien is, 11% uitmaakt van de gehele waterbalans, terwijl in een waargenomen situatie aan de hand van een samengestelde waterbalans als in Tabel 3 deze waarde met een aandeel van 24% aanzienlijk hoger is. Aangezien er in werkelijk meer neerslag het stroomgebied uitgevloeid is dan dat er via neerslag instroomt, is het aannemelijk dat vanuit de bodem in de vorm van kwel of vanuit bovenstrooms gebied meer water wordt aangevoerd dan momenteel is opgenomen in het SOBEM-onderzoekmodel. Aan de hand van het resterende watertekort is een kwelwaarde verkregen voor het gehele en opgesplitste onderzoeksgebied. Opvallend is dat hierbij hoge kwelwaarden worden verkregen voor het gebied bij het Peizerdiep.

Tabel 3: Samengestelde waterbalans bij debietmeetpunten, gebaseerd op meetdata (neerslag, verdamping en afvoerwaarden) van geïdentificeerde hoofdparameters (3 september 2015 t/m 3 september 2017)

	Peizerdiep, Eelderdiep en Schipsloot	Peizerdiep	Eelderdiep en Schipsloot
Oppervlak onderzoeksgebied	19666,1 ha	13330,6 ha	6359,5 ha
Neerslag (mm)	1470 mm (735 mm/jaar)	1470 mm (735 mm/jaar)	1470 mm (735 mm/jaar)
Werkelijke verdamping (mm)	1033 mm (517 mm/jaar)	1033 mm (517 mm/jaar)	1033 mm (517 mm/jaar)
Afvoer debietmeetpunten (mm)	804 mm (402 mm/jaar)	930 mm (465 mm/jaar)	539 mm (270 mm/jaar)
Berging (mm)	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Kwel/inundatie (mm)	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Resterend	-367 mm (-183 mm/jaar)	-493 mm (-247 mm/jaar)	-102 mm (-51 mm/jaar)
Verwachtte kwel per dag	0,50 mm	0,68 mm	0,14 mm

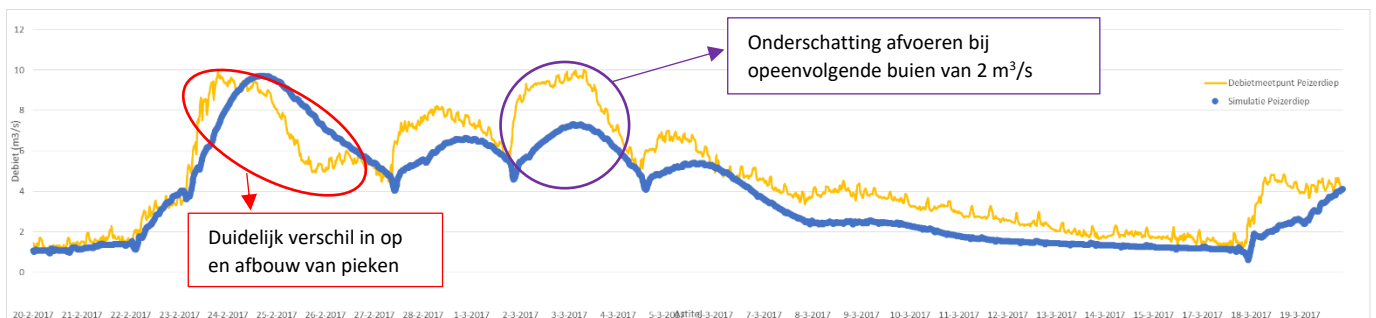
4.5 Watersysteemanalyse

In dit hoofdstuk wordt de watersysteemanalyse uitgevoerd aan de hand van de in hoofdstuk 3.5 toegelichte methoden. Afvoerdata zijn hierbij aanvullend verwerkt in afvoerplots en duurlijnen en opgenomen in Bijlage D Watersysteemanalyse voor een periode van twee jaar van 3 september 2015 tot 3 september 2017.

4.5.1 Afvoerplots

Om inzicht te krijgen in het verloop van afvoerpieken tijdens een extreme periode, zijn afvoerplots met neerslag opgesteld tijdens de wintermaanden (20 februari 2017 tot 20 maart 2017).

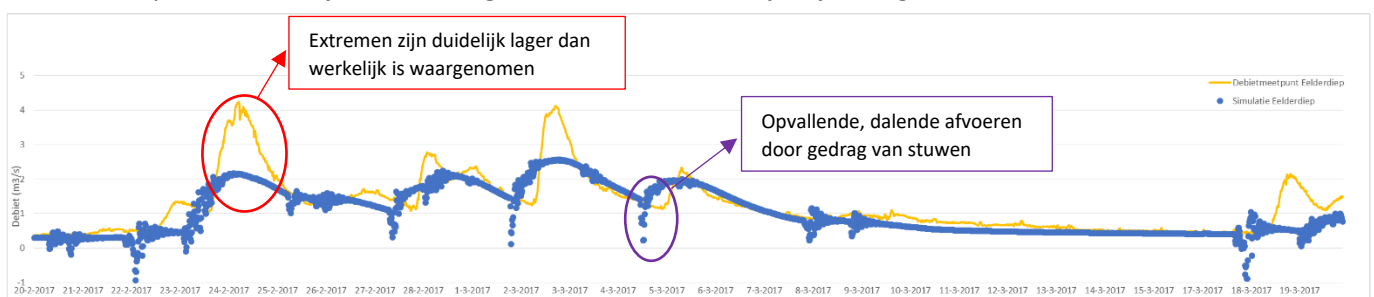
Peizerdiep: Gedurende het zomerhalfjaar overschat het model de debieten tijdens zowel perioden van veel als weinig neerslag. Tijdens het winterhalfjaar zijn de maximale gesimuleerde debieten in eerste opzichte gelijk aan de maximale gemeten debieten (zie de Bijlage D Watersysteemanalyse). Tijdens de wintermaand van extreme neerslag in de onderstaande figuur is te zien dat het model pieken overeenkomstig simuleert met het waargenomen verloop. De op- en afbouw van de piekafvoeren in het model verlopen trager dan kan worden waargenomen bij debietmeetpunten. De debieten bij opeenvolgende buien worden bovendien onderschat.



Figuur 8: Afvoerplot Peizerdiep (SOBEK punt: NIEUW_293_1) van gemeten en waargenomen debietwaarden

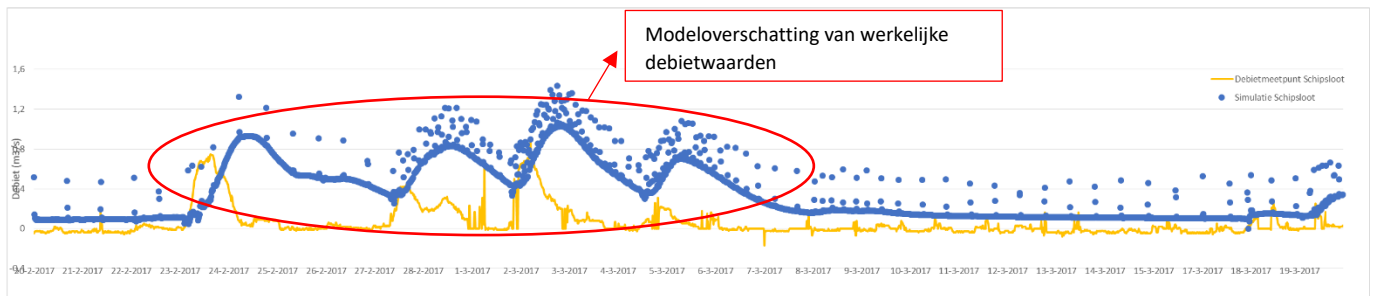
Eelderdiep: Opmerkelijk aan de jaargrafiek is dat de maximale gesimuleerde afvoeren lager liggen dan de gemeten afvoeren. Bovendien zijn negatieve debietwaarden zichtbaar tijdens periodes van veel neerslag, vaak aan het begin extreme neerslagsituaties.

Dit modelgedrag wordt nog duidelijker bij benadering van het verloop tijdens de extreme neerslagperiode. Tekorten ontstaan hier door een schokkerig afvoerproces waarbij automatische stuwen te heftig reageren op een opgegeven streefpeil. De oorzaak van deze negatieve afvoerwaarde is een profieldiepte die constant wordt verondersteld bij het debietmeetpunt van het Eelderdiep waardoor, bij veel neerslag, afvoer in het model tijdelijk terugstroomt.



Figuur 9: Afvoerplot Eelderdiep (SOBEK punt: NIEUW_286_1) van gemeten en waargenomen debietwaarden

Schipsloot: De afvoer vindt hier plaats op kleine schaal. Tijdens piekafvoeren komt een verhoogde afvoer langs de Schipsloot die in de werkelijkheid niet wordt waargenomen. De afvoerwaarden komen niet overeen met de meetwaarden. De overschatting van extremen is hier constant.



Figuur 10: Afvoerplot Schipsloot (SOBEK punt: 74_1) van gemeten en waargenomen debietwaarden

4.5.2 Nash-Sutcliffe-coëfficiënt

Een coëfficiënt boven de nul betekent binnen dit onderzoek dat de gekwadrateerde modelverschillen tussen gemodelleerde (Q_{model}) en gemeten debieten ($Q_{gemeten}$) een grotere nauwkeurigheid hebben dan de gekwadrateerde modelverschillen tussen gemeten debieten en een gemiddelde waarde van alle gemeten debieten ($Q_{gemiddeld}$). Een coëfficiënt van 1 komt overeen met een situatie waarin geen verschillen zitten tussen de gemeten en gesimuleerde toestand. De gemodelleerde waarden zijn in dit geval hier het meest accuraat.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{model}(t) - Q_{gemeten}(t))^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{gemeten}(t) - Q_{gemiddeld})^2}$$

De NSE-coëfficiënten zijn hieronder weergegeven voor de drie verschillende debietmeetpunten:

- *Peizerdiep*: 0,76;
- *Eelderdiep*: 0,71;
- *Schipsloot*: -1,95.

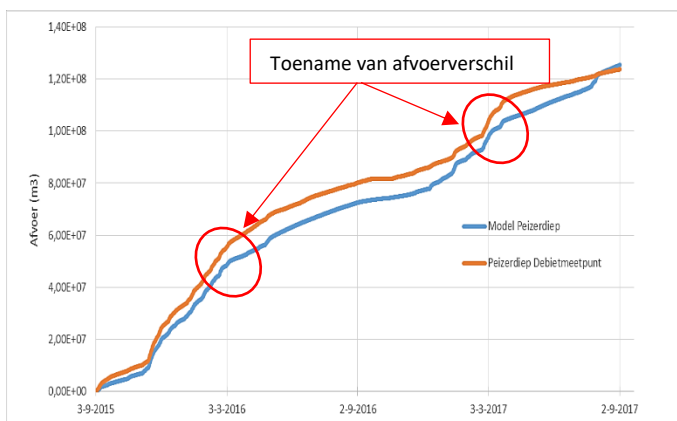
Aan de hand van de berekende coëfficiënten is af te lezen dat het Peizerdiep en het Eelderdiep beschikken over acceptabele NSE-waarden. De NSE-coëfficiënt voor de Schipsloot wijst op onacceptabele modelprestaties: er is sprake van een structurele overschatting van debietmeetwaarden.

4.5.3 Cumulatieve afvoeren

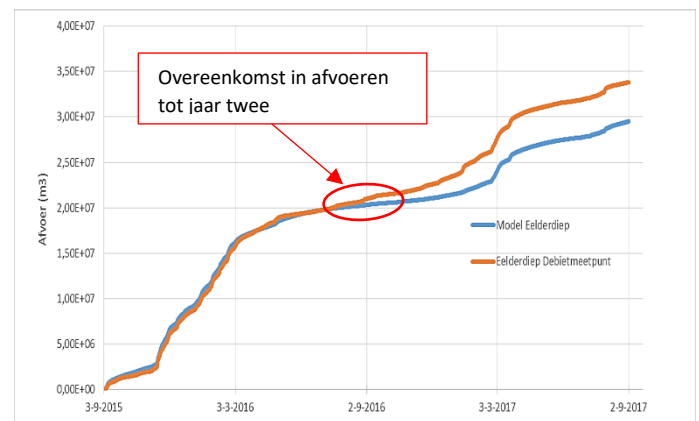
De debietwaarden zijn gedurende een tweejarige periode gesommeerd ter beoordeling van het afvoerverloop. De resultaten worden hieronder getoond.

Peizerdiep: De gemodelleerde cumulatieve afvoer van debieten ligt onder de gemeten cumulatieve afvoer. Het verloop wordt door het model gevolgd, hoewel ook zeker sprake is van een afwijking. Vanaf de maand november begint het verschil tussen beide cumulatieven dichter in de buurt te komen van de gemodelleerde cumulatieve afvoer, waarna de volumeverschillen gedurende het jaar toenemen.

