22/06/2016

Eindverslag

Het effect van extreem vasthouden in het Nationaal Park Dwingelderveld

Auteur	*Robin de Boer*
Bedrijf	*Waterschap Drents Overijsselse Delta*
Opdrachtperiode	*04/04/2016 – 17/06/2016*

Voorwoord

Voordat ik mijn eindopdracht zal toelichten, wil ik graag een aantal mensen bedanken. Ten eerste PhD-student Anouk Bomers, mijn begeleidster vanuit de Universiteit Twente. Ze was erg oplettend, meelevend en gaf goede tips. Zo probeerde ze de opdracht voor mij wat duidelijker in beeld te krijgen, omdat dat zeker in de eerste paar weken een struikelblok voor me was. Ten tweede Bert Hendriks, mijn begeleider vanuit het Waterschap Drents Overijsselse Delta. In grote lijnen vertelde hij mij over de verschillende doelen van de opdracht. Hij heeft me goed geïntroduceerd en me wegwijs gemaakt bij het waterschap. Iedere keer als we bij elkaar op kantoor zaten, konden we een gaatje prikken om het even over de onderzoeksvragen en de methode te hebben. Als ik niet bij Bert terecht kon, kon ik dat bij collega's, in het bijzonder Hans ter Horst en Sander Verheijen. Allemaal ontzettend bedankt.

Tijdens de Bachelor opleiding Civiele Techniek op de Universiteit Twente ben ik enthousiast geraakt van de water gerelateerde onderwerpen. Mijn interesse voor water in combinatie met natuur heeft me bij waterschap Drents Overijsselse Delta gebracht. Hier zal ik mijn onderzoek uitvoeren over het effect van extreem vasthouden in het Nationaal Park Dwingelderveld op benedenstroomse waterstanden en debieten.

Inhoudsopgave

Voorwoord 1

Structuur van het verslag 4

Samenvatting 5

Onderzoeksdoelen 5

Onderzoeksvragen 5

Resultaten 5

Conclusie 6

1. Inleiding 7

1.1. WDOD 7

1.2. Achtergrond 7

1.2.1. Waterbeleid 21e eeuw (WB21) 7

1.2.2. Nationaal Park Dwingelderveld (NPD) 8

1.2.3. Inrichtingsmaatregelen NPD 10

1.2.4. Huidig sturingsprincipe 13

1.2.5. Extreme neerslag gebeurtenissen 15

1.2.6. Inundatienormen 16

1.3. Aanleiding onderzoek 17

1.4. Onderzoeksdoelen 17

1.5. Onderzoeksvragen 17

1.6. Methode (kort) 17

2. Methode 18

2.1. Effectbepaling 18

2.1.1. Onderzoeksvraag 1 18

2.1.2. Onderzoeksvraag 2 18

2.2. Rol van modellen 19

2.2.1. Gebiedsdekkende model 19

2.2.2. Gekoppelde model 21

2.3. Systeembegrenzing en locatie effectbepaling 22

2.4. Plan van aanpak per deelvraag 23

2.4.1. Buitypes 23

3. Resultaten 25

3.1. Onderzoeksvraag 1 25

3.1.1. Uitkomsten 1a 25

3.1.2. Uitkomsten 1b 26

3.1.3. Uitkomsten 1c 26
3.1.4. Waterstanden overzicht huidige situatie T=x jaar gebeurtenissen 28
3.1.5. Relatieve waterstandsdaling t.o.v. streefpeil Waterleuzen 28
3.2. Uitkomsten onderzoeksvraag 1 29
3.3. Onderzoeksvraag 2 30
3.4. Uitkomsten onderzoeksvraag 2 34
4. Discussie 34
4.1. SOBEK instellingen en beperkingen 35
4.2. Onderzoeksvraag 1 35
4.3. Onderzoeksvraag 2 35
5. Conclusie 37
6. Aanbevelingen 38
7. Bronvermelding 39
8. Lijst met afkortingen 40
Bijlagen 41
Bijlage A: Stochastenmethode 41
Bijlage B: Stuw Waterleuzen 44
Bijlage C: Gekoppelde model 45
Bijlage D: Resultaten 47

Structuur van het verslag

De structuur van het verslag is als volgt:

Samenvatting

In de samenvatting wordt kort ingegaan op de onderzoeksdoelen, de onderzoeksvragen, de resultaten en de conclusies van het onderzoek.

1. **Inleiding**

In de inleiding wordt verteld over Waterschap Drents Overijsselse Delta, de achtergrond, de aanleiding, de onderzoeksdoelen en de onderzoeksvragen. Aan het eind van het hoofdstuk wordt de methode kort op een rijtje gezet.

2. **Methode**

In de methode zijn de effectbepaling, de rol van modellen, de systeembegrenzing en locatie effectbepaling en het plan van aanpak verwerkt.

3. **Resultaten**

In de resultaten worden uitkomsten per deelvraag uitgewerkt.

4. **Discussie**

In de discussie worden beperkingen van modellen beschreven. Daarnaast worden de uitkomsten per deelvraag kritisch beoordeeld. Bovendien worden opmerkelijke resultaten besproken.

5. **Conclusie**

In de conclusie zijn de onderzoeksvragen beantwoord en staat het resultaat van de opdracht beschreven vermeld.

6. **Aanbevelingen**

In de aanbevelingen worden adviezen gegeven richting WDOD met suggesties voor vervolgonderzoek.

7. **Bronvermelding**

Vermelding van alle bronnen die tijdens het onderzoek gebruikt zijn.

8. **Lijst met afkortingen**

Een lijst met alle afkortingen die in het verslag genoemd worden.

Samenvatting

Het Nationaal Park Dwingelderveld, afgekort NPD, is na afronding van de inrichtingsmaatregelen in 2015 een bergingsgebied geworden. Intern is het NPD onderworpen aan verscheidene onderzoeken. Echter de externe koppeling naar benedenstroomse beekdalen is niet gemaakt. De vraag rest nog of het NPD als bergingsgebied benedenstroomse wateroverlast problemen kan verhelpen tijdens verschillende extreme neerslagsituaties.

Het onderzoek zal zich enerzijds richten op het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten. Anderzijds op de effectiviteit van het huidige sturingsprincipe (maximale afvoer 6 mm/dag) tijdens verschillende extreme neerslagsituaties wanneer de waterstand al erg hoog is en de bergingsruimte klein. Daarom zijn de volgende twee onderzoeksdoelen opgesteld.

Onderzoeksdoelen

(1) "Kwantificeren van het effect van de inrichtingsmaatregelen op benedenstroomse waterstanden en debieten"

(2) "Onderzoeken of het huidige sturingsprincipe effectief blijft tijdens verschillende extreme neerslagsituaties wanneer de berging al in een eerder stadium benut is"

Onderzoeksvragen

Vanuit de onderzoeksdoelen kunnen de volgende twee onderzoeksvragen met onderliggende vragen worden afgeleid:

1. *Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten?*

    1a) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=10 jaar gebeurtenis?

    1b) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=100 jaar gebeurtenis?

    1c) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens andere T=x jaar gebeurtenissen?

2. *Blijft het huidige sturingsprincipe effectief tijdens verschillende T=x jaar gebeurtenissen wanneer de berging in een eerder stadium al benut is?*

Resultaten

Het doel van een bergingsgebied is de afvoerpiek afvlakken en wateroverlast voorkomen.
De uitkomsten van onderzoeksvraag 1 zijn uitgedrukt in piekdebietsverlagingen en piekwaterstandsdalingen.

Daarnaast wordt de effectiviteit in onderzoeksvraag 2 beoordeeld aan de hand van drie criteria:
Criterium A: Wel of geen afvoerbeperking door WB21-stuwen langs de randen van het NPD.
Criterium B: Latere of gelijktijdige afvoergolf van natuur en landbouw.
Criterium C: Wel of geen wateroverlast bij stuw Waterleuzen.

Conclusie

De uitkomsten van onderzoeksvraag 1 laten zien dat het effect een piekdebietsverlaging en een piekwaterstandsdaling in de Ruiner Aa, bij stuw Waterleuzen, tijdens alle gesimuleerde extreme neerslagsituaties. Tevens treden er geen wateroverlast problemen op bij stuw Waterleuzen.

De uitkomsten van onderzoeksvraag 2 laten zien dat het huidige sturingsprincipe ineffectief is tijdens verschillende T=x jaar gebeurtenissen wanneer de berging in een eerder stadium al benut is. Tevens treden er geen wateroverlast problemen op bij stuw Waterleuzen.

1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal verteld worden over Waterschap Drents Overijsselse Delta en de achtergrond voor dit onderzoek. Uit de achtergrond volgt de aanleiding, waarna onderzoeksdoelen en -vragen worden opgesteld.

1.1. WDOD

Het onderzoek wordt uitgevoerd in het voormalig kantoor van Waterschap Reest en Wieden in Meppel. Uit een fusie tussen Waterschap Reest en Wieden en Waterschap Groot Salland is op 1 januari 2016 Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) ontstaan. Een fusie is volgens hen beter voor de toekomst van het waterschap. Een groter waterschap is namelijk beter in staat om de toekomstige uitdagingen, als gevolg van klimaatverandering, op water gebied aan te gaan. Het totale watersysteem strekt zich uit van Assen tot en met Deventer, zie Figuur 1. (Unie van Waterschappen 2016).

Figuur 1: WDOD watersysteem gebied (Waterschap Drents Overijsselse Delta 2016)

1.2. Achtergrond

In dit deelhoofdstuk zullen onderwerpen aan bod komen die essentieel zijn voor het onderzoek. Zo worden het Waterbeleid 21e eeuw, het Nationaal Park Dwingelderveld en extreme neerslag gebeurtenissen behandeld.

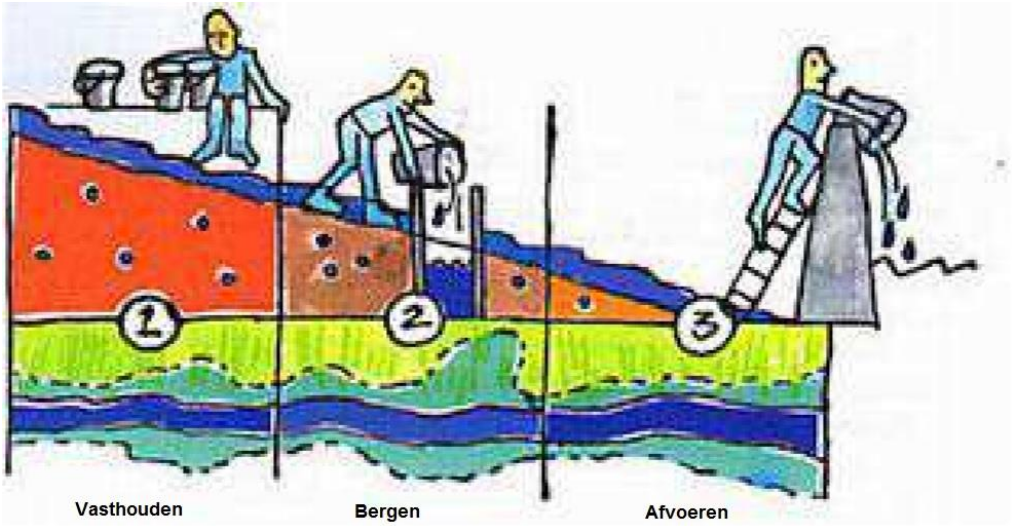
1.2.1. Waterbeleid 21e eeuw (WB21)

Komende decennia zullen meer extreme neerslag gebeurtenissen en snellere wisselingen tussen droge en natte periodes voorkomen als gevolg van klimaatverandering (Ministry of Transport Public Works and Water Management 2000). Waterpeilen zullen stijgen en de kans op wateroverlast wordt alleen maar groter. Uit de jaren 1993, 1995 en 1998 kan al worden opgemaakt dat het klimaat extremer wordt. Veel laag gelegen gebieden hadden wateroverlast problemen, doordat de waterstand in rivieren en beekdalen aanzienlijk steeg als gevolg van extreme neerslag.

Het werd de Nederlandse overheid duidelijk dat het klimaat aan het veranderen was en dat het waterbeleid hieraan moest worden aangepast.

Het nieuwe waterbeleid werd ontwikkelt door het Rijk, de provincies, gemeenten en waterschappen en kreeg als titel 'Waterbeleid 21e eeuw', afgekort WB21. Dit beleid heeft als kernboodschap dat water ruimte moeten krijgen, voordat het zelf die ruimte neemt.

In de praktijk komt dit neer op water eerst vasthouden en bergen alvorens het af te voeren, zie Figuur 2. Tijdens extreme neerslagsituaties kan zo worden voorkomen dat enorme piekafvoeren steden wateroverlast bezorgen. Aan de andere kant, tijdens lange periodes van droogte, kan opgevangen water gelijkmatig worden afgevoerd om droogte tegen te gaan.



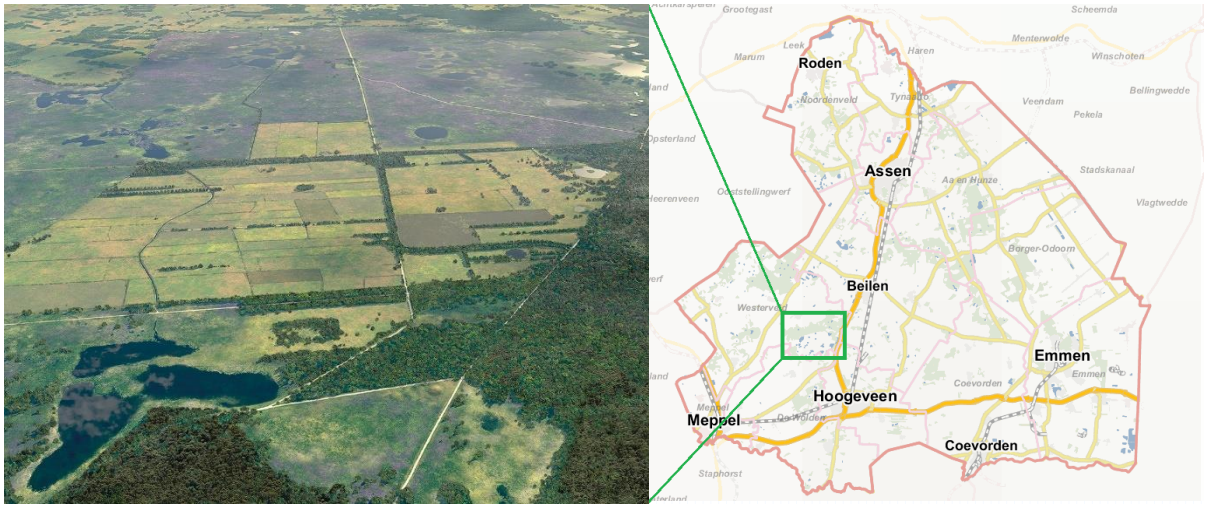
Figuur 2: Waterbeleid 21e eeuw (Ministry of Transport Public Works and Water Management 2000)

Om wateroverlast tijdens extreme neerslagsituaties te voorkomen, heeft voormalig waterschap Reest en Wieden drie manieren ontwikkelt om teveel aan water tijdelijk te 'parkeren':
- Extreem vasthouden in natuur
- Mee stromende berging in beekdalen
- Gestuurde waterberging

Het totale watersysteem van voormalig waterschap Reest en Wieden werd in acht genomen om geschikte locaties te vinden voor tijdelijke waterberging. Eén van die locaties was het Nationaal Park Dwingelderveld.

1.2.2. Nationaal Park Dwingelderveld (NPD)

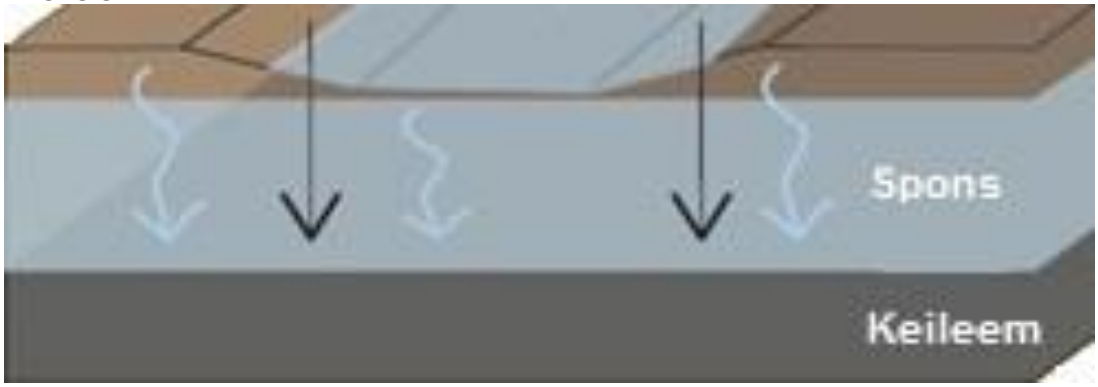
Het Nationaal Park Dwingelderveld, afgekort NPD, is gelegen in het zuidwesten van Drenthe en staat bekend als het grootste natte heidegebied van West-Europa, zie Figuur 3 (Dwingelderveld 2016). Het is één van de twintig nationale parken die Nederland rijk is en is aangewezen als Natura 2000-gebied. Het natuurgebied kent een rijke veelzijdigheid aan zeldzame planten, dieren en heide. Het is toegankelijk voor iedereen en is dan ook één van de grootste trekpleisters van Drenthe. Het park van 3700 hectare is gelegen tussen de beekdalen Oude Vaart en Ruiner Aa. Het eigendom en beheer is verdeeld over Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten.



Figuur 3: Locatie aanduiding NPD (Bootsma & Horst 2009)

De basis van het NPD, de ondergrond, is ontstaan in de voorlaatste IJstijd, ongeveer 150.000 jaar geleden. Dit ijs, afkomstig uit Scandinavië, maalde de Nederlandse bodem fijn. Op deze manier vormde zich een compacte massa die men nu 'keileem'[1] noemt. Bovenop deze keileem laag ligt een dek- en stuifzand pakket. Dit pakket is 20.000 jaar geleden ontstaan doordat wind veel zand aanvoerde.

Vooral de keileem laag is belangrijk voor het NPD. Deze laag voorkomt namelijk dat (regen)water direct door de bodem zakt. Water blijft dus liggen bovenop de keileem laag die meters onder de grond gelegen is. Dit wordt ook wel 'natuurlijke sponswerking' genoemd, zie Figuur 4. Zo creëert het NPD haar eigen natuurlijke afwatering van hoog naar laag (richting de beekdalen), zowel boven als onder de grond. Door deze eigenschap van de keileem laag is het NPD uiterst geschikt als bergingsgebied[2].



Figuur 4: Natuurlijke sponswerking (Paint 2016)

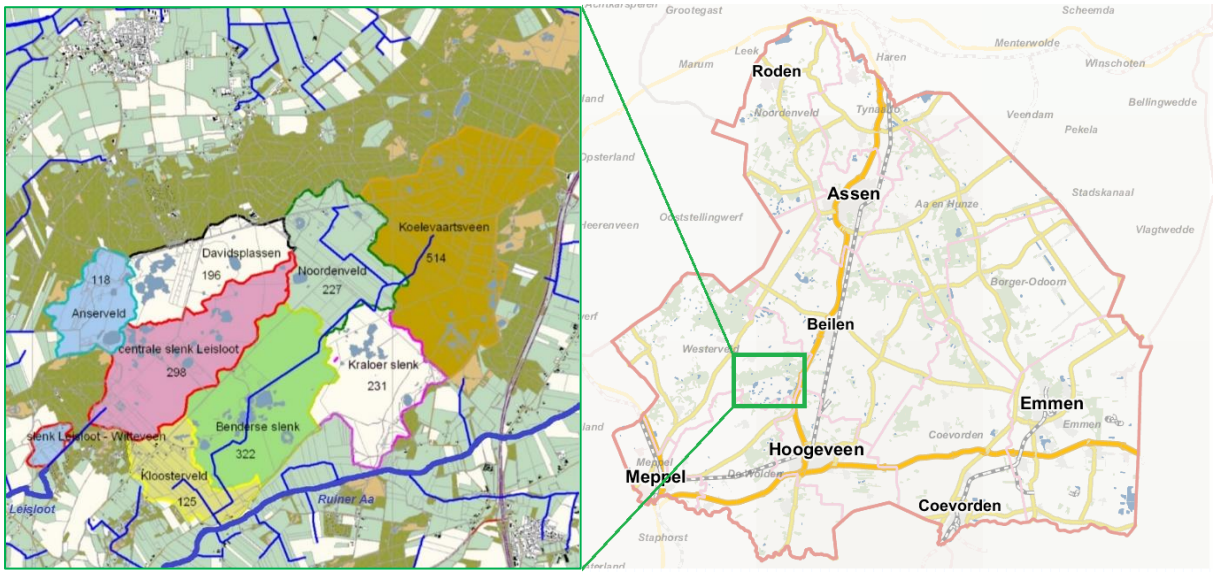
[1] Keileem is een mix van klei, leem, zand, grind en grotere keien (Aquo 2016).
[2] Gebieden waarin water tijdelijk wordt vastgehouden om wateroverlast of watertekort te voorkomen (Aquo 2016).

