

## Rapport

---

Projectnummer: 361122

Referentienummer: SWNL0228452

Datum: 3-7-2018

---

## Hydraulisch onderzoek oppervlaktewatersysteem 'de Bruuk'

Onderzoek naar de effecten van maatregelen in het oppervlaktewatersysteem rondom natuurgebied 'de Bruuk' op oppervlaktewaterstanden en toetsing aan de hand van een beoordelingskader

### Eindrapport



Opdrachtgever:  
Provincie Gelderland  
Postbus 9090  
6800 GX ARNHEM

 **provincie  
Gelderland**

  
Waterschap  
Rivierenland

Sweco  
Velperweg 26  
6824 BJ Arnhem  
Postbus 485  
6800 AL Arnhem

T +31 88 811 66 00  
[www.sweco.nl](http://www.sweco.nl)

Sweco Nederland B.V.  
30129769  
Statutair gevestigd te De Bilt

Roel Velner  
T +31 88 811 69 90  
M +31 6 22 70 47 34

## Revisiebeheer

Revisie	Datum	Status	Belangrijkste wijzigingen
1	19-jan-2018	concept	Uitwerking van aanpak en methode voor het hydraulisch onderzoek 'de Bruuk'
2	2-feb-2018	concept	Verbeteren van aanpak en methode en beschrijving van het conceptontwerp op basis van feedback van Hans van Altena, Harry Huijskes (Provincie Gelderland), Jaap Cremer en Jeroen Haas (Waterschap Rivierenland) en Jan van Acker (Sweco) en rapportage van doorrekenen van het conceptontwerp (versie 1)
3	22-feb-2018	concept	Conceptversie van eindrapportage aangeboden aan kwaliteitsborger Jan van Acker (Sweco)
4	2-mrt-2018	concept	Feedback van Jan van Acker doorgevoerd
5	3-mei-2018	concept	Toevoegen nieuw tracé aan conceptontwerp en toevoegen van berekende afvoergolf die lijkt op gemeten afvoergolf van mei 2016 op meetstuw 'Ashorst'
6	3-juli-2018	eindrapportage	Verwerken uiteindelijke eindscenario 7

## Verantwoording

Titel	Hydraulisch onderzoek oppervlaktewatersysteem 'de Bruuk'
Subtitel	Onderzoek naar de effecten van maatregelen in het oppervlaktewatersysteem rondom natuurgebied 'de Bruuk' op oppervlaktewaterstanden en toetsing aan de hand van een beoordelingskader
Projectnummer	361122
Referentienummer	SWNL0228452
Revisie	6
Datum	3-7-2018
Auteur(s)	Roel Velner; Tijmen Heetebrij
E-mailadres	roel.velner@sweco.nl tijmen.heetebrij@sweco.nl
Gecontroleerd door	Jan van Acker
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Ron Buitelaar
Paraaf goedgekeurd	

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Aanleiding, onderzoeksvragen, kader en scope .....</b>	<b>5</b>
1.1	Beoogd doel voor 'de Bruuk' .....	5
1.2	Conceptontwerp .....	5
1.3	Onderzoeksvragen .....	7
1.4	Scope van het onderzoek .....	7
1.5	Beoordelingskader .....	8
<b>2</b>	<b>Onderzoeksmethode .....</b>	<b>9</b>
2.1	Onderdeel 1: Watersysteembeschrijving .....	10
2.2	Onderdeel 2: Watersysteemmodellering .....	10
2.3	Onderdeel 3: Watersysteemsenario's .....	11
<b>3</b>	<b>Watersysteembeschrijving .....</b>	<b>11</b>
3.1	Oppervlaktewatersysteem .....	11
3.2	Betekenis in relatie tot onderzoeksvragen .....	13
<b>4</b>	<b>Watersysteemmodellering .....</b>	<b>14</b>
4.1	Implementatie van Basismodeldatasets in rekenprogramma SOBEK3 .....	14
4.2	Rekenresultaten 'huidige situatie' .....	15
<b>5</b>	<b>Watersysteemsenario's .....</b>	<b>15</b>
5.1	Berekende effecten van conceptontwerp (versie 1) .....	15
5.2	Berekende effecten van conceptontwerp (versie 2) .....	16
5.3	Berekende effecten van conceptontwerp (versie 7) .....	17
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>19</b>
6.1	Conclusies .....	19
6.2	Aanbevelingen .....	19
	<b>Bijlage 1: Watersysteemkaarten .....</b>	<b>20</b>
	<b>Bijlage 2: Gemeten dwarsprofielen .....</b>	<b>25</b>
	<b>Bijlage 3: Gemeten afvoeren .....</b>	<b>33</b>
	<b>Bijlage 4: Watersysteemmodellering .....</b>	<b>39</b>
	<b>Bijlage 5: Watersysteemsenario (Conceptontwerp versie 1) .....</b>	<b>43</b>
	<b>Bijlage 6: Watersysteemsenario (Conceptontwerp versie 2) .....</b>	<b>47</b>
	<b>Bijlage 7: Watersysteemsenario (Conceptontwerp versie 7) .....</b>	<b>49</b>
	<b>Bijlage 8: Controle van hoogteligging bestaande duikers .....</b>	<b>59</b>
	<b>Bijlage 9: Afmetingen van verkleinde watergangen .....</b>	<b>61</b>

## 1 Aanleiding, onderzoeksvragen, kader en scope

Provincie Gelderland en Waterschap Rivierenland werken in het kader van het Programma Aanpak Stikstof (PAS) samen aan het behalen van natuurdoelen in natuurgebied 'de Bruuk'. Er is in voorgaande studies gezocht naar maatregelen die positieve effecten hebben op natuurwaarden. In eerste instantie werd daarbij gekozen voor het bereiken van natuurdoelen door het aanbrengen van een ondoordringbare leemlaag in alle watergangen. Voor twee watergangen (PAS-maatregel M3b en M4) brengt die aanpak te grote risico's mee voor de uitvoerbaarheid en is de omgevingsbelasting groot. Daarom wordt voor M3b en M4 peilopzet als alternatieve maatregel onderzocht. Peilopzet is een verantwoord alternatief als de negatieve effecten voor de omgeving niet groter zijn dan bij de oorspronkelijk beoogde aanpak. Dit betekent o.a. dat in geval van piekafvoeren geen extra inundaties mogen optreden als gevolg van verhoging van piekwaterstanden.

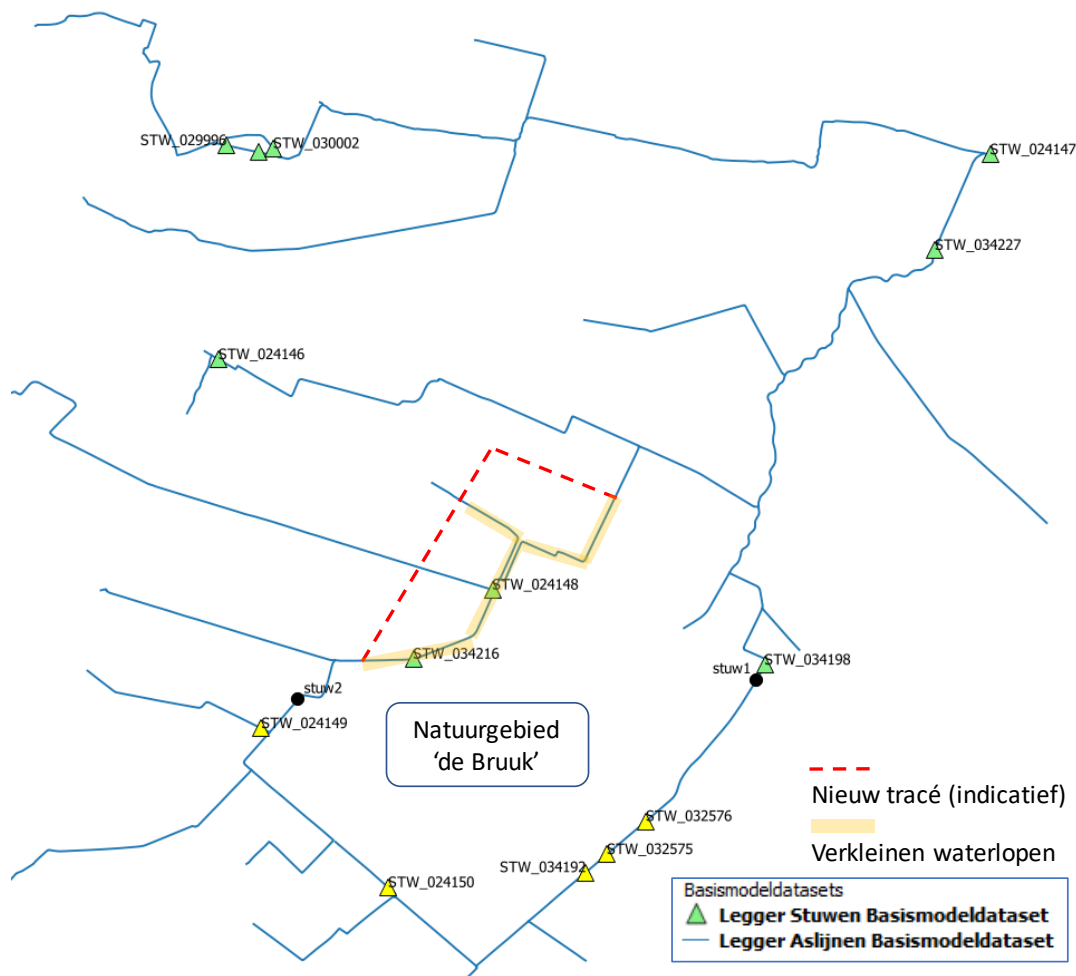
### 1.1 Beoogd doel voor 'de Bruuk'

Voor de maatregel peilopzet is een conceptontwerp samengesteld door de provincie en het waterschap. In dit rapport worden de resultaten van een hydraulische doorrekening van dit conceptontwerp gerapporteerd. De projectgroep voor dit project bestaat uit medewerkers van Provincie Gelderland, Waterschap Rivierenland en Sweco. De berekeningen moeten enerzijds de gewenste waterstandsverhogingen in het oppervlaktewatersysteem laten zien bij lage en normale afvoeren. Deze oppervlaktewaterstandsverhogingen zijn gewenst om grondwaterstanden en kwel positief te beïnvloeden in natuurgebied 'de Bruuk'. Daarnaast moeten de berekeningen de effecten laten zien van het conceptontwerp op oppervlaktewaterstanden bij piekafvoeren. Deze effecten bij piekafvoeren worden beoordeeld binnen een vooraf opgesteld kader. Indien de effecten op oppervlaktewaterstanden bij piekafvoeren ongewenst groot blijken te zijn, wordt er gezocht naar verbeteringen aan het conceptontwerp. Deze verbeterde conceptontwerpen worden vervolgens ook doorgerekend. In de volgende paragraaf wordt het conceptontwerp beschreven.

### 1.2 Conceptontwerp

Het conceptontwerp bestaat uit het verwijderen van een aantal stuwen en het aanbrengen van een aantal nieuwe stuwen die oppervlaktewaterstanden gaan verhogen. Uit de Legger van Waterschap Rivierenland is een overzicht gemaakt van de stuwen die rondom 'de Bruuk' aanwezig zijn. Dit overzicht is getoond in figuur 1. In het figuur is de locatie van natuurgebied 'de Bruuk' schematisch weergegeven met een kader. De stuwen uit de Legger zijn opgenomen als driehoeken en van labels voorzien. De locaties voor de nieuwe stuwen zijn weergegeven als zwarte stippen. De hoofdwaterlopen van de Legger zijn als blauwe trajecten getoond. De stuwen uit de Legger die in het ontwerp verwijderd worden zijn in figuur 1 geel van kleur, de stuwen die aanwezig blijven zijn groen van kleur.

Daarnaast bestaat het conceptontwerp uit het verkleinen van de waterlopen aan de noordzijde van 'de Bruuk'. Deze waterlopen zijn in figuur 1 aangegeven met de gele kleur (zie Bijlage 9 voor toekomstige afmetingen van deze watergangen). Deze maatregel zorgt er voor dat deze waterlopen een kleinere drainerende werking hebben. Het verkleinen van deze waterlopen heeft gevolgen voor duikers die ter plekke liggen. In Bijlage 8 is opgenomen voor welke duikers wordt geadviseerd om deze op te hogen. Met een nieuw tracé wordt er voor gezorgd dat er een hoofdafvoer route blijft bestaan die het water van het bovenstroomse gebied kan afvoeren. Deze is met de rode stippellijn in figuur 1 aangegeven.



Figuur 1 stuwen uit de Legger (groen of geel, met labels) en nieuwe stuwen (zwart)

Het ontwerp dat de provincie en het waterschap hebben samengesteld bestaat uit het verwijderen van de volgende stuwen (gele driehoeken in figuur 1, aangevuld met STW\_034216):

- stuw met label 'STW\_024149';
- stuw met label 'STW\_024150';
- stuw met label 'STW\_034192';
- stuw met label 'STW\_034216';
- stuw met label 'STW\_032575';
- stuw met label 'STW\_032576'.

En het plaatsen van nieuwe stuwen op de volgende coördinaten (zwarte punten in figuur 1):

- stuw 1: x = 195481.58 en y = 419558.91 (Oostelijke Leigraaf);
- stuw 2: x = 194176.37 en y = 419502.79 (Ashorst).

De nieuwe stuwen 1 en 2 zullen automatische stuwen zijn die de bovenstroomse waterstand relatief hoog en zo constant mogelijk zullen houden. Dit betekent dat ze bij lage en normale afvoeren hoge klephoogten zullen hebben en naarmate afvoeren hoger worden zal de klep naar beneden gestuurd worden om waterstanden zo min mogelijk te laten toenemen. De nieuwe stuwen zullen sturen op bovenstroomse waterstanden van:

- stuw 1: 15.6 m +NAP (Oostelijke Leigraaf);
- stuw 2: 17.0 m +NAP (Ashorst).

De automatische stuwen zullen voldoende breed moeten zijn en de kleppen zullen voldoende laag gezet moeten kunnen worden om de waterstanden bovenstrooms van de stuwen zo lang mogelijk op hetzelfde niveau te houden. De klepstanden en stuwbreedten waarmee gerekend is in deze studie zijn als volgt:

- stuw 1: klepbreedte: 3 m. en minimale klepstand: 14.3 m+NAP;
- stuw 2: klepbreedte: 2.5 m. en minimale klepstand: 16.3 m+NAP.

De overige stuwen die in het gebied aanwezig zijn, zullen onveranderd blijven qua sturing en ligging. Dit geldt ook voor stuw STW\_034198 in figuur 1. Daar wordt bewust voor gekozen om daarmee lokaal geen verlaging van oppervlaktewaterstanden te introduceren.

### 1.3 Onderzoeksvragen

Gezien de bovenbeschreven aanleiding, de natuurdoelen en het conceptontwerp zijn de onderzoeksvragen voor deze hydraulische studie als volgt:

1. Wat is het gewenste beoordelingskader waarmee de effecten van het conceptontwerp op oppervlaktewaterstanden worden beoordeeld?
2. Wat zijn de effecten van het conceptontwerp op oppervlaktewaterstanden bij lage en normale afvoeren en bij piekafvoeren?
3. Hoe worden deze effecten beoordeeld, gezien het opgestelde beoordelingskader?
4. Zijn er optimalisaties mogelijk aan het conceptontwerp om (eventuele) ongewenste effecten op oppervlaktewaterstanden bij piekafvoeren te mitigeren?
5. Kan aan beide wensen voldaan worden? Dus enerzijds aan de wens om met stuwen waterstandsverhogingen toe te passen bij lage en gemiddelde afvoeren en anderzijds voldoen aan het beoordelingskader voor effecten op oppervlaktewaterstanden bij piekafvoeren?

Hieronder is het beoordelingskader beschreven dat in deze studie door waterschap en de provincie is vastgesteld om de effecten van het conceptontwerp op oppervlaktewaterstanden te beoordelen (dit is een invulling van onderzoeksvraag 1). Hoofdstukken 2 tot en met 6 beschrijven de methode en resultaten die zijn verkregen bij het beantwoorden van onderzoeksvragen 2 t/m 5.

### 1.4 Scope van het onderzoek

Er is door de provincie en het waterschap voor gekozen om de studie uit te voeren met een methode die inzicht geeft in de verwachte effecten op oppervlaktewaterstanden. Deze methode maakt inzichtelijk wat de effecten zijn van de ingrepen op oppervlaktewaterstanden bij een aantal gekozen afvoersituaties. Daarbij is het kiezen van een aantal uitgangspunten nodig. Deze uitgangspunten zijn in paragraaf 1.5 genoemd.



Gegeven deze scope is er voor gekozen om te laten zien welke effecten het conceptontwerp heeft bij een aantal stationaire afvoergebeurtenissen en bij een aantal synthetische piekafvoeren. Er wordt in deze studie getoond wat de effecten van het conceptontwerp zijn op oppervlaktewaterstanden bij deze afvoergebeurtenissen. Een onderwerp dat buiten de scope van deze studie valt is bijvoorbeeld het effect van het conceptontwerp op grondwaterstanden.

### 1.5 Beoordelingskader

Het conceptontwerp heeft tot doel om, via het lokaal rondom 'de Bruuk' verhogen van oppervlaktewaterstanden bij lage en gemiddelde afvoer, tot positieve effecten op het grondwaterregime te komen. Daarom zijn effecten op oppervlaktewaterstanden bij lage en gemiddelde afvoeren nodig en gewenst. Tegelijkertijd is er de wens om bij piekafvoeren geen effect op waterstanden teweeg te brengen. Daarom is het volgende beoordelingskader opgesteld. De effecten op waterstanden zullen bij een aantal afvoersituaties worden beoordeeld. De afvoersituaties qua lage en gemiddelde afvoeren zijn als volgt gekozen als percentage van de maatgevende afvoer, op basis van vuistregels uit het Cultuurtechnisch Vademecum (zie figuur 2):

- stationaire afvoer van Q1% van de maatgevende afvoer (ofwel: 0.015 l/s/ha); representatief voor een lage zomer afvoer na een droge periode;
- stationaire afvoer van Q12% van de maatgevende afvoer (ofwel: 0.18 l/s/ha); een schatting van de mediaan van de afvoer op basis van een vuistregel (mediaan betekent: 50% van de tijd wordt deze afvoer overschreden en 50% van de tijd wordt deze onderschreden);

De situaties qua middelhoge afvoeren zijn als volgt gekozen:

- stationaire afvoer van Q50% van de maatgevende afvoer (ofwel: 0.75 l/s/ha); de halve maatgevende afvoer, een afvoer die ongeveer tien à twintig dagen per jaar wordt bereikt of overschreden;
- stationaire afvoer van Q100% van de maatgevende afvoer (ofwel: 1.5 l/s/ha); de hele maatgevende afvoer; de 'maatgevende afvoer' is de afvoer die wordt gebruikt bij het dimensioneren en beoordelen van de afvoercapaciteiten van waterlopen en kunstwerken, het is een afvoer die ongeveer één à twee dagen per jaar wordt bereikt of overschreden;

De situaties qua piekafvoeren zijn als volgt gekozen:

- een afvoergebeurtenis (piek 1) die lijkt op de afvoergebeurtenis die in mei 2016 is gemeten door meetstuw Ashorst. Dit was een extreme afvoergebeurtenis;
- drie aanvullende piekafvoersituaties (pieken 2, 3 en 4) die qua volume en duur kleiner en korter zijn dan piek 1 (zie Bijlage 4 voor beschrijving van piekafvoeren 1 t/m 4).

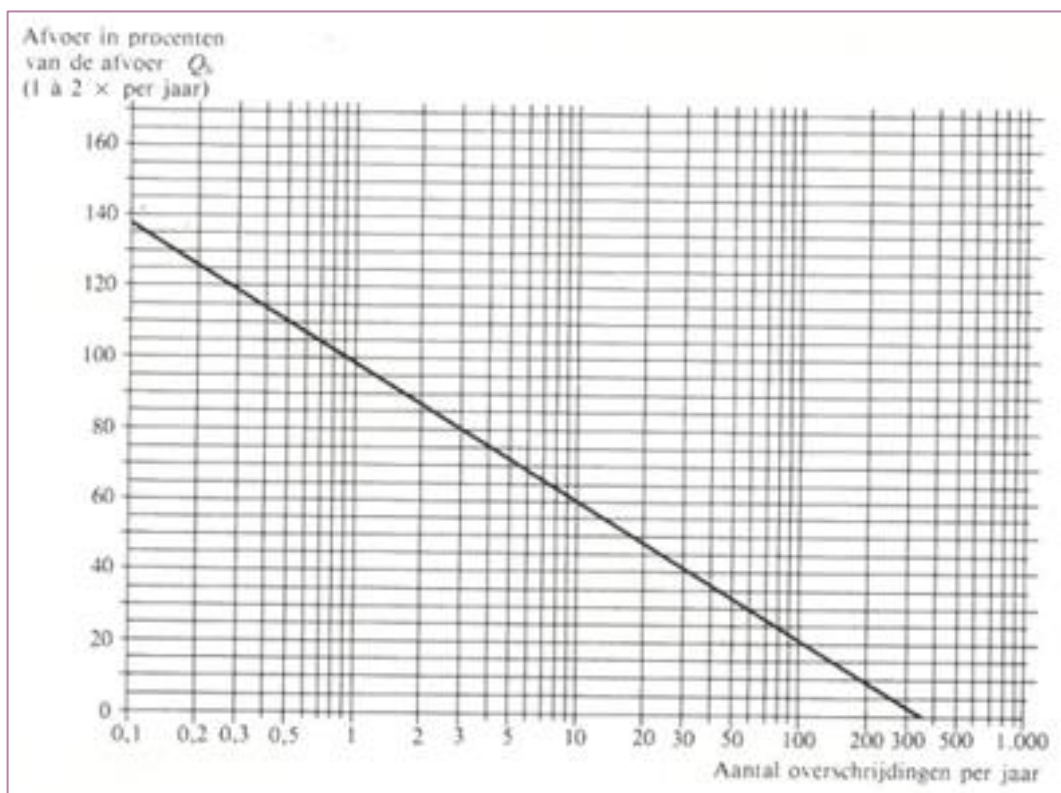
De beoordelingscriteria voor berekende effecten zijn voor deze afvoersituaties als volgt gekozen. Berekende maximale waterstanden in het conceptontwerp mogen bij de volgende afvoergebeurtenissen toenemen ten opzichte van de huidige situatie, maar niet boven de insteek uitkomen:

- lage stationaire afvoeren (Q1%);
- mediaan stationaire afvoeren (Q12%);
- middelhoge stationaire afvoeren (Q50% en Q100%).

De volgende methode is gebruikt om voor een gemeten dwarsprofiel te bepalen wat de insteekhoogte is. De hoogte van de insteek per gemeten dwarsprofiel wordt bepaald door eerst per dwarsprofiel op de linker- en rechteroever het hoogste punt op te zoeken. Vervolgens wordt de insteek berekend als laagste van die twee waarden.



Berekende maximale waterstanden in het conceptontwerp mogen bij de piekafvoer gebeurtenissen 1 t/m 4 niet toenemen ten opzichte van de huidige situatie bovenstrooms en benedenstrooms van de trajecten waar peilopzet wordt toegepast.