Eelderdiep: Tijdens het eerste jaar volgt het gesimuleerde Eelderdiep zeer nauwkeurig het gemeten afvoerverloop. Na deze periode worden afvoerverschillen zichtbaar, waarbij het model afwijkingen vertoont. Het volume van de gesimuleerde afvoeren ligt dit jaar constant lager dan er in werkelijkheid werd waargenomen. Dit verschil in afvoeren kan zeer waarschijnlijk worden herleid tot een wijziging van de stuwhoogte aan het begin van 2017.



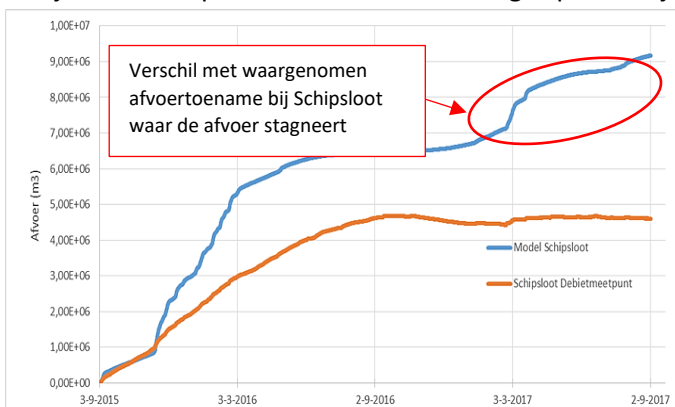
Figuur 11: Cumulatieve van afvoeren Peizerdiep (SOBEK punt: 74_1)



Figuur 12: Cumulatieve van afvoeren Eelderdiep (SOBEK punt: 74_2)

Schipsloot: Bij de Schipsloot neemt de totale gemeten afvoer na het eerste jaar nauwelijks toe. Tijdens het tweede jaar neemt de cumulatieve slechts met 10% toe ten opzichte van het voorgaande. De gesimuleerde waarden overschatten tijdens deze periode het werkelijke afvoerverloop. Dit verschil hangt waarschijnlijk samen met de bij het Eelderdiep benoemde wijziging van de stuwhoogte.

Tijdens zomerperioden valt veel neerslag. Opmerkelijk genoeg is dit niet terug te zien bij de gemeten

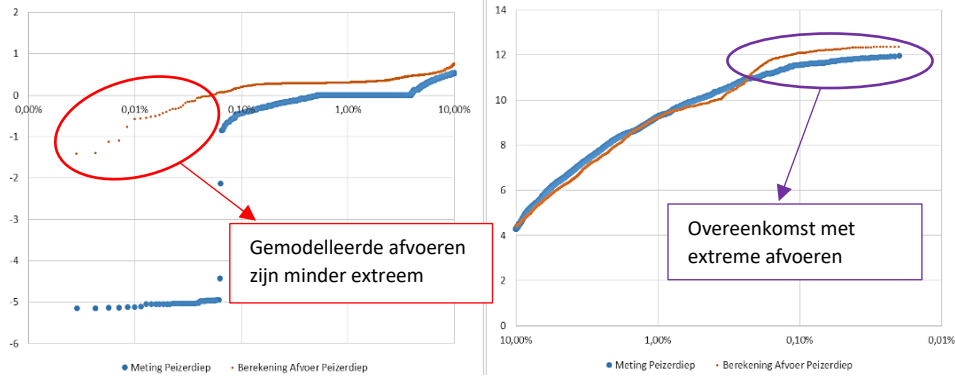


Figuur 13: Cumulatieve van afvoeren Schipsloot (SOBEK punt: 74_1)

piekafvoeren. Hoofdzakelijk in winterperioden is sprake van hoge gemodelleerde debietenwaarden. Dit verschil is waarschijnlijk het gevolg van inaccuraten kwelwaarden en een onjuiste afvoerverdeling richting het Eelderdiep.

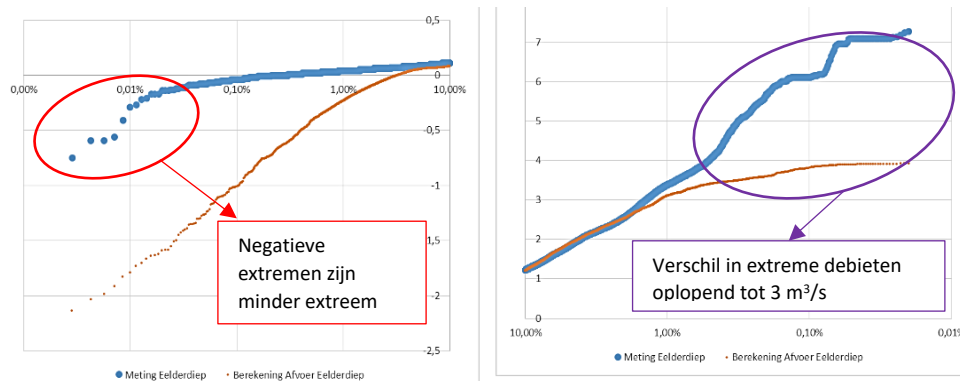
4.5.4 Duurlijnen

Met behulp van duurlijnen en scatterplots wordt het verloop van afvoerwaarden vergeleken. *Peizerdiep*: De gemeten negatieve afvoeren, waarbij neerslag dus de andere kant op stroomt, vertonen een afwijking. Of deze afvoeren werkelijk zijn voorgekomen, valt te betwijfelen. Bij deze pieken ontbreken namelijk metingen tussen de $-0,5$ en $-4 \text{ m}^3/\text{s}$, waardoor geen sprake is van een natuurlijk terugstroomverloop. Waarschijnlijk is hier sprake van een meetfout. De extreme hoge afvoeren kennen een grote overeenkomst met de gemeten afvoeren.



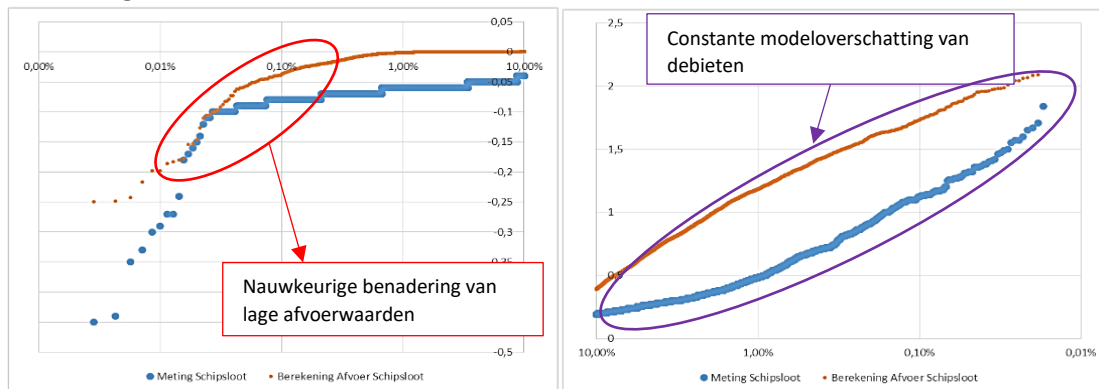
Figuur 14: Duurlijnen van negatieve en positieve afvoeren Peizerdiep (SOBEK punt: NIEUW_293_1) bij het tiende

Eelderdiep: Bij het Eelderdiep wijken de berekende debieten af bij een hoge afvoer. De gemodelleerde negatieve debietenwaarden vertonen hier een sterke afwijking die niet wordt beperkt tot de extreemste 10%-situaties. Bij positieve afvoeren (rechts) valt te zien dat de modelverschillen van metingen toenemen naarmate de debieten groter worden. Verschillen in extremen kunnen hier worden waargenomen tot wel $3 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 15: Duurlijnen van negatieve en positieve afvoeren Eelderdiep (SOBEK punt: NIEUW_286_1) bij het tiende

Schipsloot: De gesimuleerde debietwaarden bij de Schipsloot vertonen de constante verschillen met metingen. Berekende afvoeren overschatten hier met een gemiddelde constante waarde van 0,75 m³/s de optredende afvoeren. De gesimuleerde negatieve extremen vertonen een nauwkeurige benadering.

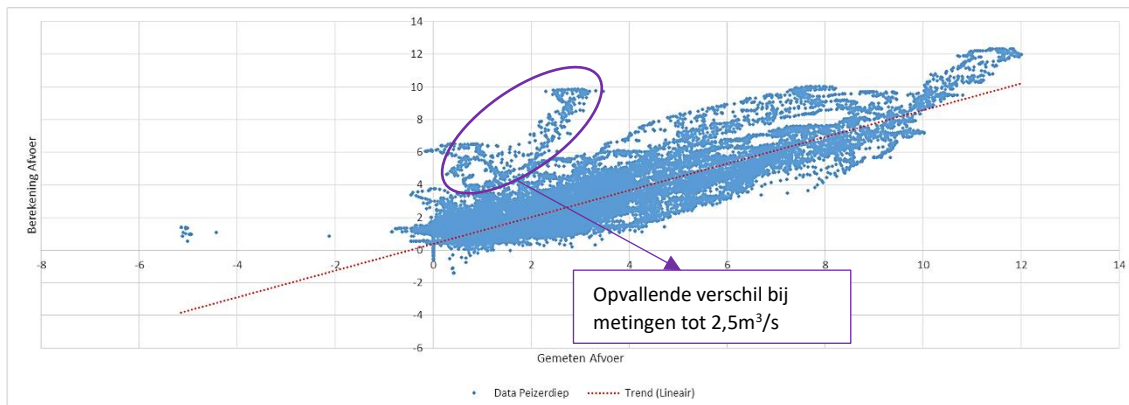


Figuur 16: Duurlijnen van negatieve en positieve afvoeren Schipsloot (SOBEK punt: 74_1) bij het tiende

4.5.5 Scatterplots van afvoeren

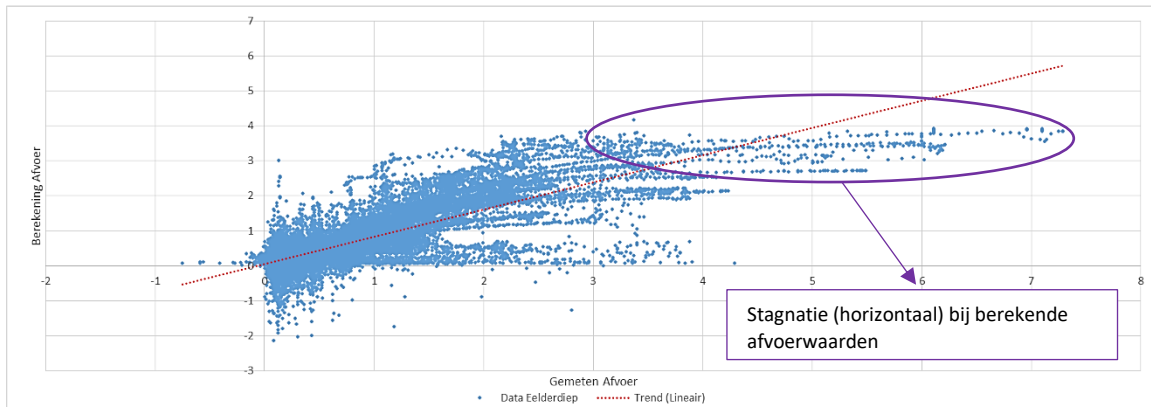
De resultaten van de scatterplots worden onderstaand toegelicht.

Peizerdiep: Net zoals te zien is bij de bij de duurlijnen, vertonen de extremen een overeenkomst met hoge debietwaarden. Opmerkelijk is verder dat een overschatting van het model optreedt tijdens metingen tot 2,5 m³/s. Waarschijnlijk reageert het model hier te traag, waardoor een verschil is waar te nemen (zie afvoerplots 1.1.). De lineaire trendlijn geeft een algemene modelonderschatting bij extremen weer.



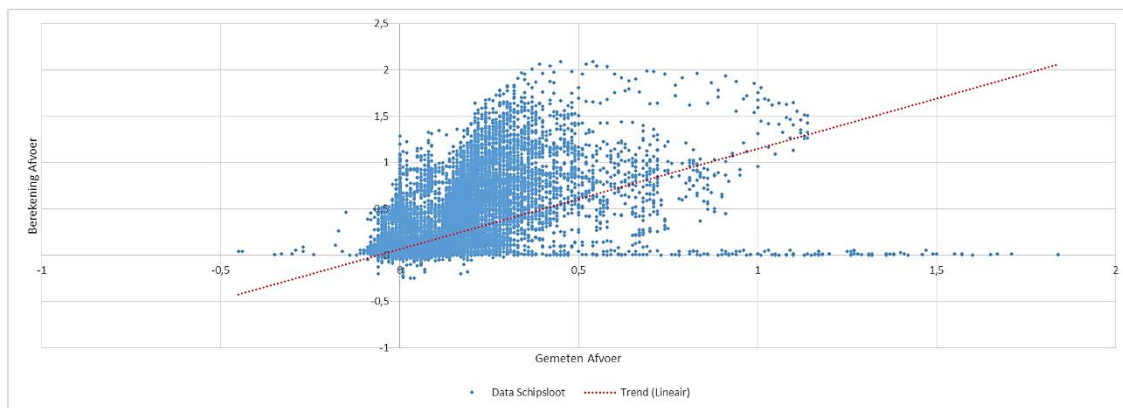
Figuur 17: Scatterplot van afvoerwaarden met een trendlijn voor Peizerdiep (SOBEK punt: NIEUW_293_1)

Eelderdiep: De trendlijn van gesimuleerde debietwaarden geeft een overschatting bij hoge extremen. Opvallend is dat debietwaarden hier vrijwel nooit extremer zijn dan $4 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 18: Scatterplot van afvoerwaarden met een trendlijn voor Eelderdiep (SOBEK punt: NIEUW_286_1)

Schipsloot: Een groot verschil treedt op bij de Schipsloot, tussen gemeten en gesimuleerde debieten. De afvoerwaarden liggen in werkelijkheid enkele malen hoger. De piekafvoeren worden constant overschat met een gemiddeld debiet van $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Verwacht wordt dat het tekort bij het Eelderdiep in werkelijkheid langs de Schipsloot stroomt.