Echter, het NPD heeft de laatste jaren voornamelijk te maken gehad met verdrogingsproblemen, waardoor deze natuurlijke afwatering verstoort is. Maatregelen zullen nodig zijn om deze problemen op te lossen en daarmee de waterhuishouding[3] te herstellen.

1.2.3. Inrichtingsmaatregelen NPD

De verdrogingsproblemen van het NPD stonden al jaren op de agenda van natuurbeheerders, Provincie en Waterschap. Het 'Project Inrichting Dwingelderveld' kwam zo tot stand. Aangezien dit onderzoek aansluit op 'Project Inrichting Dwingelderveld', zullen in het kort het projectgebied, de aanleiding en de hoofd- en subdoelen van dit project beschreven worden. Daarna zal beschreven worden wat voor inrichtingsmaatregelen zijn getroffen om de verdrogingsproblemen tegen te gaan. Voor een uitgebreid verslag van dit project verwijs ik naar rapport 'Project Inrichting Dwingelderveld' (Bootsma & Horst 2009).

Het projectgebied NPD bevat 2056 ha en is opgedeeld in negen deelgebieden, zie Figuur 5. Bij elk deelgebied staat de grootte in ha vermeld. Verder is te zien dat beekdal de Ruiner Aa ten zuiden van het NPD stroomt.



Figuur 5: Projectgebied NPD (Bootsma & Horst 2009)

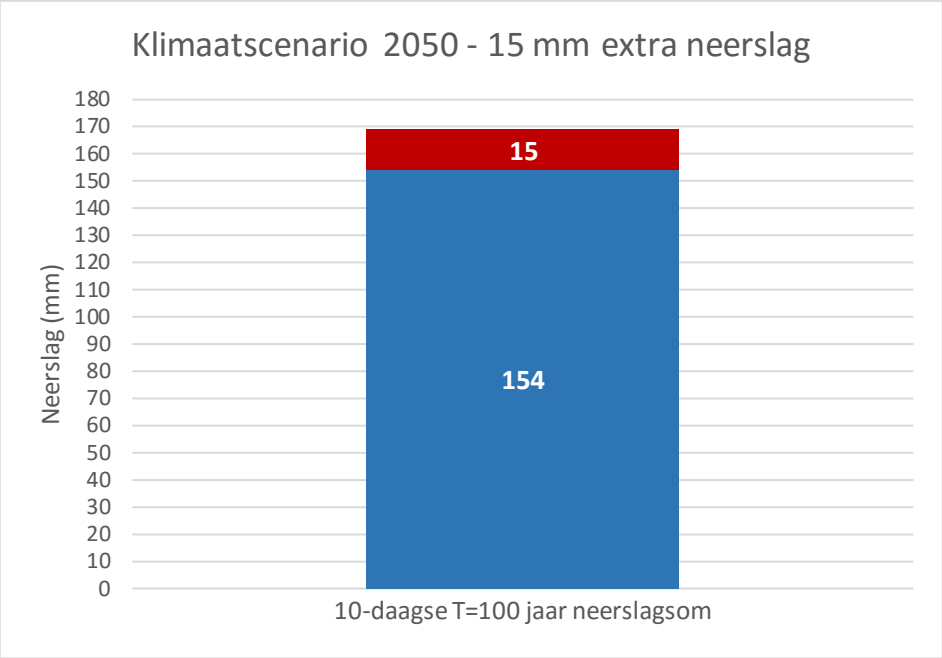
Aanleiding: Interne verdroging van het NPD.

Hoofddoelen:

A Verdroging bestrijden door de waterhuishouding te herstellen die aansluit op het ontwikkelen van een natuurlijk ecologisch systeem voor vegetaties en slenken[4] in veengronden met vegetatie.

B Het moet voldoen aan de WB21-toetsing. De extra neerslag (15 mm) die valt volgens het midden scenario 2050 tijdens een 10-daagse T=100 jaar gebeurtenis[5] (totaal 169 mm), zie Figuur 6, moet geborgen worden en vertraagd tot afvoer.

[3] De wijze waarop water in een bepaald gebied wordt opgenomen, zich verplaatst, en gebruikt, verbruikt en afgevoerd wordt (Aquo 2016).
[4] Ondiepe kommen (Aquo 2016)
[5] Een extreem buitype dat eens in de 100 jaar voorkomt

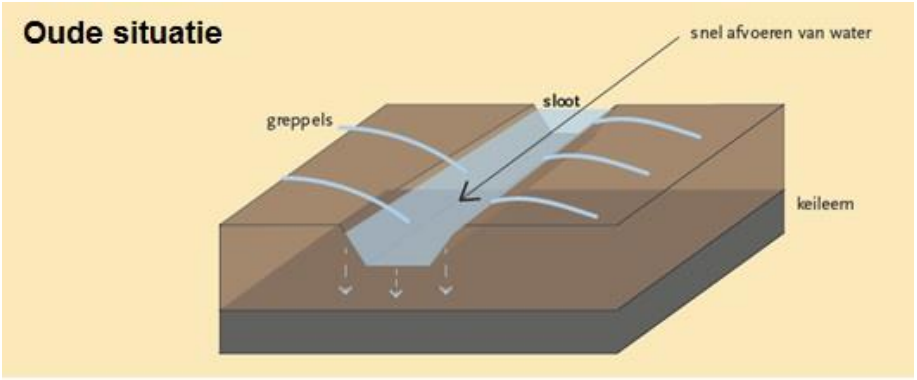


Figuur 6: Klimaatscenario 2050 – 15 mm extra neerslag

Subdoelen:
- Streven naar optimale waterberging.
- Herstel van de natuurlijke afwatering van het Noordenveld (Figuur 5).
- Streven naar afstemming van waterhuishouding, inrichting en waterkwaliteit op de functie van het NPD.

Oude situatie

De oude situatie is de situatie vóór uitvoering van inrichtingsmaatregelen. De grootste veroorzaker van verdroging in het NPD was de snelle afvoer van water door sloten en watergangen, dwars door de heide, richting de beekdalen (Figuur 7). Dat komt doordat een deel van het Noordenveld, zie Figuur 5, landbouwgebied was. Om landbouw mogelijk te maken is in het verleden een systeem van watergangen aangelegd. Op het Noordenveld komen diverse watergangen uiteindelijk bij elkaar en gaan verder als zogenaamde 'Leiding 20'. De watergang stroomde over een lengte van 4,5 km in zuidwestelijke richting naar de Ruiner Aa.

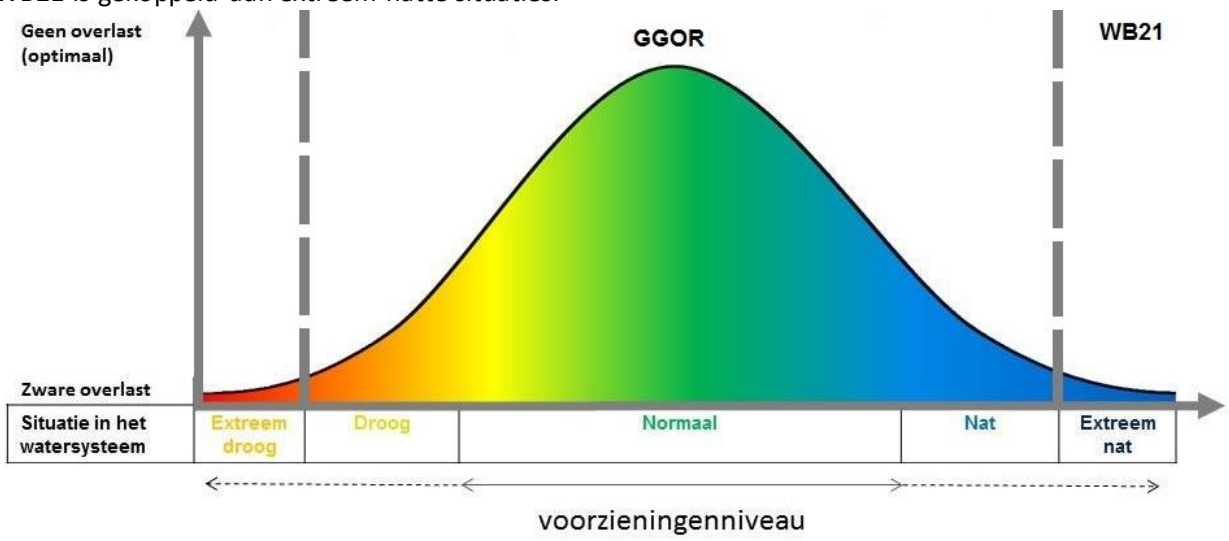


Figuur 7: Oude situatie (Paint 2016)

Inrichtingsmaatregelen

Vanaf medio 2010 tot en met 2015 zijn de provincie Drenthe, gemeenten, terreinbeheerders en het voormalige waterschap Reest en Wieden bezig geweest met de herinrichting van het NPD tot bergingsgebied. Op deze manier zou de interne verdroging van het NPD verholpen kunnen worden én zou het natuurgebied benedenstroomse wateroverlast tijdens extreme neerslagsituaties kunnen voorkomen. Om wateroverlast te voorkomen, zouden extreme piekafvoeren verkleind moeten worden, waardoor waterstanden in de beekdalen niet hoger reiken dan de kades.

Inrichtingsmaatregelen zijn nodig om de hoofd- en subdoelen van het 'Project Inrichting Dwingelderveld' te bereiken. Inrichtingsmaatregelen zijn op te delen in watersysteem situaties, zie Figuur 8. Dat kan zijn (extreem) droog, normaal of (extreem) nat. Met het voorzieningenniveau wordt het niveau in voorzieningen (watergangen, stuwen, duikers, gemalen etc.) bedoeld. In de figuur is het voorzieningenniveau versus de overlast normaal verdeeld. Het 'Gewogen Grond- en Oppervlaktewater Regime'[6], afgekort GGOR, hoort bij een normale situatie in het watersysteem. Het WB21 is gekoppeld aan extreem natte situaties.



Figuur 8: Watersysteem situaties (Waterschap Drents Overijsselse Delta 2016)

Een aantal inrichtingsmaatregelen in het NPD betreft GGOR- en WB21-maatregelen. GGOR-maatregelen zijn bedoeld om GGOR-streefpeilen te realiseren onder normale weersomstandigheden. WB21-maatregelen worden ingezet tijdens extreem natte situaties omstandigheden om te voorkomen dat maximale afvoeren en waterstanden overschreden worden. Enkele voorbeelden van GGOR- en WB21-maatregelen zijn stuwen en duikers, zie Figuur 9.

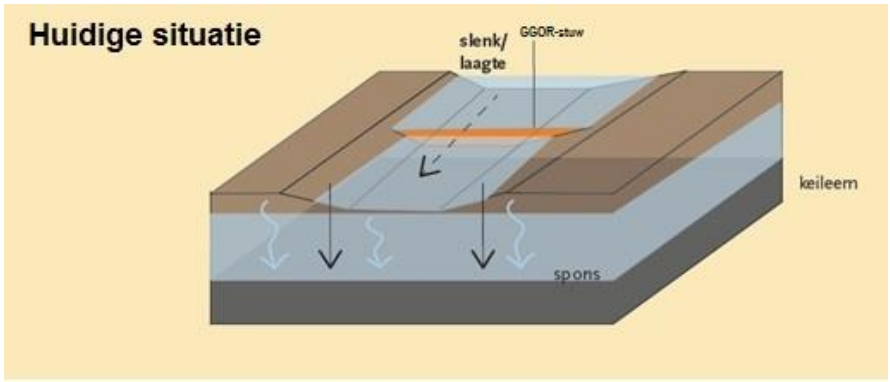
[6] Een gewogen regime dat belangen van Provincie, Overheden en Waterschap behartigt. In dit regime worden streefpeilen van grond- en oppervlaktewatersystemen vastgelegd.

Figuur 9: GGOR-stuwen 1&2 (links) en WB21-stuwen 8&9 (rechts) (Waterschap Drents Overijsselse Delta 2016)

Huidige situatie

In 2015 zijn de inrichtingsmaatregelen afgerond. Het landbouwgebied in het Noordenveld is afgegraven; oude slenken en het originele reliëf zijn daardoor hersteld, zie Figuur 10. De afgegraven grond is (grotendeels) gebruikt om sloten te dempen. Daarnaast is het Kloosterveld ontgraven om meer berging te creëren. Bovendien zijn in het landschap slenken aangelegd die de regenwater afvoer vertragen. Tevens zijn stuwen en duikers aangelegd om de afvoer te sturen.

Samengevat is het NPD nu natter, stiller en is het areaal heide groter. Het gebied hoeft niet meer te lijden onder droogte en is tevens een bergingsgebied geworden. Het vasthouden van water is gunstig voor het NPD zelf, de directe omgeving van dit natuurgebied en voor zuidwest Drenthe.



Figuur 10: Huidige situatie (Paint 2016)

De aangelegde stuwen zijn op te delen in GGOR- en WB21-stuwen (Figuur 9). Beide stuwen zijn bedienbaar en kunnen op een bepaalde manier worden ingesteld om water te sturen. Het waterschap beheert stuwen en stelt per bedienbare stuw een sturingsprincipe[7] in. Hier wordt in het volgende hoofdstuk 'Huidig sturingsprincipe' verder op ingegaan.

1.2.4. Huidig sturingsprincipe

Om te bepalen welk sturingsprincipe moest worden toegepast, werd in opdracht van voormalig waterschap Reest en Wieden 'Deelonderzoek bijdrage waterbeheer tijdens extreme weersomstandigheden' uitgevoerd door (voormalig) Grontmij.

[7] Het totale principe van stuwinstellingen waarmee water gestuurd kan worden.

Aangezien het Grontmij deelonderzoek aansluit op dit onderzoek, zullen in het kort de aanleiding en de hoofd- en subdoelen van het Grontmij deelonderzoek beschreven worden. Voor een uitgebreid verslag van het Grontmij deelonderzoek verwijs ik naar rapport 'Deelonderzoek bijdrage waterbeheer tijdens extreme weersomstandigheden' (Bijlsma & Greeff 2009).

Bij het bepalen van het sturingsprincipe komt meer kijken dan alleen afvoer beperken. Zoals gezegd is het NPD een Natura 2000-gebied. Dit betekent dat het natuurgebied moet voldoen aan de Natuurbeschermingswet en Flora- en faunawet. De herinrichting van het NPD tot bergingsgebied heeft namelijk effect op natuur. In de bepaling van stuwinstellingen zal hiermee rekening moeten worden gehouden. In het kort staan hier de aanleiding en de doelen van het Grontmij deelonderzoek vermeld.

Aanleiding: De effecten van extreem vasthouden in het NPD op vegetaties zijn onbekend.
Doelen:
- Inzicht krijgen in mogelijke effecten van de inrichtingsmaatregelen op vegetaties en fauna.
- Inzicht krijgen in tijdelijke bergingscapaciteit.

Uit deze doelen komt een tweestrijd naar voren. Aan de ene kant zoveel mogelijk water bergen en aan de andere kant natuurschade minimaliseren. Het sturingsprincipe moest dus zodanig werken dat het NPD voldoende water kan bergen en tegelijkertijd natuurschade weet te minimaliseren.

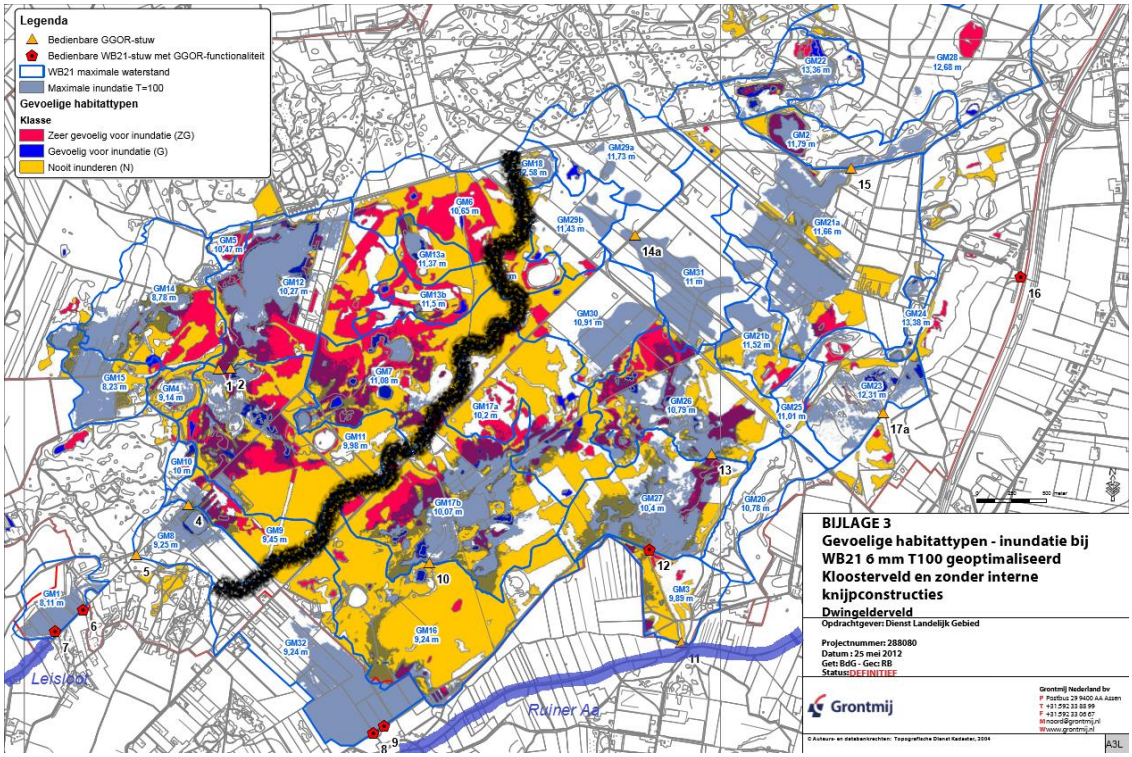
Het watersysteem van het Dwingelderveld werd verwerkt in een hydrologisch model in SOBEK. SOBEK wordt later in deelhoofdstuk Rol van Modellen uitgelegd. Het sturingsprincipe dat het minst schadelijk was voor natuur heet 'WB21-6mm-T100 Kloosterveld excl. knijpconstructies'. Dit sturingsprincipe houdt in dat de maximale afvoer door WB21-stuwen 6 mm/dag ($6{,}9 \times 10^{-4}$ $m^3/s*ha$) is en dat deze WB21-stuwen veelal langs de randen staan en GGOR-stuwen binnen het NPD, zie Figuur 11. In de figuur is te zien hoe de WB21-stuwen langs (blauw gekleurde) openwatersystemen staan. Op deze manier kunnen ze het best de benedenstroomse afvoer sturen (Oosten 2015). Met de zwarte lijn is de scheiding tussen afvoersystemen weergegeven. Het linker afvoersysteem watert af op de Leisloot, het rechter afvoersysteem op de Ruiner Aa.

De vraag rest nog wat de tijdelijke bergingscapaciteit is en of deze voldoet aan de WB21-toetsing. Voor sturingsprincipe 'WB21-6mm-T100 Kloosterveld excl. knijpconstructies' is de bergingscapaciteit berekend. Dit blijkt 1,25 miljoen m^3 te zijn onder extreem natte omstandigheden. Dit komt overeen met 62 mm extra neerslag vasthouden. Volgens de WB21-toetsing moet de extra neerslag (15 mm) die valt volgens midden scenario 2050 tijdens een 10-daagse T=100 jaar gebeurtenis geborgen worden en vertraagd tot afvoer worden gebracht. Er kan dus 47 mm méér geborgen worden dan de norm, waarmee het NPD ook aan de WB21-toetsing voldoet. Belangrijke conclusie in dit proces is dat de inundatieduur[8] maximaal 10 dagen mag zijn om mogelijk grote ecologische schade te voorkomen.