Figuur 2 vuistregel: relatie tussen daggemiddelde afvoer en aantal overschrijdingen per jaar (bron: Cultuurtechnisch Vademecum, 1988)

Het beoordelingskader, zoals beschreven in deze paragraaf, zal worden toegepast op de berekeningsresultaten van een hydraulisch model voor het huidige watersysteem en modellen, waarin versies van het toekomstige conceptontwerp zijn verwerkt. Er wordt iteratief gezocht naar een ontwerp dat zo goed mogelijk aan het beoordelingskader voldoet. Het uiteindelijke, geoptimaliseerde conceptontwerp is gerapporteerd. Een aantal tussenversies zijn ook in deze rapportage beschreven. In het volgende hoofdstuk wordt de onderzoeksmethode verder uitgeschreven.

## 2 Onderzoeksmethode

Voordat er met de gewenste effectberekeningen (zie paragraaf 1.5) gestart kan worden is het nodig om de werking van het oppervlaktewatersysteem in de hoofdwaterlopen rondom 'de Bruuk' voldoende goed in beeld te hebben. Kennis van die werking van het systeem is nodig om de manier waarop het watersysteem in werkelijkheid functioneert te controleren, te begrijpen en daarna in een hydraulische berekening te brengen. Als na het doorrekenen van de huidige situatie en de eerste versie van het conceptontwerp blijkt dat er ongewenste verhogingen van waterstanden bij piekafvoeren zijn (bij het conceptontwerp), dan zal er gezocht worden naar mitigerende maatregelen. Deze worden toegevoegd aan het conceptontwerp en vervolgens doorgerekend. In een tweede en (indien nodig) derde versie van het conceptontwerp (etc.).

Daarom worden in de onderzoeksmethode de volgende stappen doorlopen.

1. Watersysteembeschrijving (begrijpen van de werking van het watersysteem op basis van beschikbare kennis en data);
2. Watersysteemmodellering (verwerken van deze kennis in een model dat geschikt is om de onderzoeksvragen mee te beantwoorden);
3. Watersysteemsenario's (toepassen van de modelberekeningen om varianten van het toekomstige oppervlaktewatersysteem door te rekenen en effecten te beoordelen).

In onderstaande paragrafen wordt de gekozen aanpak per stap beschreven.

## 2.1 Onderdeel 1: Watersysteembeschrijving

Er zal een beschrijving van de eigenschappen en werking van het oppervlaktewatersysteem gemaakt worden op basis van de volgende beschikbare bronnen:

- beschikbare 'watersysteem-data' uit de Legger van Waterschap Rivierenland;
- beschikbare metingen van dimensies van dwarsprofielen uit het Beheerregister van Waterschap Rivierenland;
- beschikbare kennis uit een bestaand SOBEK2-model van het stroomgebied van de Groesbeek;
- beschikbare metingen van afvoeren op twee locaties in het stroomgebied;
- het AHN3 dat op internet te downloaden is.

De inzichten die volgen uit deze beschrijving, worden gebruikt bij het maken van keuzen bij het opzetten van het hydraulische model voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen. De watersysteembeschrijving is opgenomen in hoofdstuk 3.

## 2.2 Onderdeel 2: Watersysteemmodellering

Bij het maken van keuzen in het te gebruiken of te ontwikkelen hydraulische model spelen een aantal zaken. Er is een bestaand SOBEK2-model beschikbaar. Daarnaast zijn actuele 'Basismodeldatasets' beschikbaar. Het beschikbare SOBEK2-model van het waterschap is op een aantal punten grof geschematiseerd. Zo zijn de afvoergebiedjes van het landelijke gebied relatief groot gekozen, zijn de bergingswatergangen relatief grof geaggregeerd tot een beperkt aantal 'bakjes' en is het de vraag of alle stuwtjes in het Groesbeek gebied in het model zijn opgenomen (met name de wat kleinere stuwtjes her en der). De 'Basismodel-datasets' zijn gebaseerd op actuele informatie in de Legger en het beheerregister. Deze informatie is mogelijk her en der actueler en daarmee geschikter om mee te rekenen dan de informatie in het SOBEK2-model. Tegelijkertijd kan het zo zijn dat er onderdelen van het SOBEK2-model actueler zijn omdat er in een voorgaand project specifieke inspanning is gepleegd binnen een deelgebied of voor het inventariseren van bepaalde informatie.

Gezien deze situatie zal in de projectstap 'Watersysteemmodellering' (Hoofdstuk 4) eerst een beschrijving op hoofdlijnen worden gegeven van het bestaande SOBEK2-model. Daarna zullen de 'Basismodeldatasets' op hoofdlijnen worden beschreven. Vervolgens wordt een voorstel beschreven hoe deze bestaande gegevensbronnen goed kunnen worden gebruikt om de gewenste hydraulische berekeningen te maken. Daarbij worden ook de afwegingen besproken en de manier waarop de modelinput is klaargezet voor de hydraulische berekeningen van het huidige watersysteem. Dit huidige watersysteem wordt vervolgens doorgerekend voor de afvoersituaties die bij het beoordelingskader zijn benoemd. De uitkomsten van deze doorrekening vormen de referentiesituaties, waarmee berekeningen van het ontwerp worden vergeleken. Zo kunnen effecten van het ontwerp worden beoordeeld.

### 2.3 Onderdeel 3: Watersysteems scenario's

In hoofdstuk 5 wordt eerst beschreven hoe de eigenschappen van het conceptontwerp (paragraaf 1.2) zijn verwerkt als veranderingen in het model voor het huidige watersysteem om zo een scenario berekening te vormen die representatief is voor de situatie na uitvoering van de maatregelen in het conceptontwerp. Vervolgens wordt op kaart in het platte vlak getoond wat de berekende effecten op oppervlaktewaterstanden bij een aantal afvoersituaties zijn (van het conceptontwerp, ten opzichte van het huidige watersysteem, zie paragraaf 5.1). Deze effecten worden beoordeeld met het beoordelingskader omschreven in paragraaf 1.5. Indien er aanleiding is om ongewenste effecten te mitigeren worden varianten op het conceptontwerp doorgerekend. Dat gebeurt in paragrafen 5.2 en 5.3. De mitigerende maatregelen worden beredeneerd op basis van inzichten uit de eerste berekening van het conceptontwerp. Op voorhand denken we dat de volgende typen mitigerende maatregelen mogelijk nuttig gaan blijken:

- de nieuwe stuwen sturen op wat lagere waterstanden, zodat de effecten op de waterstanden onder normale omstandigheden, en bij piekafvoeren lager worden;
- de nieuwe stuwen sturen op meetpunten de verder stroomopwaarts geplaatst zijn, zodat stuwen eerder gaan bijsturen in geval van een afvoergolf;
- een extra stuw introduceren om peilopzet ruimtelijk te differentiëren;
- het plaatsen van waterbergingsgebiedjes op een aantal op voorhand als effectief ingeschatte locaties;
- het aanbrengen van verbreding bovenin het dwarsprofiel, zodat de afvoercapaciteit bij hogere afvoeren en waterstanden hoger wordt, waardoor effecten op piekwaterstanden verkleind worden.

In onderstaande hoofdstukken zijn de bevindingen, keuzen en producten gerapporteerd die zijn ontstaan bij het doorlopen van de stappen van de onderzoeksmethode. Ook worden de resultaten en conclusies beschreven.

## 3 Watersysteembeschrijving

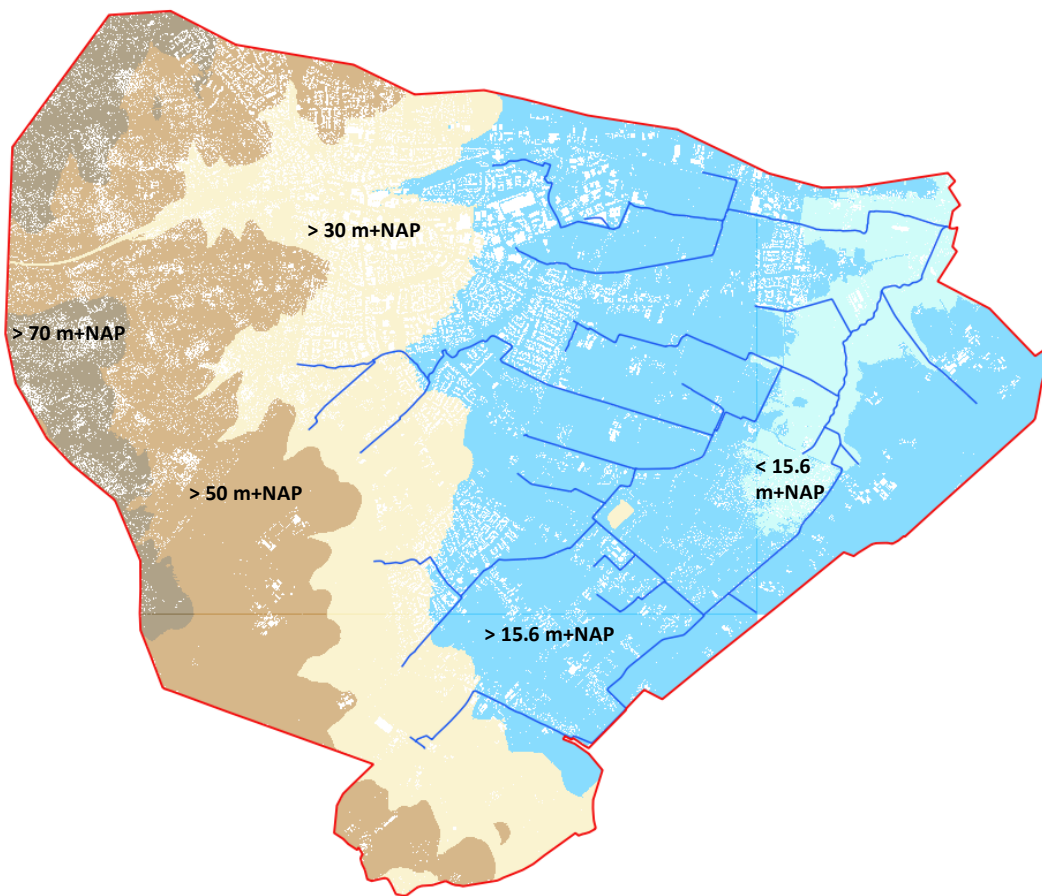
In dit hoofdstuk wordt het watersysteem van de 'Groesbeek' op hoofdlijnen beschreven. Op deze manier ontstaat inzicht in de onderdelen van het oppervlaktewatersysteem en de globale werking daarvan. In de volgende paragraaf wordt het oppervlaktewatersysteem beschreven. In paragraaf 3.2 wordt een samenvatting gegeven van de betekenis van de watersysteembeschrijving voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

### 3.1 Oppervlaktewatersysteem

Bijlage 1 bevat kaarten op basis van de volgende informatiebronnen:

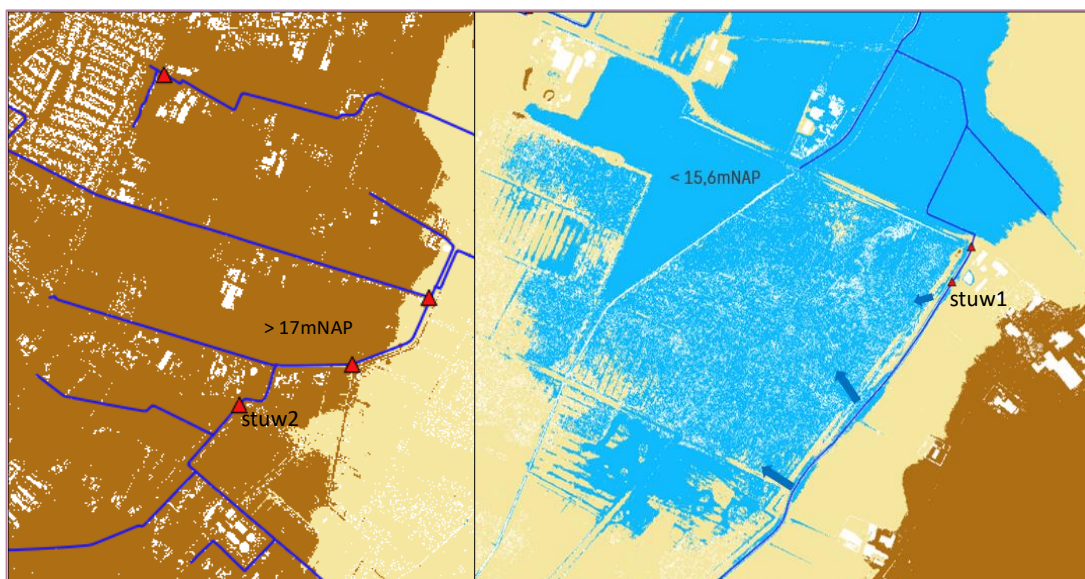
- Basismodeldatasets van Waterschap Rivierenland
- Het beschikbare basismodel in SOBEK2 van het waterschap

In bijlage 2 is een aantal gemeten dwarsprofielen in de waterlopen rondom de 'Bruuk' getoond in grafieken. Te zien is dat dwarsprofiel 'LOC2\_21580B' waarschijnlijk een kleine meetfout bevat. Naar verwachting heeft dit geen effect op de berekeningen binnen deze studie. De meetfout zorgt ervoor dat er een klein stukje doorstromend oppervlak minder is in dit dwarsprofiel. Alle gemeten dwarsprofielen zijn beoordeeld. Er zijn nog enkele verdachte profielen gezien, te weten: 'LOC2\_21527B', 'LOC2\_21702B', 'LOC2\_049263B' en 'LOC2\_056033\_LGR\_B'. Deze profielen liggen niet op locaties waarbij ze de berekeningen voor het aandachtsgebied van deze studie beïnvloeden. Aanbevolen wordt om alle genoemde profielen langs te lopen en te beoordelen of verbeteringen aan het beheerregister nodig zijn. Dit is nuttig voor toekomstig gebruik van de data.



*Figuur 3 Hoofdwatersysteem van de Groesbeek en maaiveldverloop in vier categoriën*

Figuur 3 toont het hoofdwaterlopen systeem van de Groesbeek. Het westelijke deel van het stroomgebied is hooggelegen en kent maaiveldhoogten groter dan 50 à 70 m +NAP. Het oppervlaktewatersysteem voert water af naar het lozingspunt bij stuw Horst, in het noord-oosten. Natuurgebied 'de Bruuk' ligt ongeveer ter hoogte van het label '< 15.6 m +NAP' in figuur 3. 'De Bruuk' is een laag gelegen gebied. In figuur 4 is ingezoomd op de locaties waar de nieuwe stuwen stuw1 en stuw2 gepland zijn.



*Figuur 4 Maaiveldhoogten ter plaatse van de toekomstige stuwen stuw1 en stuw2*

Bij stuw 1 in de Oostelijke Leigraaf is voor de toekomstige situatie ontworpen dat deze stuw de waterstanden gaat sturen tot 15,6 m +NAP. Een aantal plekken langs de Oostelijke Leigraaf zijn lager dan 15,6 m +NAP. Zonder maatregelen zal daarom bij het concept-ontwerp water gaan stromen van de Oostelijke Leigraaf naar 'de Bruuk'. Dit is niet gewenst. Daarom zullen deze lokale laagten op hoogte gebracht moeten worden. De maaiveldhoogten in de omgeving van stuw 2 zijn hoger dan 17 m +NAP, de waterhoogte waar de stuw op gaat sturen. Maaiveldhoogten zijn vaak 17,6 m +NAP en hoger.

### **3.2 Betekenis in relatie tot onderzoeksvragen**

Uit bijlagen 1 en 2 en figuren 3 en 4 kunnen de volgende zaken worden afgeleid in relatie tot de onderzoeksvragen en de methode voor modellering:

- de basismodeldatasets zijn geschikt om een hydraulisch model mee te ontwikkelen van het watersysteem bovenstrooms en benedenstrooms van stuw 1 en stuw 2;
- de stuwen in de Oostelijke Leigraaf die ontbreken in het SOBEK2-model kunnen uit de Basismodeldatasets worden gehaald;
- het ontwerp voor de toekomstige situatie zal ook moeten bestaan uit het ophogen van lokale laagten tussen de Oostelijke Leigraaf en het natuurgebied 'de Bruuk', om te voorkomen dat water uit de Oostelijke Leigraaf 'de Bruuk' in gaat stromen;
- het is nuttig om het model dat we in deze studie willen gebruiken in SOBEK3 op te bouwen. Voordelen zijn: het invoeren van de verschillende stationaire situaties gaat eenvoudiger dan in SOBEK2 en de synthetische afvoergolven kunnen ook eenvoudiger worden geïmporteerd. Daarnaast is het exporteren van rekenresultaten en het op kaart opnemen eenvoudiger vanuit SOBEK3 dan vanuit SOBEK2. Daarom is ervoor gekozen om voor deze studie versie 3 van SOBEK te gebruiken, gevuld met data vanuit de Basismodeldatasets van Waterschap Rivierenland en niet versie 2 van SOBEK te gebruiken.



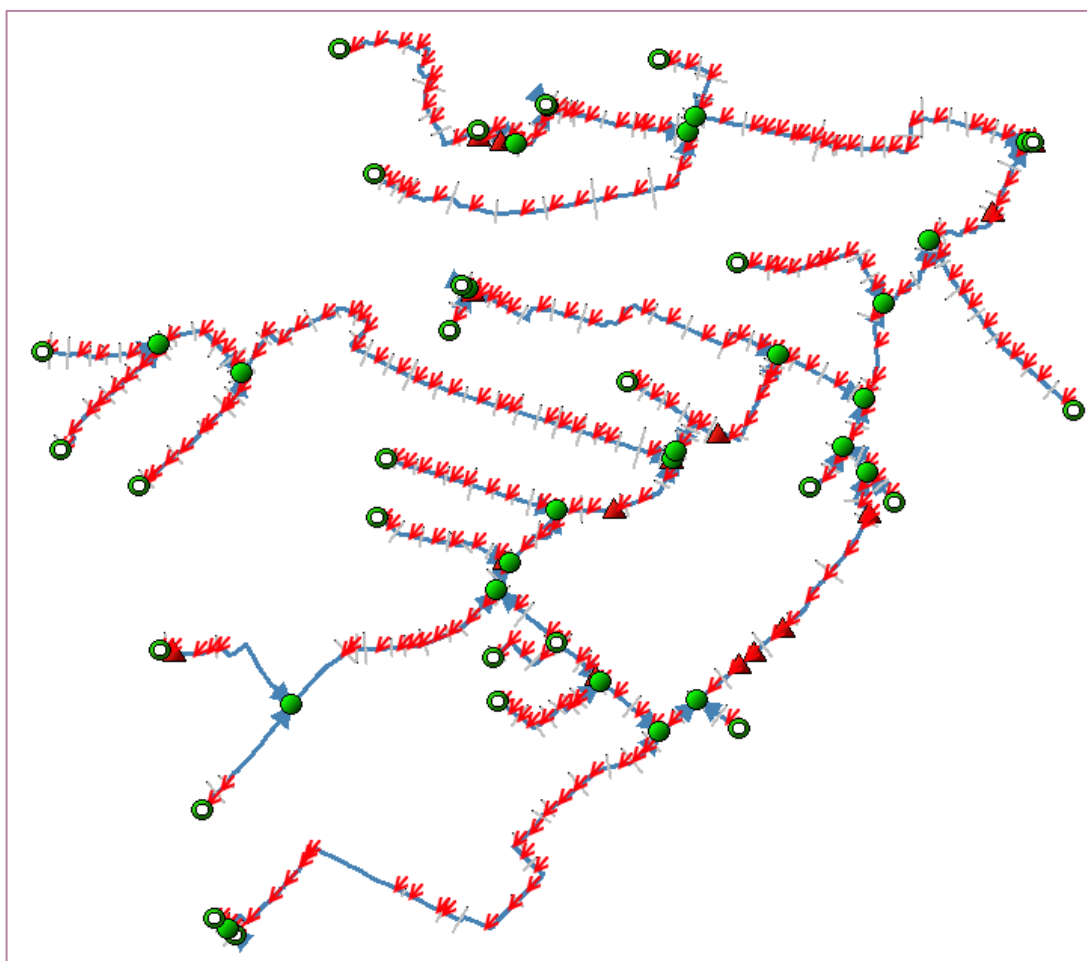
## 4 Watersysteemmodellering

In hoofdstuk 3 zijn het beschikbare basismodel in SOBEK2 en de Basismodeldatasets van WSRL beschreven. Na bestudering van beide datasets bleek dat de Basismodeldatasets van WSRL voldoende compleet zijn in dit stroomgebied voor de berekeningen die in dit project gewenst zijn. Het SOBEK2-model bevat relatief weinig modelknopen waarmee stationaire afvoer op het model wordt gezet. Dat kan met SOBEK3 op een meer verfijnde manier. SOBEK3 is daarnaast gebruiksvriendelijker wat betreft data-import en -export mogelijkheden, daarom is ervoor gekozen om het model voor de huidige situatie op te bouwen in SOBEK3.

### 4.1 Implementatie van Basismodeldatasets in rekenprogramma SOBEK3

De volgende Basismodeldatasets zijn in een SOBEK3-model gebracht:

- LeggerAslijnen en LeggerStuwen;
- BeheerregisterDwarsprofielenRaaien en -Meetpunten;
- BasismodelLateralsMaatgevendeAfvoer.



*Figuur 5 Weergave van het SOBEK3-model voor de huidige situatie*

De rode pijltjes in figuur 5 zijn de locaties, waar in het model afvoer op de waterlopen wordt in gebracht. Dat is een stationaire afvoer of een tijdsafhankelijke afvoergolf. Het water stroomt af naar het lozingspunt in het noordoosten bij stuw Ashorst. Daar kan het water ongehinderd het gebied uitstromen in het model. In werkelijkheid zit daar een sturing die afvoer knijpt bij piekafvoeren. Deze sturing heeft echter geen effect op waterstanden bovenstrooms van de twee nieuwe stuwen (1 en 2). Daarom is het niet nodig om deze sturing in het model te brengen.

#### 4.2 Rekenresultaten ‘huidige situatie’

In bijlage 4 zijn enkele rekenresultaten van het model van de huidige situatie opgenomen. Berekende waterstanden bij Q12 en bij Q100 zijn getoond. Ook is weergegeven welke afvoergolven worden berekend benedenstrooms bij stuw Horst bij de twee gebuikte synthetische afvoergolven. De resultaten van de huidige situatie worden gebruikt als referentie. De effecten van scenario's worden berekend door de waterstanden bij verschillende afvoersituaties in de scenario's te vergelijken met de berekende waterstanden bij dezelfde afvoersituaties in de huidige situatie.

## 5 Watersysteems scenario's

In paragraaf 1.2 is het conceptontwerp beschreven. Dit conceptontwerp is in verschillende stappen doorgerekend:

- Conceptontwerp (versie 1): alle maatregelen uit figuur 1 en paragraaf 1.2 met uitzondering van het nieuwe tracé en de verkleining van waterlopen;
- Conceptontwerp (versie 2): gelijk aan versie 1, aangevuld met maatregelen beschreven in paragraaf 5.2;
- Conceptontwerpen versies 3 t/m 6 zijn tussentijdse, niet in deze rapportage opgenomen, berekeningen geweest om toe te werken naar de eindversie 7;
- Conceptontwerp (versie 7): gelijk aan versie 2, aangevuld met het nieuwe tracé en het verkleinen van waterlopen (zie paragraaf 5.4);

Vooraf de berekeningsresultaten van versie 7 zijn in dit rapport beschreven. Deze versie van het ontwerp is geoptimaliseerd door naar een ontwerp te zoeken dat zo goed mogelijk aan het beoordelingskader voldoet. Enkele resultaten van versies 1 t/m 6 zijn ook opgenomen in de rapportage.