Figuur 19: Scatterplot van afvoerwaarden met een trendlijn voor Schipsloot (SOBEK punt: 74_1)

4.6 Evaluatie modelbenadering

Op basis van uitkomsten van de waterbalans in paragraaf 4.4 zijn kwelwaarden aangewezen binnen het gebied als het gewogen gemiddelde voor de totstandkoming van een kloppende waterbalans. De toegewezen waarden zijn opvallend – zeker voor het gebied bij het Peizerdiep –, aangezien kwel voornamelijk voorkomt in de slootjes en buiten het gebied ook sprake is van wegzijging. Een aanvullende basisafvoer wordt verwacht vanuit bovenstroomse inlaten. Deze afvoer is momenteel niet verwerkt in de schematisatie.

De uitgevoerde watersysteemanalyse toont aan dat het model het watersysteemgedrag met voldoende kwaliteit beschrijft. Uitkomsten van de analyse zijn onderstaand samengevat.

- De modelschematisatie van het Peizerdiep simuleert nauwkeurig het totaalvolume, waarbij ook de extreme, gesimuleerde afvoerpieken overeenkomen met de berekende afvoerwaarden (Figuur 8 en Figuur 11 en NSE; 0,76). Er is een verschil in het verloop van afvoer en de hoogte van kort opeenvolgende extremen (Figuur 8). De hoge gesimuleerde debietextremen (Figuur 14 hoog en Figuur 17) vertonen overeenkomst met de meetwaarden. Ook worden lage extremen vaak relatief nauwkeurig benaderd, zolang deze niet negatief zijn (Figuur 14 laag).
- De gesimuleerde debieten voor het Eelderdiep komen in eerste instantie overeen met debietmeetwaarden (Figuur 9 en Figuur 12 en NSE; 0,71). Vooral zijn gemodelleerde extreme debieten afwijkend. De gesimuleerde debietextremen – zowel positieve als (onverwacht) negatieve pieken – vertonen een afwijking (Figuur 9, Figuur 15 en Figuur 18). Met deze afwijking zal rekening moeten worden gehouden bij het opstellen van de vervolconclusies bij klimaatextremen.
- Bij vervolgberekeningen voor de benadering van de invloed van klimaateffecten, geeft de Schipsloot een onjuist beeld van toekomstige debietwaarden gebaseerd op de uitkomsten van (Figuur 10, Figuur 13, Figuur 16, Bijlage D watersysteemanalyse (duurlijnen) en Figuur 19). Er is sprake van een structurele gesimuleerde debietoverschatting die ook blijkt uit de NSE van -1,95.

Voor dit onderzoek worden geen aanvullende aanpassingen doorgevoerd in de modelschematisering van het onderzoeksmodel. Bij het doorvoeren van aanpassingen zou immers opnieuw een verificatie wenselijk zijn, voordat een stresstest wordt uitgevoerd. Aanbevolen wordt om rekening te houden met de modeltekortkomingen waarvoor;

- bij extremenbenadering wordt verwacht dat het onderzoeksmodel bij het Peizerdiep de meest accurate, hoge extremen weergeeft zolang er geen sprake is van extreme opeenvolgende buien;
- bij het Eelderdiep worden debietwaarden door het model bij hoge debietwaarden met 3,0 m³/s onderschat;
- bij de Schipsloot moet rekening worden gehouden met een constante modeloverschatting van extremen die ongeveer 0,75 m³/s bedraagt.

4.7 Toekomstige klimaatverandering

In dit hoofdstuk zijn voor benadering van een toekomstige situatie aan de hand van de stochastenmethode gemodelleerde debietwaarden verkregen aan de hand van de beschreven methode in paragraaf 3.6. De verkregen 'Huidig' extremen worden in hoofdstuk 4.7.2 vergeleken met verwachte waarden.

4.7.1 Modelresultaten klimaateffecten

De effecten van klimaatverandering op debieten aan de hand van de stochastenmethode zijn binnen deze onderzoeksvraag onderzocht bij de drie debietmeetpunten. Het 'Huidig' scenario benadert hierbij het huidige klimaat terwijl bij de 'WL2050' en 'WH2050' scenario's extremen zijn gebaseerd op de WL en WH klimaatvoorspellingen (zie Figuur 3: KNMI'14-Klimaatscenario's) voor het jaar 2050. De 'Huidig', 'WL2050', en 'WH2050' scenario's geven een beeld van de representatieve T=10 en T=100 situaties die zijn afgeleid uit geïnterpoleerde debiet-kansen grafieken van de stochastentool zoals beschreven is in Bijlage E Toelichting rekenmodel stochasten.

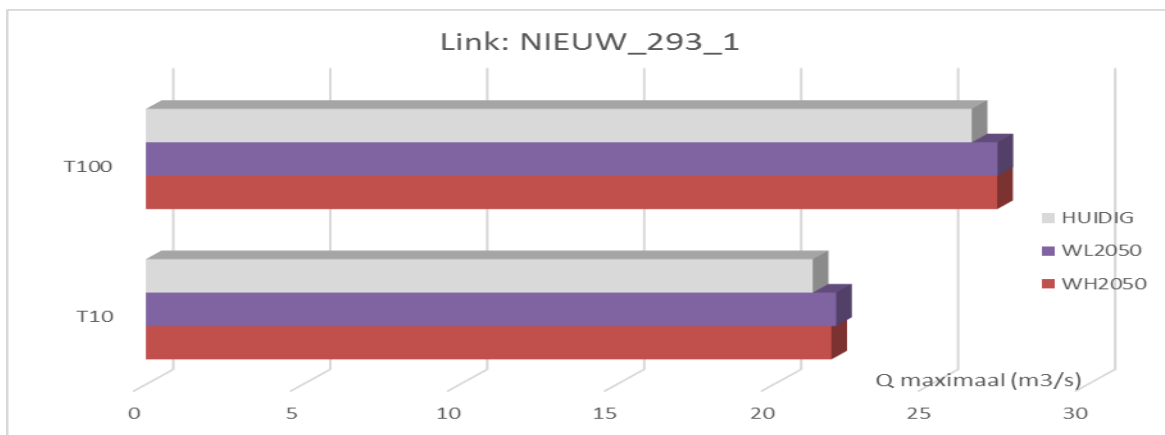
4.7.1.1 Debietresultaten Peizerdiep

Bij het Peizerdiep verandert de jaarlijkse piekafvoer door middel van klimaatscenario's aanzienlijk. Te zien is dat voor periodes met een T=10 jaar herhalingsstijd debietwaarden bij het WL2050 en WH2050 scenario T=10 toenemen met 0,60-0,75 m³/s ten opzichte van de gesimuleerde debieten voor de situatie 'Huidig'. Dit verschil blijft redelijk constant bij een T=100 situatie, waarvoor een toename van 0,81-0,82 m³/s is berekend.

Tabel 4: Extreme debieten bij het Peizerdiep bij drie scenario's

	'Huidig' (m ³ /s)	'WL2050' (m ³ /s)	'WH2050' (m ³ /s)
1/10 jaar	21,2	22,0	21,8
1/100 jaar	26,3	27,1	27,1

De invloed van de drie scenario's op extreme debietwaarden is onderstaand afgebeeld.



Figuur 20: Extreme debietontwikkeling bij twee doorgerekende scenario's voor het Peizerdiep

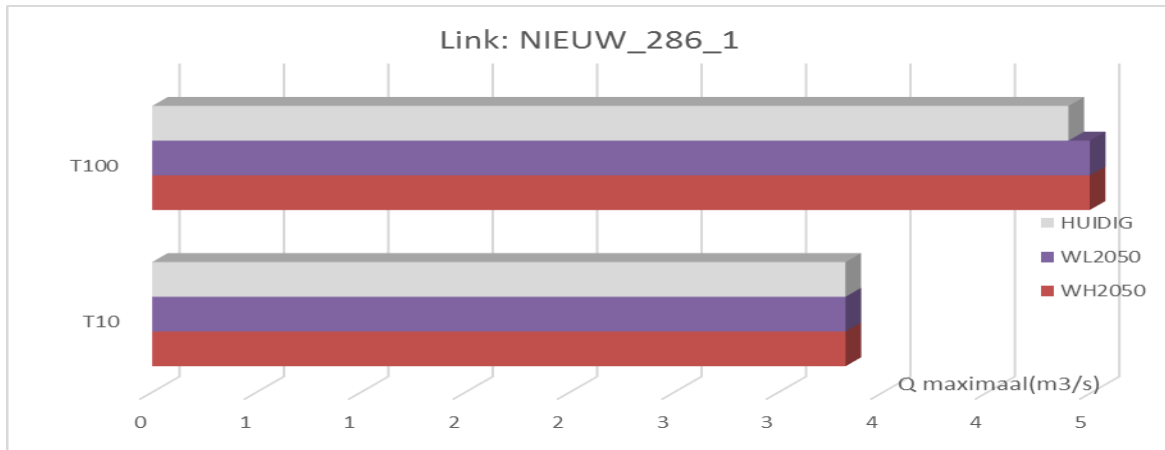
4.7.1.2 Debietresultaten Schipsloot

Bij de Schipsloot valt te zien dat de piekafvoer in grote mate toeneemt. De benaderde T=100 situaties verschillen hierbij 0,10 m³/s ten opzichte van de gesimuleerde debieten voor de situatie 'Huidig' terwijl deze voor T=10 situaties gelijk zijn.

Tabel 5: Extreme debieten bij de Schipsloot bij drie scenario's

	'Huidig' (m ³ /s)	'WL2050' (m ³ /s)	'WH2050' (m ³ /s)
1/10 jaar	3,3	3,3	3,3
1/100 jaar	4,4	4,5	4,5

De invloed van de drie scenario's op extreme debietwaarden is onderstaand afgebeeld.



Figuur 21: Extreme debietontwikkeling bij de Schipsloot

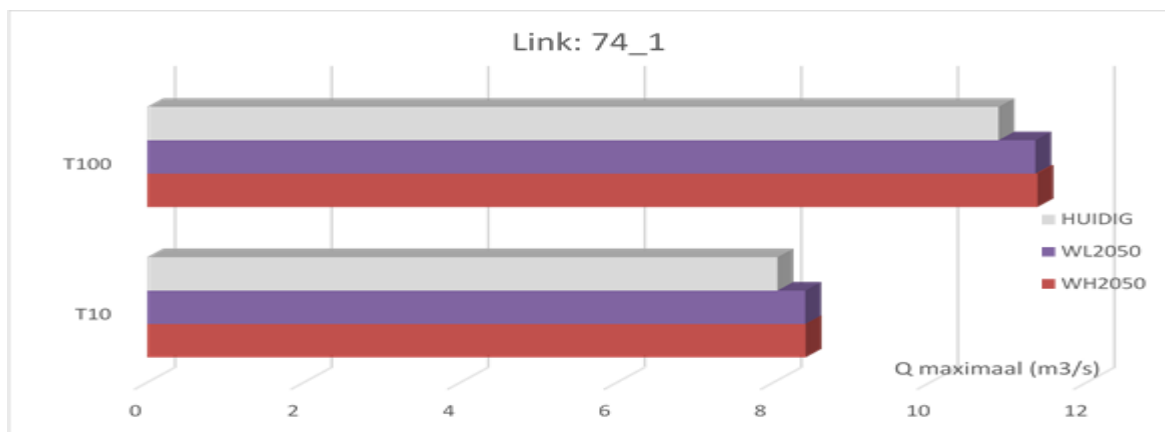
4.7.1.3 Debietresultaten Eelderdiep

Bij het Eelderdiep verandert de jaarlijkse piekafvoer door middel van klimaatscenario's nauwelijks. Te zien is dat voor periodes met een T=10 jaar herhalingsstijd debietwaarden bij het WL2050 en WH2050 scenario T=10 toenemen met 0,36 m³/s ten opzichte van de gesimuleerde debieten voor de situatie 'Huidig'. Dit verschil breidt zich uit bij een T=100 situatie waarvoor een toename van 0,48-0,50 m³/s is berekend.