Met dit (huidige) sturingsprincipe voldoet het NPD aan de Natuurbeschermingswet en Flora- en faunawet.

[8] De periode waarin een gebied met opzet onder water staat.

Voor dit sturingsprincipe is een inundatiekaart, inclusief bedienbare GGOR- en WB21-stuwen, gemaakt (Figuur 11).



Figuur 11: Inundatiekaart voor huidig sturingsprincipe (Oosten 2015)

Uit het voorgaande verhaal zullen de termen 'T100' en 'T=100 jaar situatie' verder toegelicht worden, omdat ze belangrijk zijn voor het vervolg van dit onderzoek. Deze 'extreme neerslag gebeurtenissen' worden toegelicht in het volgende hoofdstuk. Daarna wordt in het hoofdstuk 'Inundatienormen' uitgelegd hoe vaak een gebied mag inunderen volgens landelijk vastgestelde inundatienormen.

1.2.5. Extreme neerslag gebeurtenissen

Neerslagcijfers worden al jaren lang bijgehouden door STOWA neerslagstatistiek (STOWA 2015). De statistieken zijn opgenomen in Meteobase (Meteobase 2016), een online service van STOWA met historische neerslaggegevens voor heel Nederland. Deze informatie is van groot belang voor het waterbeheer in Nederland. Hierop baseert WDOD zich bij het beoordelen, inrichten en beheren van het watersysteem. Meetstation de Bilt is representatief voor het grootste gedeelte van Nederland, waaronder het NPD.

In dit onderzoek worden buitypes ingedeeld naar buivorm, buivolume en beginsituatie bodem. Alle buitypes komen zowel in de zomer als de winter voor; er wordt geen onderscheid gemaakt. Voor een uitgebreide beschrijving en uitleg van de gekozen buitypes, zie Bijlage A: Stochastenmethode.
In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van het volgende:

Buivorm

Een buiduur van negen dagen en de buipatronen ML, MH, H en 2PK.

Buivolume

Een 9-daagse neerslagsom van 122 mm behorende tot een herhalingstijd van 10 jaar (STOWA 2015).
Een 9-daagse neerslagsom van 156 mm behorende tot een herhalingstijd van 100 jaar (STOWA 2015).

Beginsituatie bodem
Een gemiddelde grondwaterstand situatie (GG) en een gemiddeld hoge grondwaterstand situatie (GHG).

Een buitype dat bijvoorbeeld eens in de honderd jaar voorkomt, wordt genoteerd als 'T=100 jaar gebeurtenis', wat betekent dat de herhalingstijd T van het buitype 100 jaar is. Hoe groter de herhalingstijd, des te extremer het buitype dus des te groter de neerslagsom. In algemene zin kan een buitype worden opgeschreven als T=x jaar gebeurtenis, waarin x elke mogelijk herhalingstijd kan aannemen.

1.2.6. Inundatienormen

In het nieuwe waterbeleid WB21 staan landelijke inundatienormen vermeld, waaraan een bepaald grondgebruik type moet voldoen. Deze wettelijk vastgelegde veiligheidsnormen geven de gemiddelde kans, per jaar, op een overstroming (inundatie) aan. De inundatienormen gelden wanneer het water door extreme neerslag gebeurtenissen buiten de oevers van de watergang treedt. Door extreme neerslag gebeurtenissen in een hydrologisch model te simuleren, kan getoetst worden of een gebied overstroomd of niet.

Tevens zijn de normen gekoppeld aan schade als gevolg van wateroverlast. Zo zal de schade op grasland relatief kleiner zijn dan de schade in bebouwde gebieden, zie Tabel 1. Daarom mag grasland meer (5% van het oppervlak) en vaker (1 keer per 10 jaar) inunderen. Voor de functie natuur zijn tot dusver geen landelijke inundatienormen vastgesteld. Voor het NPD geldt dat de inundatieduur maximaal 10 dagen mag zijn om grote ecologische schade te voorkomen.

Grondgebruik type	Maaiveldcriterium	Inundatienorm
Grasland	5%	1/10 jaar
Bebouwd gebied	0%	1/100 jaar
Natuur	Niet vastgesteld	Niet vastgesteld

Tabel 1: landelijke inundatienormen (Bootsma & Horst 2009)

1.3. Aanleiding onderzoek

De inrichtingsmaatregelen zijn inmiddels voltooid. Het effect van de inrichtingsmaatregelen op de vegetatie en fauna is onderzocht. Uit het Grontmij deelonderzoek volgt dat het scenario 'WB21-6mm-T100 Kloosterveld excl. knijpconstructies' het minst schadelijk is voor de natuur. Het NPD kan met dit huidige sturingsprincipe voldoende bergen, waardoor de verdrogingsproblemen zijn verholpen. Het voldoet hiermee aan de Natuurbeschermingswet, Flora- en faunawet en de WB21-toetsing.

Het NPD is intern onderworpen aan verscheidene onderzoeken. Echter de externe koppeling naar benedenstroomse beekdalen is niet gemaakt. De vraag rest dus nog of het NPD als bergingsgebied benedenstroomse wateroverlast problemen kan verhelpen tijdens verschillende extreme neerslagsituaties.

1.4. Onderzoeksdoelen

Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten is onbekend. Daarnaast is onbekend of het huidige sturingsprincipe effectief blijft tijdens verschillende extreme neerslagsituaties wanneer de waterstand al erg hoog is en de bergingsruimte klein. Daarom zijn de volgende twee onderzoeksdoelen opgesteld:

(1) "Kwantificeren van het effect van de inrichtingsmaatregelen op benedenstroomse waterstanden en debieten"

(2) "Onderzoeken of het huidige sturingsprincipe effectief blijft tijdens verschillende extreme neerslagsituaties wanneer de berging al in een eerder stadium benut is"

1.5. Onderzoeksvragen

Vanuit de onderzoeksdoelen kunnen de volgende twee onderzoeksvragen met onderliggende vragen worden afgeleid:

1. *Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten?*

    1a) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=10 jaar gebeurtenis?

    1b) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=100 jaar gebeurtenis?

    1c) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens andere T=x jaar gebeurtenissen?

2. *Blijft het huidige sturingsprincipe effectief tijdens verschillende T=x jaar gebeurtenissen wanneer de berging in een eerder stadium al benut is?*

1.6. Methode (kort)

In het volgende hoofdstuk zal de methode uitgebreid beschreven worden. Deze bestaat uit de volgende punten:
- Effectbepaling
- Rol van modellen
- Systeembegrenzing en locatie effectbepaling
- Plan van aanpak per deelvraag

2. Methode

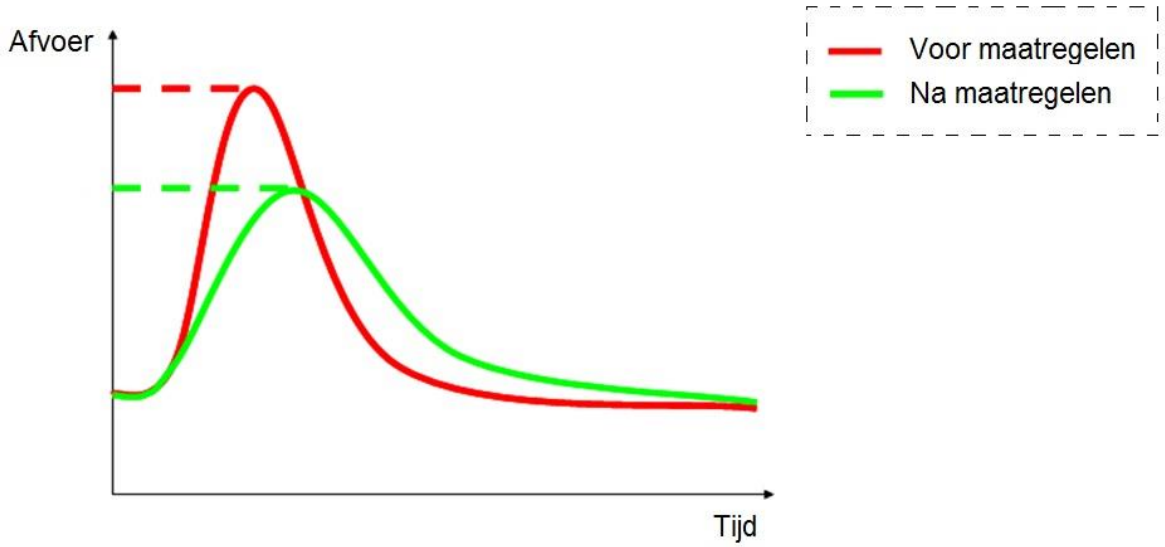
Om achter het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten te komen, zal deze methode worden toegepast.

2.1. Effectbepaling

De effectbepaling wordt opgedeeld in onderzoeksvraag 1 en onderzoeksvraag 2. Effectbepaling betekent in beide gevallen het effect van extreem vasthouden in het NPD, met het huidige sturingsprincipe, op waterstanden en debieten. Echter, in onderzoeksvraag 1 ligt de focus op het verschil tussen de oude en huidige situatie en in onderzoeksvraag 2 ligt de focus op de huidige situatie en haar huidige sturingsprincipe.

2.1.1. Onderzoeksvraag 1

Het doel van een bergingsgebied is de afvoerpiek afvlakken en uitsmeren in de tijd, zie Figuur 12. De inrichtingsmaatregelen zorgen er namelijk voor dat het afvoerproces vertraagd wordt. Er wordt dus langer in de tijd afgevoerd in vergelijking met de situatie voor de inrichtingsmaatregelen.



Figuur 12: Afvoergolf situatie voor en na inrichtingsmaatregelen (Waterschap Drents Overijsselse Delta 2016)

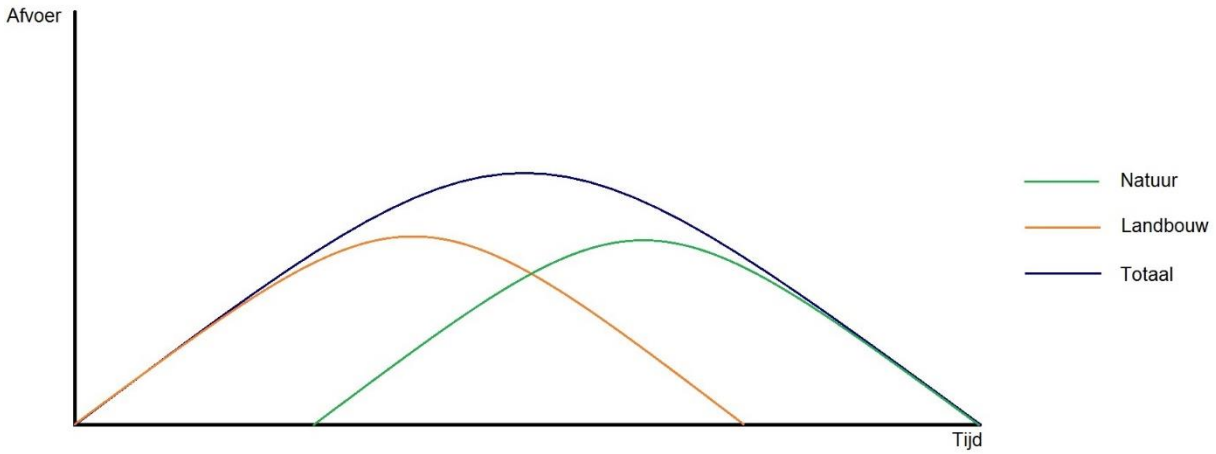
Het effect van de inrichtingsmaatregelen op benedenstroomse waterstanden en debieten moet worden bepaald. Het effect wordt, net als in Figuur 12, bepaald door de situatie voor en na de inrichtingsmaatregelen met elkaar te vergelijken. Het effect op benedenstroomse waterstanden en debieten wordt uitgedrukt in waterstands- en debietsverschillen in de piek door het verschil te nemen tussen de oude en de huidige situatie. Waterstanden zijn ook nodig om te bepalen of er sprake kan zijn van wateroverlast of niet. Het uitsmeren van de afvoerpiek in de tijd wordt niet behandeld; er wordt enkel gekeken naar een 9-daagse bui en niet na de uitlooptijd na deze negen dagen.

2.1.2. Onderzoeksvraag 2

De effectiviteit van extreem vasthouden in het NPD, met het huidige sturingsprincipe, moet onderzocht worden tijdens extreme neerslagsituaties wanneer de berging al in een eerder stadium benut is. De focus ligt in deze vraag op het huidige sturingsprincipe en de voorfase.

Net als bij onderzoeksvraag 1, rest hier de vraag of er wateroverlast optreedt benedenstrooms. De voorfase is een natte wintersituatie (GHG), waardoor de berging al (deels) is volgelopen.

Het sturingsprincipe zou ervoor moeten zorgen dat afvoer beperkt wordt en dat de natuurafvoergolf later dan de landbouwafvoergolf plaatsvindt, zie Figuur 13.



Figuur 13: Totale afvoergolf opgesplitst in landbouw en natuur (Paint 2016)

De effectiviteit wordt daarom beoordeeld aan de hand van drie criteria:
Criterium A: Wel of geen afvoerbeperking door WB21-stuwen langs de randen van het NPD.
Criterium B: Latere of gelijktijdige afvoergolf van natuur en landbouw.
Criterium C: Wel of geen wateroverlast bij stuw Waterleuzen.

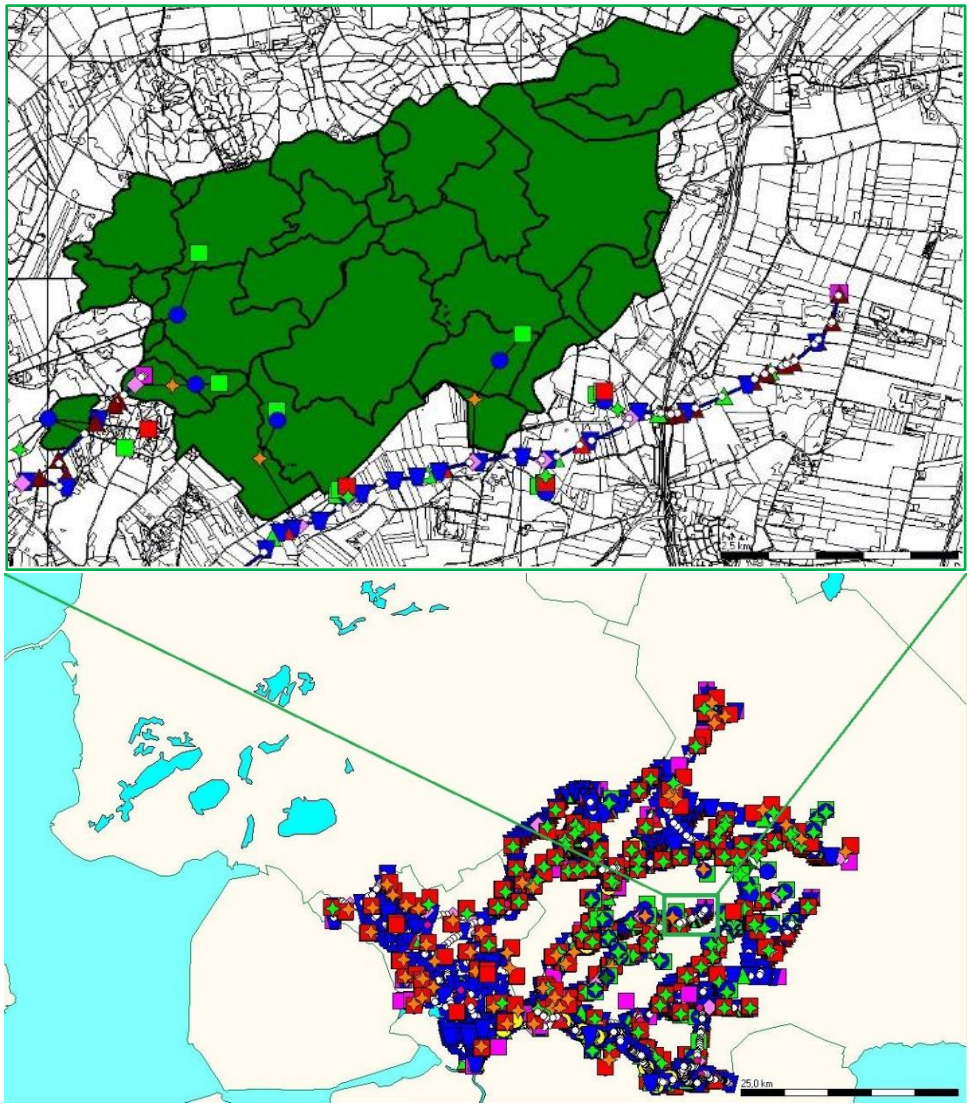
2.2. Rol van modellen

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden, zal gebruikt worden gemaakt van SOBEK-Rural. SOBEK wordt veel gebruikt in de Nederlandse waterwereld en dus ook bij WDOD. De volgende sub modules zijn hierin van belang: 1D-FLOW en RR. De 1D-FLOW module is gefocust op de afvoer van oppervlaktewater. Met de RR module (Rainfall-Runoff module) kan het neerslag-afvoerproces van een watersysteem worden gemodelleerd. Deze twee modules worden tegelijkertijd gerund om een totaal beeld van het watersysteem te verkrijgen. Met andere woorden, de input voor het model is een buitype (T=x jaar gebeurtenis) en de output bestaat uit afvoeren en waterstanden. De buitypes die worden geïmplementeerd staan vermeld in Bijlage A: Stochastenmethode.

De volgende SOBEK modellen zijn aangeleverd door respectievelijk WDOD en voormalig Grontmij: 'Gebiedsdekkende model' en 'Dwingelderveld model'. Om onderzoeksvraag 1 te beantwoorden, zal gebruik worden gemaakt van het gebiedsdekkende model. Om onderzoeksvraag 2 te beantwoorden, zal eerst het Dwingelderveld model gekoppeld moeten worden aan het gebiedsdekkende model, zie Bijlage C: Gekoppelde model. Het model dat na de koppeling ontstaat heet het 'Gekoppelde model'.

2.2.1. Gebiedsdekkende model

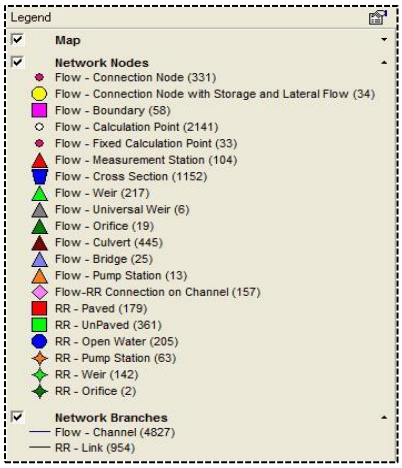
Het gebiedsdekkende model omvat het totale watersysteem van voormalig waterschap Reest en Wieden, zie Figuur 14. Het gebiedsdekkende model is gebruikt tijdens de Herijking in 2013 (Rustcus 2013). Het NPD (aangegeven in het groen) is hierin geschematiseerd aan de hand van twee eenvoudige afvoertakken, elk bestaand uit: een 'onverhard gebied', een 'openwatersysteem' en een 'gemaal'. De (Engelse) beschrijving van de pictogrammen staat in Figuur 15. FLOW verwijst naar de 1D-FLOW module en RR naar de RR module. In het gebiedsdekkende model staan verder bijvoorbeeld nog stuwen en duikers (Figuur 14).



Figuur 14: Schematisatie gebiedsdekkende model (SOBEK 2009)

Een gemaal kan er voor zorgen dat de afvoer beperkt wordt of niet. In de oude situatie werd de afvoer niet beperkt. Er vond namelijk snelle afvoer plaats, voornamelijk landbouwafvoer. Om de oude situatie te modelleren, worden beide gemalen ingesteld op onbeperkt afvoeren. In de huidige situatie geldt het sturingsprincipe van 6 mm/dag. Om de huidige situatie dus te modelleren, worden beide gemalen ingesteld op een maximale afvoer van 6 mm/dag. Voor de beginsituatie van de bodem in de oude en huidige situatie wordt gebruikt gemaakt van een GG situatie (Rustcus 2013).