Berekende effecten van versie 1 zijn in paragraaf 5.1 en Bijlage 5 beschreven. Na bespreking van de effecten met de projectgroep bleek dat er mitigerende maatregelen gewenst zijn. Deze maatregelen zijn doorgerekend in versie 2 van het ontwerp. Dit ontwerp en de effecten daarvan zijn beschreven in paragraaf 5.2 en Bijlage 6.

#### 5.1 Berekende effecten van conceptontwerp (versie 1)

Bijlage 5 toont de berekende effecten op waterstanden van conceptontwerp versie 1 bij verschillende afvoersituaties. Figuren B5.1 t/m B5.4 tonen de stationair berekende effecten van peilopzet. Bij versie 1 zijn er effecten bovenstrooms van de stuwen 1 en 2. Deze effecten nemen af en verdwijnen naarmate maaiveldniveau en waterloopniveau hoger worden.

Figuur B5.5 toont dat op twee locaties, waar dwarsprofielen gemeten zijn, de waterstanden hoger komen dan de insteek. Dit inzicht ontstond ook uit figuur 4. Uit analyse van het AHN blijkt in figuur 4 dat er drie locaties zijn waar (zonder aanvullende ingrepen) water vanuit de Oostelijke Leigraaf gaat stromen naar 'de Bruuk' na peilopzet.



Na het doorrekenen en analyseren van berekende waterstanden bij piekafvoeren bleken er ongewenste benedenstroomse effecten te zijn bij de berekende afvoergolven.

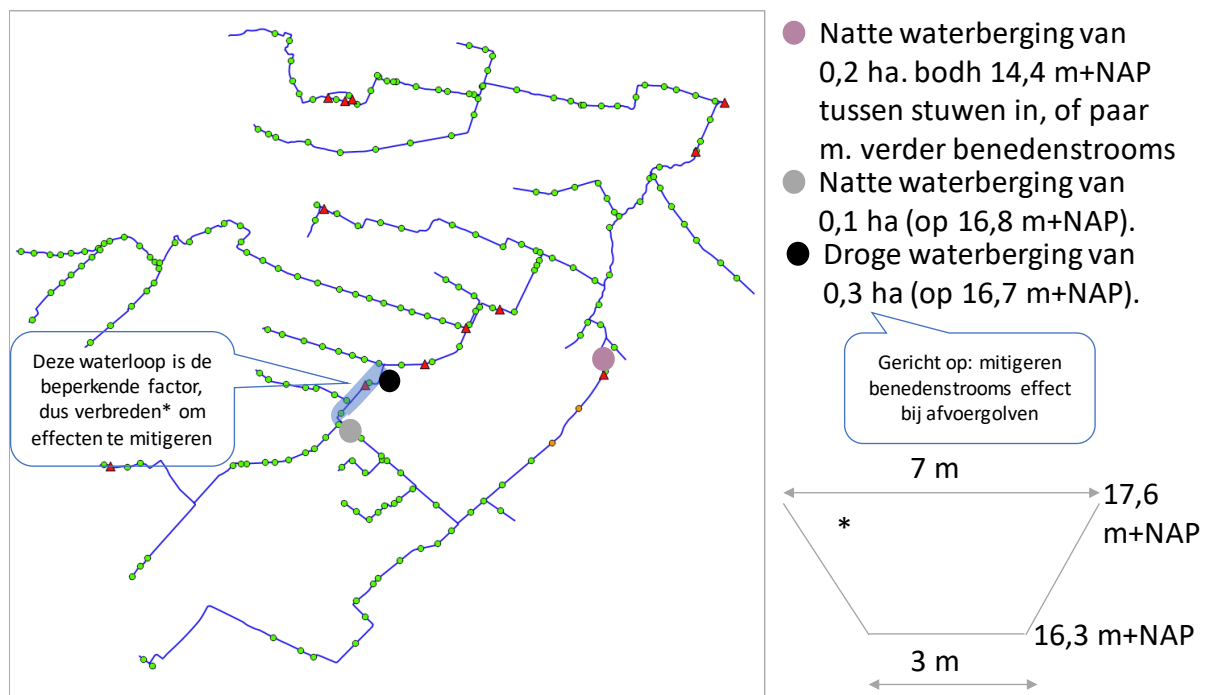
Conclusies die uit de berekening van versie 1 getrokken worden:

- langs de Oostelijke Leigraaf is het nodig om lokale laagten op te vullen om te voorkomen dat na peilopzet water vanuit de Leigraaf 'de Bruuk' in gaat stromen;
- conceptontwerp versie 1 heeft nog ongewenste benedenstroomse effecten op piekwaterstanden;
- er is voortschrijdend inzicht ontstaan dat er in de directe omgeving van de stuwen 1 en 2 effect zal zijn op piekwaterstanden, want de stuwen gaan peilen hoger opstuwen dan de piekwaterstanden in de huidige situatie. Deze effecten, dichtbij de stuwen, worden geaccepteerd. Met versies 2 en 3 wordt gezocht naar aanvullende mitigerende maatregelen om effecten verder bovenstrooms en benedenstrooms weg te nemen.

Daarom wordt een versie 2 van het ontwerp doorgerekend met mitigerende maatregelen.

## 5.2 Berekende effecten van conceptontwerp (versie 2)

Er is nagedacht over mitigerende maatregelen. Dit is gedaan door de berekeningen van huidige situatie en van conceptontwerp 1 te analyseren. Daaruit bleek dat de waterloop waar stuw 2 (Ashorst) in ligt relatief smal is voor de piekafvoeren. Daarom is in een aantal iteratieve berekeningen gezocht naar verbreding van deze waterloop in combinatie met bovenstroomse en benedenstroomse waterberging om de ongewenste effecten op piekwaterstanden weg te nemen. Daaruit bleken de mitigerende maatregelen zoals opgenomen in figuur 6 effectief. Om de benedenstroomse effecten van stuw 1 weg te nemen is benedenstroomse waterberging zoals opgenomen in figuur 6 voldoende.



Figuur 6 Aanvullingen in conceptontwerp versie 2 (ten opzichte van versie 1)

Bijlage 6 toont de berekende effecten van conceptontwerp versie 2 op stationair berekende waterstanden. De verbreding van de waterloop zorgt in het benedenstroomse deel van de waterloop voor kleine water-standsverhogingen bij stationaire afvoer. Het mechanisme daarachter wordt uitgelegd in de bijlage.

De effecten op piekwaterstanden benedenstrooms die in versie 1 van het ontwerp aanwezig waren zijn in versie 2 van het ontwerp verdwenen. De mitigerende maatregelen voldoen om deze ongewenste effecten weg te nemen. Effecten op piekwaterstanden blijven beperkt tot de directe omgeving van de stuwen 1 en 2 en deze lokale effecten worden geaccepteerd.

Conclusies die uit de berekening van versie 2 getrokken worden:

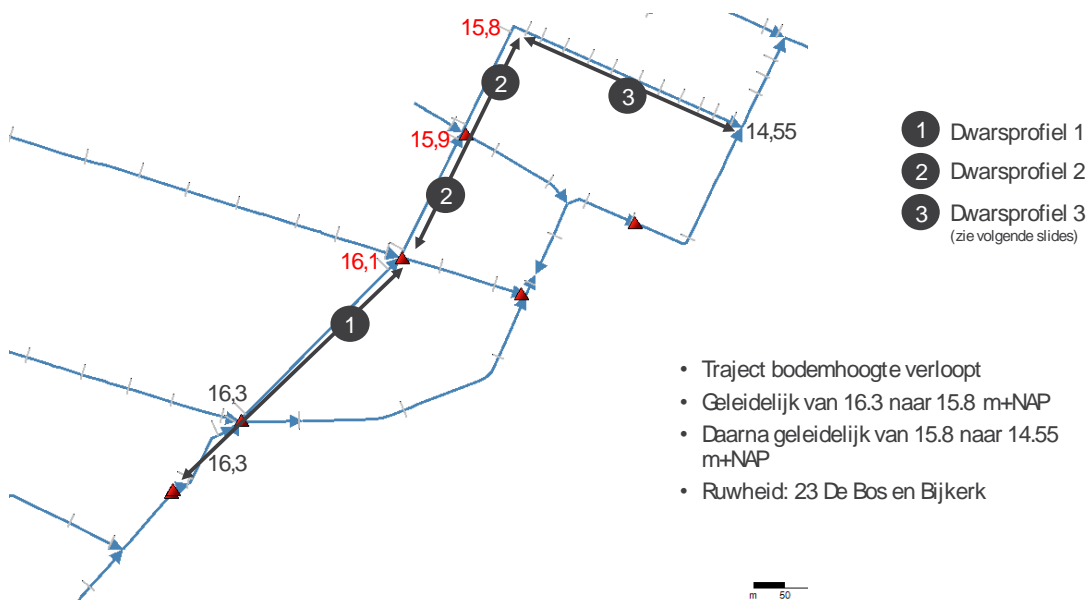
- de mitigerende maatregelen in versie 2 van het conceptontwerp voldoen om de ongewenste benedenstroomse en bovenstroomse effecten weg te nemen die in versie 1 nog wel voorkomen;
- effecten op piekwaterstanden blijven beperkt tot de directe omgeving van stuwen 1 en 2. Deze effecten worden geaccepteerd.

### 5.3 Berekende effecten van conceptontwerp (versie 7)

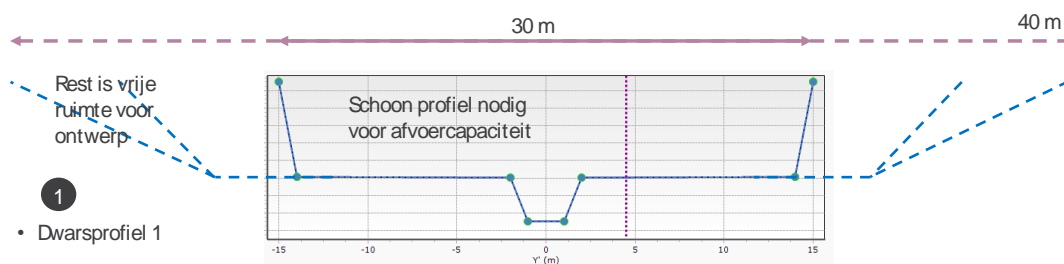
Vervolgens is gewerkt aan het ontwerpen van het nieuwe tracé. Dit nieuwe tracé is de oplossing die nodig is om het verkleinen van de afmetingen van de waterlopen (zie figuur 1) net ten noorden van 'de Bruuk' mogelijk te maken. Om te komen tot dit ontwerp zijn versies 3 t/m 7 van het conceptontwerp doorgerekend. Er is daarbij gezocht naar een optimum om zowel voldoende afvoercapaciteit te houden om bovenstroomse effecten te voorkomen en het nieuwe tracé tegelijkertijd niet te diep te laten insnijden. De berekende effecten bij stationaire afvoer en bij de piekafvoer zijn opgenomen in de figuren in Bijlage 7.

Het optimale ontwerp voor het nieuwe tracé is gevonden in de volgende eigenschappen:

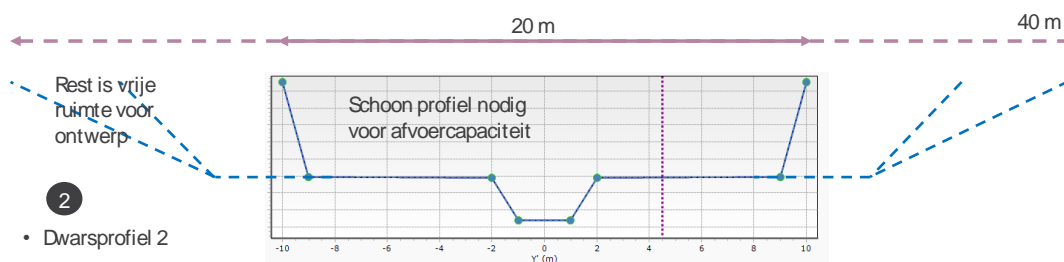
- Het nieuwe tracé verloopt via trajecten 1 t/m 3 (zie figuur 7);
- De bodemhoogten verlopen volgens de getallen zoals opgenomen in figuur 7;
- Er worden drie dwarsprofielen toegepast (zie voor visualisatie van de dwarsprofielen figuren 8 t/m 10).



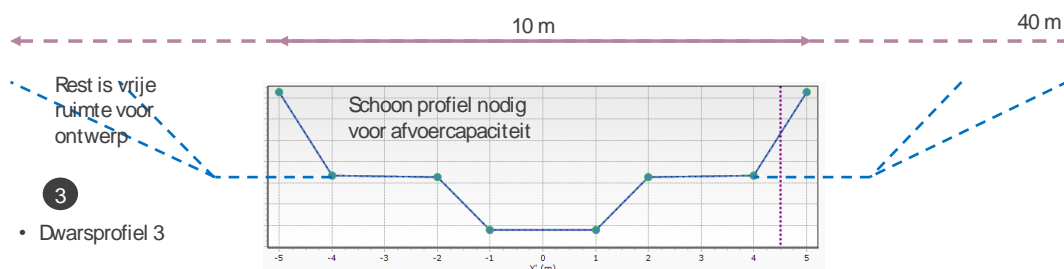
Figuur 7 Bodemhoogten van nieuwe tracé en trajecten met ontworpen profielen 1, 2 en 3



Figuur 8 Afmetingen van dwarsprofiel 1 op nieuwe tracé (30 meter brede afvoerzone)



Figuur 9 Afmetingen van dwarsprofiel 1 op nieuwe tracé (20 meter brede afvoerzone)



Figuur 10 Afmetingen van dwarsprofiel 1 op nieuwe tracé (10 meter brede afvoerzone)

In figuren 8 t/m 9 is opgenomen dat de ontworpen dwarsprofielen schoon moeten zijn. Dit wil zeggen dat de doorstroombreedtes bedoeld zijn voor waterafvoer tijdens kleine en grotere extremen. Het doorstroomprofiel moet vrij gehouden worden van wildgroei en begroeiing zodat water goed kan doorstromen. Lichte begroeiing in het groeiseizoen is geoorloofd.

Bijlage 7 laat de volgende effecten op waterstanden van conceptontwerp versie 7 zien:

- Effecten bij Q1 laten zien waar de peilopzet effect heeft bij lage afvoeren. Bij lage afvoeren is het effectbereik het grootst;
- Effecten bij Q12, Q50 en Q100 laten zien dat bij toenemende, stationaire afvoeren het effectbereik kleiner wordt;
- Effecten bij Piek 1 (extreme afvoerpiek) laten zien dat waterstanden ter plaatse van de peilopzet trajecten en het nieuwe tracé beïnvloed worden. Bovenstroomse en benedenstroomse effecten zijn niet negatief, hooguit positief in de vorm van piekwaterstand verlagingen.
- Dit geldt ook voor de berekende effecten bij Piek 2, Piek 3 en Piek 4.
- Bij het rekenen aan versies 3 t/m 7 is ook duidelijk geworden dat de waterbergingen van versie 2 (zie figuur 6) niet meer nodig bleken. Het nieuwe tracé is zodanig ontworpen dat deze de werking van de waterbergingsgebieden die in versie 2 nog nodig waren, overbodig maakt.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

Hieronder worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen gegeven die uit voorgaande hoofdstukken volgen.

### 6.1 Conclusies

De conclusies uit deze studie zijn:

- langs de Oostelijke Leigraaf is het nodig om lokale laagten op te vullen om te voorkomen dat na peilopzet water vanuit de Leigraaf 'de Bruuk' in gaat stromen;
- er is voortschrijdend inzicht ontstaan dat er in de directe omgeving van de stuwen 1 en 2 effect zal zijn op piekwaterstanden, want de stuwen gaan peilen hoger opstuwen dan de piekwaterstanden in de huidige situatie. Deze effecten dichtbij de stuwen worden geaccepteerd;
- conceptontwerp versie 7 heeft geen ongewenste bovenstroomse of benedenstroomse effecten op piekwaterstanden.

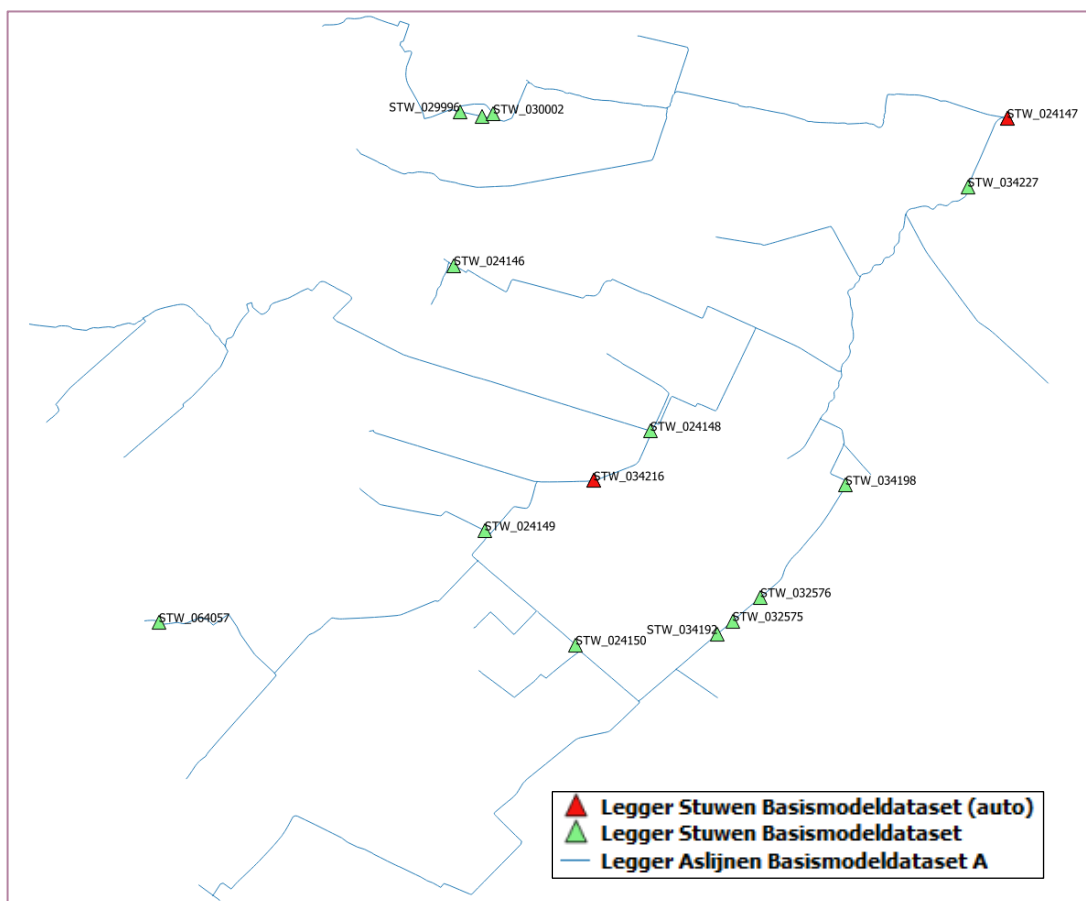
### 6.2 Aanbevelingen

Op basis van de doorgerekende scenario's wordt aanbevolen om het 'conceptontwerp versie 7' te gebruiken om in het veld aan te gaan leggen. Er wordt geadviseerd om de lokale laagten tussen de Oostelijke Leigraaf en 'de Bruuk' weg te nemen, zodat er geen water gaat stromen naar 'de Bruuk' via deze laagten.

Gebruik inzichten uit bijlage 8 om duikers aan te passen bij het verkleinen van de watergangen ten noorden van 'de Bruuk'.

## Bijlage 1: Watersysteemkaarten

Onderstaande figuren tonen watersysteem informatie die is verkregen door gegevens uit het aangeleverde SOBEK2 model te plotten, gegevens uit de Basismodeldatasets te plotten en deze informatie met elkaar te vergelijken op hoofdlijnen.

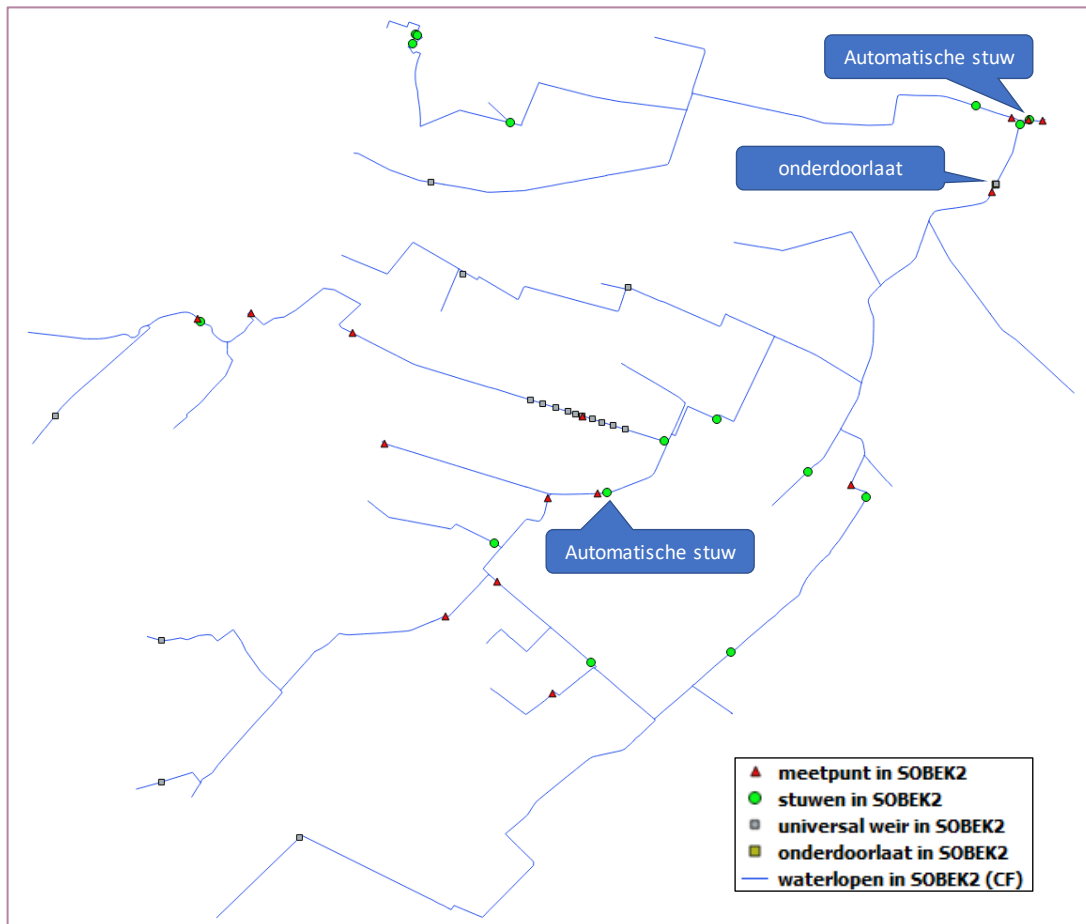


*Figuur B1.1 Watersysteemkaart op basis van gegevens uit Basismodeldatasets*

Bovenstaand figuur B1.1 toont een deel van de Basismodeldatasets van stroomgebied 'Groesbeek'. De watergangen zijn als blauwe trajecten opgenomen op de kaart. Het water in deze watergangen stroomt in het noordoosten via stuw 024147 het gebied uit. Dat is een automatisch geregelde stuw (automatische stuwen zijn op deze kaart aangegeven met rode driehoeken). Overige stuwen in het gebied zijn stuwen met een vaste kruinhoogte, op stuw 034216 na. Ook deze stuw heeft een automatische regeling.