Tabel 6: Extreme debieten bij het Eelderdiep bij drie scenario's

	'Huidig' (m ³ /s)	'WL2050' (m ³ /s)	'WH2050' (m ³ /s)
1/10 jaar	8,1	8,4	8,4
1/100 jaar	10,9	11,4	11,4

De invloed van de drie scenario's op extreme debietwaarden is onderstaand afgebeeld.



Figuur 22: Extreme debietontwikkeling bij het Eelderdiep

4.7.2 Interpretatie modelresultaten

Als uitkomst van de tweede deelvraag werd duidelijk dat extreme debieten vanuit het onderzoeksmodel afwijkingen vertoont met waargenomen waarden voor het Eelderdiep en de Schipsloot. Binnen deze paragraaf worden modelresultaten vanuit de stochastenmethode vergeleken met verwachte debietwaarden.

4.7.2.1 *Vergelijk modelresultaten met jaarlijkse afvoer*

De extreme debietwaarden zijn ter controle vergeleken met gemodelleerde debietwaarden waarbij modelafwijking vanuit hoofdstuk 4.6 is meegewogen. Debietwaarden zijn hiervoor verkregen uit de afvoerplots in Bijlage D Watersysteemanalyse waarbij een jaarlijks terugkerende geregistreerde debietwaarde wordt beschouwd als een 1/1 jaar situatie. Deze afvoer is omgezet naar T=10 en T=100 extremen aan de hand van de globale relatie tussen extreme afvoer en herhalingstijd.

Debietresultaten Peizerdiep

Bij vergelijking van gemodelleerde debietwaarden met voorspellingen gebaseerd op werkelijke afvoerwaarden wordt duidelijk dat er sprake is van verschillen tussen de gemodelleerde en een verwachte werkelijke situatie. Bij een T=10 situatie ligt de indicatieve waarde voor afvoeren (gebaseerd op Tabel 7) 26% lager dan de met de stochastentool 'Huidig' gemodelleerde afvoerwaarden (weergegeven in Tabel 4). Voor gemodelleerde T=100 situaties bedraagt dit verschil 10%. Dit debietverschil met een werkelijke situatie is opmerkelijk en werd niet verwacht op basis van uitkomsten van de in hoofdstuk 4.6 samengevatte watersysteemanalyse.

Vergelijk debietresultaten Schipsloot

Bij vergelijking van gemodelleerde debietwaarden (weergegeven in Tabel 5) met voorspellingen van werkelijke afvoerwaarden (gebaseerd op Tabel 7) wordt duidelijk dat er sprake is van opmerkelijke verschillen tussen de gemodelleerde en werkelijke situatie. Bij een T=10 en T=100 situatie zijn extreme maatgevende afvoeren >50% kleiner dan 'Huidig' gemodelleerd. Een debietverschil met een werkelijke situatie werd verwacht op basis van uitkomsten van de in hoofdstuk 4.6 samengevatte watersysteemanalyse. Door rekening te houden met de vastgestelde, constante 0,75 m³/s modeloverschatting bedraagt het afvoerverschil vooralsnog 41%.

Vergelijk debietresultaten Eelderdiep

Bij vergelijking van gemodelleerde debietwaarden (weergegeven in Tabel 6) met voorspellingen voor werkelijke afvoerwaarden (gebaseerd op Tabel 7) blijkt dat er sprake is van kleine verschillen tussen een gemodelleerde en werkelijke situatie. Bij een T=10 en T=100 situatie zijn extreme maatgevende afvoeren voor het Eelderdiep zelfs groter dan gemodelleerde 'Huidig' debietwaarden. Een debietverschil met een werkelijke situatie werd verwacht op basis van uitkomsten van de in hoofdstuk 4.6 samengevatte watersysteemanalyse. Aangenomen is hier dat gesimuleerde debietwaarden bij T=10 en T=100 situaties in werkelijkheid minstens 3 m³/s hoger liggen. Indicatieve afvoeren voor een T=10 situatie zijn hierdoor 24% lager dan de 'Huidig' gemodelleerde afvoerwaarden en 14% lager voor T=100 situaties.

Tabel 7: Extreme afvoer en herhalingstijd gebaseerd op de globale relatie tussen afvoeren (Bot, 2016)

	Relatieve extreme afvoer	Peizerdiep (m ³ /s)	Schipsloot (m ³ /s)	Eelderdiep (m ³ /s)
1/1 jaar	1	12,0	1,1	6,0
1/10 jaar	1,4	16,8	1,54	8,4
1/100 jaar	2	24	2,2	12

4.7.2.2 *Vergelijk modelresultaten met maatgevende afvoer*

Noorderzijvest hanteert voor het landelijk gebied vanuit Drenthe een maatgevende afvoer van 1,2 l/s/ha voor neerslag. Naast maatgevende jaarlijkse afvoeren zijn gesimuleerde modelresultaten uit hoofdstuk 4.7.1 gecorrigeerd aan de hand van bevindingen uit hoofdstuk 4.6 en vergeleken met opgenomen indicatieve afvoereis voor landelijk gebied. Op basis van de gebiedsoppervlaktes van het Peizerdiep en het Eelderdiep en de Schipsloot (zie Tabel 3) en de globale relatie tussen extreme afvoeren (Bot, 2016) is een vergelijk gemaakt tussen gemodelleerde afvoeren en verwachte afvoeren.

Uit de onderstaande Tabel 8 en Tabel 9 valt af te lezen dat afvoeren dat huidige en toekomstige extreme afvoeren voldoen aan verwachtingen gebaseerd op een maatgevende afvoer. Tabel 10 toont een onderschatting van maatgevende afvoerwaarden voor het Eelderdiep en de Schipsloot bij een T=10 neerslagsituatie.

Tabel 8: Modelresultaten Peizerdiep met een maatgevende afvoer van 1,2 l/s/ha voor neerslag vanuit Drenthe

	'Huidig' (m ³ /s)	'WL2050' (m ³ /s)	'WH2050' (m ³ /s)	Maatgevend (m ³ /s) gebaseerd op 1,2 l/ha/s
1/10 jaar	21,2	22,0	21,8	22,4
1/100 jaar	26,3	27,1	27,1	32,0

Tabel 9: Gecorrigeerde modelresultaten Eelderdiep en de Schipsloot met een maatgevende afvoer van 1,2 l/s/ha voor neerslag vanuit Drenthe

	'Huidig' (m ³ /s)	'WL2050' (m ³ /s)	'WH2050' (m ³ /s)	Maatgevend (m ³ /s) gebaseerd op 1,2 l/ha/s
1/10 jaar	13,6	14,0	14,0	12,8
1/100 jaar	17,5	18,1	18,1	18,3

4.8 Evaluatie van stochastenresultaten

Na uitvoer van de stochastenmethode zijn extreme debieten verkregen bij herhalingstijden van tien en honderd jaar. Bij vergelijk van gemodelleerde huidige debietwaarden met die van klimaatscenario's nemen extremen bij de drie debietmeetpunten gemiddeld met 0,05 m³/s bij de Schipsloot, 0,43 m³/s bij het Eelderdiep en 0,75 m³/s bij het Peizerdiep toe. Door klimaateffecten nemen gemodelleerde extreme debietwaarden met drie tot vier procent toe voor de twee geselecteerde klimatscenario's. Deze toename is opvallend omdat bij de toegepaste, klimaatscenario's o.a. wordt verwacht dat de uur intensiteit met 22% toeneemt en winterse neerslag met 17%. Verwacht zou hierdoor worden dat afvoeren in sterkere mate toenemen.

De gecorrigeerde modelresultaten en waargenomen jaarlijkse extreme debietwaarden in paragraaf 4.7.2.1 verschillen fors van elkaar. Op basis van dit vergelijk wordt verondersteld dat extreme afvoersituaties worden onderschat op basis van waargenomen jaarlijkse afvoeren. In paragraaf 4.7.2.2 wordt duidelijk dat toekomstige maatgevende afvoeren vanuit Drenthe niet volstaan voor het gecombineerde Eelderdiep en de Schipsloot. Bij basering van een maatgevende afvoer van 1,2 l/s/ha worden maximale debieten onderschat. Bovendien neemt de afvoer bij T=10 situaties voor het Peizerdiep en voor T=100 situaties bij het Eelderdiep en de Schipsloot toe waardoor maatgevende afvoeren voor het Peizerdiep toekomstig een kleinere veiligheidsmarge bevatten.

5 Discussie

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de volledigheid en betrouwbaarheid van dit onderzoek. Hiervoor wordt het gebruikte model behandeld met aanpassingen die zijn doorgevoerd in de modelschematisatie. Vervolgens wordt ingegaan op de aannames met betrekking tot de nauwkeurigheid van de modelresultaten, waarna de beperkingen van de uitgevoerde stochastenmethode worden beschreven. Tot slot wordt de aannemelijkheid van de gesimuleerde debietwaarden toegelicht.

Volledigheid en betrouwbaarheid modelschematisatie

Er is gebruikgemaakt van het boezemmodel in SOBEK met het watersysteem van waterschap Noorderzijlvest. In het verleden is kalibratie van het model uitgevoerd waarna tussentijds ook aanpassingen zijn doorgevoerd in het watersysteem en het model. Deze tussentijdse aanpassingen zorgen voor een afwijking in de simulatiewaarden ten opzichte van de werkelijkheid. Hiernaast is het onderzoeksmodel gebaseerd op een waterbalans waarbij een vijftal van parameters is beschouwd. Verder vindt een afwijking van de modelschematisatie plaats ten opzichte van een werkelijke afvoersituatie door aspecten als begroeiing en wind. Deze aspecten zijn niet opgenomen in de instellingen van SOBEK omdat het complexe processen betreft waarvoor de schematisering apart dient te worden ingericht. Door een nauwkeurigere waterbalans op te stellen en/of parameters voor begroeiing en wind mee te nemen in de schematisatie is vollediger waarbij gesimuleerde debietwaarden betrouwbaarder kunnen zijn.

Nauwkeurigheid van modelresultaten

Binnen het gebruikte onderzoeksmodel is waargenomen dat het geheel van gesimuleerde afvoerwaarden afwijkt van de afvoerwaarden bij de debietmeetpunten. Er is voor een benadering en vergelijking van waargenomen debieten gekozen door een waterbalans op te stellen en vervolgens vernieuwde kwelwaarden aan het onderzoeksgebied toe te wijzen. Hoewel de huidige waterbalans op vijf parameters is gebaseerd, is het zeer waarschijnlijk dat afvoer binnen het beekdalgebied, zeker tijdens zomerperiodes, vanuit bovenstroomse inlaten wordt verzorgd. Deze inlaten zijn momenteel niet opgenomen in het boezemmodel.

Voor modelvalidatie aan de hand van een watersysteemanalyse is gebruikgemaakt van meetreeksen van twee jaar met uurgegevens van het KNMI meetstation Eelde, dat zich binnen het onderzoeksgebied bevindt. Deze meetreeksen zijn gebruikt als input voor het onderzoeksmodel, waarbij gesimuleerde debietwaarden zijn vergeleken met waargenomen debietwaarden van de debietmeetpunten voor de periode van 3 september 2015 tot en met 3 september 2017. Opgemerkt kan worden dat de neerslag en verdamping die gebaseerd zijn op de meetreeksen van het meetstation Eelde, in werkelijkheid niet voor iedere locatie binnen het onderzoeksgebied gelden. Tijdens dit onderzoek bleek het niet mogelijk te zijn om via de website Meteobase.nl neerslag en verdamping in de vorm van rasterdata voor de geselecteerde onderzoeksperiode en het betreffende onderzoeksmodel te exporteren. Gebruik van nauwkeurige meetreeksen, bijvoorbeeld gebaseerd op radargegevens, leidt tot een nauwkeurigere debietbenadering bij de debietmeetpunten.

Om het verband tussen de werkelijke en gemeten piekafvoeren te benaderen wordt in dit onderzoek onder andere gebruikgemaakt van de uitgangspunten van een watersysteemanalyse waarbij niet specifiek wordt ingegaan op afvoerpieken. Zo gaan bijvoorbeeld de NSE-coëfficiënt en de cumulatieve afvoer in op de benadering van de afvoer over een volledige tijdsperiode. De resultaten van deze uitgangspunten kunnen een vertekend beeld geven van de werkelijke modelnauwkeurigheid tijdens extreme afvoersituaties. Het is daarom van belang dat analysemethoden voor stresstesten worden afgestemd op de beoogde doeleinden.

Beperkingen stochastenmethode

Een beperking van dit onderzoek is dat het bij een SOBEK stresstesttoepassing niet mogelijk bleek om het totale extra afvoerverschil te bepalen dat binnen een gebied extra wordt afgevoerd voor een klimaatscenario ten opzichte van een huidige situatie. Deze benadering zou inzicht geven in de aanvullende maatregelen die vanuit het beekdalgebied noodzakelijk zijn bij een specifiek klimaatscenario. De stochastenmethode, die in dit onderzoek is gebruikt, is hiervoor niet geschikt omdat afvoeren bij buien met een bepaalde herhalingstijd niet individueel met elkaar kunnen worden vergeleken. Als de in de stochastentool gespecificeerde 'stochast buivolumes' met neerslaghoeveelheden voor een huidige situatie en een klimaatscenario gerelateerd zouden zijn aan identieke herhalingstijden, dan zou deze vergelijking mogelijk zijn.