Het gebiedsdekkende model is geverifieerd door WDOD (Rustcus 2013). Hieruit blijkt dat de afvoerpieken in de Ruiner Aa goed worden gesimuleerd. De berekende waterstand bovenstrooms van stuwen komt goed overeen met de gemeten waterstand. Ook de afvoer wordt goed gesimuleerd. Aangezien benedenstroomse waterstanden en debieten worden berekend in dit onderzoek, kan uit het voorgaande geconcludeerd worden dat het gebiedsdekkende model voldoende goed werkt.



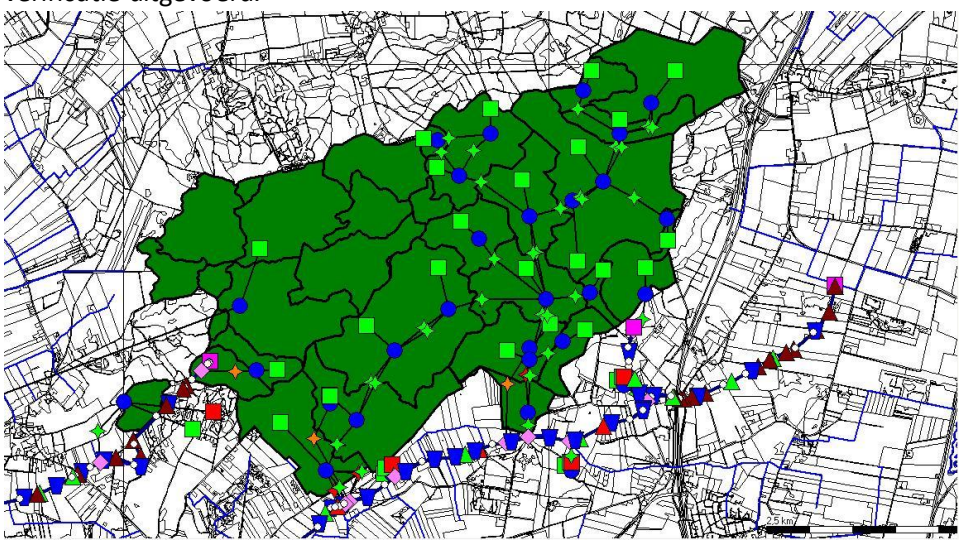
Figuur 15: SOBEK legenda (SOBEK 2009)

2.2.2. Gekoppelde model

Het gekoppelde model omvat het watersysteem van het NPD dat afwatert op de Ruiner Aa, zie Figuur 16. De huidige situatie na uitvoering van de inrichtingsmaatregelen is hier gedetailleerd geschematiseerd (Bijlsma & Greeff 2009).

Intern het NPD zijn 'onverharde gebieden', 'openwatersystemen', 'slenken' en 'stuwen' verwerkt. Om het huidige sturingsprincipe (6 mm/dag) erin te verwerken, zijn Q-h relaties in het model gezet. Op deze manier kan de minimale en maximale afvoer voor een stuw aangeven worden met bijbehorende waterstand. Om een voorfase in het model te verwerken, is gebruikt gemaakt van dezelfde initiële instellingen voor de onverzadigde laag als in het Grontmij deelonderzoek (Bijlsma & Greeff 2009). Deze voorfase is een gemiddelde wintersituatie waarbij GGOR-peilen al zijn bereikt en de grondwaterstanden hoog zijn (Bijlsma & Greeff 2009). De berging is dus al voor een groot deel gevuld; het betreft een GHG situatie.

Het Dwingelderveld model is geverifieerd door Grontmij. Resultaten van historische extreme neerslagsituaties zijn hiervoor gebruikt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat geen model van de oude situatie is gemaakt; enkel van de huidige situatie (Bijlsma & Greeff 2009). Zoals benoemd, is het gebiedsdekkende model ook geverifieerd. Voor het gekoppelde model zelf wordt geen validatie of verificatie uitgevoerd.

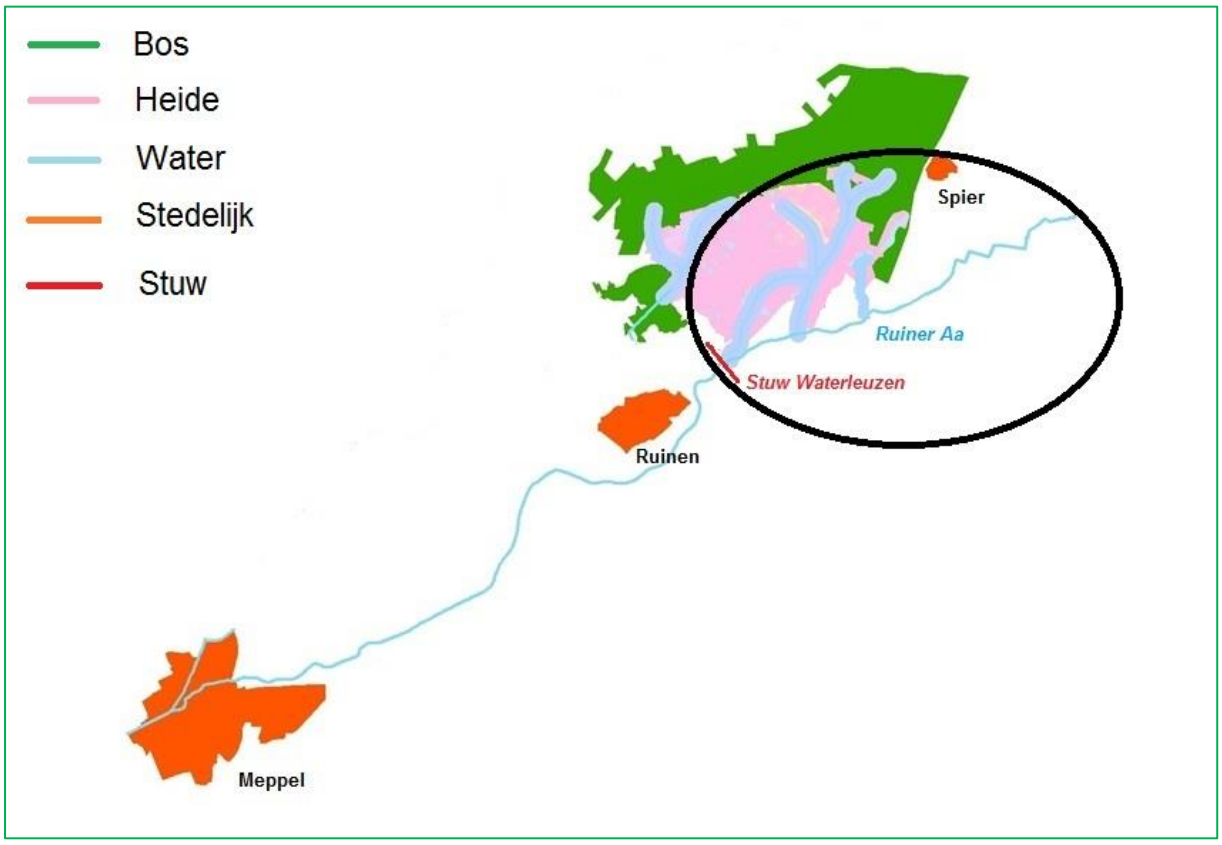


Figuur 16: Schematisatie Gekoppelde model (SOBEK 2009)

2.3. Systeembegrenzing en locatie effectbepaling

Zoals benoemd, is er een scheiding tussen de afwatering op de Leisloot en de afwatering op de Ruiner Aa (Figuur 11). Het linker gebied is verantwoordelijk voor een berging van 300.000 m^3 water en mondt uit op de Leisloot. Het rechter gebied is verantwoordelijk voor een berging van 950.000 m^3 water en bestaat uit drie takken die elk uitmonden op de Ruiner Aa. Omdat het sturingsprincipe aan de randen hetzelfde is (maximaal 6 mm/dag), zal het rechter gebied een grotere afvoer hebben dan het linker gebied. Het effect op de benedenstroomse waterstanden en debieten zal dus voor de Ruiner Aa worden onderzocht.

In de Ruiner Aa liggen verscheidene stuwen. De eerste stuw benedenstrooms van het NPD is stuw Waterleuzen. Het totale effect van de inrichtingsmaatregelen op de afvoeren in de Ruiner Aa kan dus op deze locatie worden berekend. Meer bovenstrooms gelegen stuwen zouden slechts een deel van het effect op benedenstroomse waterstanden en debieten kunnen laten zien. Meer benedenstroomse stuwen staan verder van het NPD waardoor externe effecten een steeds grotere rol gaan spelen. Daarom is stuw Waterleuzen de locatie voor de effectbepaling. Voor meer informatie over stuw Waterleuzen, zie Bijlage B: Stuw Waterleuzen. Dit levert de volgende systeembegrenzing, omcirkeld met zwart, op in Figuur 17:



Figuur 17: Systeembegrenzing (Waterschap Drents Overijsselse Delta 2016)

2.4. Plan van aanpak per deelvraag

Deelvraag	Aanpak	Resultaat	Benodigdheden
1a	Representatieve stochastenmethode voor T=10 jaar gebeurtenissen	Δh in cm ΔQ in m^3/s	- SOBEK gebiedsdekkende model: oude en huidige situatie - Representatieve T=10 jaar gebeurtenis uit STOWA 2004
1b	Representatieve stochastenmethode voor T=100 jaar gebeurtenissen	Δh in cm ΔQ in m^3/s	- SOBEK gebiedsdekkende model: oude en huidige situatie - Representatieve T=100 jaar gebeurtenis uit STOWA 2004
1c	Stochastenmethode voor T=x jaar gebeurtenissen	Δh in cm ΔQ in m^3/s	- SOBEK gebiedsdekkende model: oude en huidige situatie - T=x jaar gebeurtenissen uit STOWA 2015
2	Implementeer T=x jaar gebeurtenissen en zoek naar buitypes waarmee het NPD ineffectief wordt als bergingsgebied	T=x jaar gebeurtenissen	- SOBEK gekoppelde model: gedetailleerde huidige situatie met voorfase - T=x jaar gebeurtenissen uit STOWA 2015

Tabel 2: Plan van aanpak per deelvraag

In SOBEK staan het gebiedsdekkende model en het gekoppelde model. In deze modellen worden buitypes (T=x jaar gebeurtenissen) gezet. Om te bepalen welke buitypes worden gebruikt, is de stochastenmethode gebruikt.
De stochastenmethode staat uitwerkt in Bijlage A: Stochastenmethode. De buitypes die uit de stochastenmethode naar voren zijn gekomen, staan hieronder vermeld in Tabel 3.

2.4.1. Buitypes

De volgende buitypes (T=x jaar gebeurtenissen) worden gebruikt in het onderzoek (Tabel 3).

Buitype (T=x jaar gebeurtenis)	Aanduiding	Redenatie
Representatieve T=10 jaar gebeurtenis	T10.BUI	Representatief buitype voor WDOD voor T=10 jaar gebeurtenissen (Rustcus 2013). Volgens STOWA 2004.
Representatieve T=100 jaar gebeurtenis	T100.BUI	Representatief buitype voor WDOD voor T=100 jaar gebeurtenissen (Rustcus 2013). Volgens STOWA 2004.
T=1 jaar gebeurtenis MiddelLaag	T1-ML	Hetzelfde buipatroon als T10.BUI. Herhalingstijd van T=1 jaar om mogelijke afvoerbeperking door stuwen in beeld te krijgen. Volgens STOWA 2015.
T=10 jaar gebeurtenis MiddelLaag	T10-ML	Hetzelfde buipatroon en herhalingstijd als T10.BUI, maar ander buivolume. Volgens STOWA 2015.
T=100 jaar gebeurtenis MiddelHoog	T100-MH	Hetzelfde buipatroon en herhalingstijd als T100.BUI, maar ander buivolume. Volgens STOWA 2015.

T=100 jaar gebeurtenis Hoog	T100-H	Dezelfde herhalingstijd als T100.BUI. Op één na vaakst voorkomend buipatroon volgens klimaatscenario's voor 2050. Dit is tevens één van de twee meest extreme buipatronen. Volgens STOWA 2015.
T=100 jaar gebeurtenis 2 Piek-Kort	T100-2PK	Dezelfde herhalingstijd als T100.BUI. Vaakst voorkomend buipatroon volgens klimaatscenario's voor 2050. Dit is tevens één van de twee meest extreme buipatronen. Volgens STOWA 2015.

Tabel 3: Overzicht buitypes

De 9-daagse periodes voor de buitypes uit STOWA 2014 komen overeen met de werkelijke buiperiode (Rustcus 2013) De 9-daagse periode voor alle buitypes uit STOWA 2015 is gelijk: 20-05-2016 t/m 28-05-2016. Deze periode is willekeurig gekozen; het beïnvloedt resultaten niet.

3. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste uitkomsten per deelvraag uitgewerkt. De beschrijving staat boven de grafieken en tabellen. De onderzoeksvragen staan hieronder nogmaals op een rij:
1a) Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=10 jaar gebeurtenis.
1b) Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=100 jaar gebeurtenis.
1c) Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens andere T=x jaar gebeurtenissen.
2) De effectiviteit van het huidige sturingsprincipe tijdens verschillende T=x jaar gebeurtenissen wanneer de berging in een eerder stadium al benut is.

3.1. Onderzoeksvraag 1

Het doel van een bergingsgebied is de afvoerpiek afvlakken. De focus van de uitkomsten van onderzoeksvraag 1 ligt dus op (piek)debietsverschillen. Daarnaast zal er beoordeeld worden of er kans op wateroverlast bestaat benedenstrooms bij stuw Waterleuzen. Relatieve waterstandverschillen worden behandeld; absolute waterstandsverschillen staan in Bijlage D: Resultaten.

Om piekdebietsverschillen uit te rekenen, wordt het maximale debiet van de huidige situatie (MAX HUIDIG) afgetrokken van het maximale debiet van de oude situatie (MAX OUD).
Voor de waterstandsverschillen geldt hetzelfde; lees daarvoor in voorgaande zin waterstand i.p.v. debiet.

3.1.1. Uitkomsten 1a

Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse debieten tijdens een representatieve T=10 jaar gebeurtenis.

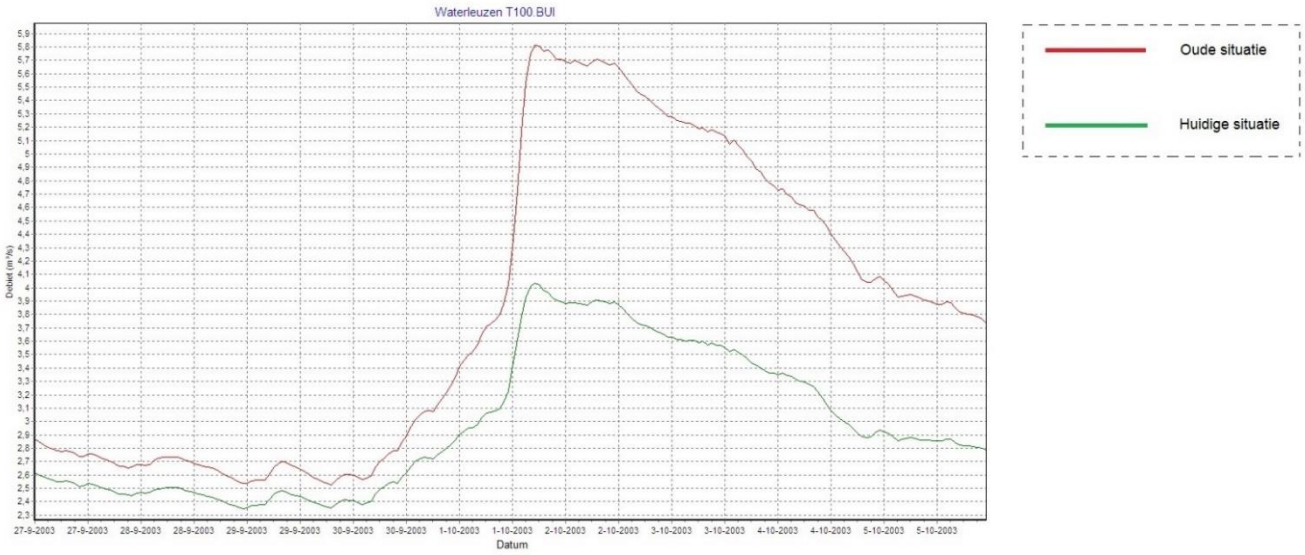
Debietsverschillen T10.BUI

MAX OUD (m3/s)	MAX HUIDIG (m3/s)	PIEKDEBIETSVERSCHIL (m3/s)
3,71	3,31	**-0,40**

3.1.2. Uitkomsten 1b

Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse debieten tijdens een representatieve T=100 jaar gebeurtenis.

Debietsverschillen T100.BUI

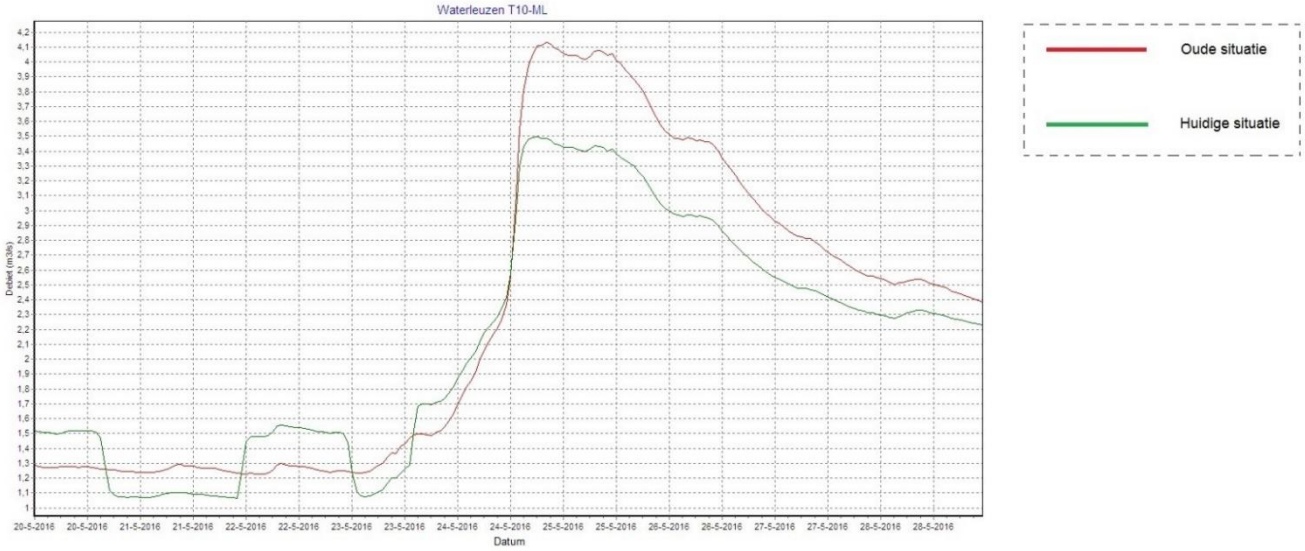


MAX OUD (m3/s)	MAX HUIDIG (m3/s)	PIEKDEBIETSVERSCHIL (m3/s)
5,81	4,03	**-1,8**

3.1.3. Uitkomsten 1c

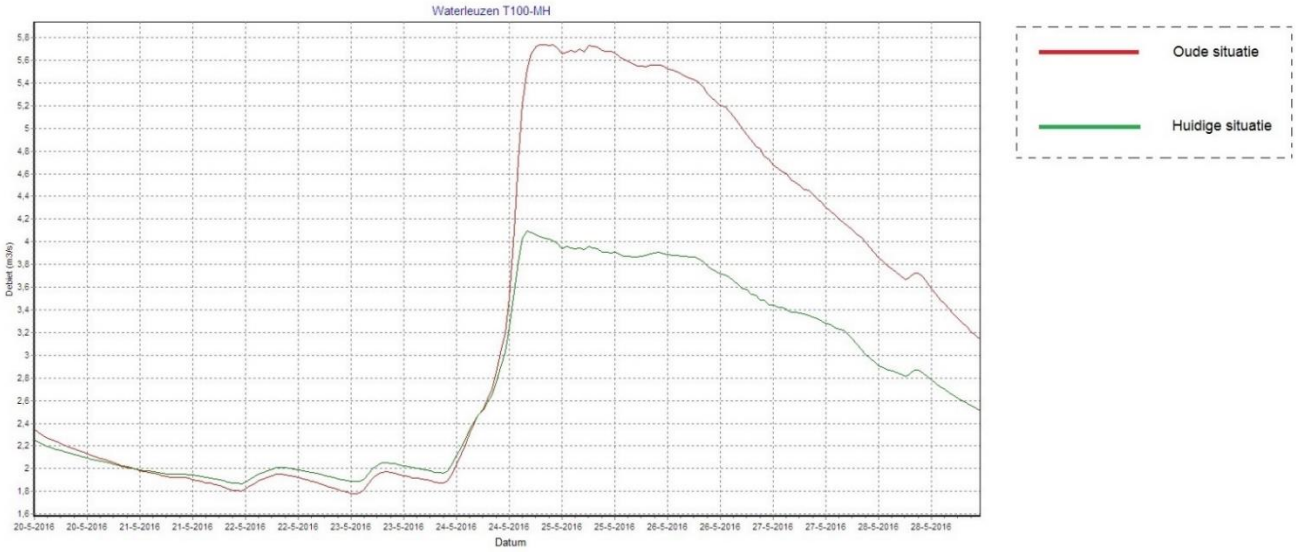
Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse debieten tijdens andere T=x jaar gebeurtenissen.