Verder bevatten de Basismodeldatasets de volgende items:

- duikers (112 stuks);
- beheerregister dwarsprofielen (243 stuks);
- bruggen (2 stuks).



*Figuur B1.2 Watersysteemkaart op basis van gegevens uit het SOBEK2-model*

Bovenstaand figuur B1.2 toont een deel van de informatie van het SOBEK2-model van stroomgebied 'Groesbeek'. De watergangen zijn als blauwe trajecten opgenomen op de kaart. Het water in deze watergangen stroomt in het noordoosten via stuw 024147 het gebied uit. Dat is een automatisch geregelde stuw. Overige stuwen in het gebied zijn stuwen met een vaste kruinhoogte, op stuw 034216 na. Ook deze stuw heeft een automatische regeling. Daarnaast is stuw 034227 ingebracht als onderdoorlaat. Dit is gedaan omdat het de brievenbusstuw Leigraaf is. Verder bevat het SOBEK2-model de volgende items:

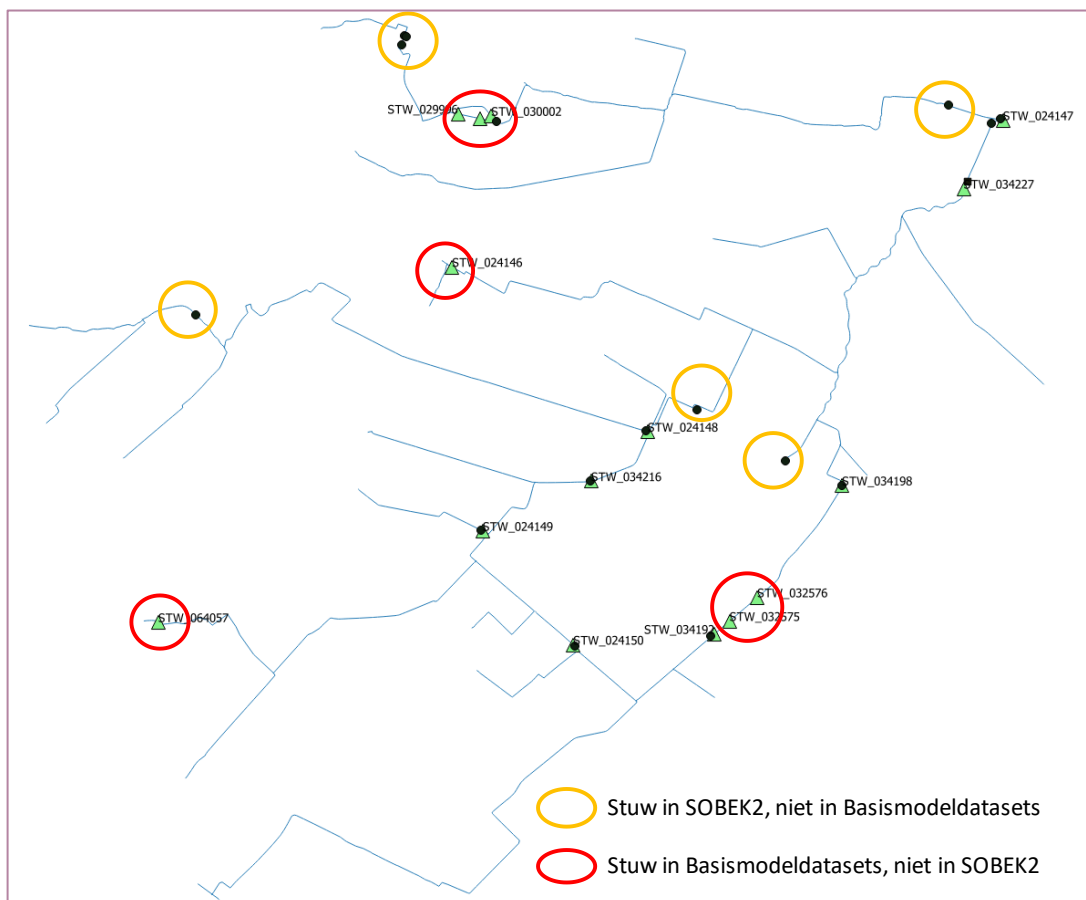
- zogenaamde 'Universal weirs', gebruikt om drempels in te brengen (18 stuks);
- duikers (157 stuks);
- dwarsprofielen (282 stuks);
- meetlocaties (15 stuks).

De volgende zaken vallen op bij vergelijking van het SOBEK2-model met Basismodeldatasets:

- er zitten meer duikers in het SOBEK2-model, dan in de Basismodeldatasets;
- er zitten meer dwarsprofielen in het SOBEK2-model dan in de Basismodeldatasets;
- er zitten geen bruggen in het model, terwijl er twee in de Basismodeldatasets zitten.

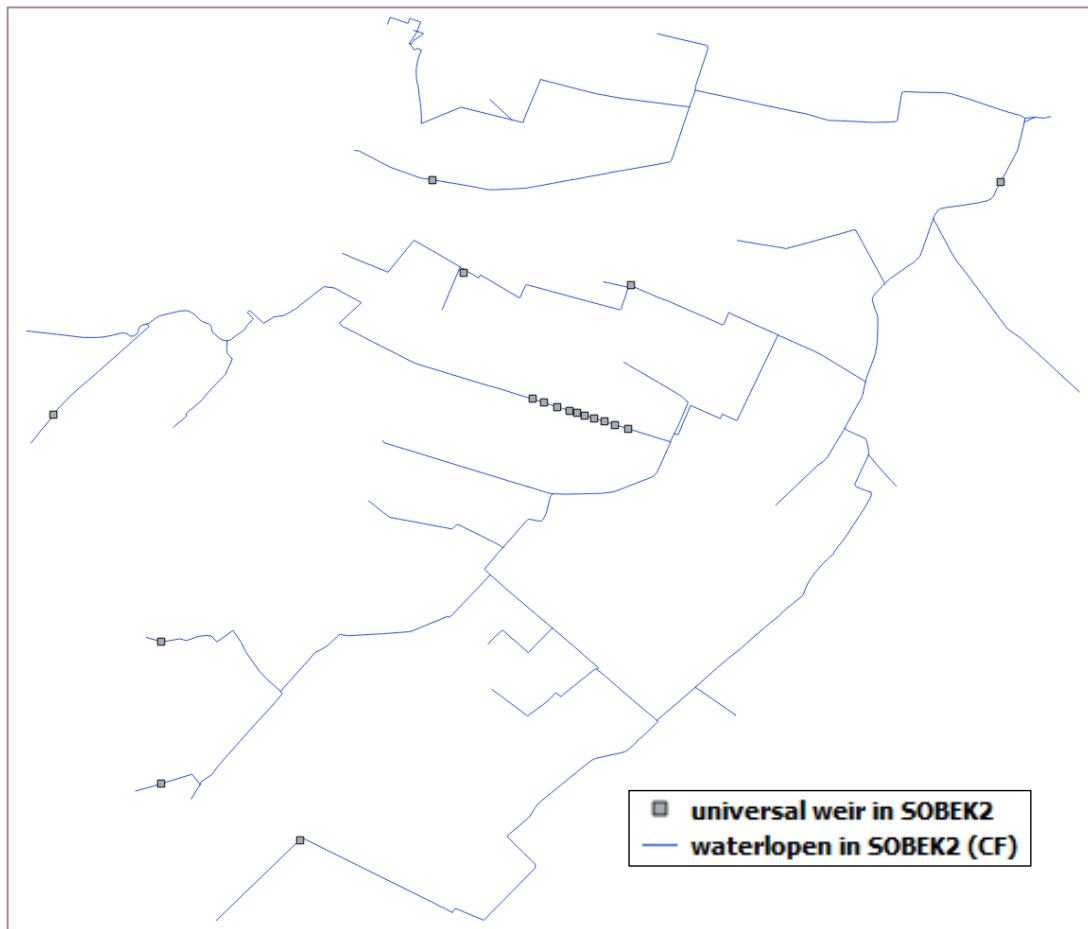


Ook de stuwen in het SOBEK2-model en de Basismodeldatasets zijn met elkaar vergeleken. Daaruit is de volgende kaart in figuur B1.3 samengesteld. Er blijkt een aantal stuwen in de Basismodeldatasets te zitten, dat niet in het SOBEK2-model zit (en vice versa). In figuur B1.3 is dit met cirkels met twee kleuren aangegeven. De oranje omcirkelde stuwen zijn locaties met stuwen in het SOBEK2-model, waar geen stuw in de Basismodel-datasets aanwezig is. Bij de rood-omcirkelde locaties is het net andersom, dat zijn locaties met stuwen in de Basismodeldatasets, terwijl er geen stuwen in het SOBEK2-model aanwezig zijn.



Figuur B1.3 Overzicht stuwen in SOBEK2-model (zwart punt) vs. Basismodeldatasets (groen)

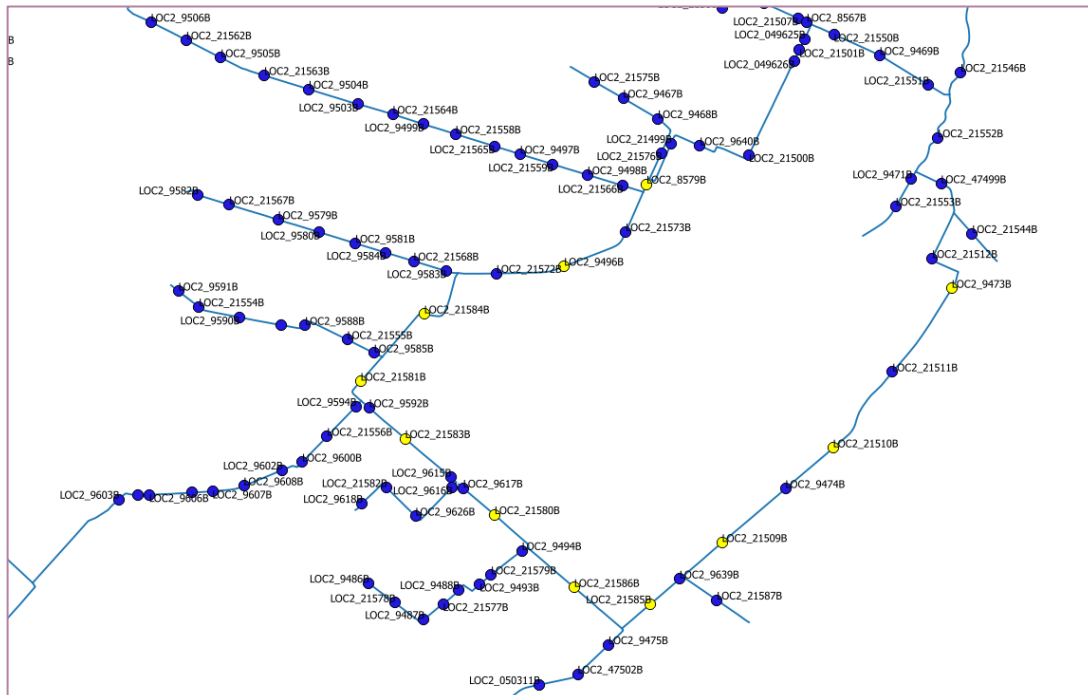
Ook valt op dat zogenaamde 'Universal weirs' zijn gebruikt in het SOBEK2-model om drempels in te brengen (18 stuks). Deze informatie is nog niet gevonden in de Basismodel-datasets. De drempels zoals opgenomen in het SOBEK2 model zijn getoond in figuur B1.4.



*Figuur B1.4 Overzicht van 'universal weirs' in het SOBEK2-model*

## Bijlage 2: Gemeten dwarsprofielen

In het stroomgebied van de Groesbeek zijn veel dwarsprofielen van de waterlopen gemeten. Dit is betrouwbare informatie die een goede weergave is van de afmetingen die de waterlopen hebben. In onderstaande figuur B2.1 zijn de meetlocaties inclusief codes weergegeven in de directe omgeving van de 'Bruuk'. Van de locaties die met gele punten zijn aangegeven zijn de gemeten dwarsprofielen opgenomen in de figuren op de volgende bladzijden.

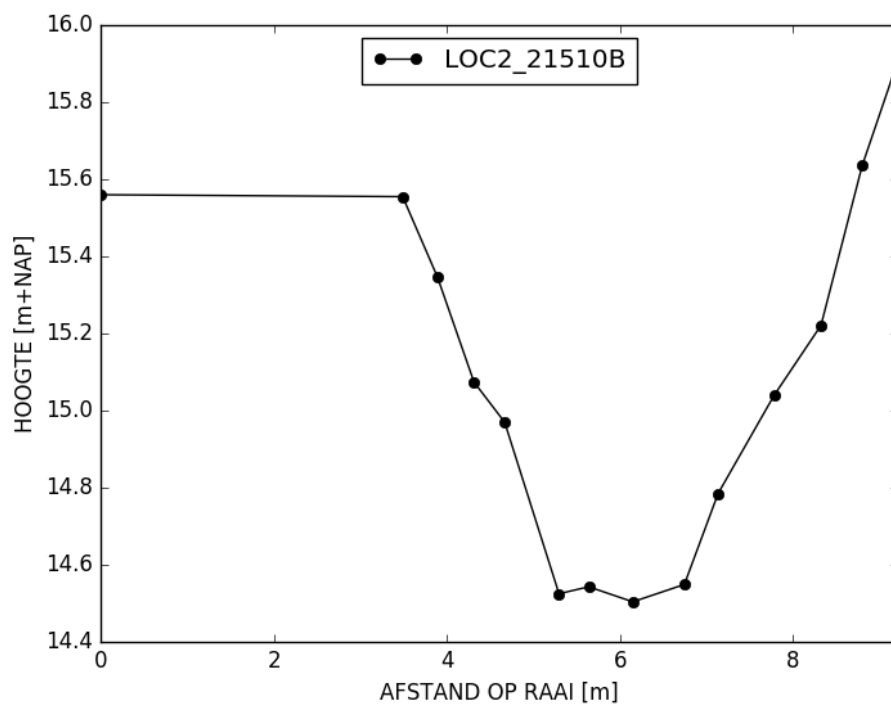
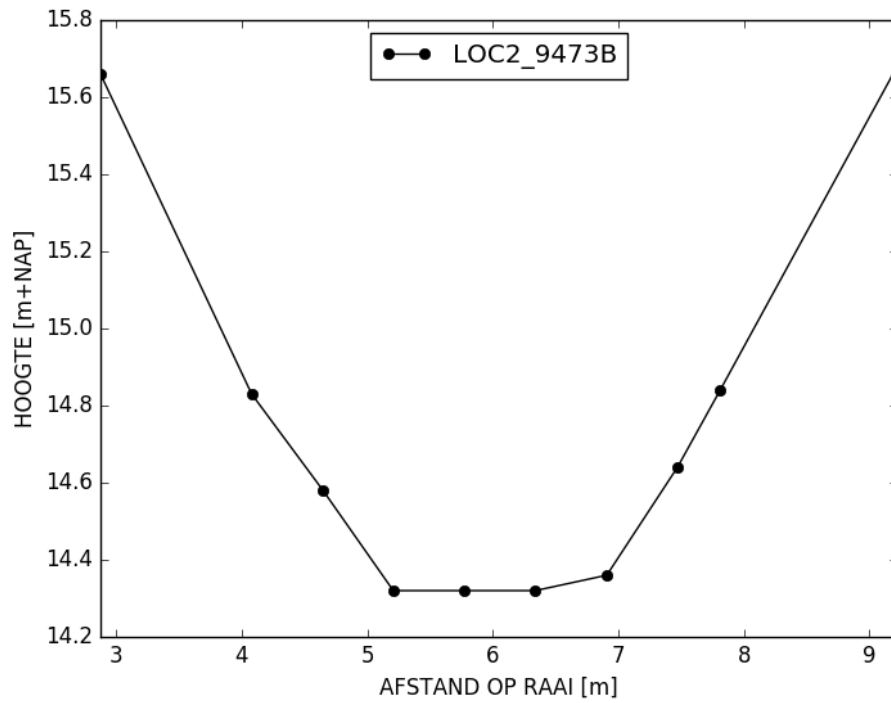


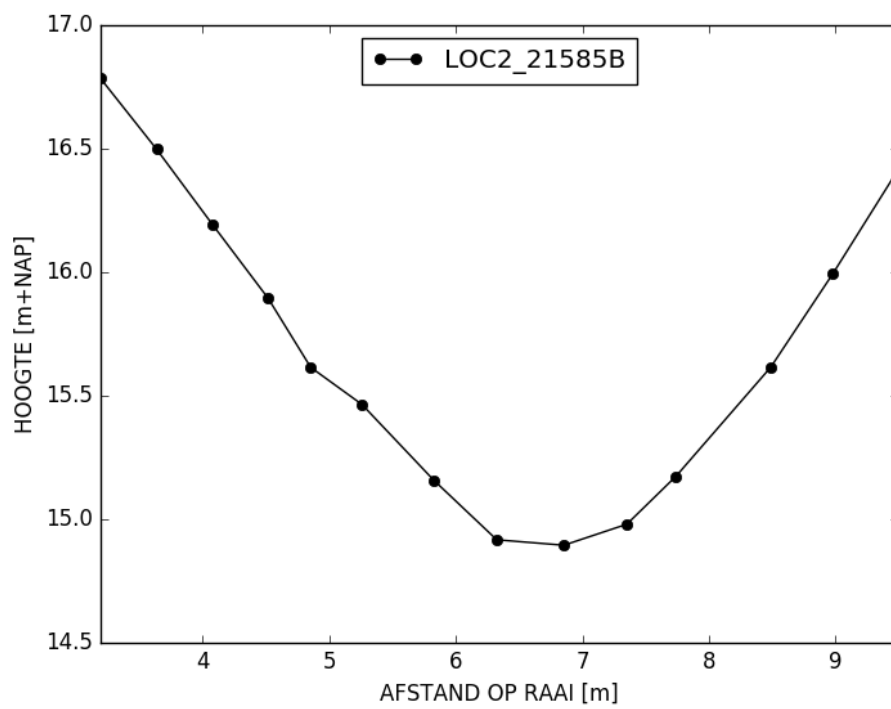
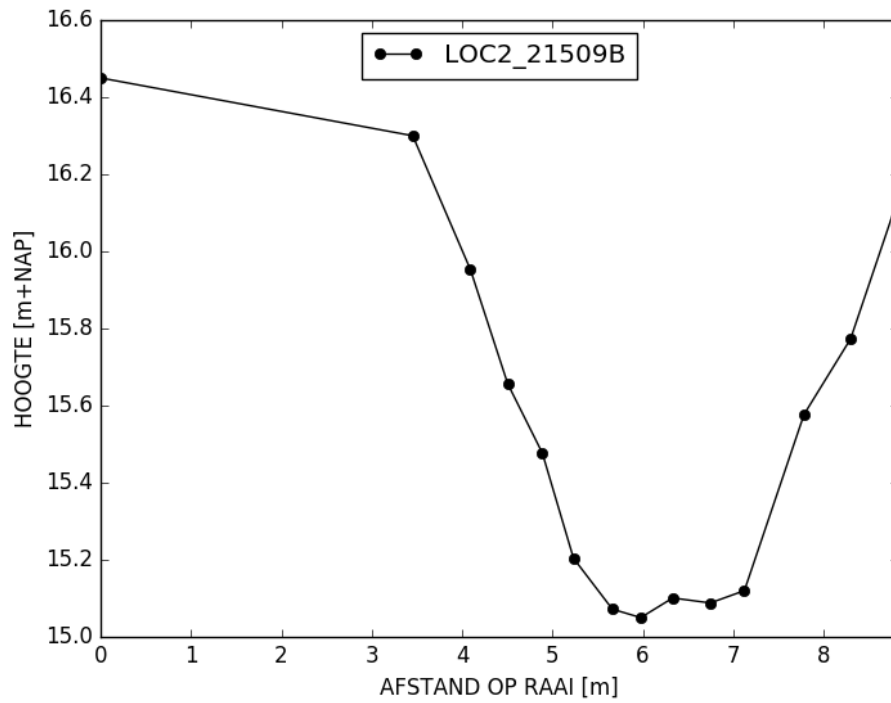
*Figuur B2.1* Overzicht van locaties en codes van gemeten dwarsprofielen

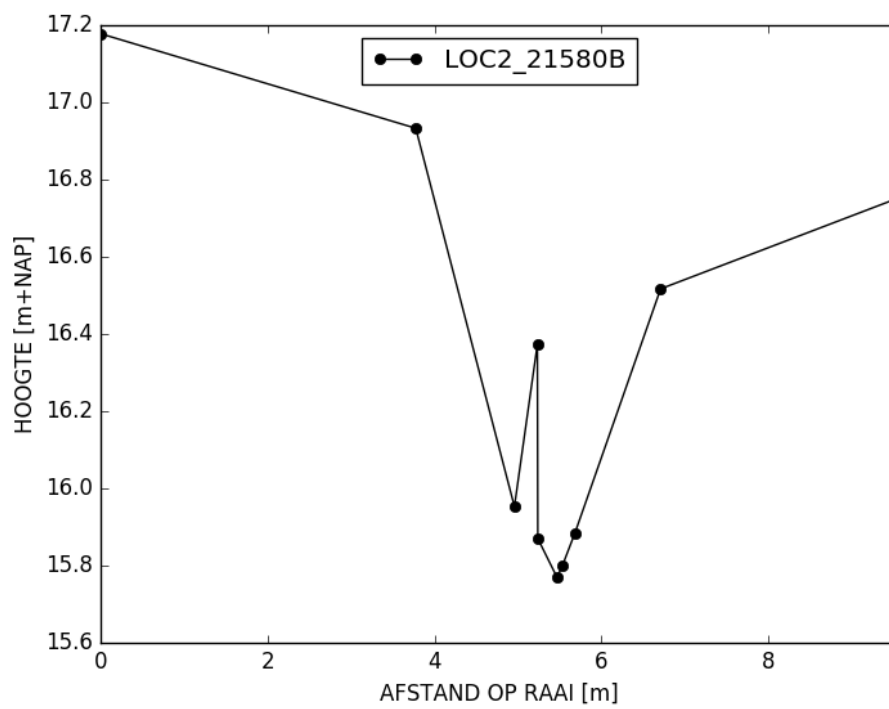
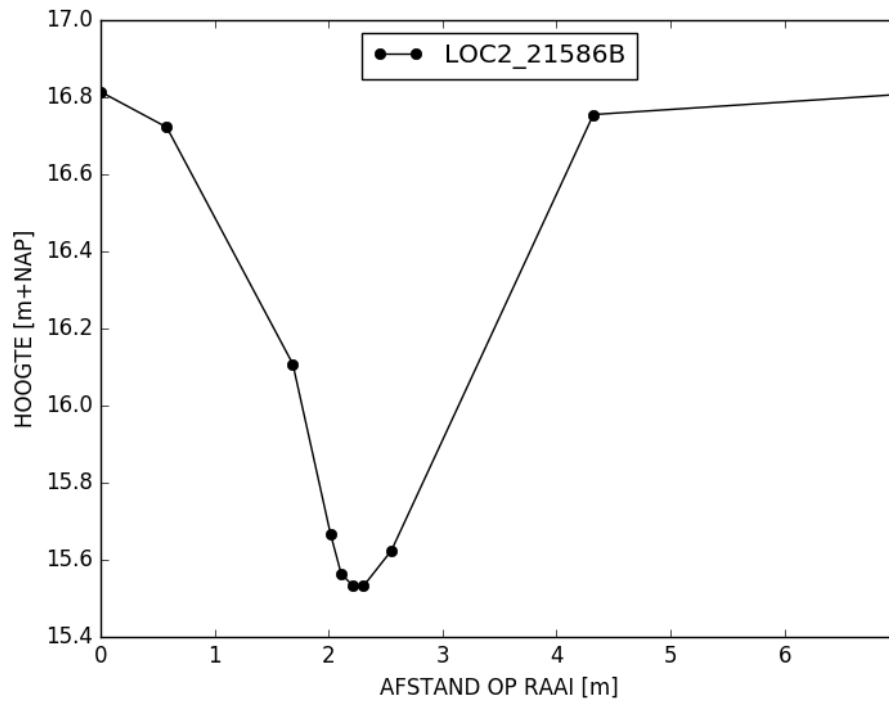
De figuren op de volgende bladzijden tonen de gemeten profielen op locaties:

- LOC2\_9473B;
- LOC2\_21510B;
- LOC2\_21509B;
- LOC2\_21585B;
- LOC2\_21586B;
- LOC2\_21580B;
- LOC2\_21583B;
- LOC2\_21581B;
- LOC2\_21584B;
- LOC2\_9496B;
- LOC2\_8579B;
- LOC2\_21500B.