Aannemelijkheid gesimuleerde debietwaarden

Ten slotte is het lastig om de juistheid van gesimuleerde extreme situaties met de stochastenmethode in te schatten naarmate de herhalingstijden hoger worden. Op basis van afwijkingen uit afvoerplots en duurlijnen zijn uit de watersysteemanalyse modelafwijkingen bij debietmeetpuntlocaties afgeleid voor extreme debietwaarden. Deze modelafwijkingen zijn in hoofdstuk 4.7.2 gecombineerd met gesimuleerde debieten bij klimaatverandering, om zo modelwaarden te vertalen naar voorspelde debietwaarden. Verondersteld is dat deze afwijkingen bij extremere situaties constant zijn. Het is aannemelijk dat debietafwijkingen uit de watersysteemanalyse (van 3 m³/s voor het Eelderdiep en 0,75 m³/s voor de Schipsloot) voor een periode van twee jaar verder veranderen voor extremere afvoeren met herhalingstijden van tien en honderd jaar.

6 Conclusie en aanbevelingen

De doelstelling van dit onderzoek is dat inzicht wordt gegeven in de toepasbaarheid en het gebruik van stresstesten voor het Drentse beekdalgebied van waterschap Noorderzijlvest, door toepassingsmogelijkheden met SOBEK te inventariseren en vervolgens een onderzoeksrichting uit te werken. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op bevindingen en aanbevelingen voor de onderzoeksdoelstelling aan de hand van resultaten en de discussie. Per deelvraag wordt binnen dit hoofdstuk ingegaan op de aanbevelingen en resultaten van dit onderzoek.

- Hoe wordt verwacht modelmatig een invulling te geven aan stresstesten gericht op waterkwantiteit voor droogte en wateroverlast?

Uit interviews en het bijgewoende risicodialoog komt naar voren dat inmiddels verschillende effecten door middel van klimaatstresstesten zijn te benaderen. Afhankelijk van gebied specifieke problematiek of beleid (strategieën, omgevingsvisies, plannen) kan een aanvullende toetsing worden uitgewerkt. Toepasbaarheid van toetsingsmethodieken is hierbij afhankelijk van de opgenomen modelinrichting in SOBEK. Zo is een modelmatige benadering van klimaateffecten in het verleden toegespitst op situaties van wateroverlast waarbij extreme waterstanden en inundatie voor oppervlaktewater worden verkregen voor vastgestelde herhalingstijden.

- Welke toetsingsmethodiek is geschikt bij beoordeling van SOBEK voor de uitvoer van stresstesten?

Op basis van de uitgevoerde inventarisatie zijn zowel de stochastenmethode en de tijdreeksmethode geschikt voor de uitvoer van stresstesten in landelijk gebied. Voor beide methoden is het mogelijk om een afweging te maken tussen een wenselijke nauwkeurigheid en een praktisch haalbare rekentijd. De ontwerpmethodode wordt voor een watersysteemoetsing gezien als een toetsingsmethode die voor stedelijk gebied wordt toegepast. Deze methode werd voor de stresstest van de gemeente Groningen (bijlage A) toegepast voor benadering van wateroverlast bij een korte neerslagduur. Lange neerslagduur is voor het stedelijk gebied niet onderzocht. Voor landelijk gebied geeft de ontwerpmethodode geen nauwkeurige weergave van herhalingstijden bij extremen.

Aan de hand van gedefinieerde onderzoeksmethodes voor een standaard werkwijze voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast (STOWA, 2011) is het mogelijk om de ontwikkeling van debietwaarden te inventariseren als benadering van extreem oppervlaktewater. Hierbij wordt gebruik van zowel de stochastenmethode als de tijdreeksmethode aanbevolen bij afleiding van herhalingstijden waarbij wateroverlast optreedt.

Het benadering van waterstanden en debietwaarden bij extreme droogte is op basis van huidige modelinstellingen niet mogelijk. Uit het onderzoek komt verder naar voren dat voor een SOBEK droogte benadering in de praktijk aanvullende modelaanpassingen vereist. Voor het uitbreiden van mogelijke onderzoeksrichtingen van stresstesten wordt aanbevolen om ook voor benadering van droogte de modelschematisatie in te richten. Toepasbaarheid van een 'ontwerpbuimethode' voor droogte is hiervoor geschikt waarbij bijvoorbeeld een inzicht kan worden verkregen in de effecten van een toenemend aantal opeenvolgende droge dagen.

- In hoeverre en waardoor verschillen gesimuleerde debieten met gemeten debieten in de Schipsloot, het Eelderdiep en het Peizerdiep?

Uit de opgestelde watersysteemanalyse kan worden afgeleid dat het onderzoeksmodel extreme gemeten debieten voor het Peizerdiep nauwkeurig benadert. Gesimuleerde debietwaarden bij het Eelderdiep en de Schipsloot toonden een significant verschil met metingen, waardoor op basis van gemeten debieten een constant modelverschil is afgeleid in paragraaf 4.6. Zoals beschreven in de discussie, wordt verwacht dat deze debietverschillen zijn toe te wijzen aan afwijkingen in de

opgenomen modelinput waarbij afvoerwater vanuit bovenstroomse inlaten, neerslag en kwel nauwkeuriger kan worden benaderd.

- Wat is het gesimuleerde effect van geselecteerde randvoorwaarden voor een stresstestanalyse op debietverandering in 2050?

Met deze benadering is een inzicht gegeven in de toekomstige stress in de vorm van debiettoename in het Drentse beekdalgebied van waterschap Noorderzijlvest. Uit dit onderzoek geeft de stochastenmethode een relatief lage invloed op debietwaarden weer door klimaatveranderingen. Extreme afvoeren variëren niet zo sterk als in eerste instantie kan worden verwacht op basis van klimaatveranderingen. Voor het Wl en Wh klimaatscenario blijkt uit simulaties dat door klimaatverandering extreme afvoeren bij debietmeetpunten in het beekdalgebied gemiddeld met drie tot vier procent toenemen. Hierbij voldoet bovendien op basis van gedefinieerde voorspellingen een maatgevende afvoer waarde van 1,2 l/ha/s voor het Eelderdiep en de Schipsloot niet als benadering voor zowel een huidige extreme afvoer als voor de afvoer voor het jaar 2050.

Binnen dit onderzoek is een inschatting gemaakt van de omvang waarin toekomstig aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn. Door identificering van debietveranderingen wordt aanbevolen om voor het jaar 2050 rekening te houden met een hogere maatgevende afvoerwaarde vanuit Drenthe. Door communicatie van stresstesten met belanghebbenden is het verder mogelijk het effecten en problematiek van deze debiettoename inzichtelijk te maken en eventueel, aan te sluiten op vastgestelde beleidsambities om voorspelde afwenteling van debieten te voorkomen.

7 Bibliografie

- Adviescommissie Water. (2017). *Advies Wateroverlast*. doi:AcW-2017/11371
- Arcadis. (2014). *Maatregelen-Studie Droge Voeten*.
- Bosch, S. (2010). *Inleiding stochastentool*. Opgeroepen op juni 11, 2018, van Hydroconsult: <http://www.hydroconsult.nl/level3pages.php?f=siebebosch&pageid=12878>
- Bosch, S., & Gooijer, J. (2011). Uitbreidingen op de nieuwe neerslagstatistiek. H2O Waternetwerk.
- Bot, B. (2016). Grondwaterzakboekje. In B. Bot, *Gwz 2016* (pp. 22,118).
- Egging, M., Bos, H., van Veelen, T., & Grutters, J. (2017). *Handreiking gestandaardiseerde stresstest light*. Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptie.
- Haskoning Nederland B.V. (2012). *Watersysteemanalyse voor de polders NBW, Spijksterpompen en Electraboezem*. doi:9V9242/R/903589/Amst
- Het Waterschapshuis. (2018). *Toetsingsdata*. Opgeroepen op Juni 6, 2018, van Meteobase: <http://meteobase.nl/>
- Hydroconsult. (2015). Werkboek Hoogwatertoetsing. In S. Bosch, *Syllabus rekenen aan oppervlaktewater* (p. 20).
- Kennisportaal Ruimtelijke Adaptie. (2018a). *Nationale klimaatadaptatiestrategie 2016 (NAS)*. Opgeroepen op april 16, 2018, van Ruimtelijke adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/nas/>
- Kennisportaal Ruimtelijke Adaptie. (2018b). *Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie 2018*. Opgeroepen op mei 19, 2018, van Ruimtelijke adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/deltaplan-ra/>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2015). *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland*.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2018). *Basisgegevens*. Opgeroepen op April 30, 2018, van Meteobase: <http://meteobase.nl>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Nationale Klimaatadaptatiestrategie 2016 (NAS)*.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017). *Deltaprogramma 2018*. doi:DC-2017/898
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2000). *Waterbeleid in de 21e eeuw*.
- Prinsen, G. (2013). *Achtergronddocument Landelijk Sobek Model*.
- Provincie Drenthe. (2013). *Beekdalenvisie 2030*.
- Provincie Drenthe. (2018). *Beleidsksten ontwerp-Omgevingsvisie Drenthe 2018*.
- Rijksoverheid. (2017). *Waterbeheer in Nederland*. Opgeroepen op april 22, 2018, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/water/waterbeheer-in-nederland>
- STOWA. (2004). *Statistiek van extreme neerslag in Nederland, uitwerking neerslagpatronen*.
- STOWA. (2011). *Standaard werkwijze voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor Regionale Wateroverlast*.

Bijlage A Klimaatstresstest gemeente Groningen

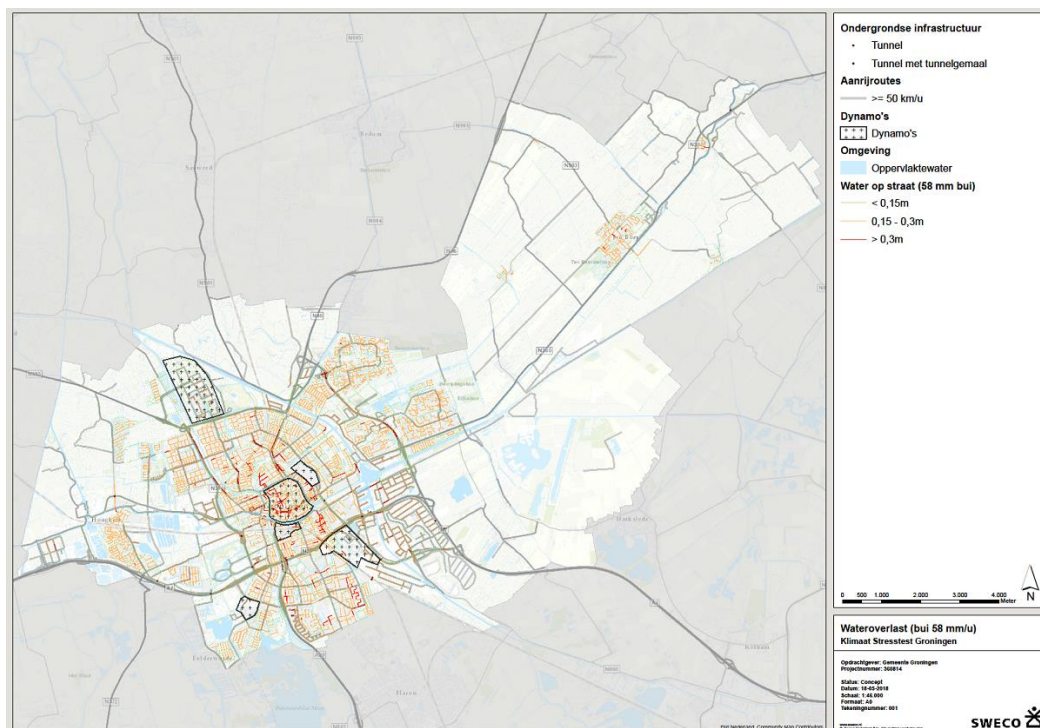
24 mei 2018 is een risicodialoog bijgewoond met de sector water en ruimte als onderdeel van de stresstesten voor het jaar 2050 door de gemeente Groningen. Door Martin Haan van ingenieursadviesbureau Sweco zijn in het stedelijk gebied, risico's van klimaateffecten gecommuniceerd met belanghebbenden vanuit waterschap Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en de provincie Groningen. Tijdens dit risicodialoog is ingegaan op veranderingen die kunnen ontstaan ten gevolge van hitte, overstroming en wateroverlast. Het thema wateroverlast wordt binnen dit hoofdstuk toegelicht.

Wateroverlast

Tijdens het risicodialoog is verwachte wateroverlast bij ontwerpbuizen besproken. Door grote oppervlaktes verharding gecombineerd met een riolering die grote hoeveelheden neerslag niet kan verwerken treedt in stedelijk gebied, wateroverlast op door extreme neerslag in korte perioden waarbij de riolering overbelast raakt. De schade die kan ontstaan door wateroverlast in gebouwen en door water op straat is onderzocht.