Debietsverschillen T10-ML



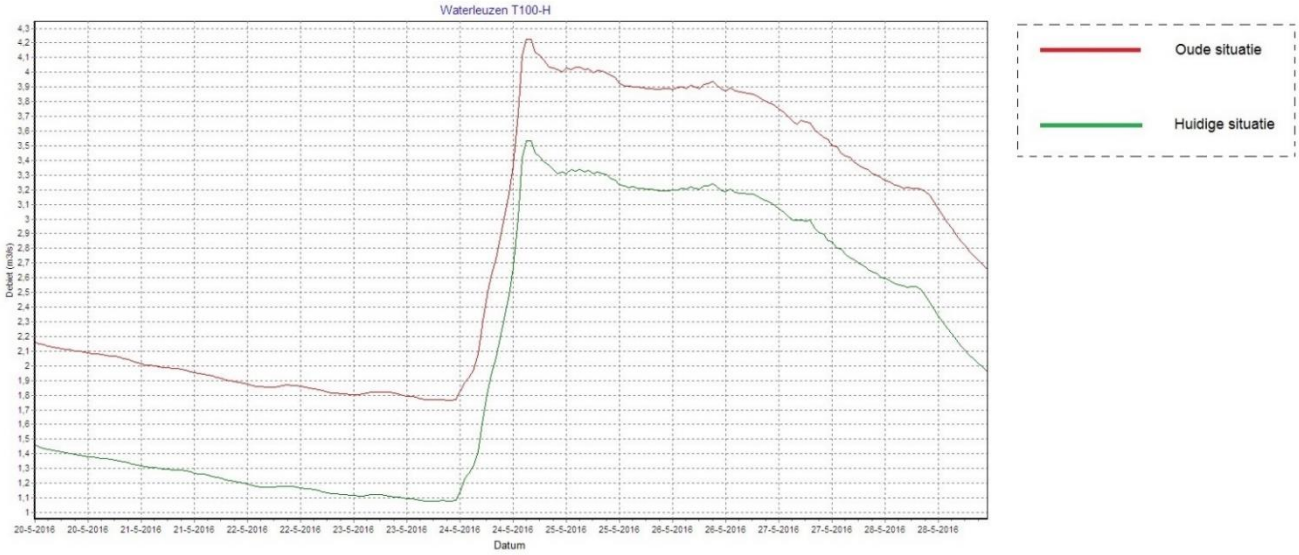
MAX OUD (m3/s)	MAX HUIDIG (m3/s)	PIEKDEBIETSVERSCHIL (m3/s)
4,13	3,50	**-0,63**

Debietsverschillen T100-MH



MAX OUD (m3/s)	MAX HUIDIG (m3/s)	PIEKDEBIETSVERSCHIL (m3/s)
5,74	4,09	**-1,6**

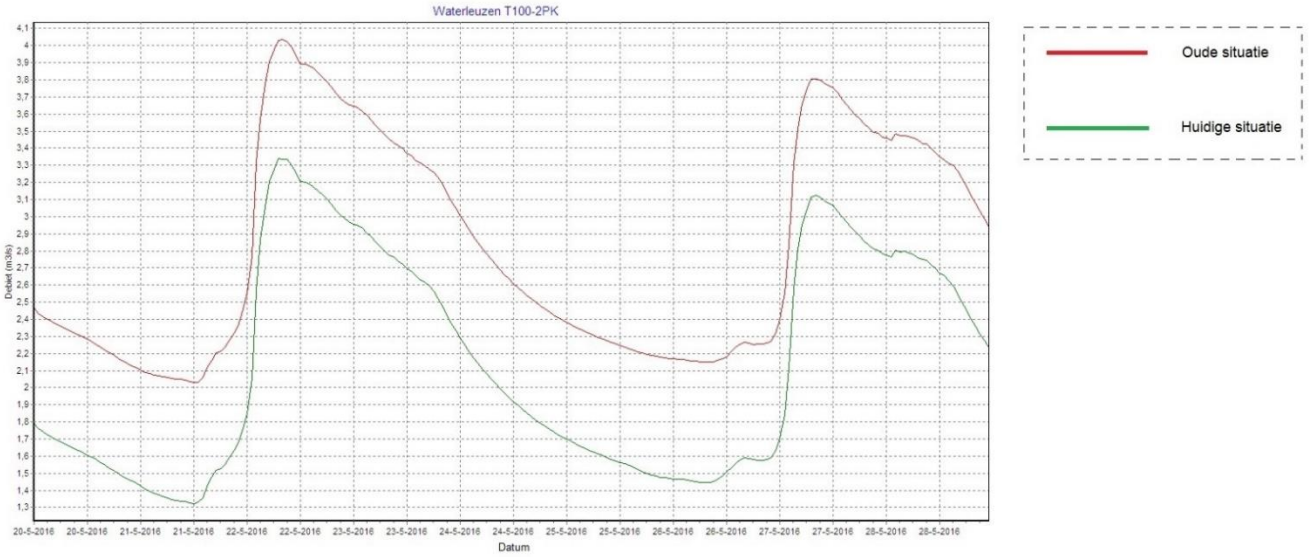
Debietsverschillen T100-H



MAX OUD (m3/s)	MAX HUIDIG (m3/s)	PIEKDEBIETSVERSCHIL (m3/s)
4,22	3,53	**-0,69**

Debietsverschillen T100-2PK

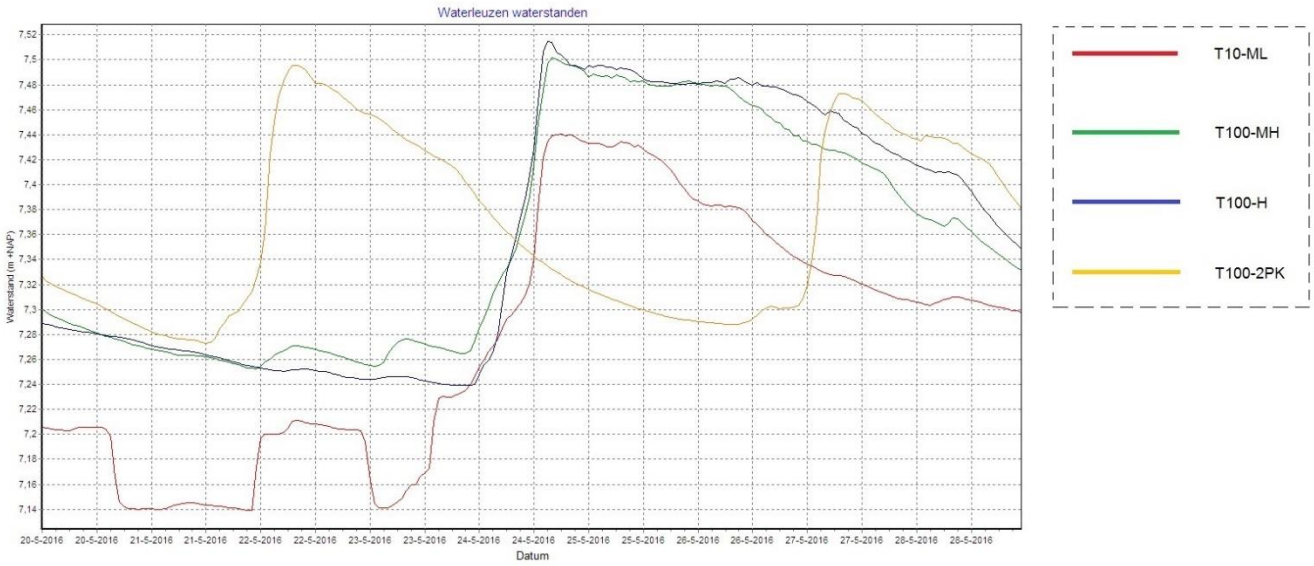
De eerste maxima zijn hier gebruikt om het piekdebietsverschil aan te geven. De tweede maxima geven namelijk lagere debieten weer. Wel is de piekdebietsverlaging voor beide maxima gelijk.



MAX OUD (m3/s)	MAX HUIDIG (m3/s)	PIEKDEBIETSVERSCHIL (m3/s)
4,04	3,34	**-0,70**

3.1.4. Waterstanden overzicht huidige situatie T=x jaar gebeurtenissen

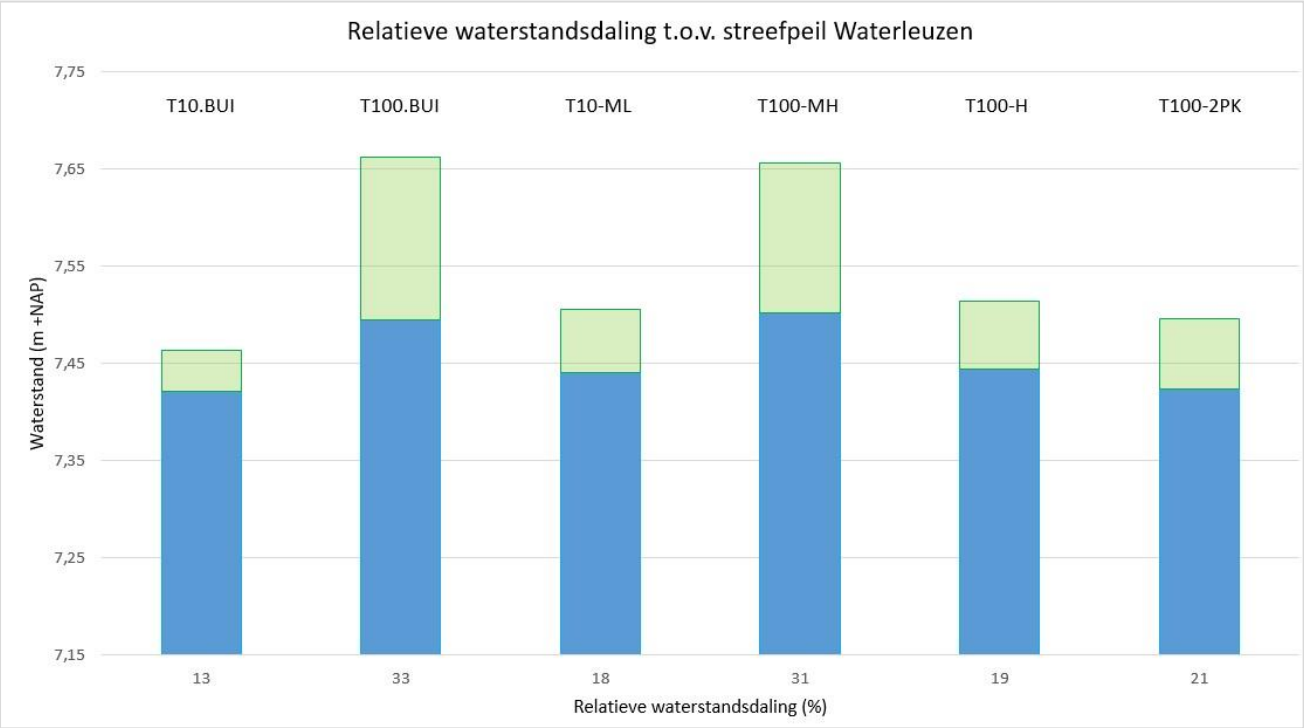
Om te beoordelen of er kans op wateroverlast bestaat in de huidige situatie, zullen de waterstanden worden vergeleken met de kadehoogte van stuw Waterleuzen van 7,94 m +NAP (Bijlage B: Stuw Waterleuzen). Hieronder is overzichtelijk gemaakt hoe hoog de waterstanden bij Waterleuzen zijn in de huidige situatie tijdens een T=x jaar gebeurtenis. In onderstaande figuur is te zien dat alle piekwaterstanden onder een hoogte van 7,94 m +NAP blijven.



3.1.5. Relatieve waterstandsdaling t.o.v. streefpeil Waterleuzen

Alle gemodelleerde piekdebietsverschillen zijn negatief, dat betekent een piekdebietsverlaging tijdens elk buitype. Piekdebietsverlagingen hebben piekwaterstandsdalingen tot gevolg. De absolute waterstanden staan vermeld in Bijlage D: Resultaten.

Om relatieve piekwaterstandsdalingen te verkrijgen, wordt het GGOR-streefpeil van stuw Waterleuzen gebruikt ter referentie. Het GGOR-streefpeil van stuw Waterleuzen is 7,15 m +NAP (Bijlage B: Stuw Waterleuzen). Hieronder staan de relatieve piekwaterstandsdalingen, aangegeven in lichtgroen, per buitype vermeld in de grafiek.



3.2. Uitkomsten onderzoeksvraag 1

Alle gemodelleerde piekdebietsverschillen zijn negatief, dat betekent een piekdebietsverlaging tijdens elk buitype. Piekdebietsverlagingen hebben piekwaterstandsdalingen tot gevolg (Qh-relatie). Hierdoor is er ook sprake van een relatieve waterstandsdaling t.o.v. het GGOR-streefpeil bij stuw Waterleuzen. Hieronder staat een overzichtstabel van de resultaten. Met 'het effect' wordt het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden bedoeld.

Buitype	Percentage neerslagsom gecentreerd in de piek (%)	PIEKDEBIETS VERSCHIL (m3/s)	PIEKWATERSTANDS VERSCHIL (cm +NAP)	RELATIEVE WATERSTANDSDALING (%)
T10.BUI	37,5	-0,40	-4	13
T100.BUI	62,5	-1,8	-17	33
T10-ML	37,5	-0,63	-6	18
T100-MH	62,5	-1,6	-15	31
T100-H	87,5	-0,69	-7	19
T100-2PK	-	-0,70	-7	21

Uit de tabel valt het volgende af te leiden:
- Het effect is tijdens een T100.BUI het grootst.
- Het effect is tijdens buitypes T100-H en T100-2PK min of meer hetzelfde.
- Wanneer het percentage neerslagsom in die piek toeneemt van 62,5% naar 87,5%, daalt het effect. (zelfde herhalingstijd en neerslagsom).

- Voor een T=10 jaar gebeurtenis geldt: hoe hoger de neerslagsom, hoe hoger het effect is voor hetzelfde buipatroon. Buitypes T10.BUI en T10-ML hebben hetzelfde buitpatroon. Echter, de neerslagsom is voor T10-ML groter dan T10.BUI. Het effect tijdens het buitype T10-ML is groter dan tijdens T10.BUI.
- Voor een T=100 jaar gebeurtenis geldt: hoe hoger de neerslagsom, hoe lager het effect is voor hetzelfde buipatroon. Buitypes T100.BUI en T100-MH hebben hetzelfde buipatroon. Echter, de neerslagsom is voor T100-MH groter dan T100.BUI. Het effect tijdens het buitype T100-MH is lager dan tijdens T100.BUI.

3.3. Onderzoeksvraag 2

De effectiviteit van het huidige sturingsprincipe tijdens verschillende T=x jaar gebeurtenissen wanneer de berging in een eerder stadium al benut is.

De effectiviteit van extreem vasthouden in het NPD, met het huidige sturingsprincipe, wordt beoordeeld aan de hand van drie criteria:
Criterium A: Wel of geen afvoerbeperking door WB21-stuwen langs de randen van het NPD.
Criterium B: Latere of gelijktijdige natuur afvoergolf en landbouw afvoergolf.
Criterium C: Wel of geen wateroverlast bij stuw Waterleuzen.

3.3.1. Criterium A: Wel of geen afvoerbeperking door WB21-stuwen langs de randen van het NPD

Tijdens extreme neeslagsituaties ligt de focus op de sturing van de WB21-stuwen, niet op de GGOR-stuwen. Het gaat specifiek om de WB21-stuwen 8&9 en 12, zie hiervoor nogmaals Figuur 11. De vraag is of de stuwen de afvoer nog kunnen beperken nadat een natte wintersituatie heeft plaatsgevonden. Deze vraag kan worden beantwoord aan de hand van de uitwerking van drie sub vragen (zie hieronder). Om een antwoord te kunnen geven op de sub vragen, zijn resultaten uit het gekoppelde model gebruikt (SOBEK 2009). Vervolgens zijn deze antwoorden beoordeeld met kleuren. Groen betekent effectief, geel betekent deels effectief en deel ineffectief en rood betekent ineffectief.

1) Overstijgt het water meteen de WB21-stuwen?

Buitype	8&9 (9,15 m +NAP)	12 (10,45 m +NAP)
T1-ML	Nee	Nee
T10-ML	Ja	Nee, rond 24-05-16 om 21:00
T100-MH	Ja	Ja
T100-H	Ja	Ja
T100-2PK	Ja	Ja

2) Is de maximale afvoer door de stuwklep (brievenbus) meteen bereikt?

Buitype	8&9 (0,1 m3/s)	12 (0,6 m3/s)
T1-ML	Nee	Nee
T10-ML	Ja	Nee, rond 24-05-16 om 21:00

T100-MH	Ja	Ja, maar na halve dag weer lager tot aan 24-05-16 om 12:00
T100-H	Ja	Ja, maar na halve dag weer lager tot aan 24-05-16 om 12:00
T100-2PK	Ja	Ja

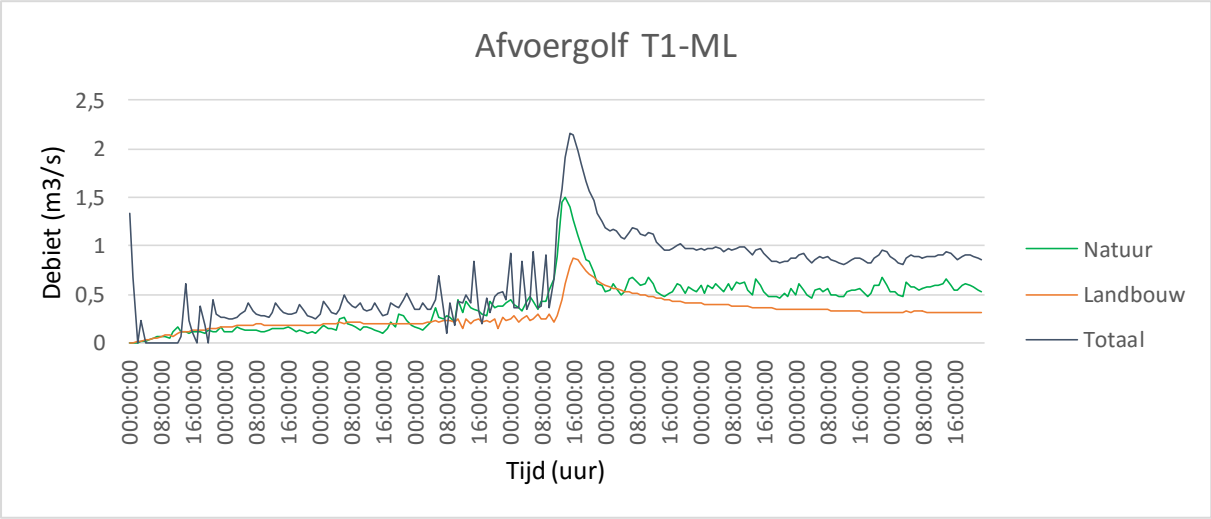
3) Zijn de open water systemen bovenstrooms van de WB-21 stuwen meteen volledig gevuld?