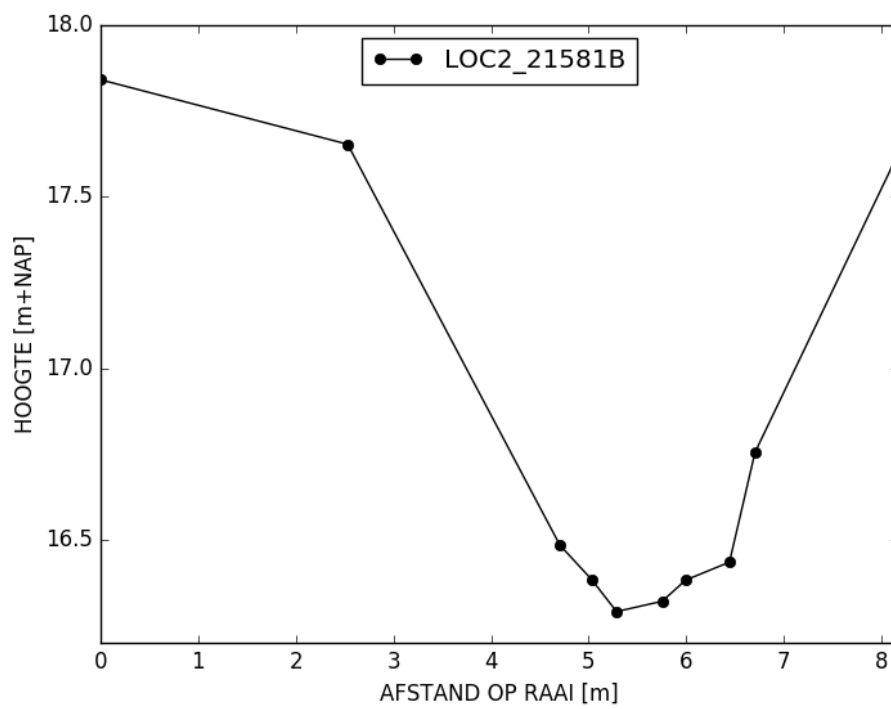
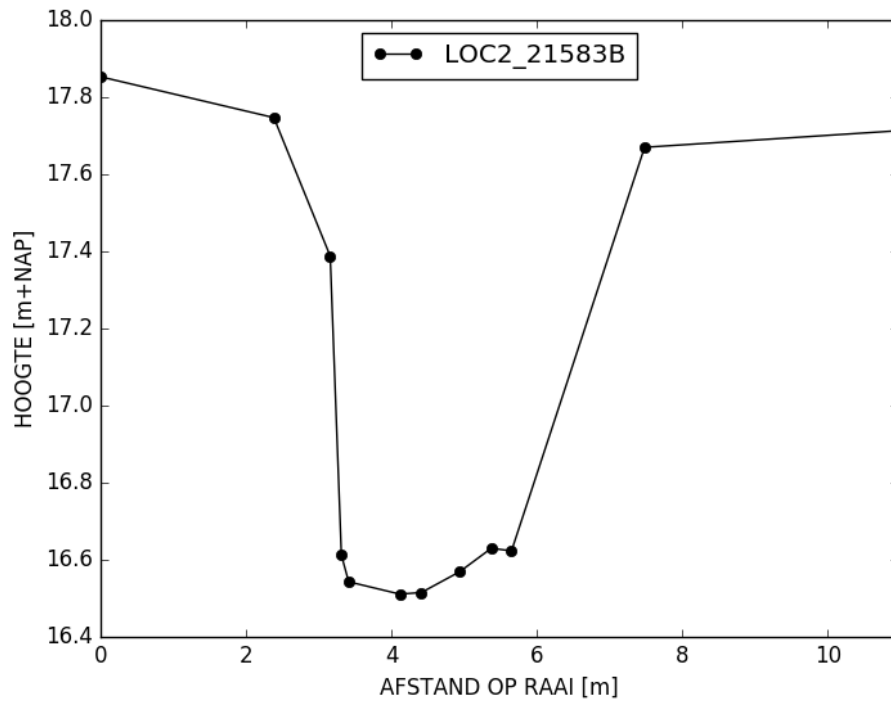
Zie voor figuren van alle gemeten dwarsprofielen: 'GemetenDwarsprofielen.zip'.

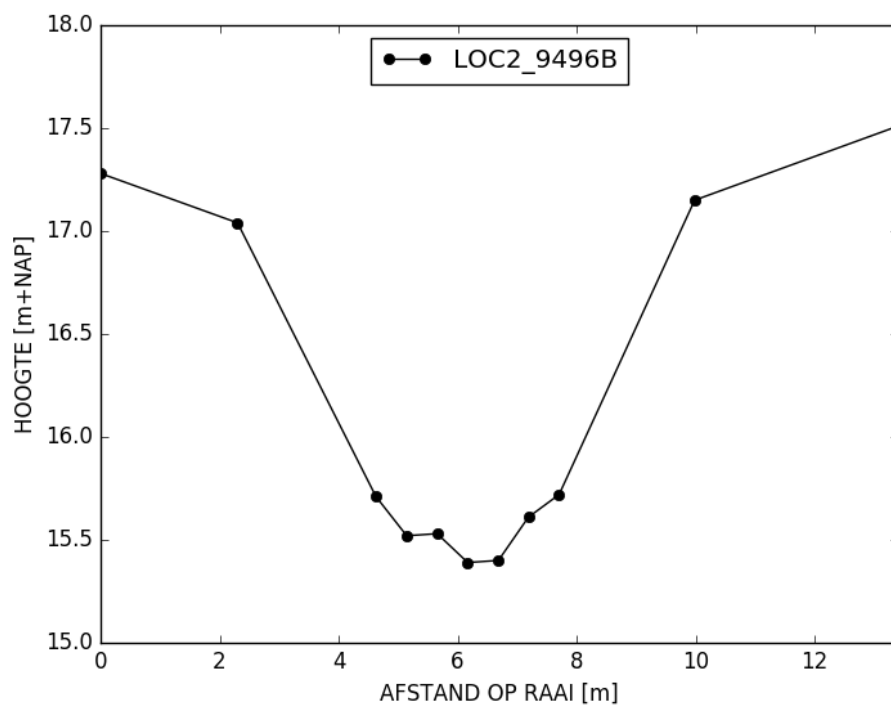
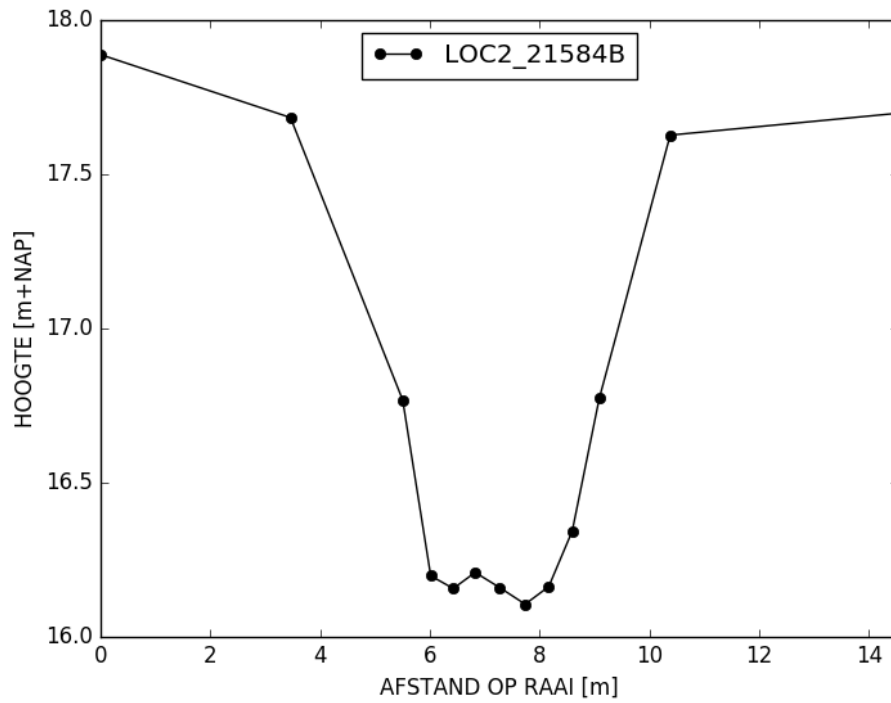


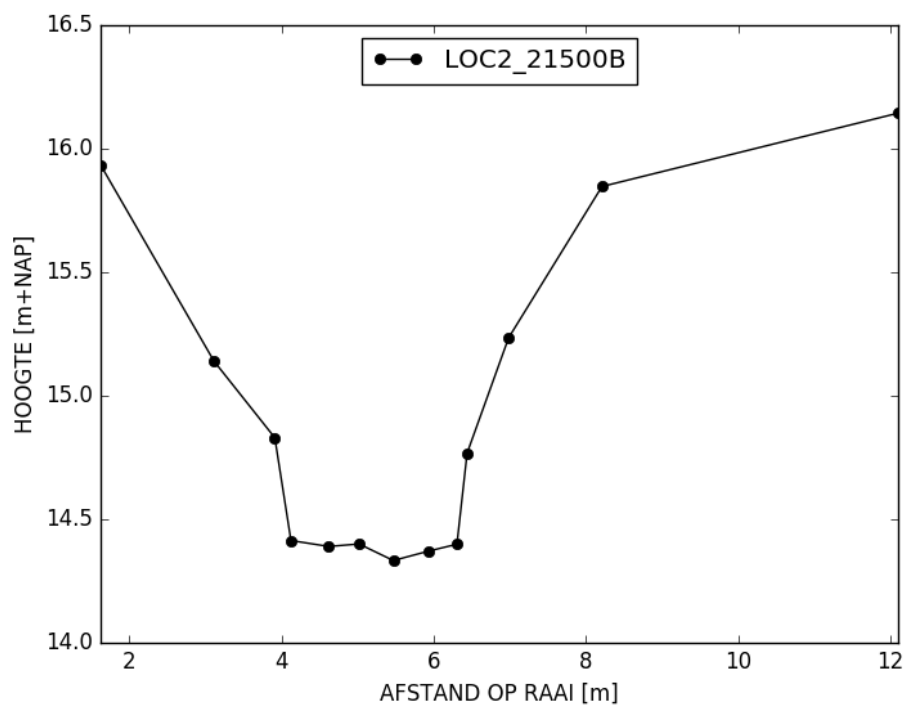
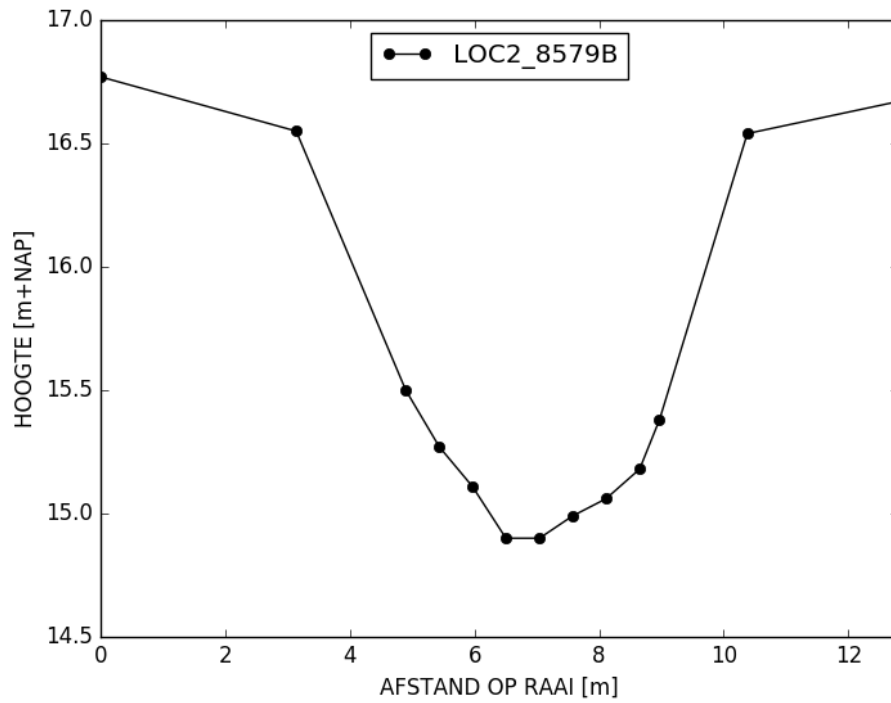








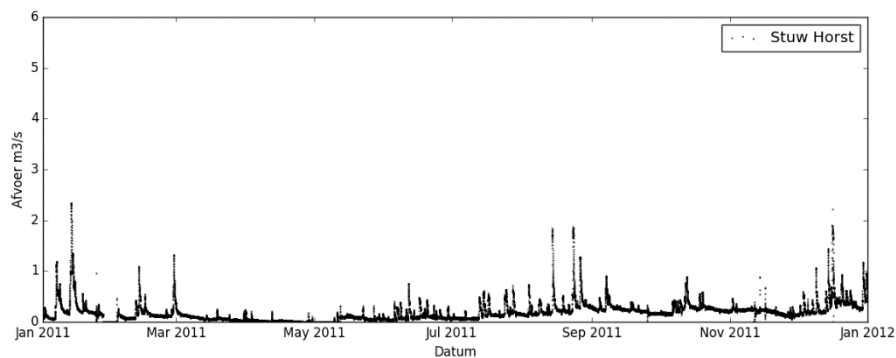
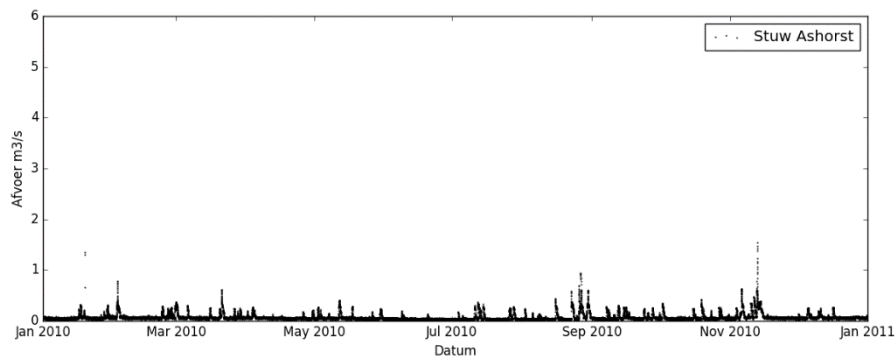
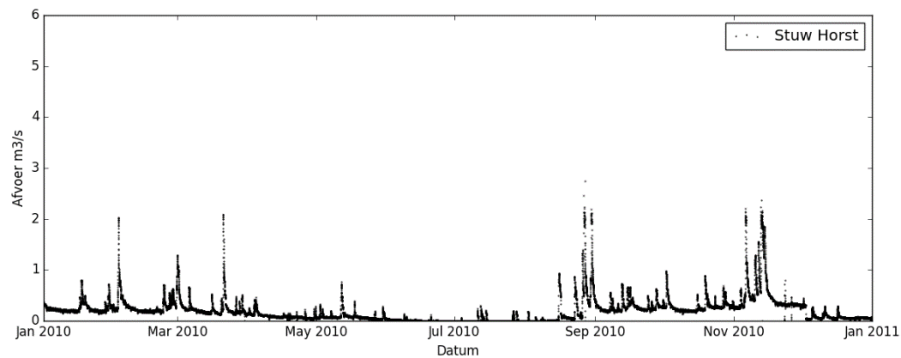


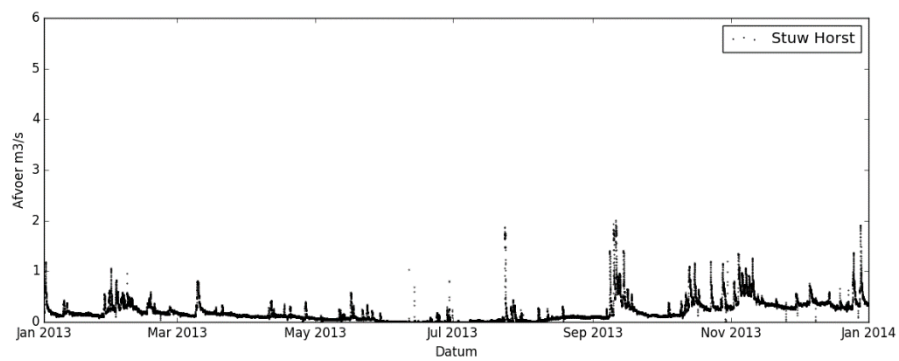
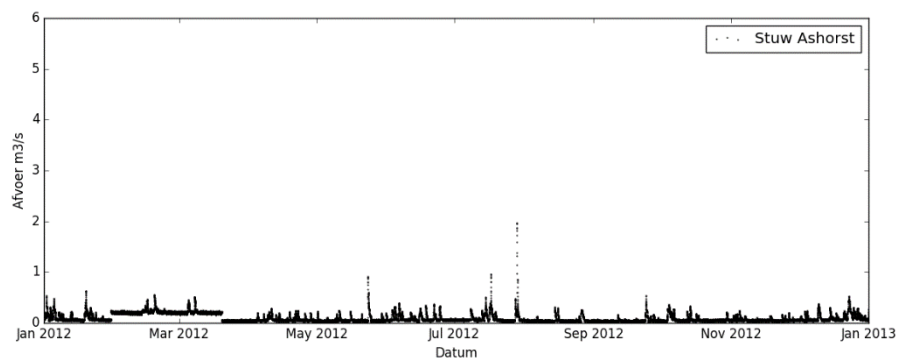
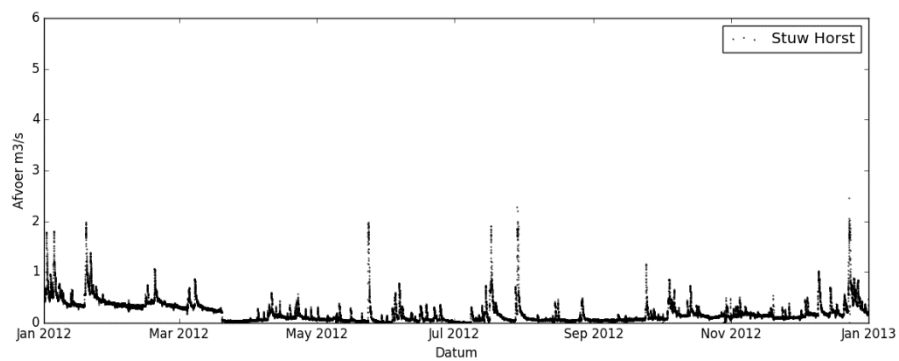
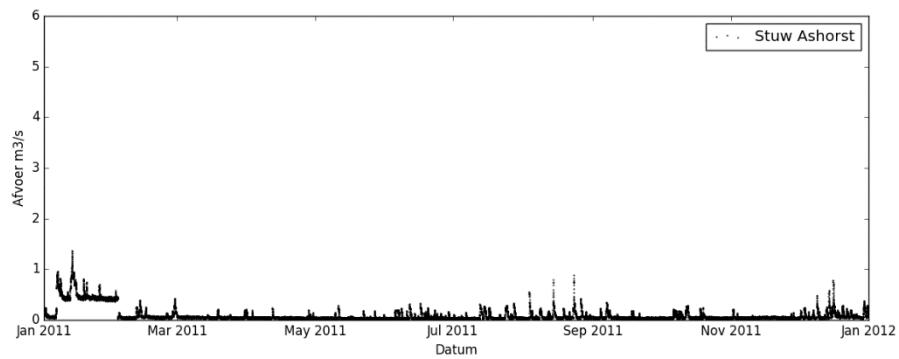


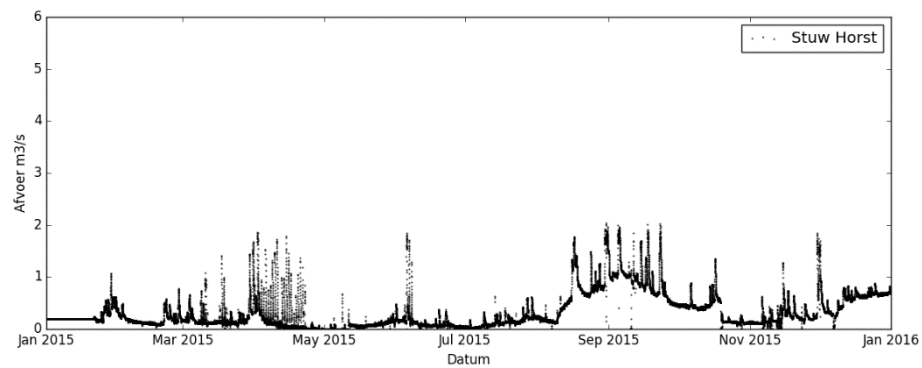
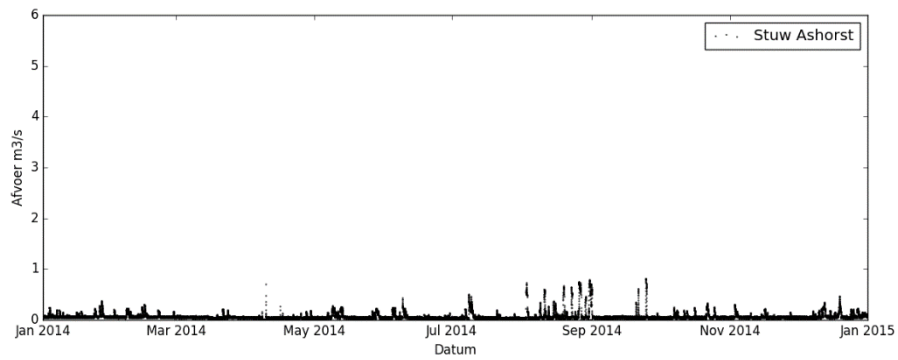
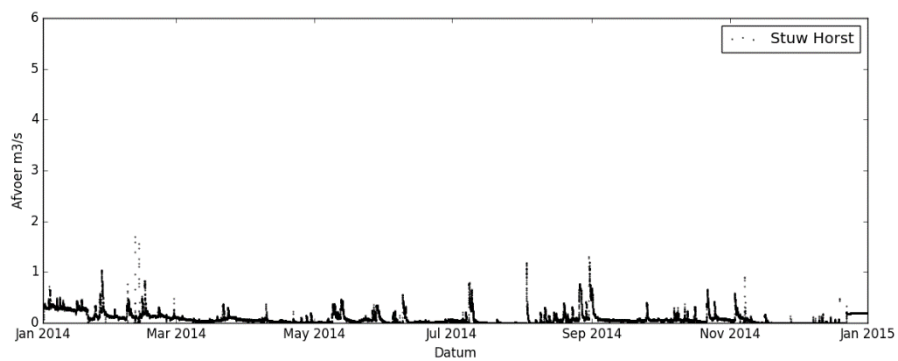
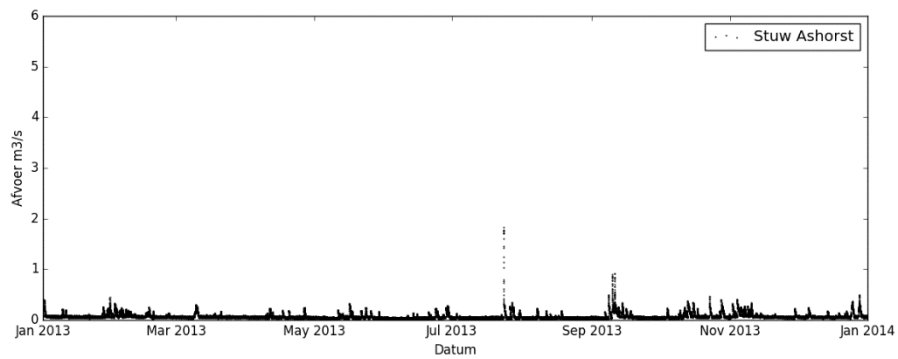
## Bijlage 3: Gemeten afvoeren

Er worden op twee locaties debieten gemeten door Waterschap Rivierenland in het stroomgebied 'Groesbeek'. Te weten: de locaties 'Horst' en 'Ashorst'. Stuw 'Horst' is de stuw met code 'STW\_024147' in Bijlage 1. Stuw 'Ashorst' is de stuw met code 'STW\_034216' in Bijlage 1. Deze twee stuwen waar afvoeren gemeten worden, zijn (tegelijktijd) ook de twee stuwen die automatisch worden gestuurd.