Keuze ontwerpbui

Berekeningen voor wateroverlast zijn door Sweco uitgevoerd met Tygron Engine waarbij ontwerpbuizen van een uur zijn doorberekend op het gebied van de gemeente Groningen (zie onderstaande figuur). Buizen karakteriseren hierbij een herhalingstijd van 100 jaar gebaseerd op het huidige klimaat, bij 58mm en een situatie voor 2050 van 73mm bij extreme klimaatverandering. Ook is tijdens het dialoog gesproken over een 111mm bui, met een herhalingstijd van 250 jaar.



Figuur 23: Water op straat voor de gemeente Groningen bij een ontwerpbui van 58mm

Opmerkingen

Bij benadering van kaartgegevens is ingegaan op problematiek binnen de door de gemeente aangewezen dynamo's, ofwel prioriteitsgebieden van de stad. Gebied specifieke overlastsituaties zijn hierbij gekoppeld aan mogelijke oorzaken van problematiek of gemodelleerde onnauwkeurigheid (bv. Mogelijke aanwezigheid van woonboten op de hoogtekaart). Ook zijn eventuele aanvullende risico's gerelateerd aan wateroverlast door grondwater besproken zoals ondergelopen kruipruimtes (Oosterpoort, Hondsrug) bij stijgende grondwaterstanden. Deze invloed lijkt nog niet te kunnen worden gerelateerd als toenemend fenomeen door klimaatverandering. Bij analyse van kaartgegevens is aangegeven door Martin Haan dat door wisselingen van grondwaterstanden ook rekening kan worden gehouden met aspecten als schade aan houten paalfunderingen.

Naast bepaling voor wateroverlast door oppervlaktewater in stedelijk gebied zijn tijdens het risicodialoog zorgen geuit met betrekking tot de effecten van neerslag in het regionale gebied gericht op overlast en afvoer. - Als antwoord zijn vanuit waterschap Hunze en Aa's bestaande NBW normen ter sprake gebracht met huidige bergingsgebieden die kunnen worden ingezet tijdens periodes met extreme neerslag.

Bijlage B Inventarisatie hydrologen

In dit hoofdstuk wordt het bezoek aan twee hydrologen die werkzaam zijn bij waterschap Noorderzijlvest uitgewerkt. Alle relevante opmerkingen die zijn gemaakt tijdens interviews worden in dit hoofdstuk beschreven.

1) *inzichtelijkheid van wateroverlast*

Hydroloog A. Roelvink: ‘Het is aannemelijk dat door klimaatverandering, de problematiek door wateroverlast en droogte toeneemt in de toekomst. Effecten van klimaatverandering zijn in de praktijk vaak te complex om op een gewenste wijze te vertalen naar bestuurders. Dit heeft te maken met de bandbreedte van voorspellingen, waarbij rekening moet worden gehouden met afwijkingen door onzekerheden in modelschematisaties met verschillende klimaatscenario’s. In de praktijk wordt daarom een afweging gemaakt met bijvoorbeeld een enkel maatgevend klimaatscenario dat kan worden gebruikt voor de toekomstbenadering.’

2) *Oppervlaktewater*

- Wateroverschot

A. Roelvink: ‘Stresstesten voor bebouwd gebied veroorzaken vaak enorme wateroverlast. Door veel bebouwing en een beperkte capaciteit van riolering, blijft neerslag op straat liggen en kan het niet door de grond wordt opgenomen. Voor landelijk gebied, waar in mindere mate sprake is van verharding, wordt voor meerdere jaren getoetst op wateroverlast aan de hand van een NBW-toetsing. Verder inzicht in wateroverlast – naast deze toetsing – kan wellicht worden behaald door de benadering van extremere situaties, zoals de zomerse buien in 2016 in Brabant (*waarbij in korte tijd tot 100mm neerslag viel*). Hoewel de waterschappen destijds in principe niet anders konden handelen om de schade te beperken, was hier zeker sprake van een maatschappelijk verantwoordelijkheidsgevoel. Er is vaak onvoldoende bewustzijn van risico’s. Ook is er te weinig kennis van maatregelen waarmee deze risico’s zelf kunnen worden beperkt. Toegevoegde waarde zou daarom door stresstesten kunnen worden gecreëerd, door te voorzien in voorlichting of door inzichten te bieden in de effecten van wateroverlast.’

- Watertekort

Hydrologen E. Dumont en A. Roelvink: ‘In het beheersgebied van Noorderzijlvest is tijdens droge extreme zomerperioden extra aanvoer van water mogelijk ter hoogte van Smilde en Gaarkeuken door aanvoer vanuit het IJsselmeer. Als deze aanvoer door aanhoudende droogte niet beschikbaar is, zal in landelijk gebied – afhankelijk van de bodemsoort – door neerslagtekort schade optreden aan natuur en landbouw. Zolang zoetwater vanuit het IJsselmeer kan worden aangevoerd, schetst een afgebakende modelbenadering van droogte vaak geen reëel beeld van de werkelijke droogte.’

3) *Grondwater*

E. Dumont: ‘Bij de toekomstbenadering van grondwater wordt gebruik gemaakt van de software MIPWA (Methodiekontwikkeling Interactieve Planvorming ten behoeve van het Waterbeheer). Hiermee wordt de invloed van maatregelen verkend, aan de hand van de historische neerslagwaarden van de periode 2000-2011. Met behulp van MIPWA kunnen gevoeligheidskaarten worden gemaakt van plangebieden. De verwachte ontwerpperiode van tien jaar, wordt gehanteerd als basis voor toekomstige grondwaterstanden en veranderingen in kwel en inundatie. Grondwaterstanden in de vorm van GHG of GLG (drie hoogste en laagste jaarlijkse extremen van een hydrologisch jaar) worden hiermee in kaart gebracht. Modeloutput kan momenteel nog niet worden doorgerekend voor klimaatscenario’s.’

A. Roelvink: 'Het is mogelijk om bijvoorbeeld aan de hand van grondwatermeetpunten, gegevens te verzamelen voor het krijgen van inzicht in de ontwikkeling van grondwater. Veranderingen in meetreeksen kunnen hierbij worden geanalyseerd.'

4) Functionaliteit van SOBEK

A. Roelvink: 'De toegevoegde waarde van aanvullende toetsing – naast de verplichtte NBW-toetsing (Nationaal Bestuursakkoord Water) voor wateroverlast in landelijk gebied, gerelateerd aan grondgebruik – lijkt in de praktijk beperkt. Gericht op toepassing met SOBEK, is het mogelijk om te kijken naar hevigere extreme neerslagsituaties.'

A. Roelvink: 'Een droogtebenadering voor oppervlaktewater, kan worden toegepast om een indicatie te krijgen van de ontwikkeling van afwatering en de impact op waterstanden. Bij benadering van droogte is de schaalgrootte van de analyse erg belangrijk. Een afbakening is noodzakelijk bij de inlaten van het gebied van Noorderzijlvest. Hierbij kan een mogelijk uitgangspunt zijn dat wordt uitgegaan van een basisinlaat, of geen inlaat vanuit buitengebieden. Ook is het mogelijk dat aanvullingen in de modelschematisatie nodig zijn om tijdens droge perioden verdamping en neerslag in kaart te brengen.'

A. Roelvink en E. Dumont: 'Hoewel een benadering van grondwaterstanden met SOBEK mogelijk is, is SOBEK als oppervlakte-afvoermodel niet geschikt om een nauwkeurig beeld van grondwater te schetsen. Dit komt omdat één grondwaterstand wordt bepaald voor een geheel gebied, waarin zich in werkelijkheid veel variaties voordoen. Binnen SOBEK vindt bovendien geen interactie plaats met diepe grondlagen.'

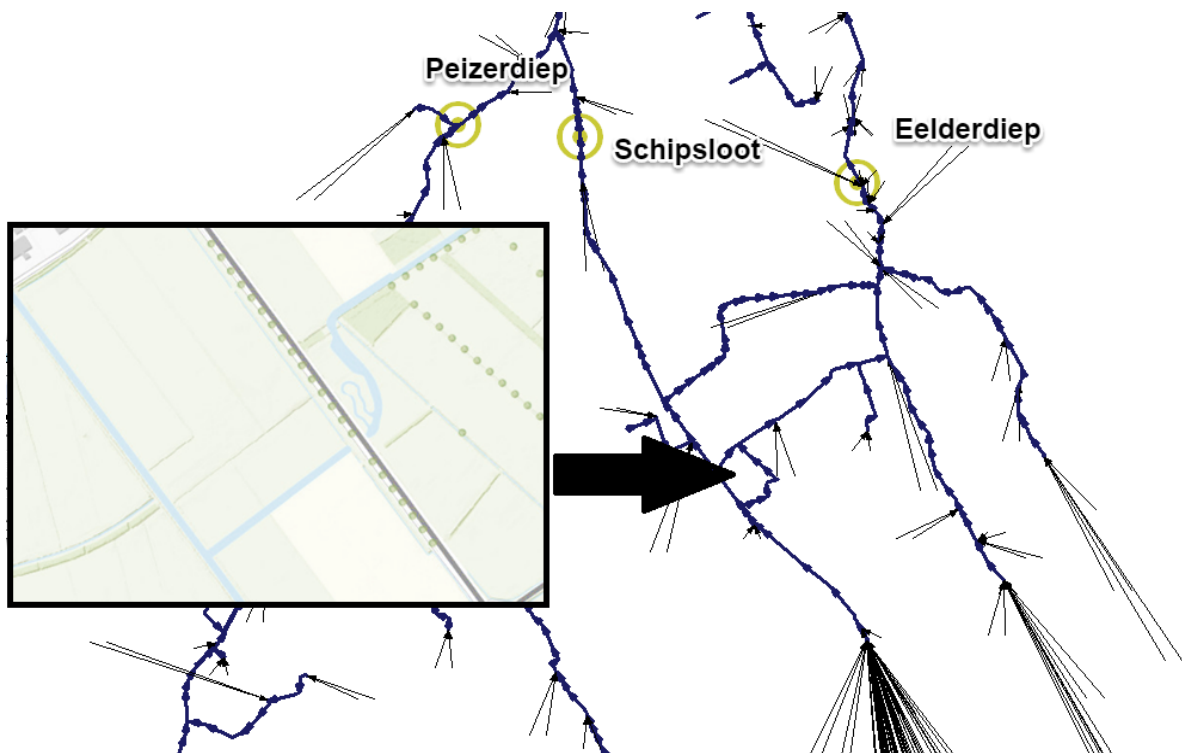
Bijlage C Modelaanpassingen onderzoeksmodel

Tijdens de modelinspectie werd duidelijk dat in het boezemmodel geen interactie plaatsvindt tussen de Schipsloot en het Eelderdiep. Door de inspectie van de stuwgegevens werd duidelijk dat dit in werkelijkheid wel het geval is. Een overschot van neerslag werd in het oorspronkelijke model door een instelling voor een stuw enkel afgevoerd richting de Schipsloot.

Initiële modelactualisatie

Aanpassingen zijn aangebracht in het uitgeknipte model waarbij de modelschematisatie is aangepast, hierbij is:

1. Een recentelijke gebouwde stuw ingetekend in het onderzoeksmodel op de aangegeven locatie in de onderstaande figuur.
2. Interactie tussen de bovenstroomse gebieden van het Eelderdiep en de Schipsloot voor de stuwen ingeschakeld.
3. Het streefpeil ingesteld op een actueel winter en zomer streefpijl van 2,2m NAP op basis van maatgevende streefpeilen.