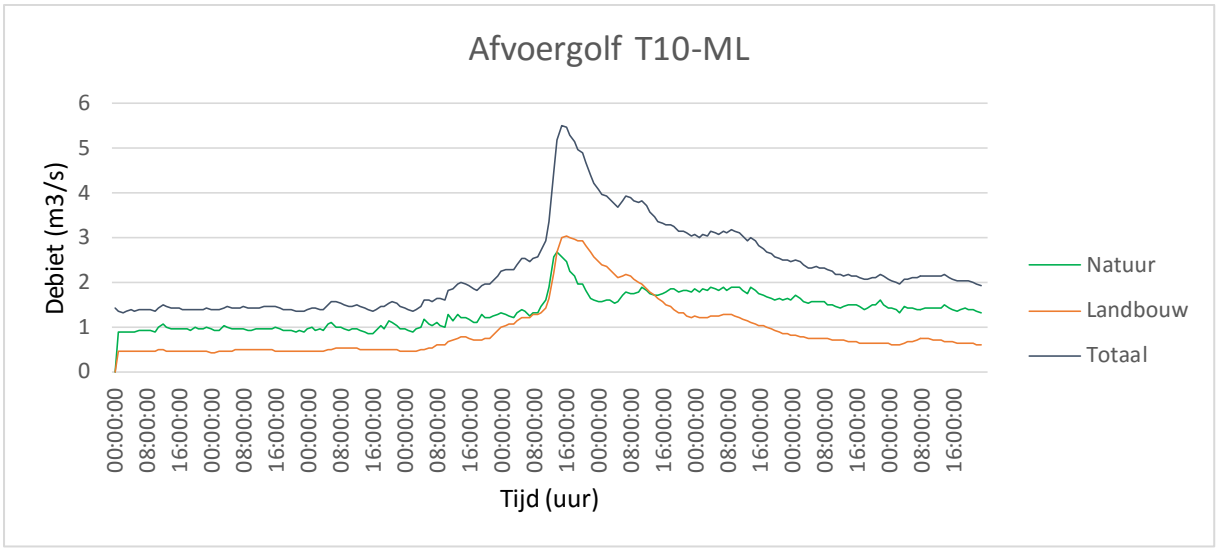
Buitype	OW_GM32 (9,43 m +NAP)	OW_GM27 (10,59 m +NAP)
T1-ML	Nee	Nee
T10-ML	Nee, rond 24-05-16 om 00:00	Nee
T100-MH	Ja	Nee, Rond 24-05-16 om 21:00
T100-H	Ja	Nee, rond 24-05-16 om 15:00
T100-2PK	Ja	Nee, van 22-05-16 om 06:00 t/m 23-05-16 om 18:00

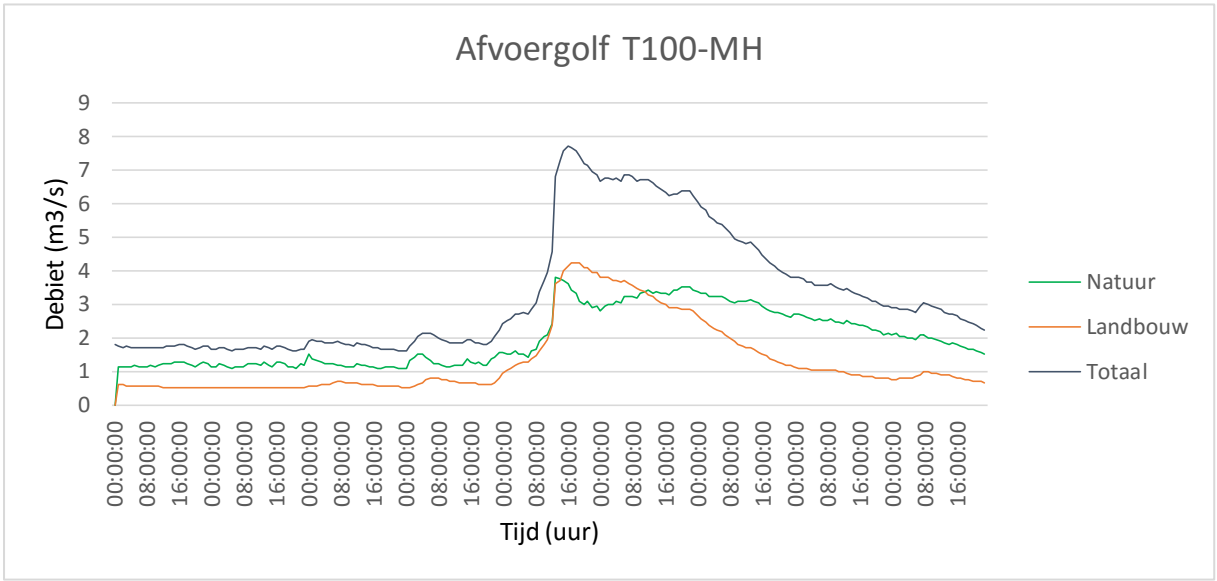
Uit de resultaten van criteria A volgt dat het huidige sturingsprincipe tijdens het buitype T1-ML effectief blijft, maar ineffectief is voor de buitypes T10-ML, T100-MH, T100-H en T100-2PK.

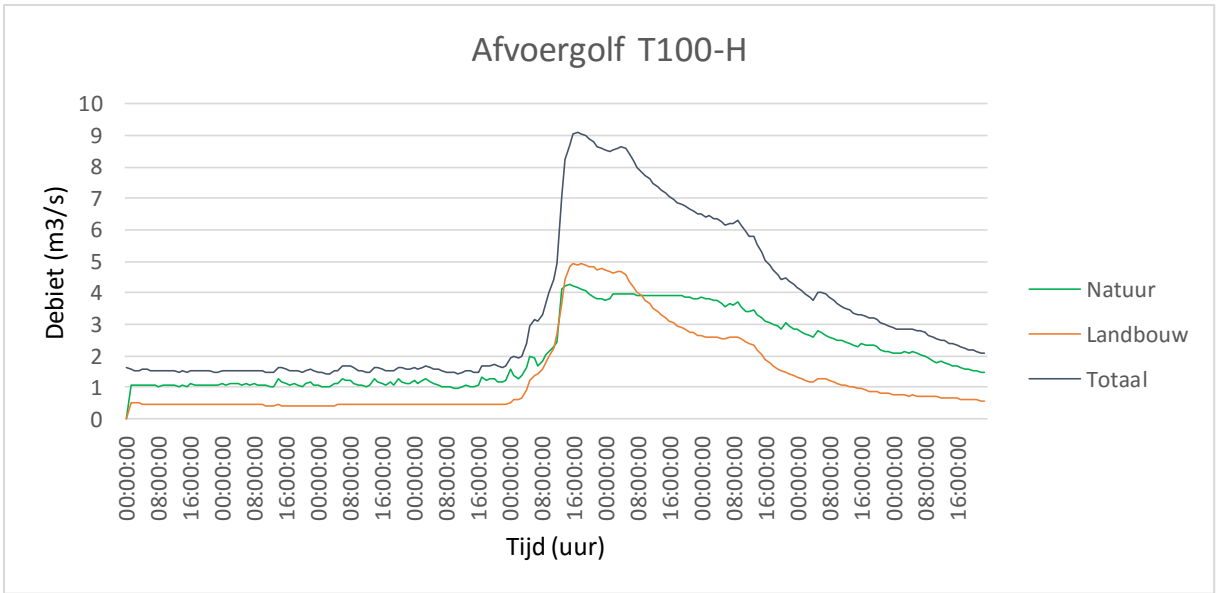
3.3.2. Criterium B: Latere of gelijktijdige natuur afvoergolf en landbouw afvoergolf.

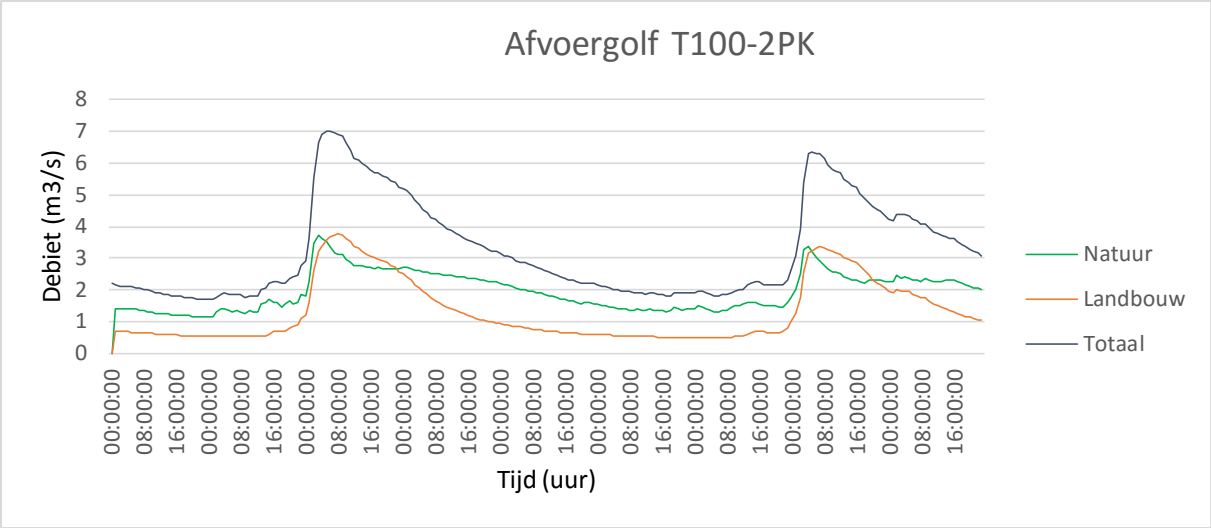
In onderstaande figuren zijn de afvoergolven tijdens T=x jaar gebeurtenissen voor de huidige situatie opgesplitst in natuur en landbouw. De natuur afvoergolf is een gevolg van alle afvoertakken van het NPD. De landbouw afvoergolf is een gevolg van alle andere afvoertakken; de overige afvoeren komen uit landbouwgebieden, zie hiervoor nogmaals Figuur 23. De vraag is of de natuur afvoergolf later plaatsvindt dan de landbouw afvoergolf.




Afvoergolf T10-ML
Debiet (m3/s)
0
1
2
3
4
5
6
00:00:00
08:00:00
16:00:00
Tijd (uur)
Natuur
Landbouw
Totaal


Afvoergolf T100-MH
Debiet (m3/s)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
00:00:00
08:00:00
16:00:00
Tijd (uur)
Natuur
Landbouw
Totaal


Afvoergolf T100-H
Debiet (m3/s)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
00:00:00
08:00:00
16:00:00
Tijd (uur)
Natuur
Landbouw
Totaal

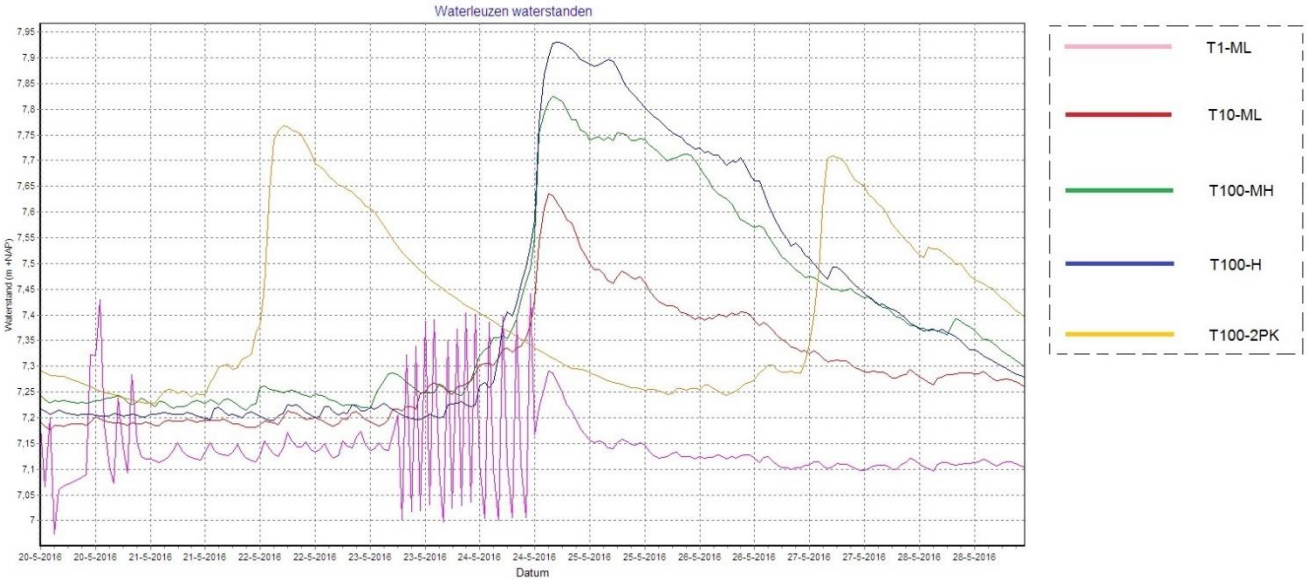


Uit de resultaten van criteria B volgt dat de natuur afvoergolf eerder plaatsvindt dan de landbouw afvoergolf tijdens alle T=x jaar gebeurtenissen.

3.3.3. Criterium C: Wel of geen wateroverlast bij stuw Waterleuzen

De kadehoogte bij stuw Waterleuzen is 7,94 m +NAP. Om erachter te komen of water boven de kade uit reikt, zal een overzicht van alle waterstanden tijdens T=x jaar gebeurtenissen worden gepresenteerd.

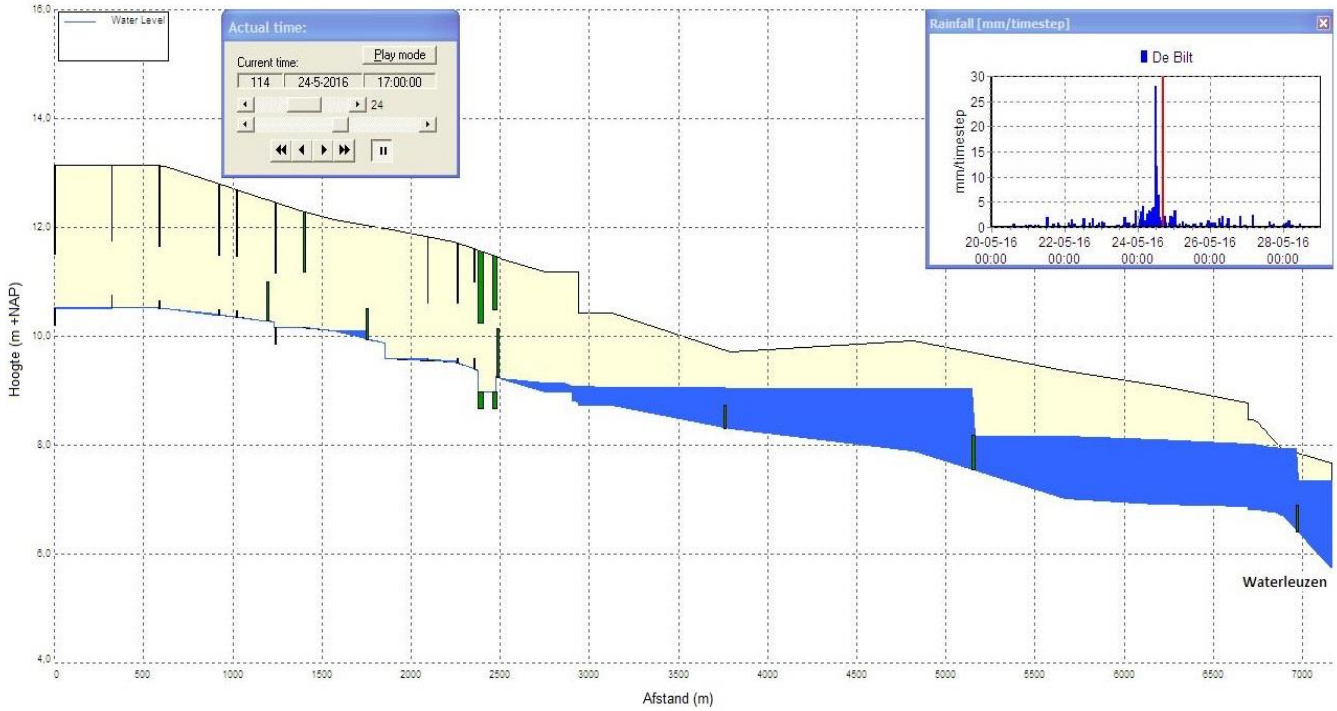
Waterstanden overzicht T=x jaar gebeurtenissen



Het grillige karakter tussen 23-5-2016 en 24-5-2016 van de T1-ML gebeurtenis wordt veroorzaakt door SOBEK incorrecties. De pieken tijdens deze periode zijn daarom niet meegenomen in de uitkomsten van de T1-ML gebeurtenis.

In bovenstaande figuur is te zien dat de piekwaterstand tijdens een T100-H ongeveer 7,94 m +NAP is: even hoog als de kade. Om een beter beeld te krijgen van wat er gebeurt, zal een zijaanzicht worden getoond dat precies binnen de systeembegrenzing valt. Bijgevoegd is de tijd waarop een hoogte van 7,94 m +NAP bereikt wordt en een neerslaggrafiek van de T100-H gebeurtenis.

Wateroverlast stuw Waterleuzen bij T100-H



In bovenstaand zijaanzicht is boven stuw Waterleuzen te zien hoe het waterniveau even hoog ligt als de kade: de blauwe lijn (waterniveau) gaat over de ligt grijze lijn (kadehoogte) heen. Er zou dus water over de kade kunnen stromen*.

3.4. Uitkomsten onderzoeksvraag 2

Buitype	Criterium A: Afvoer beperkt door stuwen?	Criterium B: Afvoergolf natuur later dan landbouw?	Criterium C: Wateroverlast Waterleuzen?
T1-ML	Ja	Nee	Nee
T10-ML	Nee	Nee	Nee
T100-MH	Nee	Nee	Nee
T100-H	Nee	Nee	Nee*
T100-2PK	Nee	Nee	Nee

Het huidige sturingsprincipe is dus ineffectief bij de buitypes: T1-ML, T10-ML, T100-MH, T100-H en T00-2PK. Er treedt geen wateroverlast op tijdens elk van de buitypes*.

In het volgende hoofdstuk 'Discussie' zal verder worden ingegaan op de uitkomsten. Zo zullen opmerkelijke resultaten besproken worden en modelbeperkingen.

4. Discussie

In dit hoofdstuk zullen model beperkingen besproken worden. Daarnaast zal er worden ingegaan op opmerkelijke resultaten uit de onderzoeksvragen. Bovendien wordt een aantal resultaten bekritiseerd.

4.1. SOBEK instellingen en beperkingen

- De instellingen onder 'settings' zijn hetzelfde ingesteld als de instellingen die gehanteerd zijn in de Herijking (Rustcus 2013) voor berekeningen met STOWA 2004 buitypes.
- De waterstanden en debieten zijn per uur berekend. Wanneer ze per minuut berekend worden, worden resultaten nauwkeuriger. Echter, het duurt langer om de buitypes te simuleren.
- De verdamping onder 'meteorological data' is ingesteld op basis van langjarige jaargemiddelden (Bijlsma & Greeff 2009). Er treedt gemiddeld gezien verdamping op tussen 07:00 en 19:00.
- Wind invloeden onder 'meteorological data' zijn buiten beschouwing gelaten. Het meenemen van wind is complex, omdat het model hiervoor geschikt dient te worden gemaakt.
- Water temperatuur en zonnestraling onder 'meteorological data' zijn buiten beschouwing gelaten (Rustcus 2013).

4.2. Onderzoeksvraag 1

Het uitgangspunt bij onderzoeksvraag 1 is dat het NPD in het gebiedsdekkende model is ingesteld op een GG-situatie; hetzelfde als tijdens de Herijking in 2013 (Rustcus 2013). De oude situatie is hierin verwerkt door de gemalen op onbeperkte afvoer in te stellen. In de oude situatie was de afvoer echter niet geheel onbeperkt. Landbouwafvoer door de oude watergangen ging snel, maar was niet volledig onbeperkt (Bootsma & Horst 2009).