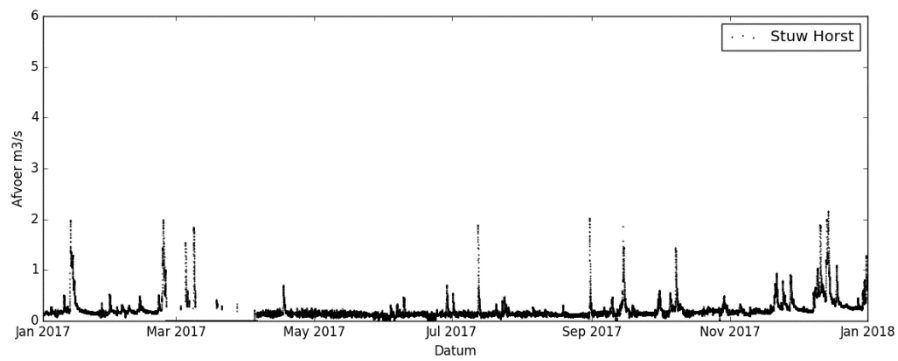
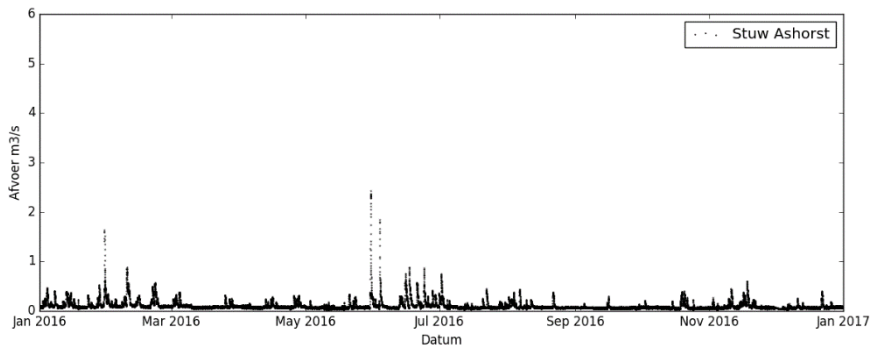
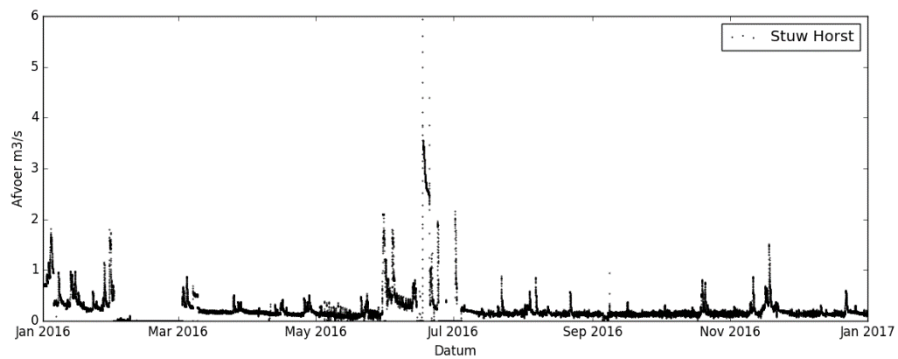
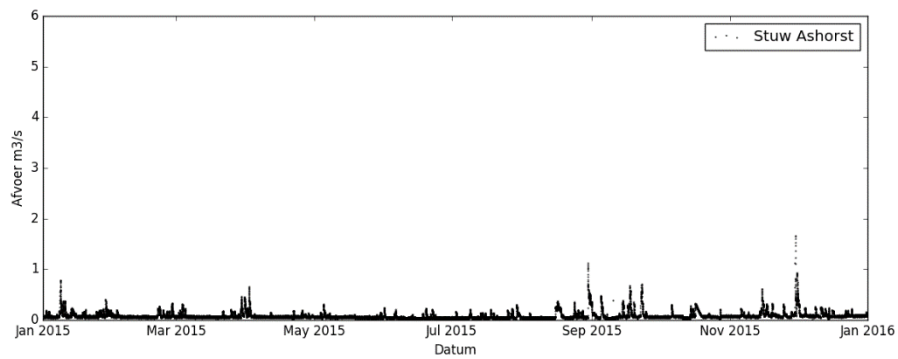
Hieronder is in een reeks grafieken de gemeten afvoer voor beide locaties (om en om, per kalenderjaar) opgenomen voor de jaren 2010 t/m 2017.

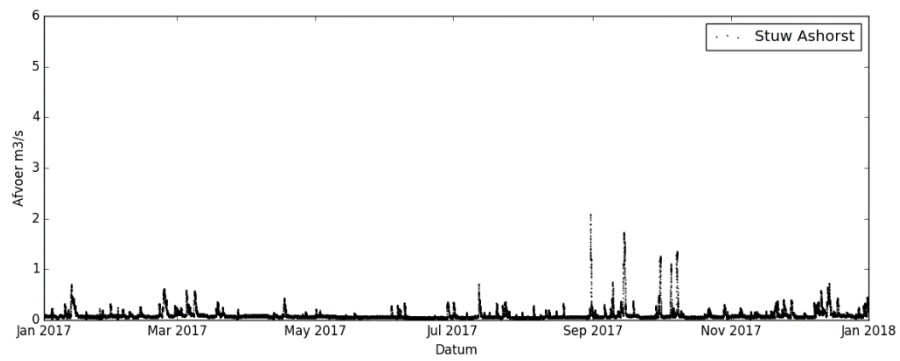




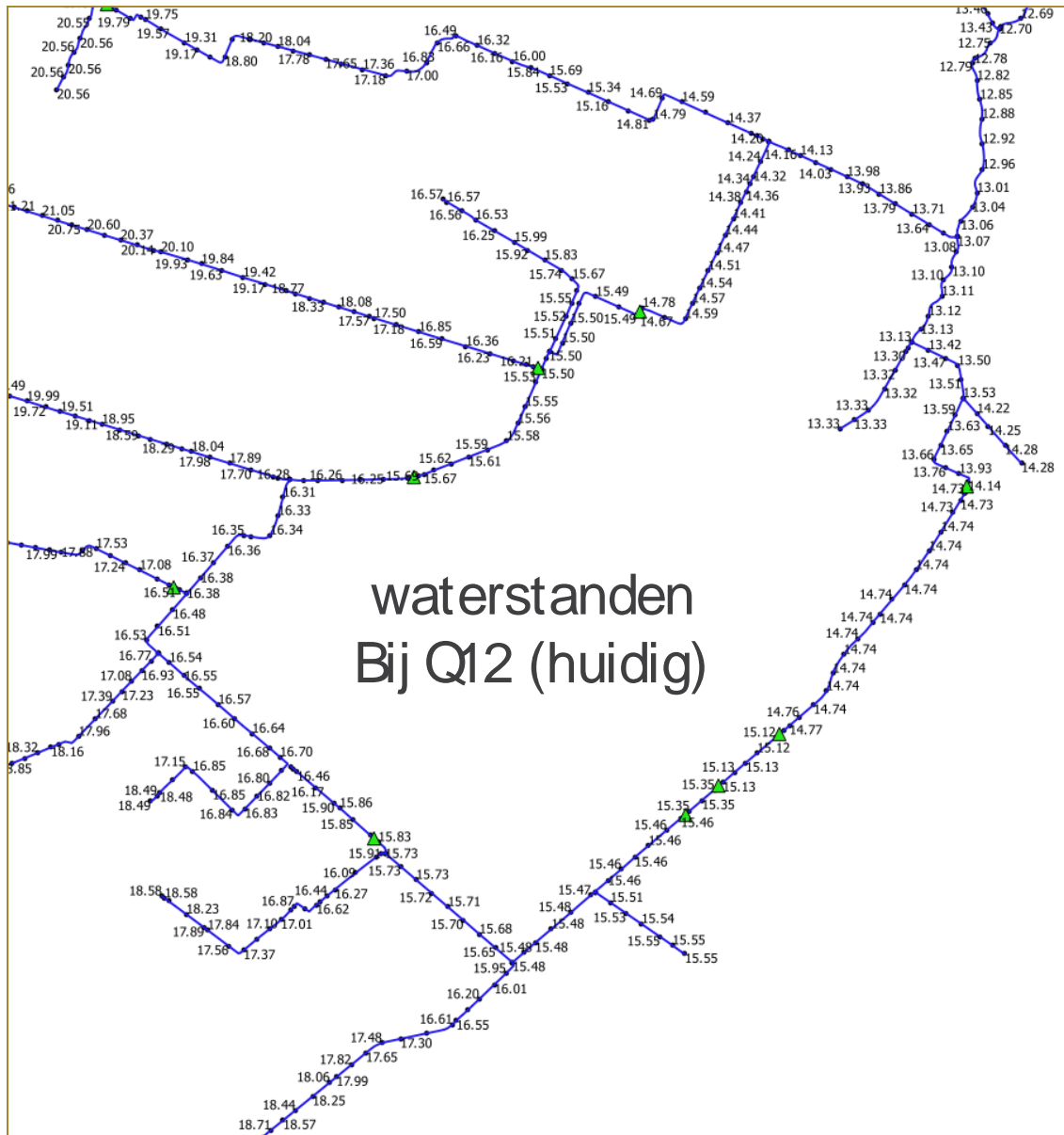




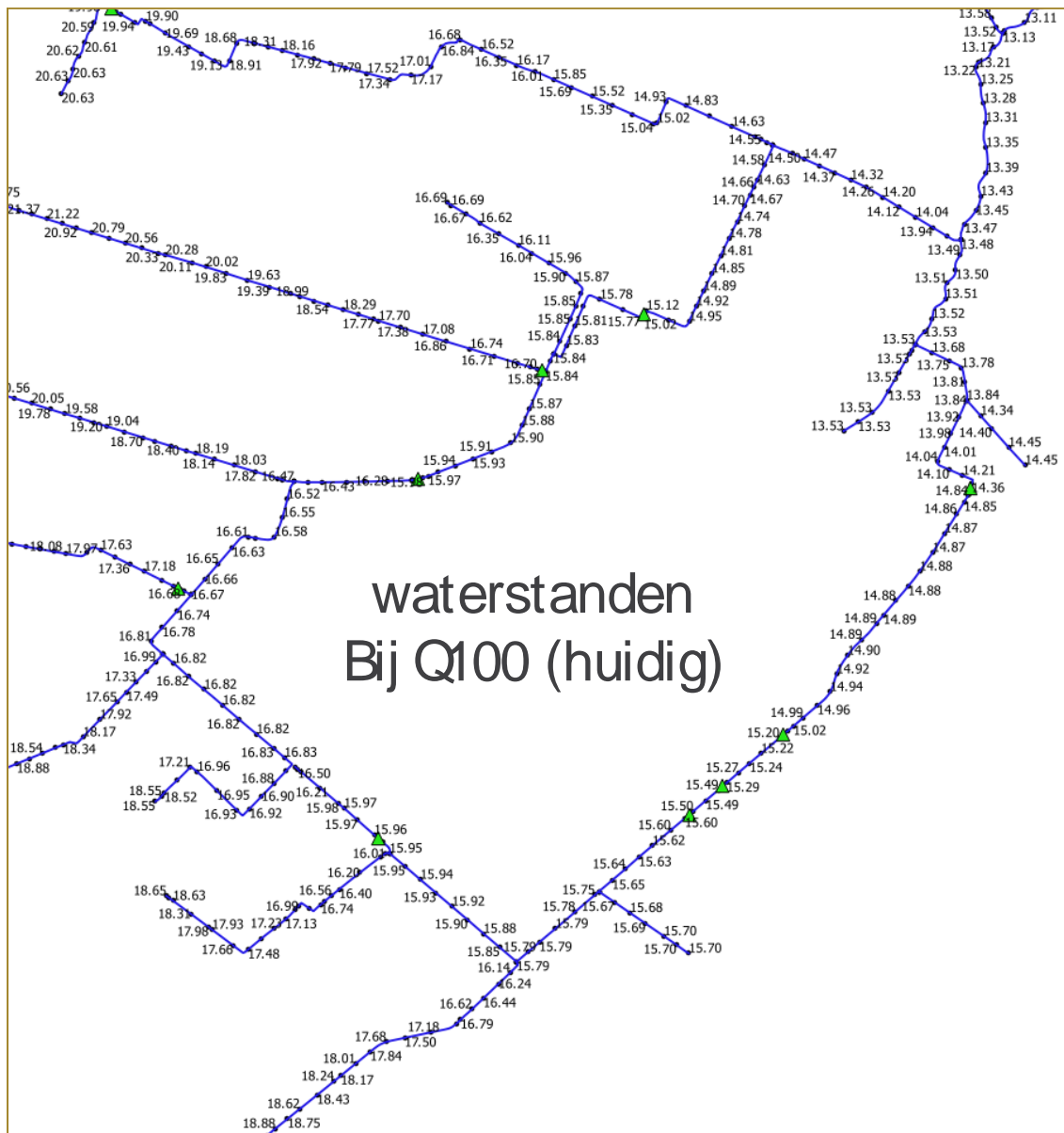




## Bijlage 4: Watersysteemmodellerings

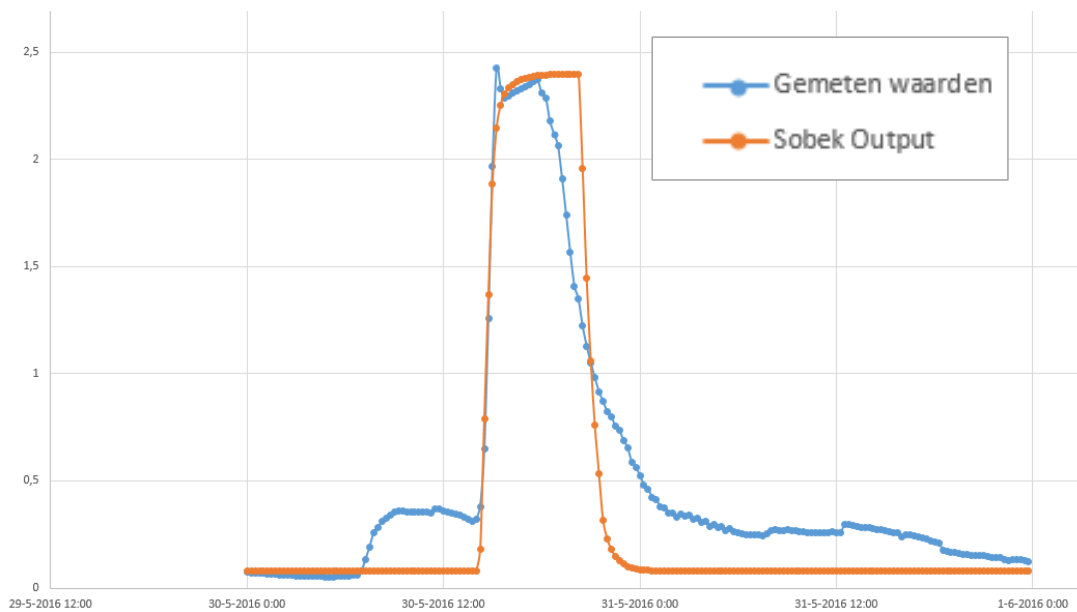


Figuur B4.1 Berekende waterstanden in de omgeving van 'de Bruuk' bij Q12

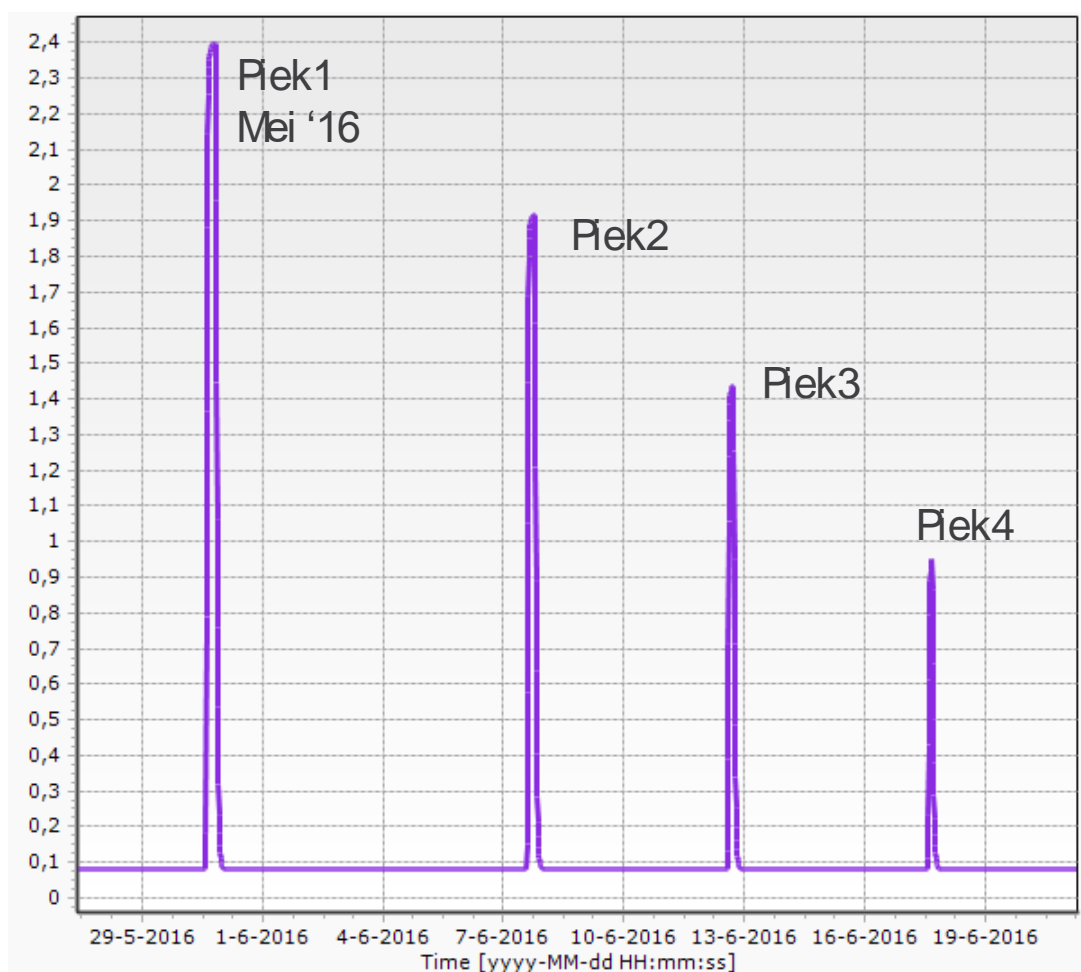


Figuur B4.2 Berekende waterstanden in de omgeving van 'de Bruuk' bij Q100

Om de effecten op piekwaterstanden te beoordelen wordt het conceptontwerp doorgerekend met een afvoergebeurtenis die lijkt op de afvoergebeurtenis van mei 2016. Daarvoor is een hydraulische blokbelasting ontwikkeld voor het model, waarbij de berekende afvoergolf lijkt op de afvoergolf die op stuw Ashorst is gemeten. De gemeten afvoergolf en de berekende afvoergolf (voor de 'huidige situatie') zijn in onderstaande figuur B4.3 getoond. De effecten bij kleinere afvoerpieken worden beoordeeld aan de hand van drie aanvullende, kortere afvoerpieken met wat minder volume (pieken 2, 3 en 4). Zie daarvoor figuur B4.4.