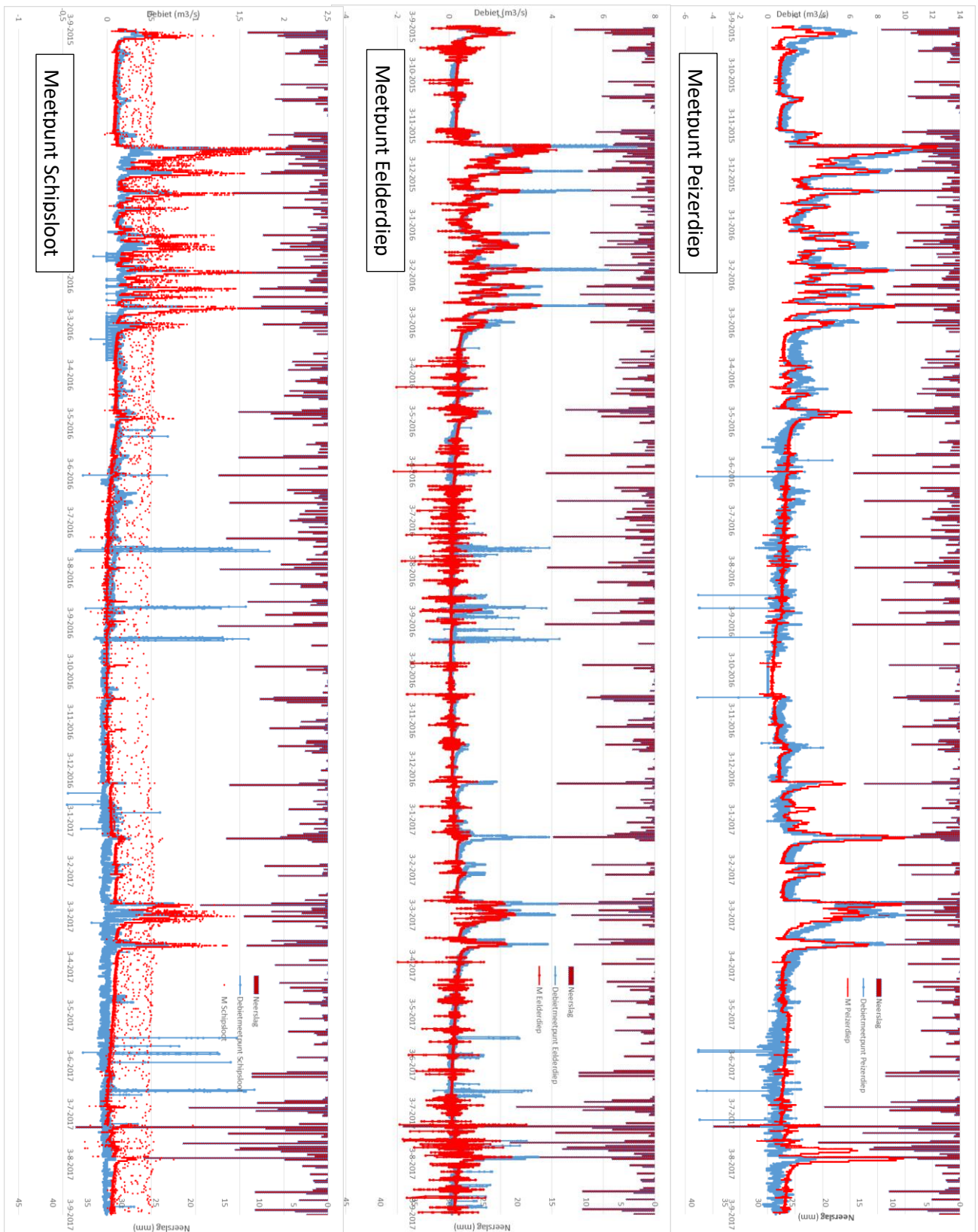
Figuur 24: De SOBEK schematisatie, links de locatie van de in het model aangebrachte stuw

Modelactualisatie na het opstellen van een waterbalans

Als uitkomst van de opgestelde waterbalansen zijn aan de 188 unpaved gebieden nieuwe kwelwaarden toegewezen. Kwelwaarden van 0,68 mm/dag (Peizerdiep) en 0,14 mm/dag (Schipsloot en Eelderdiep) zijn toegewezen aan de modelschematisatie voor de bovenstrooms gelegen gebieden vanaf de debietmeetpunten.

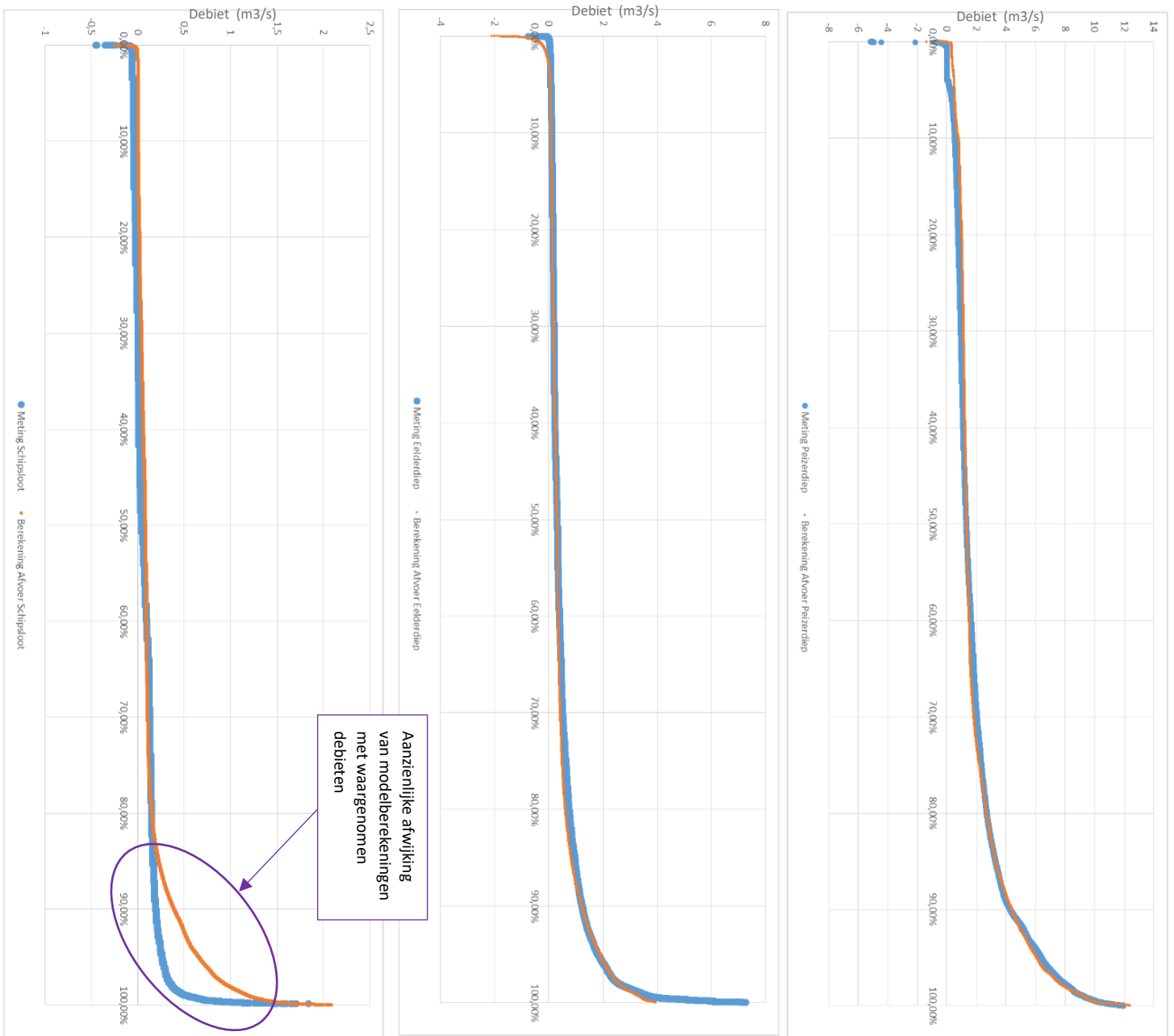
Bijlage D Watersysteemanalyse

Afvoerplot op jaarbasis



Figuur 25: Afvoerplots met gemodelleerde debietwaarden (rood) en historische meetdata (blauw) en neerslagdata (donkerrood)

Duurlijnen ter benadering van het debietverloop



Figuur 26: Duurlijnen met een weergave van de modelbenadering met gemodelleerde debieten (rood) en historische meetdata (blauw)

Bijlage E Toelichting rekenmodel stochasten

Voor dit onderzoek is in kaart gebracht in welke mate debietwaarden door extreme neerslagsituaties veranderen tijdens extreme buiperiodes. In deze paragraaf worden de uitgangspunten toegelicht, met betrekking tot het rekenmodel (De Nieuwe StochastenTool versie 1.0.29). Voor het opstellen van stochasten zijn de tabbladen Volumes, Patronen, en Grondwater gebruikt. De 256 (16x4x4) unieke ontwerpbuizen beschrijven min of meer het gehele spectrum van de mogelijke ontwikkeling van extreme debietwaarden. Voor de uitvoer van stochastenberekeningen is een reductiefactor toegepast voor het onderzoeksgebied (zie hiervoor Bijlage F Reductiefactor voor neerslag). Bovendien is gebruik gemaakt van een beginwaterstand (zie Bijlage G Buibestand voor stochastenbenadering)

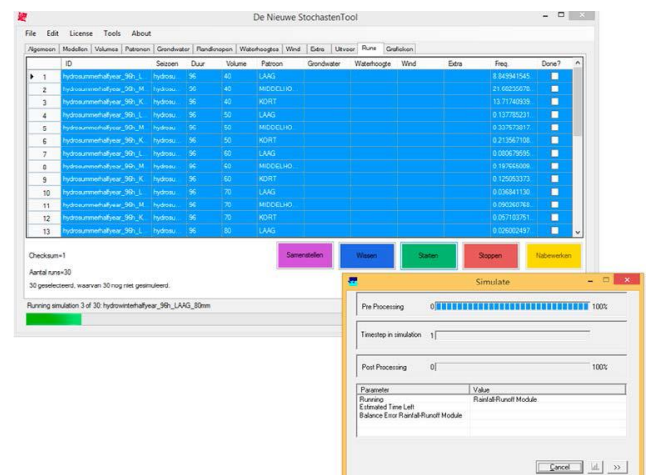
Stochastentool

De stochastentool wordt ingezet om op basis van bekende herhalingsstijden buien door te rekenen in het SOBEK-onderzoekmodel. Door de waterstanden te bepalen bij verschillende herhalingsstijden, kan vervolgens worden bepaald wat de invloed is van extreme neerslagsituaties. Hierbij wordt verondersteld dat stochasten onafhankelijk van elkaar zijn en het plaatsvinden van de een dus niet wordt beïnvloed door een andere. De stochasten als statistisch onafhankelijke variabelen kunnen hierdoor met elkaar worden vermenigvuldigd als benadering van een optreedkans. Voor dit onderzoek zijn stochasten zijn geselecteerd voor:

1. buivolume;
2. buipatroon;
3. initiële grondwaterstand.

1. Stochast buivolume

Voor de stochasten kunnen verschillende buivolumes worden geselecteerd. Neerslagvolumes binnen de stochastentool zijn gebaseerd op neerslagduurlijnen zoals te zien in Figuur 29. Volumes bij herhalingsstijden zijn hierbij omgezet naar overschrijdingskansen met een neerslagverschil van 5mm. De opgenomen neerslagvolumes variëren, afhankelijk van de gekozen bui-duur en het verwachte door te rekenen (klimaat)scenario. Bij selectie van volumes is gekozen voor zestien buivolumes van 80-160mm met een herhalingsstijd tussen de 0,5 en 200 jaar. Deze selectie is gemaakt op de basering voor hoogwatertoetsing waarbij gebruik van minimaal 14 buivolumes wordt geadviseerd.

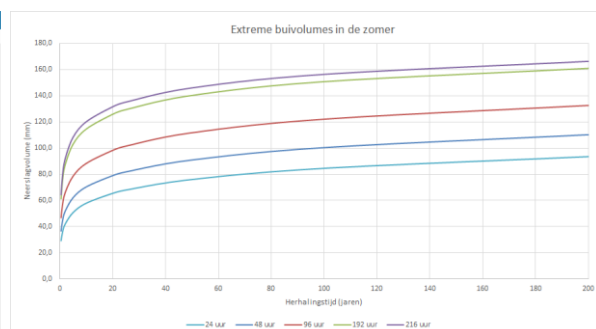


Figuur 27: Voorbeeld van de stochastentool (Hydroconsult, 2015)

Zomer	VOLUME	GL2050	USE	KANS
<input type="checkbox"/>	50	0.07263626311	<input type="checkbox"/>	0
<input type="checkbox"/>	55	0.08533206633	<input type="checkbox"/>	0.24524023602
<input type="checkbox"/>	60	0.09526206433	<input type="checkbox"/>	0.08526206433
<input type="checkbox"/>	65	0.076417128258	<input type="checkbox"/>	0.076417128258
<input type="checkbox"/>	70	0.063734157389	<input type="checkbox"/>	0.063704157389
<input type="checkbox"/>	75	0.05022342546	<input type="checkbox"/>	0.05022342546
<input type="checkbox"/>	80	0.03719189137	<input type="checkbox"/>	0.03719189137
<input type="checkbox"/>	85	0.023617832661	<input type="checkbox"/>	0.023617832661
<input type="checkbox"/>	90	0.021409375130	<input type="checkbox"/>	0.021409375130
<input type="checkbox"/>	95	0.015638401828	<input type="checkbox"/>	0.015638401828
<input type="checkbox"/>	100	0.011351030011	<input type="checkbox"/>	0.011351030011
<input type="checkbox"/>	105	0.00820555841	<input type="checkbox"/>	0.00820555841
<input type="checkbox"/>	110	0.00554049629	<input type="checkbox"/>	0.00554049629