Het buitype T100.BUI heeft het grootste effect op benedenstroomse waterstanden en debieten. Dit valt misschien te verklaren met het feit dat het huidige sturingsprincipe van het NPD mede ontworpen is aan de hand van een T100 uit het Grontmij deelonderzoek (Bijlsma & Greeff 2009). Aan de andere kant: deze buien hebben ongeveer dezelfde neerslagsom, maar de buipatronen zijn verschillend.

Een opvallend resultaat is dat het effect op benedenstroomse waterstanden en debieten min of meer gelijk is voor buitypes T100-H en T100-2PK. Deze buitypes bestaan uit de meest extreme buitronen en zijn voor extreem vasthouden in het NPD even extreem bevonden.

Uit de resultaten valt een omslagpunt in effectiviteit af te lezen tussen T10-ML en T100.BUI. Dit volgt uit de volgende redenatie: T10-ML is extremer dan T10.BUI; het effect neemt toe. T100.BUI is extremer dan T10-ML; het effect neemt toe. T100-MH is extremer dan T100.BUI; het effect neemt af.

Er is geen sprake van wateroverlast bij stuw Waterleuzen, maar wellicht meer benedenstrooms, richting Meppel, wel.

4.3. Onderzoeksvraag 2

Het uitgangpunt bij onderzoeksvraag 2 is dat het NPD in het gekoppelde model is ingesteld op een GHG-situatie, hetzelfde als in het Dwingelderveldmodel van Grontmij (Bijlsma & Greeff 2009).

Het resultaat van onderzoeksvraag 2 is opvallend: het huidige sturingsprincipe is ineffectief tijdens alle gesimuleerde buitypes. Na een natte wintersituatie, is het huidige sturingsprincipe alleen tijdens een T1-ML in staat of de afvoer nog te kunnen beperken. Verder is opvallend dat de natuur afvoergolf in geen van de gevallen later dan de landbouw afvoergolf plaatsvindt. Dit kan worden verklaard door het feit dat de landbouw takken niet gedetailleerder zijn beschreven ten opzichte van het gebiedsdekkende model. De vraag is verder of er wateroverlast optreedt tijdens het buitype T100-H. In de situatie van T100-H is de piekwaterstand 7,94 m +NAP (kadehoogte stuw Waterleuzen is 7,94 m +NAP). Of er daadwerkelijk water over de kade heengaat, hangt af van eventuele golfbewegingen beïnvloedt door wind. Overigens is het zo dat tijdens een T=100 jaar gebeurtenis grasland mag inunderen (WDOD). De norm bij T=10 jaar is 5%. Voor een T=100 jaar gebeurtenis geldt voor grasland geen landelijk norm. Dus kan WDOD niet verplicht worden gesteld om wateroverlast problemen tijdens deze T=100 jaar gebeurtenis te voorkomen.

5. Conclusie

Aan de hand van de resultaten en de discussie, kan antwoord worden gegeven op elk van de onderzoeksvragen:

1. Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten?

Het effect is een piekdebietsverlaging en een piekwaterstandsdaling in de Ruiner Aa, bij stuw Waterleuzen, tijdens alle gesimuleerde extreme neerslagsituaties. Tevens treden er geen wateroverlast problemen op bij stuw Waterleuzen.

1a) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=10 jaar gebeurtenis?

Het effect is een piekdebietsverlaging van 0,40 m^3/s en een piekwaterstandsdaling van 4 cm.

1b) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens een representatieve T=100 jaar gebeurtenis?

Het effect is een piekdebietsverlaging van 1,8 m^3/s en een piekwaterstandsdaling van 17 cm. Het effect is tijdens deze representatieve T=100 jaar gebeurtenis groter dan tijdens andere T=x jaar gebeurtenissen.

1c) Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten tijdens andere T=x jaar gebeurtenissen?

Het effect is een piekdebietsverlaging van 0,63 m^3/s en een piekwaterstandsdaling van 6 cm tijdens een T=10 jaar MiddelLaag gebeurtenis.
Het effect is een piekdebietsverlaging van 1,6 m^3/s en een piekwaterstandsdaling van 15 cm tijdens een T=100 jaar MiddelHoog gebeurtenis.
Het effect is een piekdebietsverlaging van 0,69 m^3/s en een piekwaterstandsdaling van 7 cm tijdens een T=100 jaar Hoog gebeurtenis.
Het effect is een piekdebietsverlaging van 0,70 m^3/s en een piekwaterstandsdaling van 7 cm tijdens een T=100 jaar 2-Piek Kort gebeurtenis.

2. Blijft het huidige sturingsprincipe effectief tijdens verschillende T=x jaar gebeurtenissen wanneer de berging in een eerder stadium al benut is?

Nee, het huidige sturingsprincipe is ineffectief tijdens de buitypes T=1 jaar MiddelLaag, T=10 jaar MiddelLaag, T=100 jaar MiddelHoog, T=100 jaar Hoog en T=100 jaar 2-Piek Kort. Tevens treden er geen wateroverlast problemen op bij stuw Waterleuzen.

6. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk staan adviezen voor het WDOD en suggesties voor vervolgonderzoek per onderzoeksvraag.

1. Wat is het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden en debieten?

Het uitsmeren van de afvoerpiek is, naast piekafvlakking, ook een doel van een bergingsgebied. Deze uitsmering kan meegenomen worden door een uitloopperiode toe te voegen nadat de 9-daagse bui heeft plaatsgevonden.

2. Blijft het huidige sturingsprincipe effectief tijdens verschillende T=x jaar gebeurtenissen wanneer de berging in een eerder stadium al benut is?

In het gekoppelde model is het Dwingelderveld gedetailleerd geschematiseerd. Geadviseerd wordt om de landbouwsystemen ook gedetailleerder te schematiseren.

Het gekoppelde model kan geverifieerd worden door de resultaten uit 'Hydrologische evaluatie LIFE maatregelen NP Dwingelderveld' (de Greef & Schunselaar 2016) te vergelijken met resultaten uit het gekoppelde model, wanneer hetzelfde buitype als in mei 2014 wordt gebruikt. Dat is mogelijk door de hele maand mei 2014 te simuleren of door de tweede 3-daagse piek te simuleren. In dit laatste geval zou aangenomen kunnen worden dat tussen de eerste (7 t/m 12 mei) en tweede piek (26 t/m 28 mei) na de eerste piek de initiële GHG-streefpeilen weer zijn bereikt en dat daarna een 3-daagse neerslagpiek plaatsvindt.

Het huidige sturingsprincipe blijft niet effectief tijdens extreme neerslagsituaties wanneer de berging al deels benut is. Het sturingsprincipe optimaliseren, wanneer de berging al in een eerder stadium benut is, is een suggestie voor vervolgonderzoek. Met een optimaal sturingsprincipe wordt bedoeld: een sturingsprincipe dat voor alle extreme neerslagsituaties effectief is. In de praktijk kan namelijk pas achter achterhaald worden welke neerslag situatie heeft plaatsgevonden. Op voorhand een optimaal sturingsprincipe bepalen is dus gewenst. Dat zou op twee manieren kunnen:
- Binnen de huidige afspraken het huidige sturingsprincipe aanpassen: eerder water afvoeren en op een later moment pas water vasthouden.
- Het sturingsprincipe aanpassen: nieuwe afspraken maken over langer water vasthouden. Deze moet vervolgens wel voldoen aan de Natuurbeschermingswet.

Wanneer gekozen wordt voor aanpassing van het sturingsprincipe, wordt geadviseerd gedetailleerde Qh-relaties voor de stuwen te gebruiken.

7. Bronvermelding

Aquo, 2016. Aquo. *BY-NC-ND*. Available at: http://www.aquolex.nl/ [Accessed June 7, 2016].

Bijlsma, R. & Greeff, B. de, 2009. *Grontmij_deelonderzoek-bijdrage-waterbeheer-tijdens-extreme-weersomstandigheden.pdf*, Assen.

Bootsma, S. & Horst, H. ter, 2009. *Slenkstructuren NP Dwingelderveld*, Meppel.

Dwingelderveld, 2016. Informatie Dwingelderveld. Available at: http://www.nationaalpark-dwingelderveld.nl/documents/home.xml?lang=nl [Accessed March 22, 2016].

de Greef, B. & Schunselaar, S., 2016. *Dwingelderveld Eerste evaluatie Hydrologische evaluatie LIFE-maatregelen NP Dwingelderveld*, Groningen.

Meteobase, 2016. Meteobase. Available at: http://www.meteobase.nl/ [Accessed June 10, 2016].

Ministry of Transport Public Works and Water Management, 2000. *A Different Approach to Water ,* The Hague.

Oosten, H. van, 2015. *Beheerdocument Nationaalpark Dwingelderveld*, Meppel.

Paint, 2016. Paint.

Rustcus, R.T., 2013. *Waterschap Reest en Wieden Herijking WB21 wateropgave Eindrapport*, Assen.

SOBEK, 2009. SOBEK.

STOWA, 2015. *Nieuwe neerslag- statistieken voor het waterbeheer :*, Amersfoort.

Unie van Waterschappen, 2016. Drents Overijsselse Delta - Waterschappen.nl. Available at: http://www.waterschappen.nl/waterschappen/drents-overijsselse-delta-2/ [Accessed June 4, 2016].

Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2016. WDOD. Available at: http://www.wdodelta.nl/ [Accessed June 16, 2016].

8. Lijst met afkortingen

GG.....Gemiddelde Grondwaterstand

GGOR.....Gewogen Grond- en Oppervlaktewater Regime

GHG.....Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand

GLG .....Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

H.....Buipatroon met één hoge piek waarin 87,5% buivolume gecentreerd is in de piek

ML.....Buipatroon met één middellage piek waarin 37,5% buivolume gecentreerd is in de piek

MH.....Buipatroon met één middelhoge piek waarin 62,5% buivolume gecentreerd is in de piek

NAP .....Normaal Amsterdams Peil

NPD .....Nationaal park Dwingelderveld

Qh-relatie.....Relatie tussen afvoer en waterstand

RR model.....Rainfall-Runoff model

STOWA.....Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

WB21.....Waterbeheer 21e eeuw

WDOD.....Waterschap Drents Overijsselse Delta

Bijlagen

Bijlage A: Stochastenmethode

Aangezien het NPD een bergingsgebied is dat extreem vasthoudt, wordt in dit onderzoek gekeken naar extreme neerslag gebeurtenissen. Informatie over de kans op extreme neerslag gebeurtenissen en de neerslagsom is te vinden in neerslagstatistieken. Zo geven de neerslagstatistieken inzicht over extreme neerslag gebeurtenissen binnen een buiperiode die eens in de tien of honderd jaar voorkomt.

Voor het bepalen van het effect van inrichtingsmaatregelen gebruikt WDOD de zogenoemde stochastenmethode (Rustcus 2013). Deze methode heeft als basis dat een aantal stochasten (variabelen) wordt gekozen die bepalend zijn voor het optreden van (in dit geval) extreme situaties. Het is daarbij belangrijk dat de stochasten onafhankelijk van elkaar zijn om een zo betrouwbaar mogelijke uitkomst te krijgen. De stochasten vormen gezamenlijk een buitype dat gebruikt zal worden voor het onderzoek.

In dit onderzoek wordt een buitype opgedeeld in de volgende stochasten:

- Buivorm
- Buivolume
- Beginsituatie bodem

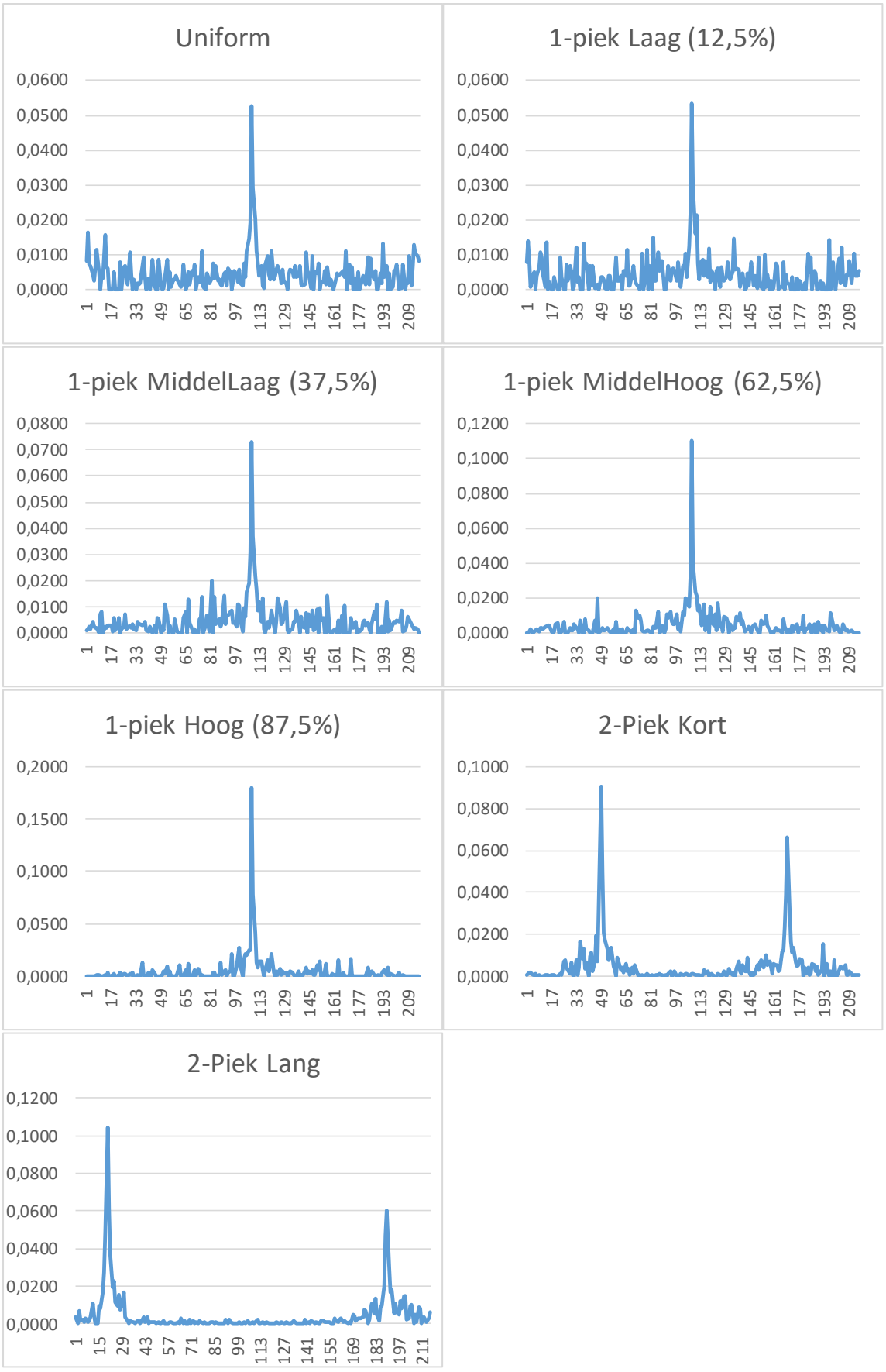
Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen de periode binnen en buiten het groeiseizoen. Voor de buitypes wordt uitgegaan van STOWA neerslagstatistiek 2004 en 2015. STOWA 2004 is gebruikt in de Herijking in 2013 (Rustcus 2013). STOWA 2015 geeft extremere neerslag situaties weer t.o.v. 2004 (STOWA 2015).

Buivorm

Een buivorm bestaat uit een buiduur en een buipatroon. De buiduur loopt uiteen van 2 uren tot en met 9 dagen. Aangezien een 9-daagse bui de grootste neerslagsom heeft, en dus de meest extreme neerslag gebeurtenissen weergeeft, wordt er in dit onderzoek alleen gebruik gemaakt van 9-daagse buitypes. Het buivolume kan op verschillende manier worden verspreid over 9 dagen. Voor de verdeling van het buivolume worden buipatronen gebruikt. Zo'n buipatroon geeft per tijdstap aan welke fractie van de het buivolume op dat moment valt. Er worden in totaal zeven buipatronen onderscheiden. Hieronder staan ze op een rij met rechts een bijbehorende afkorting.

1. Uniform - U
2. Eén piek Laag met 12,5% buivolume gecentreerd in de piek - L
3. Eén piek MiddelLaag met 37,5% buivolume gecentreerd in de piek - ML
4. Eén piek MiddelHoog met 62,5% buivolume gecentreerd in de piek - MH
5. Eén piek Hoog met 87,5% buivolume gecentreerd in de piek - H
6. Twee pieken met een korte periode tussen de pieken - 2PK
7. Twee pieken met een lange periode tussen de pieken - 2PL

Het percentage in onderstaande figuren (Figuur 18) geeft dus aan hoeveel procent van het buivolume gecentreerd wordt in de piek. Uitgaande van hetzelfde buivolume, zal een sterk gecentreerde bui (1-Piek Hoog) een grotere waterstandsstijging tot gevolg hebben dan een uniforme bui (Rustcus 2013).



Figuur 18: Zeven buipatronen (Meteobase 2016)

Bij elk buipatroon hoort een kans op voorkomen. Deze is in STOWA 2015 opgesteld voor het huidige klimaat, maar ook voor de klimaatscenario's G/G+/W/W+ 2050 (STOWA 2015). De kans op optreden van een buipatroon tijdens een 9-daagse bui is als volgt (Tabel 4).

Klimaatscenario	U	L	ML	MH	H	2PK	2PL
Huidig	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,18	0,12
G 2050	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,18	0,12
G+ 2050	0,14	0,14	0,13	0,14	0,16	0,18	0,12
W 2050	0,12	0,12	0,15	0,13	0,17	0,18	0,12
W+ 2050	0,14	0,12	0,16	0,14	0,17	0,17	0,12

Tabel 4: Kans op optreden van een buipatroon (Meteobase 2016)

Uit deze tabel kan worden geconcludeerd dat de buipatronen H en 2PK het vaakst voor komen in zowel het huidige klimaatscenario als in de klimaatscenario's van 2050. Dit zijn tevens de meest extreme buipatronen.

Buivolume

Het buivolume of neerslagsom is de totale hoeveelheid neerslag die binnen een bepaalde buiduur valt. Het buivolume is gekoppeld aan een herhalingstijd in jaren, variërend tussen een halve dag en negen dagen. Voor een 9-daagse bui kan deze hoeveelheid variëren tussen 69 en 185 mm, afhankelijk van de herhalingstijd. Het buivolume voor een bepaalde herhalingstijd blijft in dit geval hetzelfde voor het gehele jaar; er wordt immers geen onderscheid gemaakt tussen binnen of buiten het groeiseizoen.

Beginsituatie bodem

Er kunnen drie beginsituaties voor een bodem onderscheiden worden: droog, gemiddeld en nat. De droge situatie wordt gerepresenteerd als Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG), de gemiddelde situatie door de Gemiddelde Grondwaterstand (GG) en de natte situatie wordt gerepresenteerd door de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG). Voor onderzoeksvraag 1 zal GG gebruikt worden en voor onderzoeksvraag 2 GHG.

Buitypes

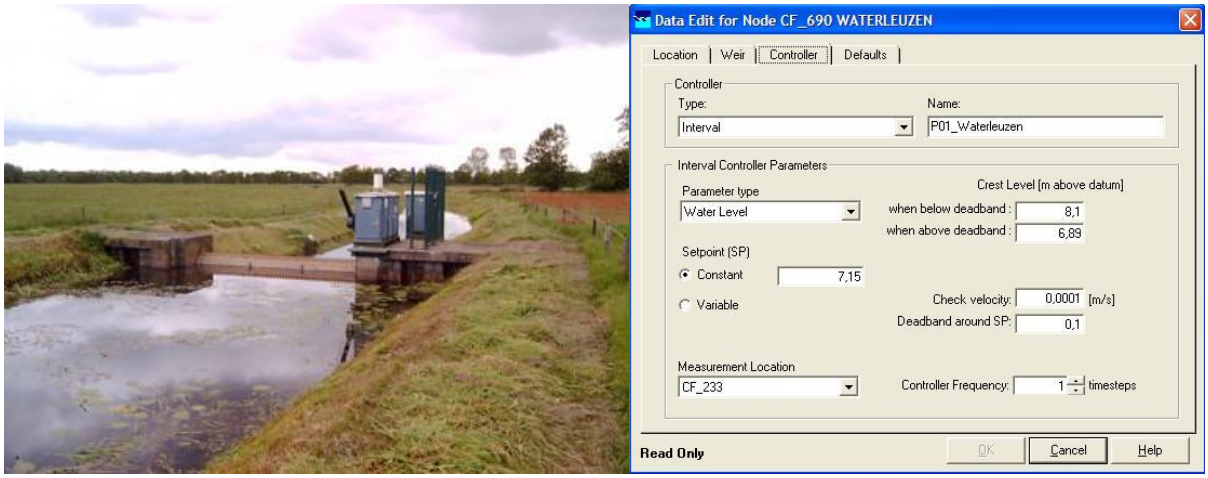
De volgende buitypes worden gebruikt in het onderzoek (Tabel 5).