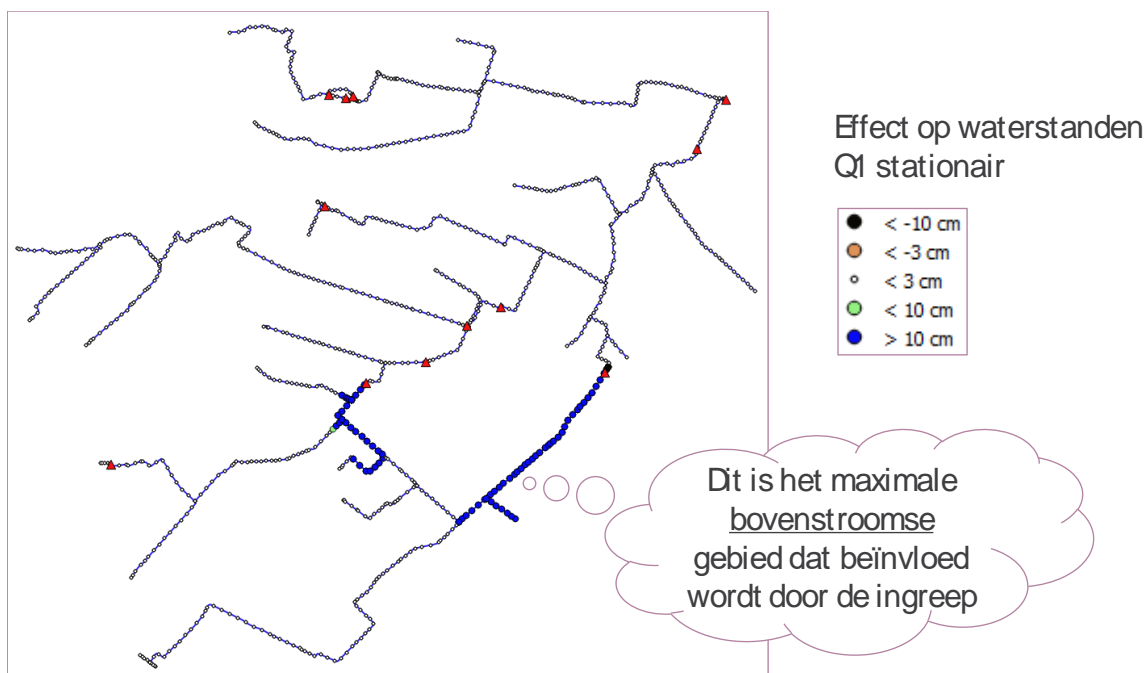


Figuur B4.3 gemeten afvoer (m³/s) op stuw Ashorst vergeleken met berekende afvoeren (piek 1)

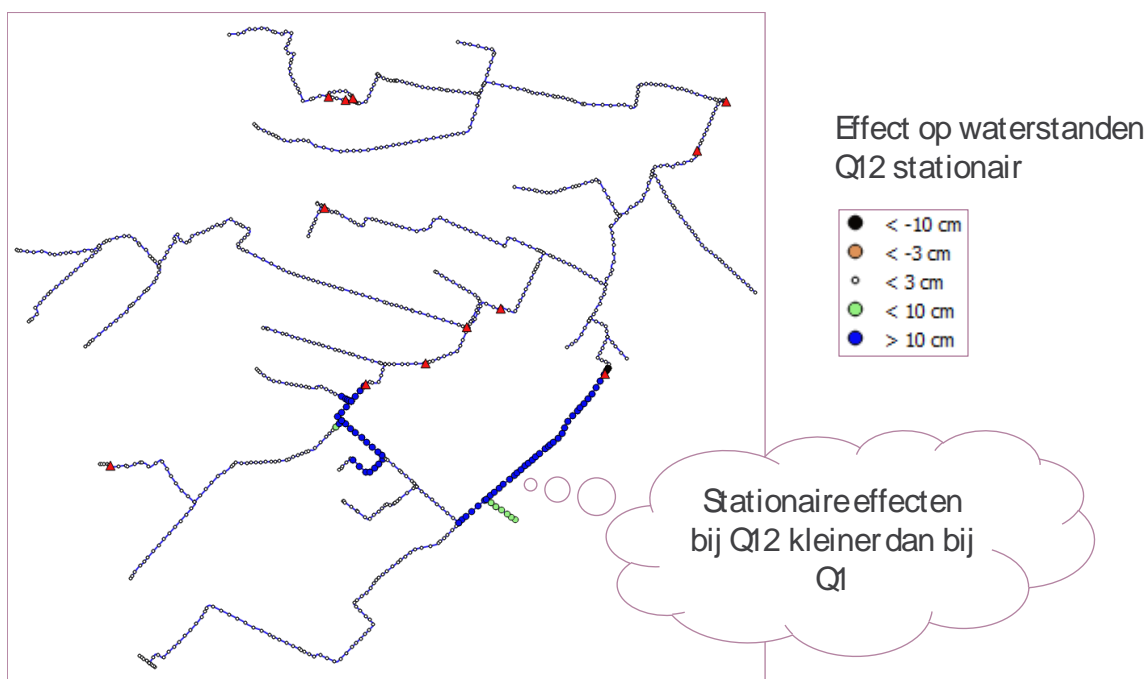


Figuur B4.4 pieken 2, 3 en 4 in vergelijking met afvoerpiek 1 (ter plaatse van stuw Ashorst in m³/s)

## Bijlage 5: Watersysteemsценario (Conceptontwerp versie 1)

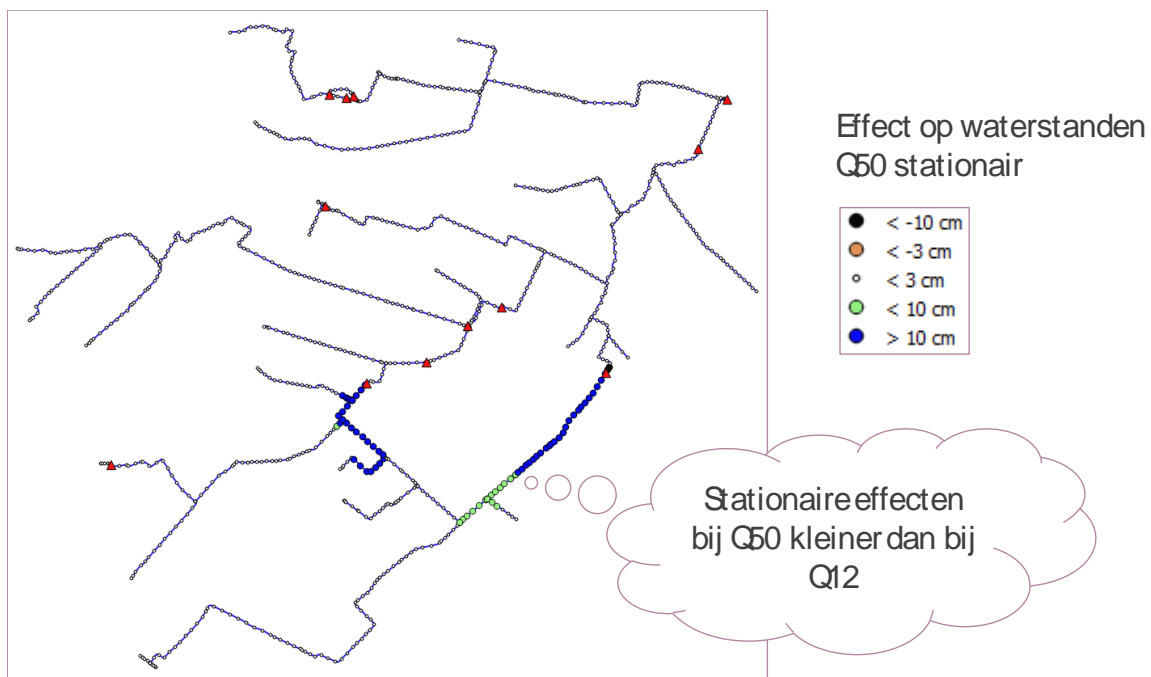


Figuur B5.1 Berekende effect van ontwerpversie 1 op waterstanden bij Q1

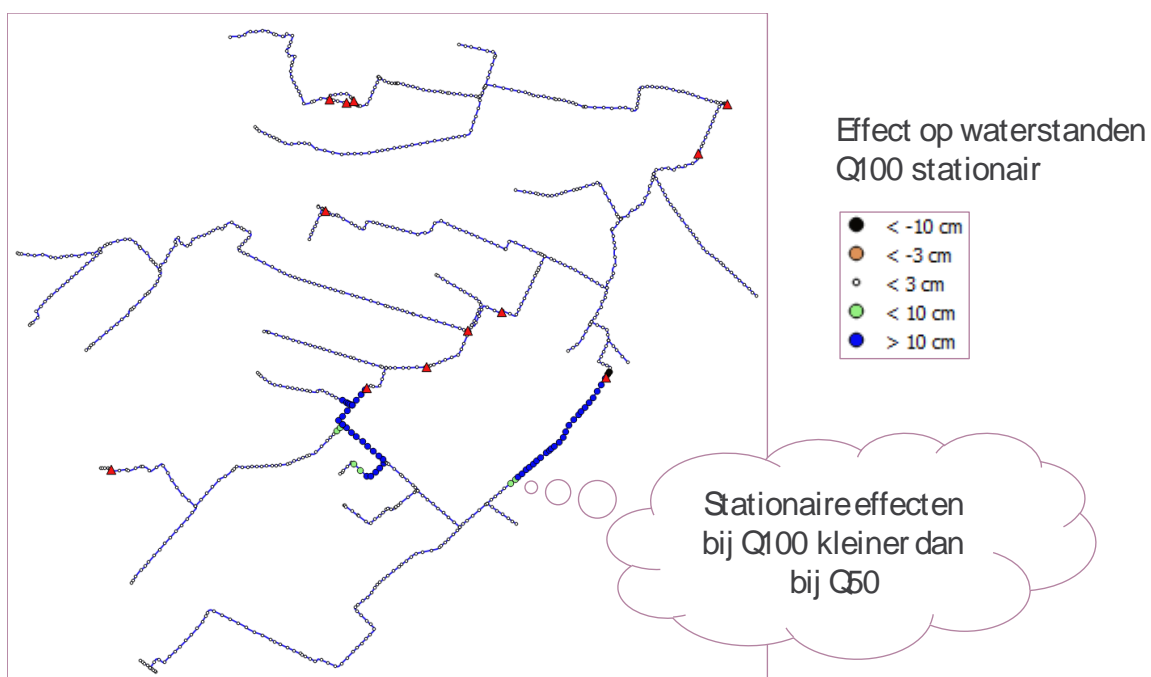


Figuur B5.2 Berekende effect van ontwerpversie 1 op waterstanden bij Q12

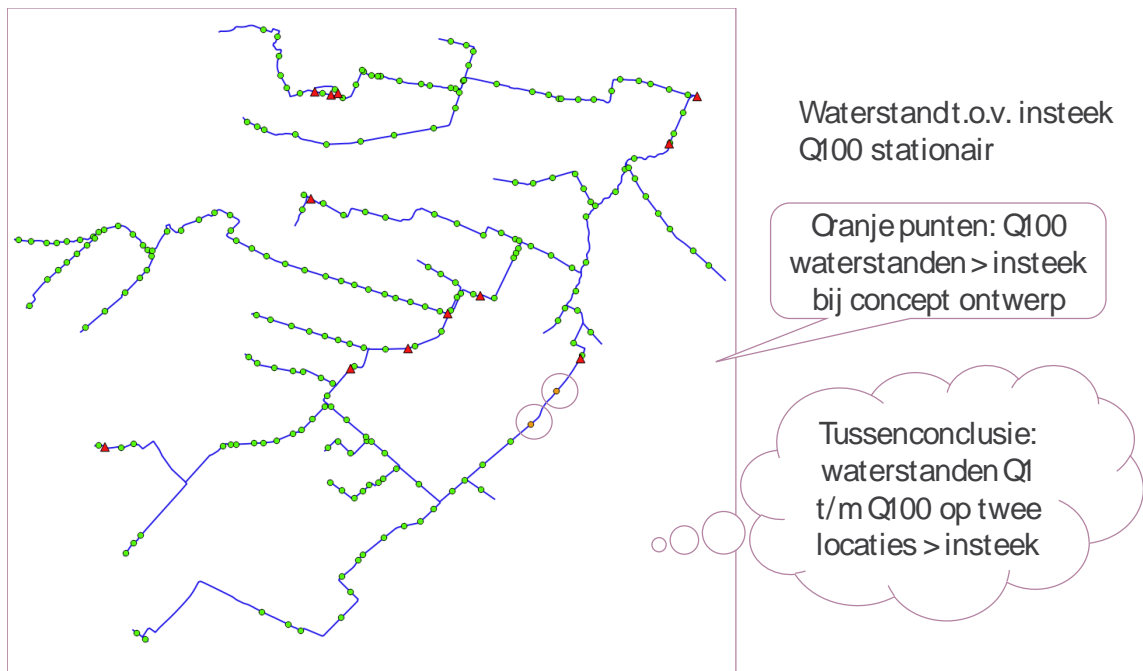




Figuur B5.3 Berekende effect van ontwerpversie 1 op waterstanden bij Q50

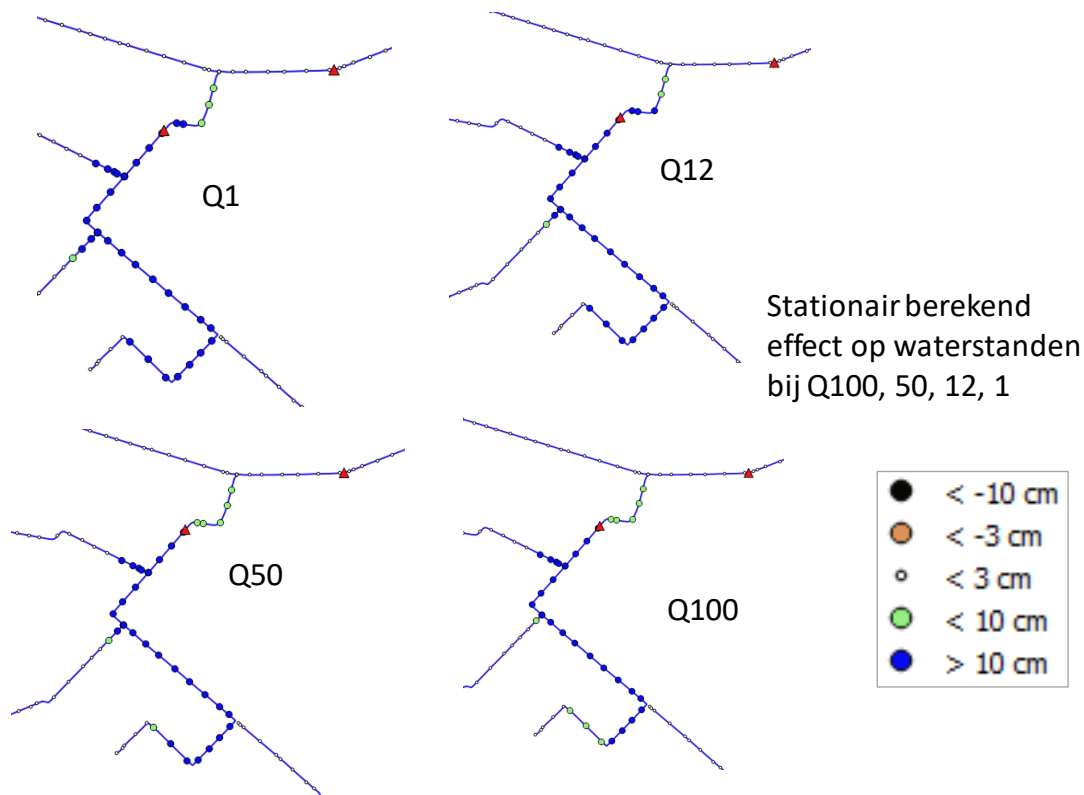


Figuur B5.4 Berekende effect van ontwerpversie 1 op waterstanden bij Q100



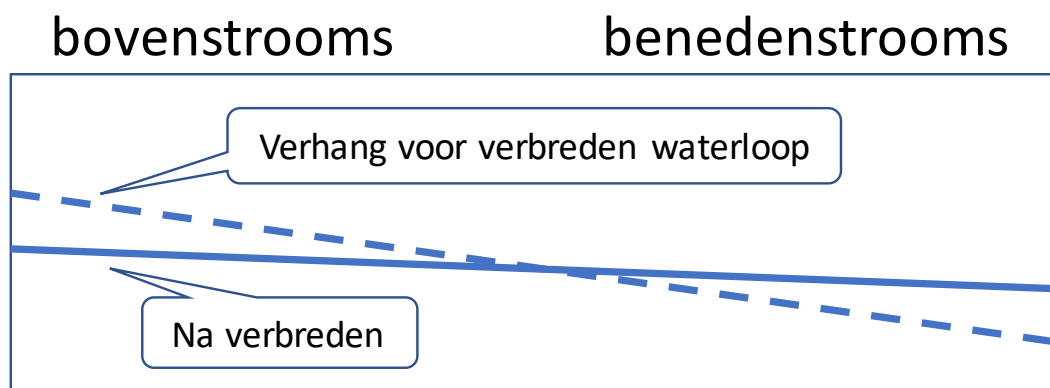
*Figuur B5.5 Berekende waterstanden bij Q100 van ontwerpversie 1 ten opzichte van insteek*

## Bijlage 6: Watersysteemsценario (Conceptontwerp versie 2)



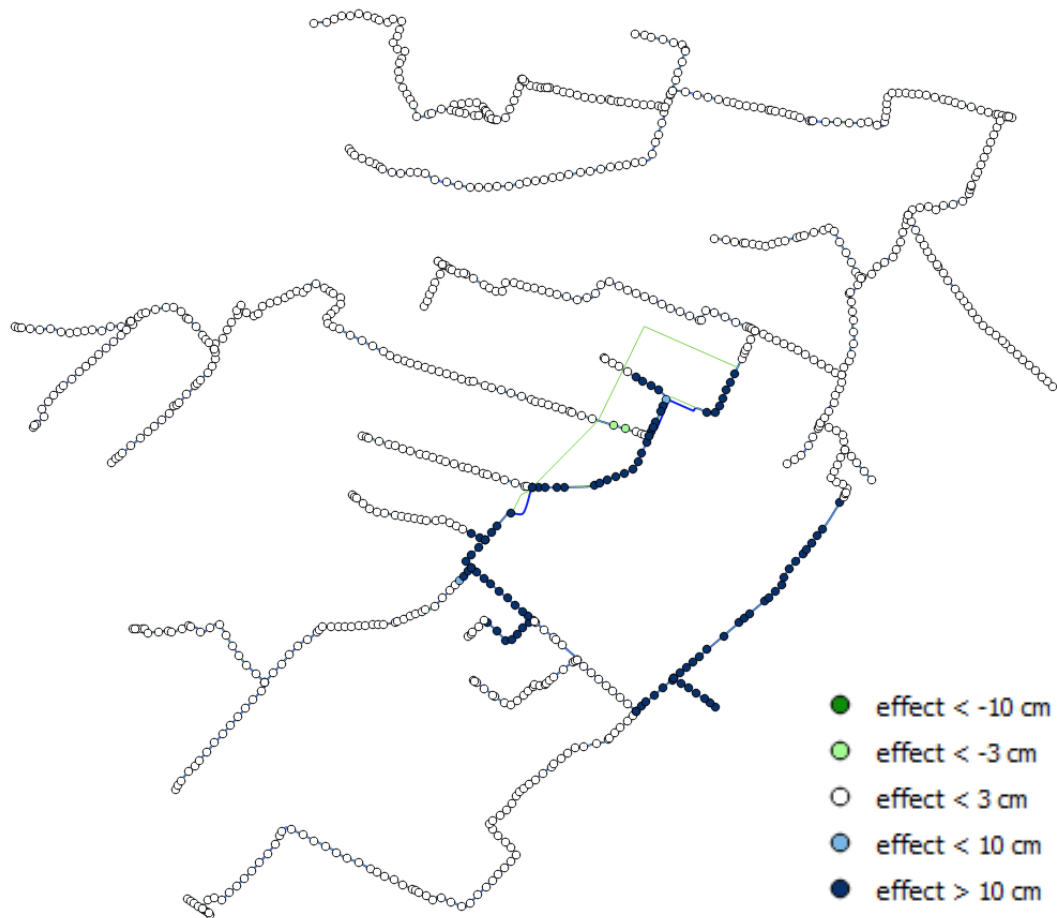
Figuur B6.1 Berekende effect van ontwerpversie 2 op waterstanden bij Q100, Q50, Q12 en Q1

De berekende stationaire effecten bij Conceptontwerp versie 2 zijn voor de Oostelijke Leigraaf hetzelfde als bij versie 1. Door de profielvergroting bij Ashorst worden de waterstanden in het benedenstroomse deel van de watergang hoger. Dit klinkt tegenstrijdig. Dat is het niet. De evenwichtsdiepte van de watergang wordt anders na verbreding. Dit principe is geïllustreerd in onderstaande figuur B6.2.