Winter	VOLUME	GL2050	USE	KANS
<input type="checkbox"/>	40	0.020938898991	<input type="checkbox"/>	0.020938898991
<input type="checkbox"/>	45	0.02473965995	<input type="checkbox"/>	0.02473965995
<input type="checkbox"/>	50	0.016877706456	<input type="checkbox"/>	0.016877706456
<input type="checkbox"/>	55	0.011428268542	<input type="checkbox"/>	0.011428268542
<input type="checkbox"/>	60	0.00746299055	<input type="checkbox"/>	0.00746299055
<input type="checkbox"/>	65	0.00573228904	<input type="checkbox"/>	0.00573228904
<input type="checkbox"/>	70	0.00328444236	<input type="checkbox"/>	0.00328444236
<input type="checkbox"/>	75	0.00221829104	<input type="checkbox"/>	0.00221829104
<input type="checkbox"/>	80	0.001471148232	<input type="checkbox"/>	0.001471148232
<input type="checkbox"/>	85	0.00097988139	<input type="checkbox"/>	0.00097988139
<input type="checkbox"/>	90	0.00048878917	<input type="checkbox"/>	0.00048878917
<input type="checkbox"/>	95	0.00042868194	<input type="checkbox"/>	0.00042868194
<input type="checkbox"/>	100	0.000291438453	<input type="checkbox"/>	0.000291438453

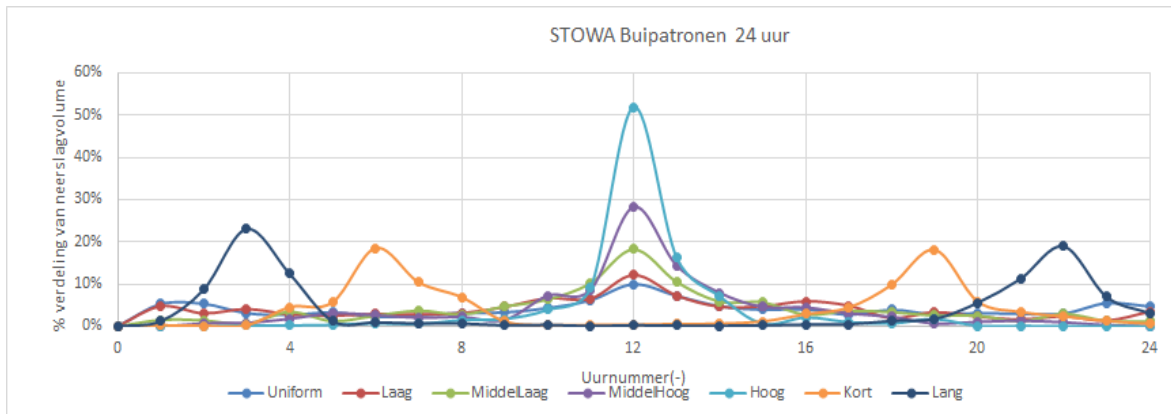
Figuur 28: Buivolumes van de stochastentool



Figuur 29: Extreme buivolumes in de zomer, gebaseerd op toetsingsdata met het huidige klimaat (Het Waterschapshuis, 2018)

2. Stochast buipatroom

Zeven buipatronen zijn in het STOWA-rapport 'Statistiek van extreme neerslag in Nederland' opgesteld voor buien van twee uur tot negen dagen (STOWA, 2004). De verdeling van het neerslagvolume is hierbij aangegeven op de verticale as, de onderstaande figuur geeft weer welk percentage van een bui ieder uur wordt verdeeld.



Figuur 30: Neerslagverloop voor de zeven gedefinieerde buipatronen (STOWA, 2004)

Bui patronen hebben elk een verschillende kans op plaatsvinden. Deze kansen zijn in 2011 geactualiseerd aan de hand van een zomerse en een winterse kansverdeling (Bosch & Gooijer, Uitbreidingen op de nieuwe neerslagstatistiek, 2011). In de database van de stochastentool deze zijn kansen op buipatronen verwerkt.

De bevindingen uit voorgaande toetsing door Royal HaskoningDHV, zijn dat stochasten met een uniform, middelhoog, hoog en lang neerslagpatroon maatgevend zijn voor de benadering van wateroverlastsituaties (Haskoning Nederland B.V., 2012). Voor dit onderzoek is gekozen om met deze verwachte neerslagpatronen verder te rekenen. Een gevolg van deze selectie van de verwachte extreemste situaties, is dat de optreedkansen voor de overige drie ontwerp buien niet worden meegenomen in de statistiek, maar door de stochastentool worden 'toegewezen' aan geselecteerde ontwerp buien.

Tabel 10: Frequentieverandering van buipatronen voor- en naselectie (buiduur van 96 uur, met als uitgangspunt het huidige klimaat)

Buitype	Buifrequentie	Buifrequentie na selectie
Uniform	8,9%	22,7%
Laag	13,7%	-
Middellaag	12,5%	-
Middelhoog	13,2%	18,3%
Hoog	19,8%	27,3%
Kort	17,9%	-
Lang	13,9%	31,8%

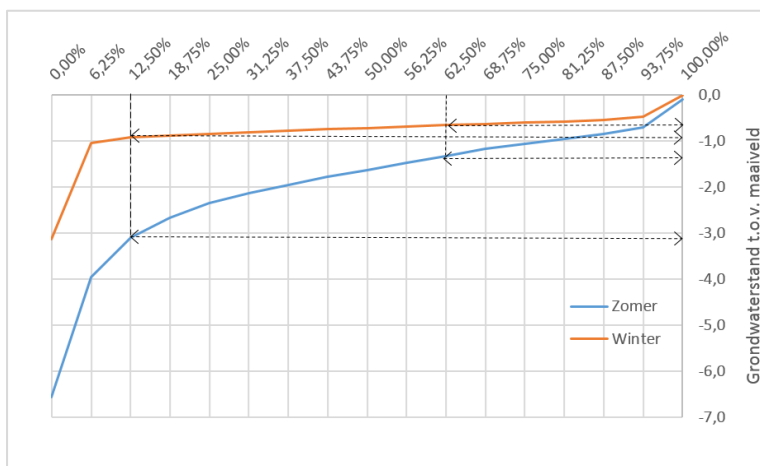
3. Stochast grondwaterstand

Initiële grondwaterstanden als beginsituatie voor berekening van stochasten, zijn berekend voor zowel de zomer- als winterperiode. Hierbij is om praktische redenen, ter beperking van de rekentijd en het aantal stochasten, gekozen voor een indeling in twee klassen: droog en middelnat. De twee representatieve waarden zijn hierbij gebaseerd op de gedachte dat een hogere of lagere grondwaterstand zeldzaam is.

In SOBEK is een jaarrondberekening voor de periode van acht jaar uitgevoerd (1 januari 2010 tot 1 januari 2018), op basis van meetdata voor neerslag en verdamping van het weerstation in Eelde. De grondwaterstanden van 'unpaved gebieden' in het onderzoeksgebied zijn verkregen voor de in de stochastentool gedefinieerde zomer- (maart tot en met oktober) en winterperiodes (november tot en met februari). De verkregen uurdata van grondwaterstanden voor de 188 unpaved gebieden van het onderzoeksgebied, zijn in Excel geïnclassificeerd, met behulp van de percentiefunctie. De berekening van de periode van acht jaar is gehanteerd naar de minimale richtlijnperiode voor bepaling van gemiddelde grondwaterstanden. Deze onderverdeling is vervolgens ingevoerd in de stochastentool waarbij initiële grondwaterstanden aan ieder unpaved gebied zijn toegewezen voor twee zomer- en winterklassen. Hierbij is gekozen voor de volgende vier klassen:

1. zomer, droog [0%-25%], representatieve waarde 12,5%;
2. zomer, middelnat [25%-100%], representatieve waarde 62,5%;
3. winter, droog [0%-25%], representatieve waarde 12,5%;
4. winter, middelnat [25%-100%], representatieve waarde 62,5%.

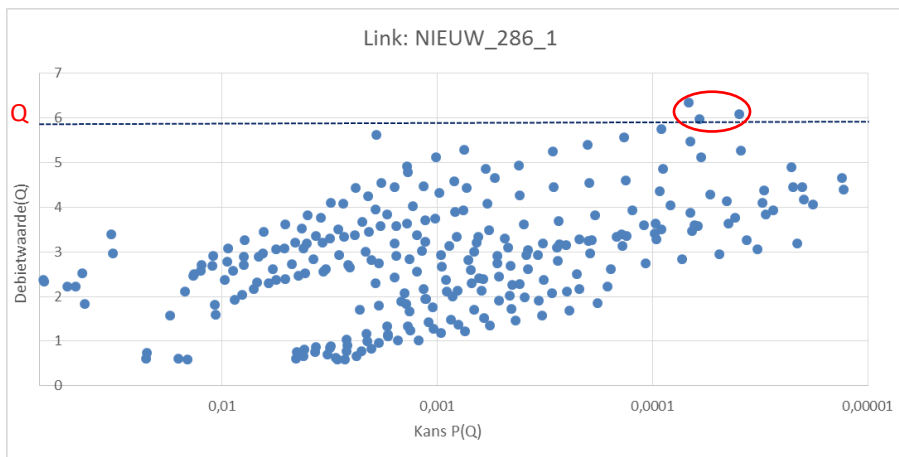
Een benadering van geïnclassificeerde initiële grondwaterstanden is in de onderstaande figuur weergegeven: voor de zomer- en winterperiode bij een zeer droge situatie links (12,5%), en bij middelnatte situatie (62,5%) rechts.



Figuur 31: Classificatie van initiële grondwaterstanden

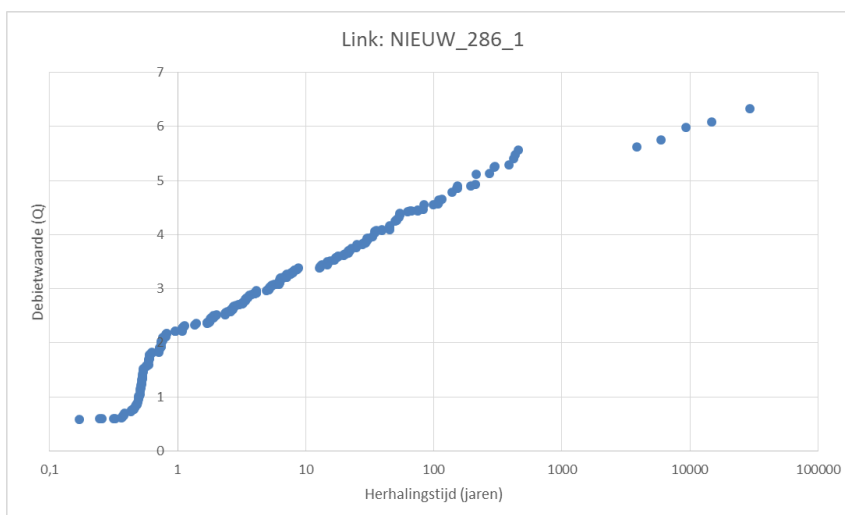
Resultaten stochastenberekeningen

Na de simulatie van de bovenstaande stochasten wordt achter de schermen door de stochastentool een kansdichtheidsfunctie en een debietkans grafiek opgesteld. De statistisch onafhankelijke kansen van optreden voor een bepaald buipatroon, bui-type (tijdens een zomer of wintersituatie), en een initiële grondwaterstand, worden hierbij met elkaar vermenigvuldigd. Zoals in de onderstaande figuur wordt weergegeven, bestaat de overschrijdingskans voor een bepaalde debietwaarde (Q) uit de som van de kansen van stochasten boven deze debietwaarde (Bosch, Inleiding stochastentool, 2010).



Figuur 32: Debiet-kans grafiek van het huidige klimaat met bepaling van een optredkans voor debiet Q

Uit de bovenstaande grafiek volgt een debietherhalingscurve voor een gesimuleerde watergang. Een debietherhalingscurve, zoals te zien is in de onderstaande figuur wordt vervolgens aan de hand van de bovenstaande debiet-kans grafiek opgesteld uit de som van kansen boven een bepaalde debietwaarde.



Figuur 33: Debietherhalingscurve van extreme neerslag

De herhalingstijd van debieten zijn nu per link berekend. Het is van belang om op te merken dat de stochastentool de resultaten vervolgens interpoleert. Interpolatie resulteert in maximale debietwaarden voor $T=10$ en $T=100$ herhalingstijden. Deze resultaten zijn voor verschillende klimaatscenario's weergegeven in hoofdstuk 4.7.1.

Bijlage F Reductiefactor voor neerslag

Om voor het onderzoek extreme debietwaarden te krijgen die ook in een werkelijke situatie kunnen voorkomen is bij uitvoer van de stochastentool rekening gehouden met een reductiefactor van 0.94 voor neerslag die is gebaseerd op eerder onderzoek (Arcadis, 2014). In de praktijk is immers de kans kleiner dat een bui van een zelfde duur en omvang optreedt op een groter gebiedsoppervlakte. Deze reductiefactor heeft betrekking op het totale gebiedsoppervlakte waarover een bui wordt gemodelleerd.

Bijlage G Buibestand voor stochastenbenadering

Voor benadering van initiële waterstanden in het onderzoeksmodel is gebruik gemaakt van een restart file STOCHAST. Door het gebruik van deze restart file liggen oorspronkelijke waterstanden op een rustpeil, dat dicht in de buurt komt van het streefpeil. Door gebruik te maken van deze restart file komt de oorspronkelijke instelling, te vervallen waarbij een basiswaterdiepte in de watergangen wordt gesimuleerd.