Buitype (T=x jaar gebeurtenis)	**Aanduiding**
Representatieve T=10 jaar gebeurtenis	T10.BUI
Representatieve T=100 jaar gebeurtenis	T100.BUI
T=1 jaar gebeurtenis MiddelLaag	T1-ML
T=10 jaar gebeurtenis MiddelLaag	T10-ML
T=100 jaar gebeurtenis MiddelHoog	T100-MH
T=100 jaar gebeurtenis Hoog	T100-H
T=100 jaar gebeurtenis 2 Piek-Kort	T100-2PK

Tabel 5: Overzicht buitypes

Bijlage B: Stuw Waterleuzen

Stuw Waterleuzen is de eerste stuw benedenstrooms van het gehele NPD in de Ruiner Aa. Het gemiddelde GGOR-streefpeil van de stuw is 7,15 m +NAP. De stuwhoogte kan oplopen van 6,89 m +NAP tot en met 8,10 m +NAP. De stuw bepaalt aan de hand van bovenstroomse waterstanden hoe hoog de stuwhoogte moet zijn. Hieronder staan achtereenvolgens: een foto van de stuw, de SOBEK instellingen, en een dwarsprofiel bovenstrooms van de stuw (SOBEK 2009). In het dwarsprofiel is af te lezen dat de kadehoogte 7,94 m +NAP bedraagt (groene lijn).



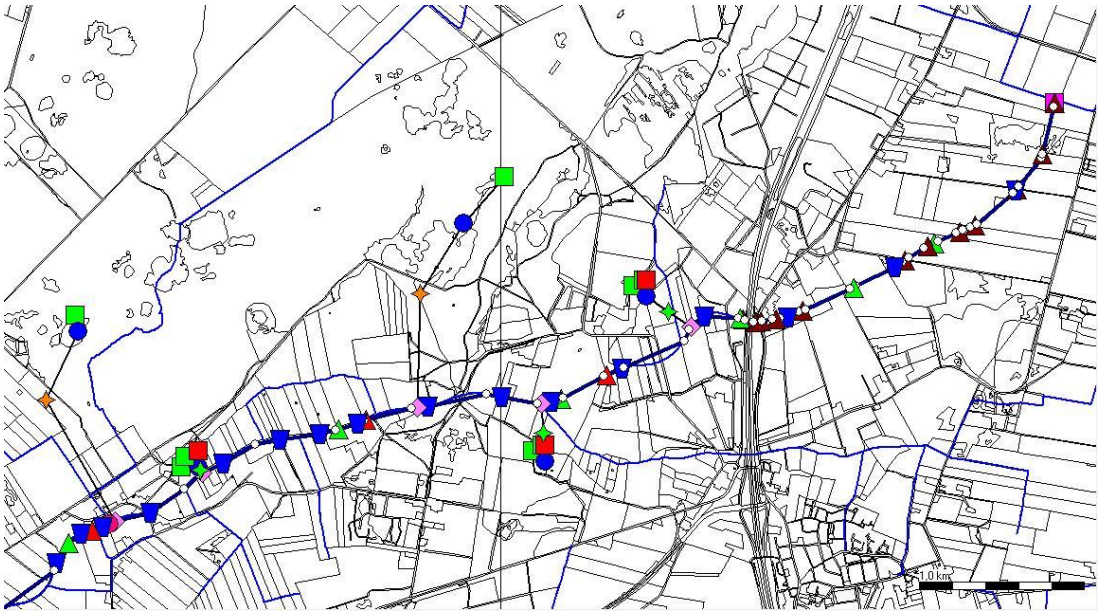
Figuur 19: foto stuw Waterleuzen (links) en SOBEK instellingen (rechts) (SOBEK 2009)

Figuur 20: Dwarsprofiel locatie stuw Waterleuzen

Bijlage C: Gekoppelde model

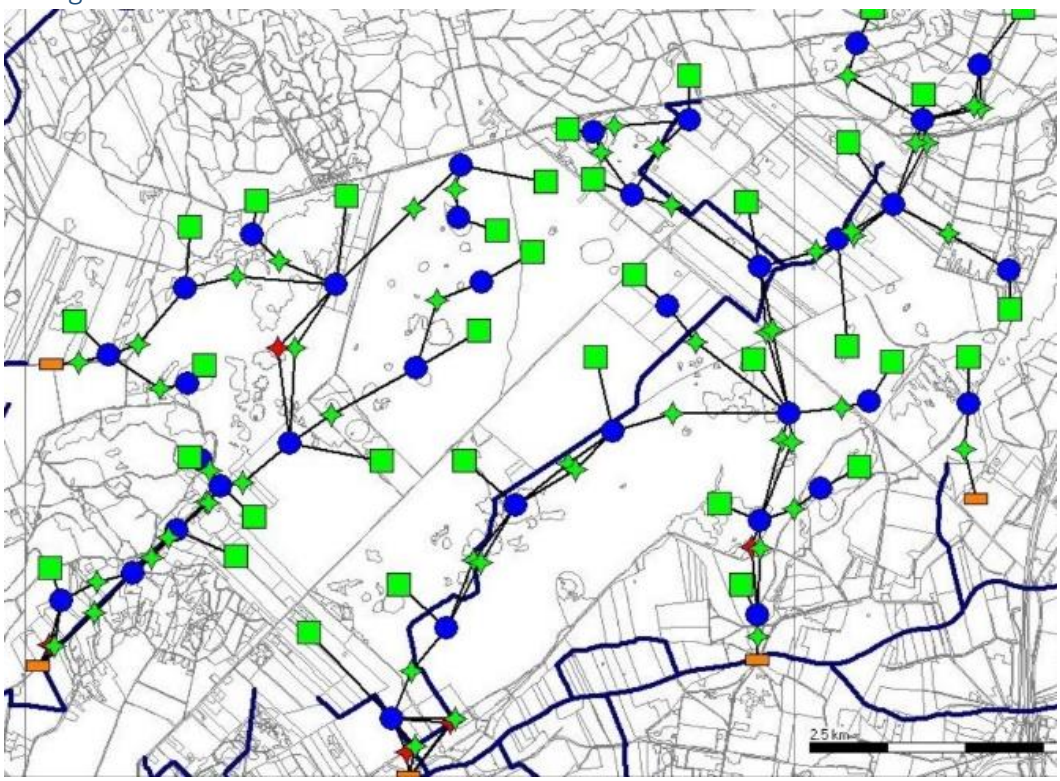
Het gekoppelde model is een koppeling tussen het Dwingelderveld model (gebruikt in het Grontmij Deelonderzoek (Bijlsma & Greeff 2009)), en het Gebiedsdekkende model (gebruikt in de Herijking (Rustcus 2013)). Deze koppeling is gemaakt door het Dwingelderveld model te importeren in het gebiedsdekkende model. Vervolgens zijn de afvoerpunten gekoppeld aan de Ruiner Aa. Tevens is watergang 'wwa-50' toegevoegd aan de rechterzijde van het NPD.

Gebiedsdekkende model



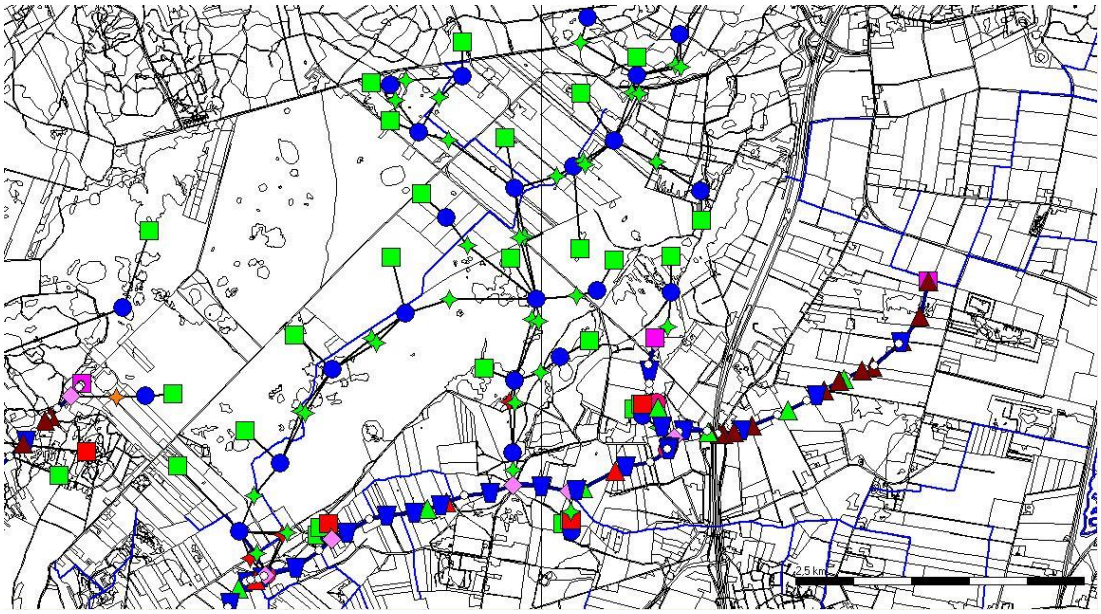
Figuur 21: Gebiedsdekkende model (SOBEK 2009)

Dwingelderveldmodel



Figuur 22: Dwingelderveldmodel (SOBEK 2009)

Gekoppelde model



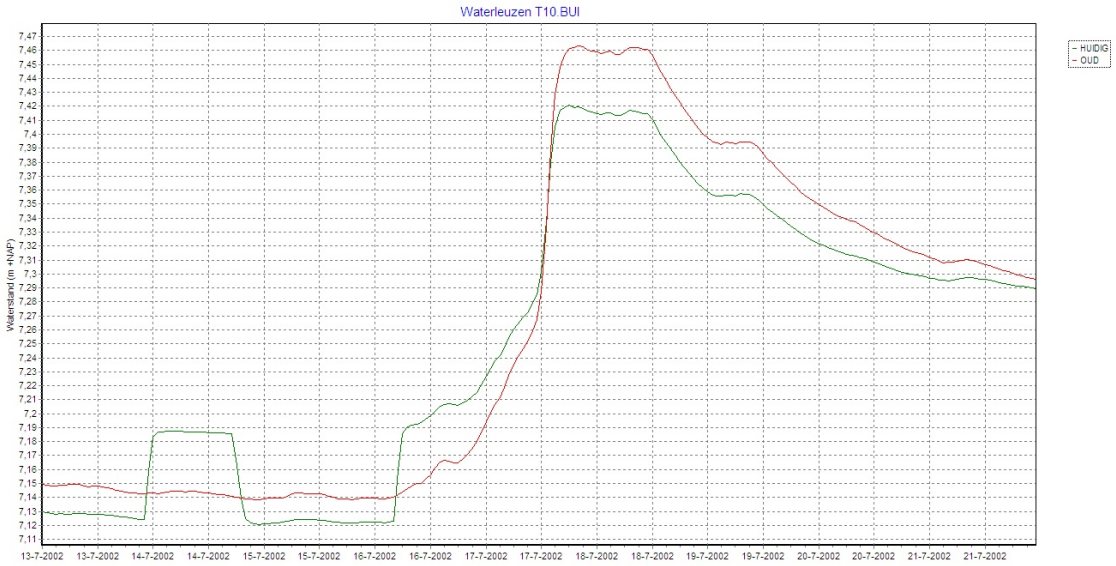
Figuur 23: Gekoppelde model (SOBEK 2009)

Bijlage D: Resultaten

Uitkomsten 1a

Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden tijdens een representatieve T=10 jaar gebeurtenis.

Waterstandsverschillen T10.BUI

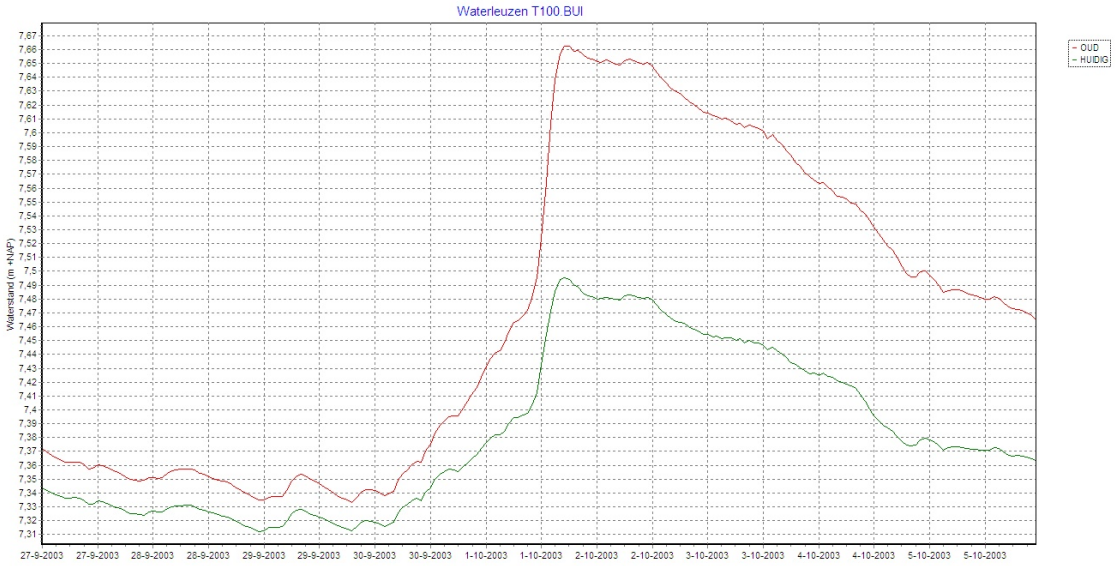


MAX OUD (m +NAP)	MAX HUIDIG (m +NAP)	PIEKWATERSTANDSVERSCHIL (cm +NAP)
7,46	7,42	**-4**

Uitkomsten 1b

Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden tijdens een representatieve T=100 jaar gebeurtenis.

Waterstandsverschillen T100.BUI

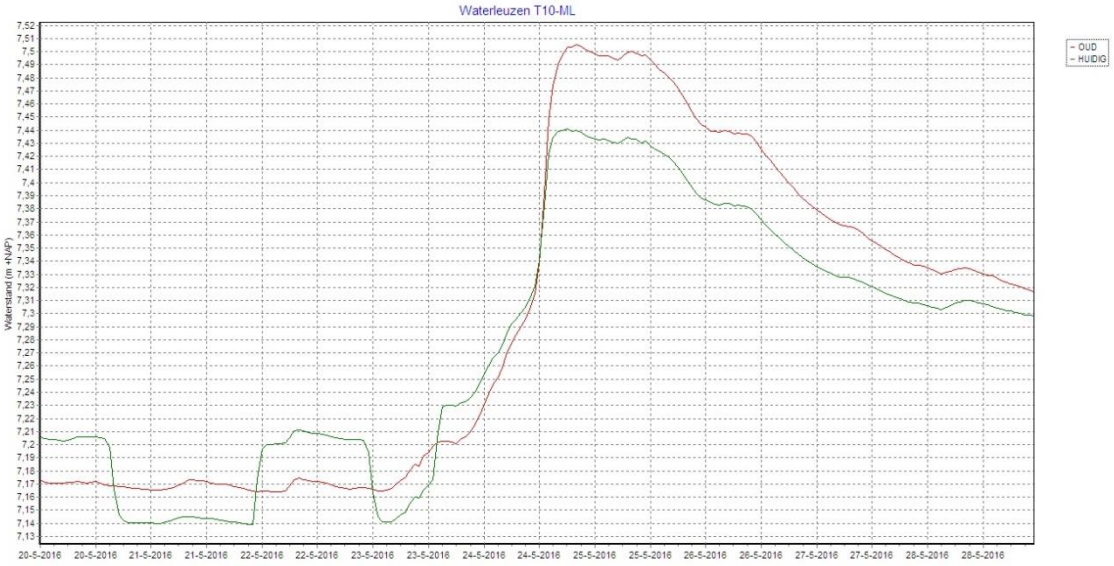


MAX OUD (m +NAP)	MAX HUIDIG (m +NAP)	PIEKWATERSTANDSVERSCHIL (cm +NAP)
7,66	7,49	**-17**

Uitkomsten 1c

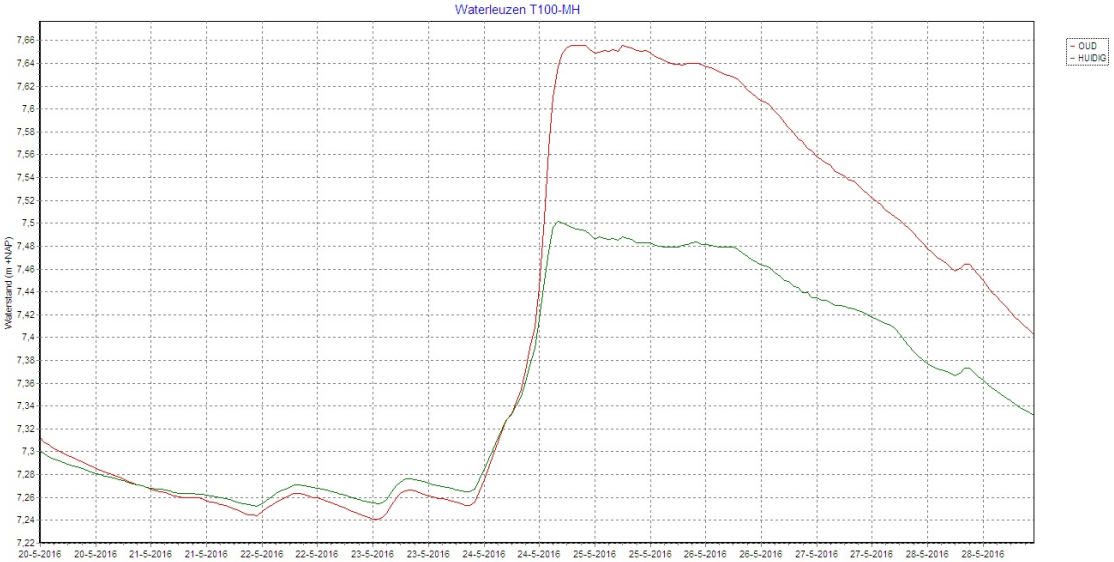
Het effect van extreem vasthouden in het NPD op benedenstroomse waterstanden tijdens andere T=x jaar gebeurtenissen.

Waterstandsverschillen T10-ML



MAX OUD (m +NAP)	MAX HUIDIG (m +NAP)	PIEKWATERSTANDSVERSCHIL (cm +NAP)
7,51	7,44	**-6**

Waterstandsverschillen T100-MH



MAX OUD (m +NAP)	MAX HUIDIG (m +NAP)	PIEKWATERSTANDSVERSCHIL (cm +NAP)
7,65	7,50	**-15**

Waterstandsverschillen T100-H

MAX OUD (m +NAP)	MAX HUIDIG (m +NAP)	PIEKWATERSTANDSVERSCHIL (cm +NAP)
7,51	7,44	**-7**

Waterstandsverschillen T100-2PK

De eerste maxima zijn hier gebruikt om het piekwaterstandsverschil aan te geven. De tweede maxima geven namelijk lagere waterstanden weer. Wel is de piekwaterstandsverlaging voor beide maxima gelijk.

MAX OUD (m +NAP)	MAX HUIDIG (m +NAP)	PIEKWATERSTANDSVERSCHIL (cm +NAP)
7,50	7,42	**-7**