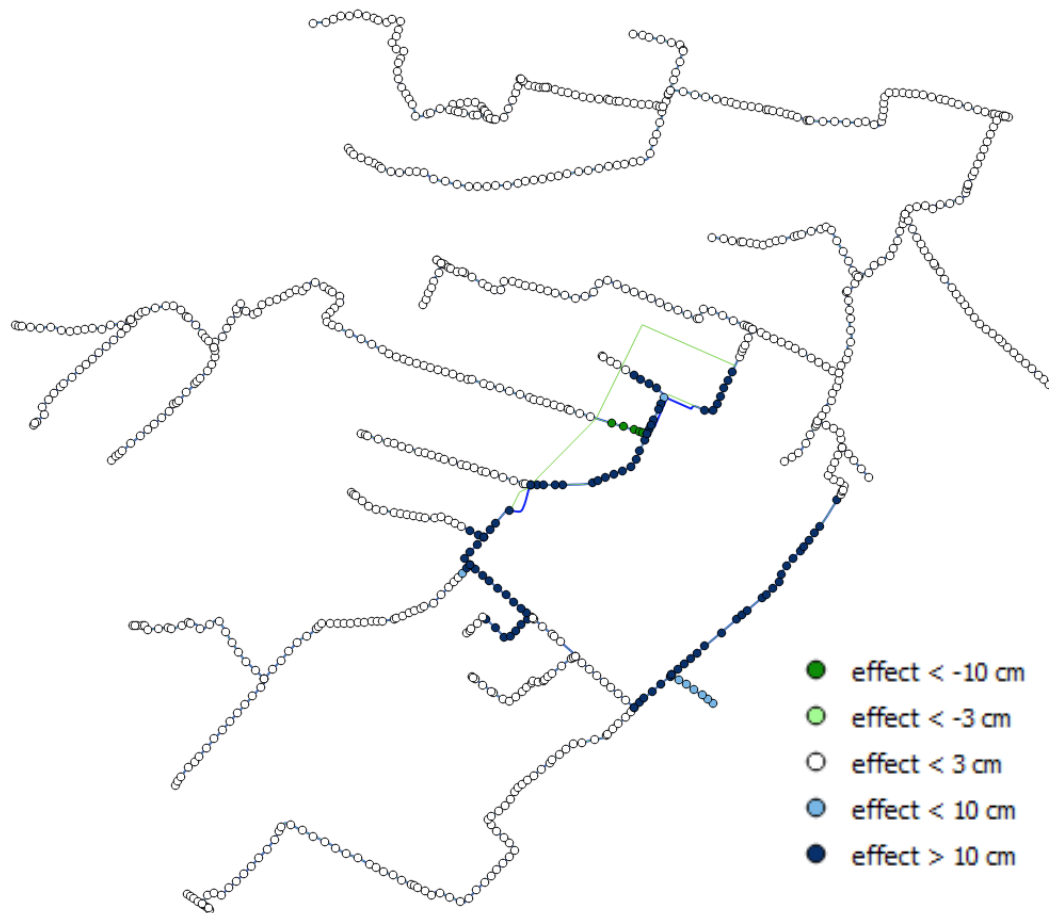


Figuur B6.2 Illustratie van verandering van evenwichtsdiepte en verhang na verbreden

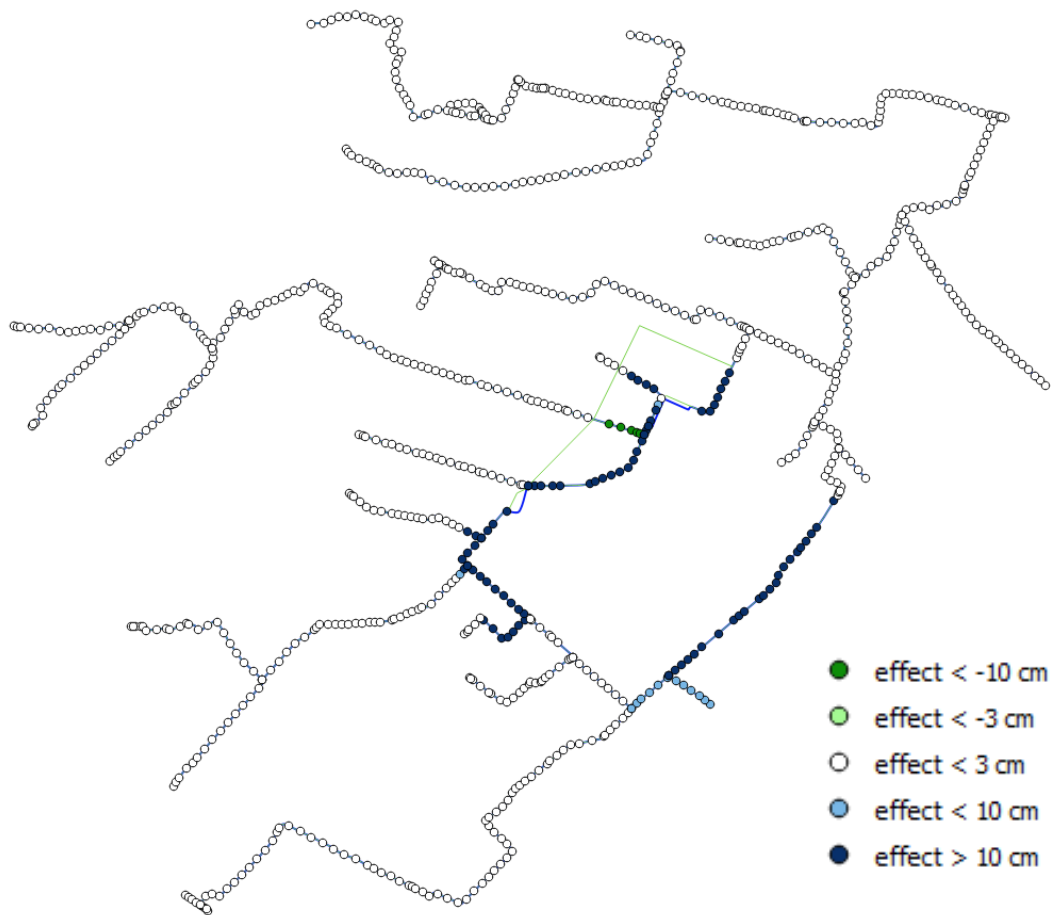
## Bijlage 7: Watersysteemsценario (Conceptontwerp versie 7)



*Figuur B7.1 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Q1*

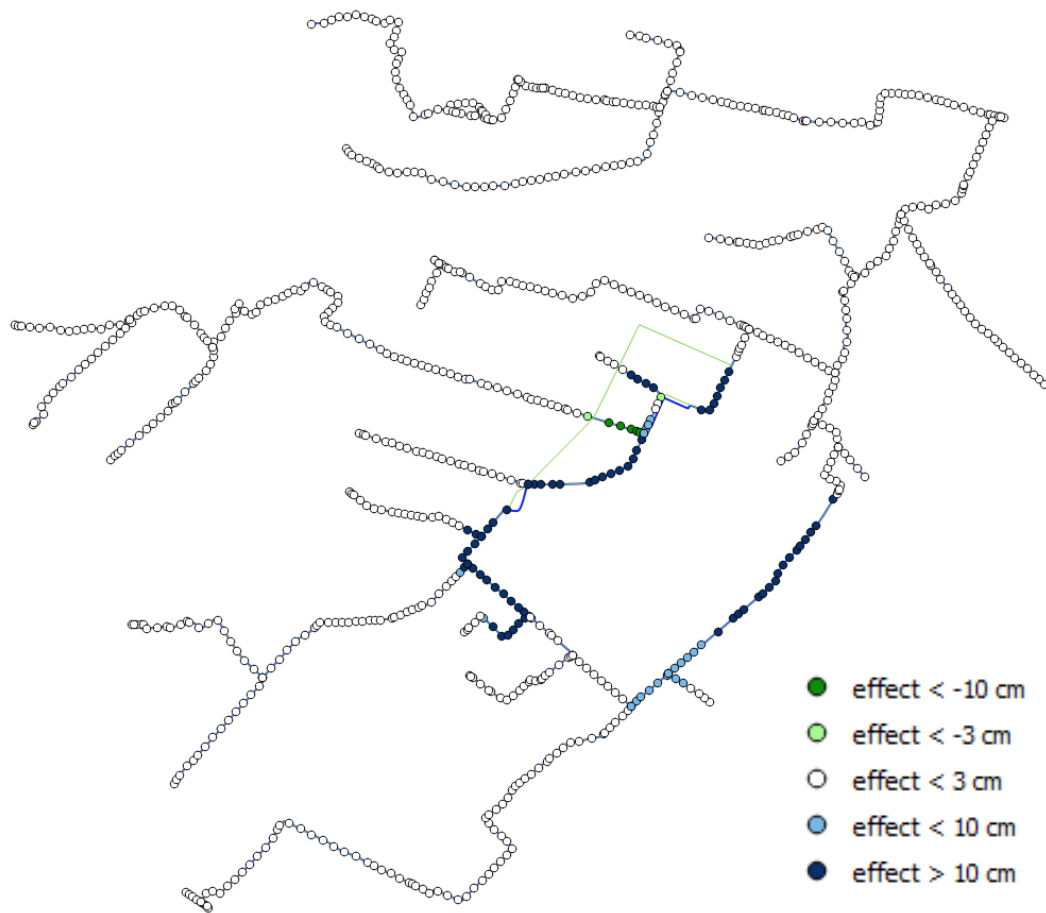


*Figuur B7.2 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Q12*

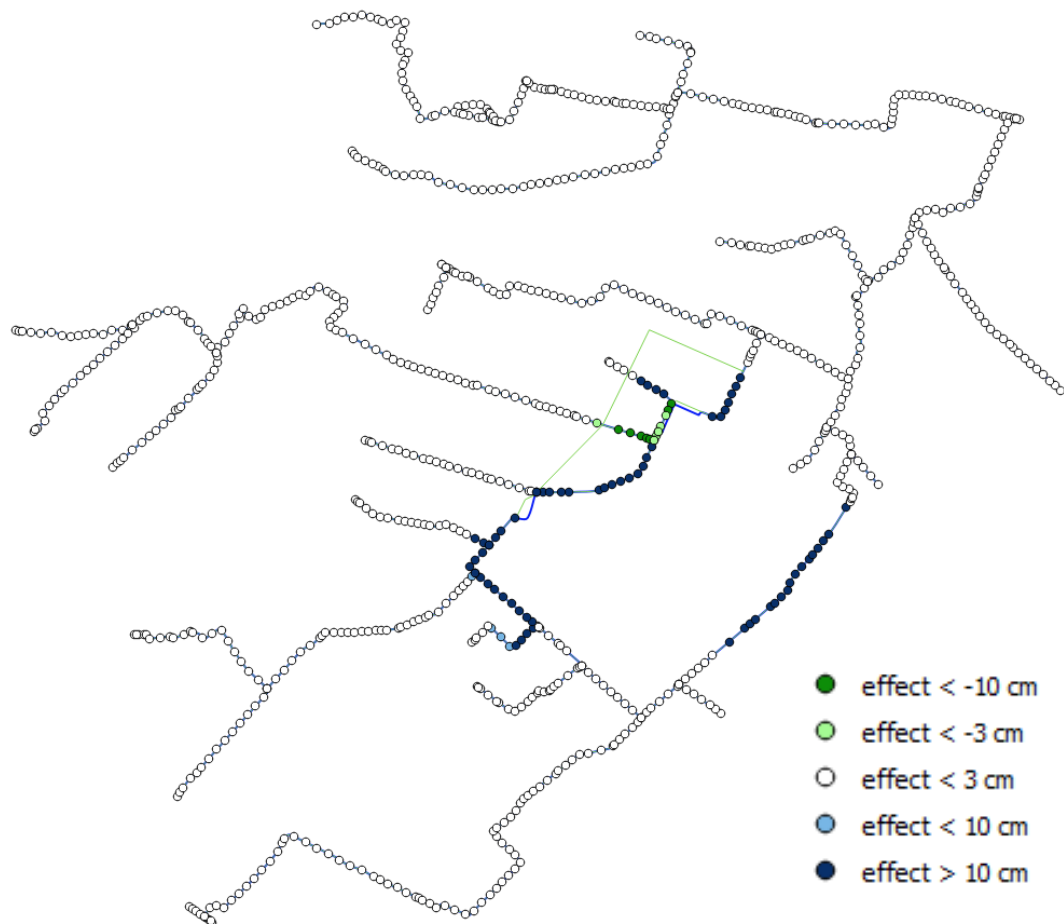


Figuur B7.3 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Q25

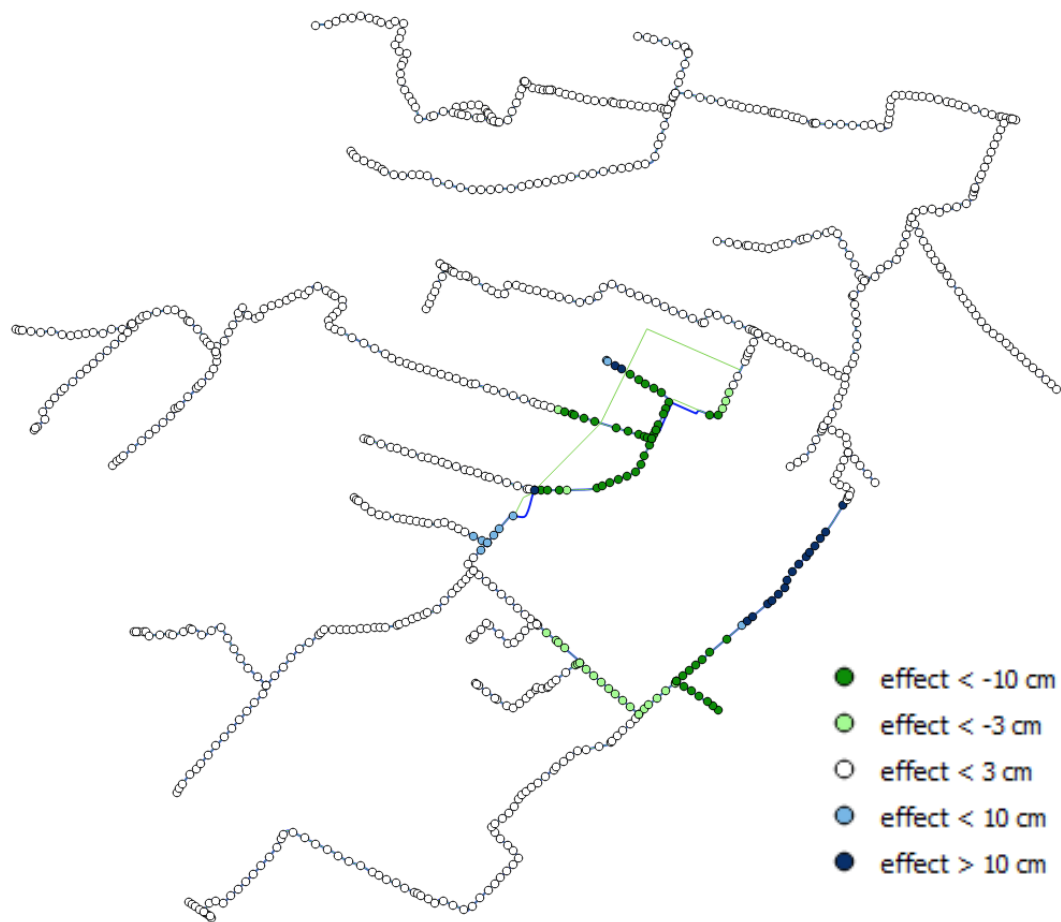




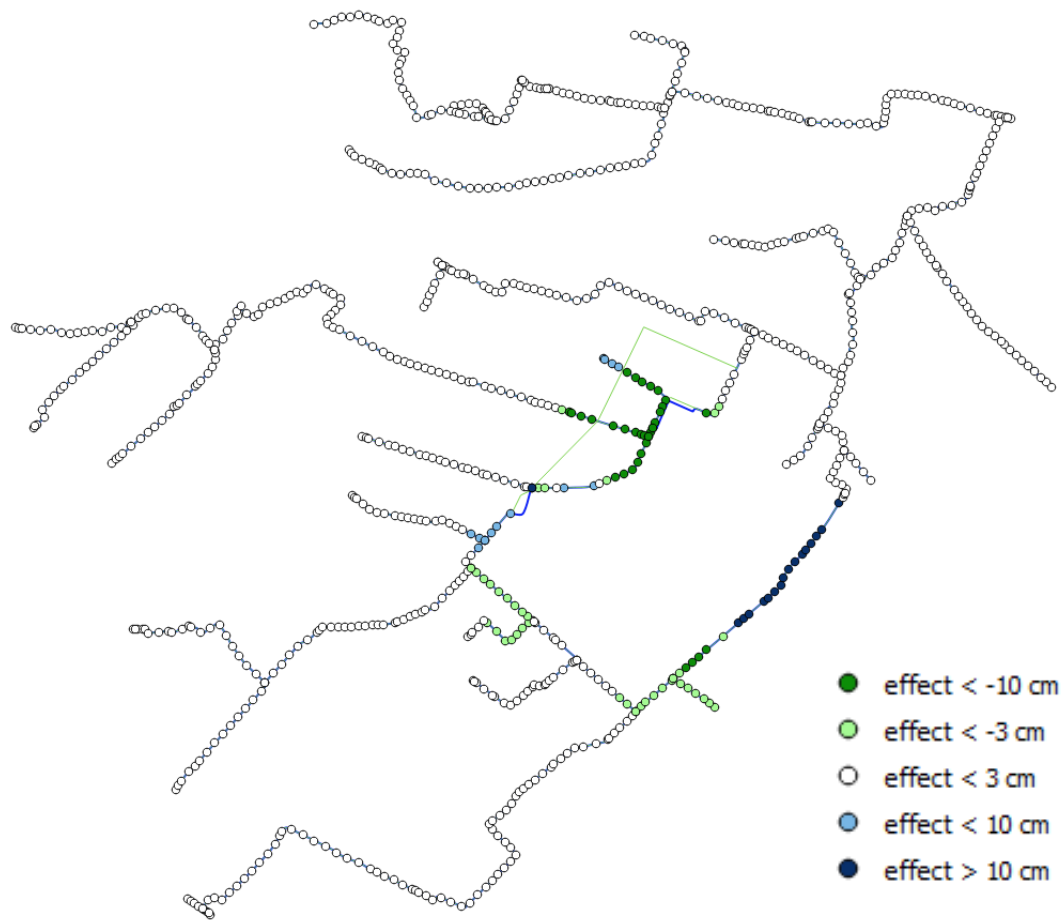
Figuur B7.4 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Q50



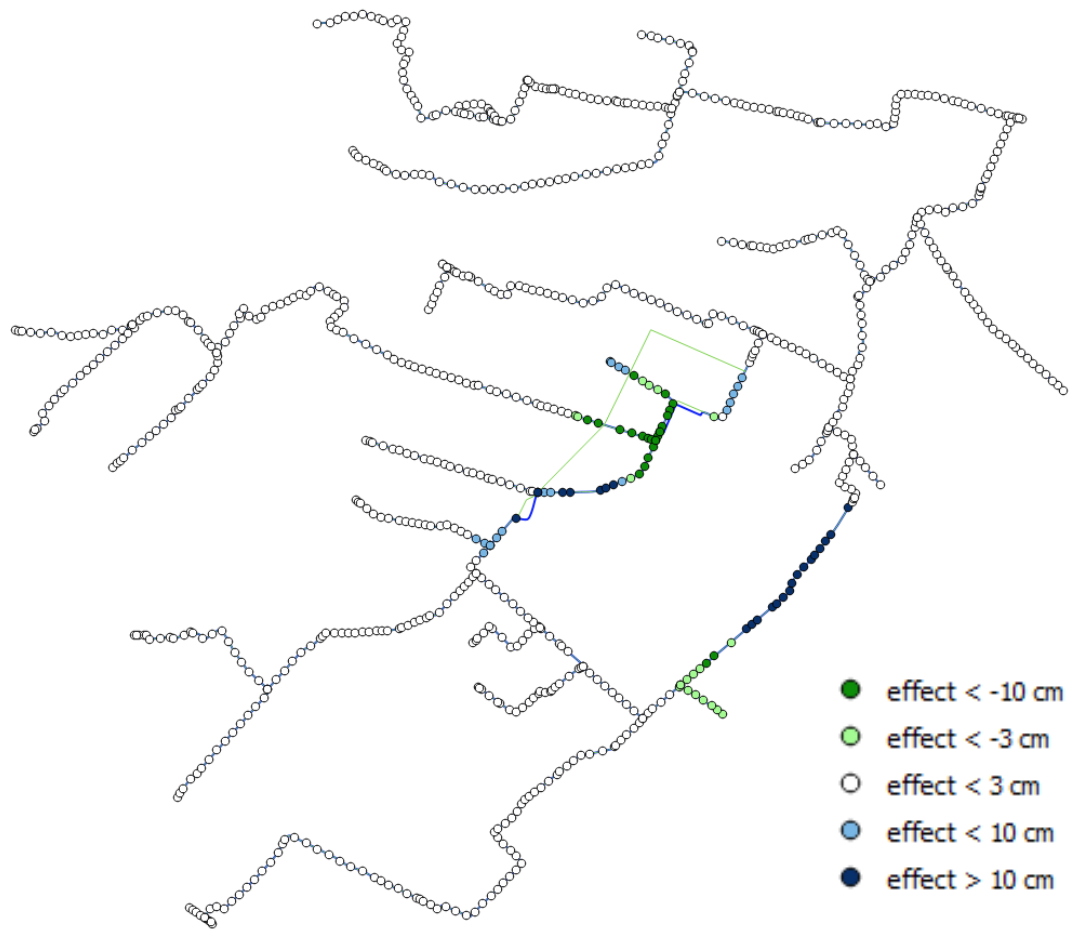
*Figuur B7.5 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Q100*



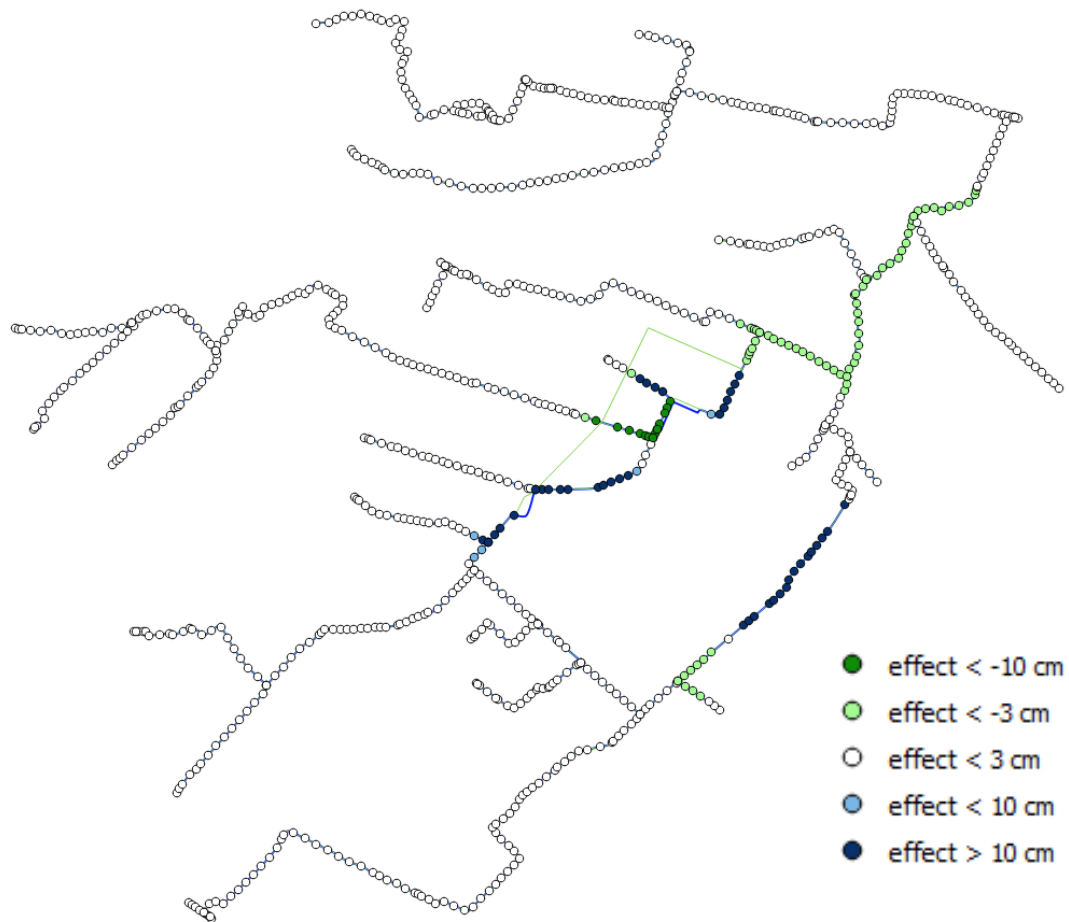
*Figuur B7.6 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Piek 1*



*Figuur B7.7 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Piek 2*



Figuur B7.8 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Piek 3



Figuur B7.9 Effect van conceptontwerp v07 op waterstanden bij Piek 4

## Bijlage 8: Controle van hoogteligging bestaande duikers

Bij het ophogen van de watergangen rondom 'de Bruuk' is het mogelijk dat de bodem van de watergang boven de onderkant van duikers uit gaat komen. Dit is niet wenselijk, omdat dan het doorstroomoppervlak van de duiker verkleint wordt. Daarom moet in kaart worden gebracht voor welke duikers dit het geval is. Om dit in kaart te brengen worden in QGIS de bodemhoogtes van de duikers vergeleken met de nieuwe bodemhoogtes van de watergangen rondom 'de Bruuk'. Er zijn twee bronnen met gegevens over duikers in 'de Bruuk': de legger en het SOBEK2 model van waterschap Rivierenland. In onderstaande tabel is per bron weergegeven voor welke duikers geldt dat de bodemhoogte onder de bodemhoogte van de watergang komt. In kolom 'Bron' staat de bron van de gegevens van de duiker. In kolom 'ID' staat de identificatie van de duiker. In kolommen 'BOKBOV', 'BOKBEN' en 'BODEMREACH' staan respectievelijk de bodemhoogtes van de binnenkant onderkant duiker bovenstroomse kant, binnenkant onderkant duiker benedenstroomse kant en watergang. In de kolommen 'BOKBOV-BODEMREACH' en 'BOKBEN-BODEMREACH' staan de berekende waarden voor hoeveel meter de binnenkant onderkant van de duiker aan respectievelijk de bovenstroomse als benedenstroomse kant onder de bodem van watergang komt.

**Tabel B8.1 Bodem duikers vergeleken met bodem watergang**

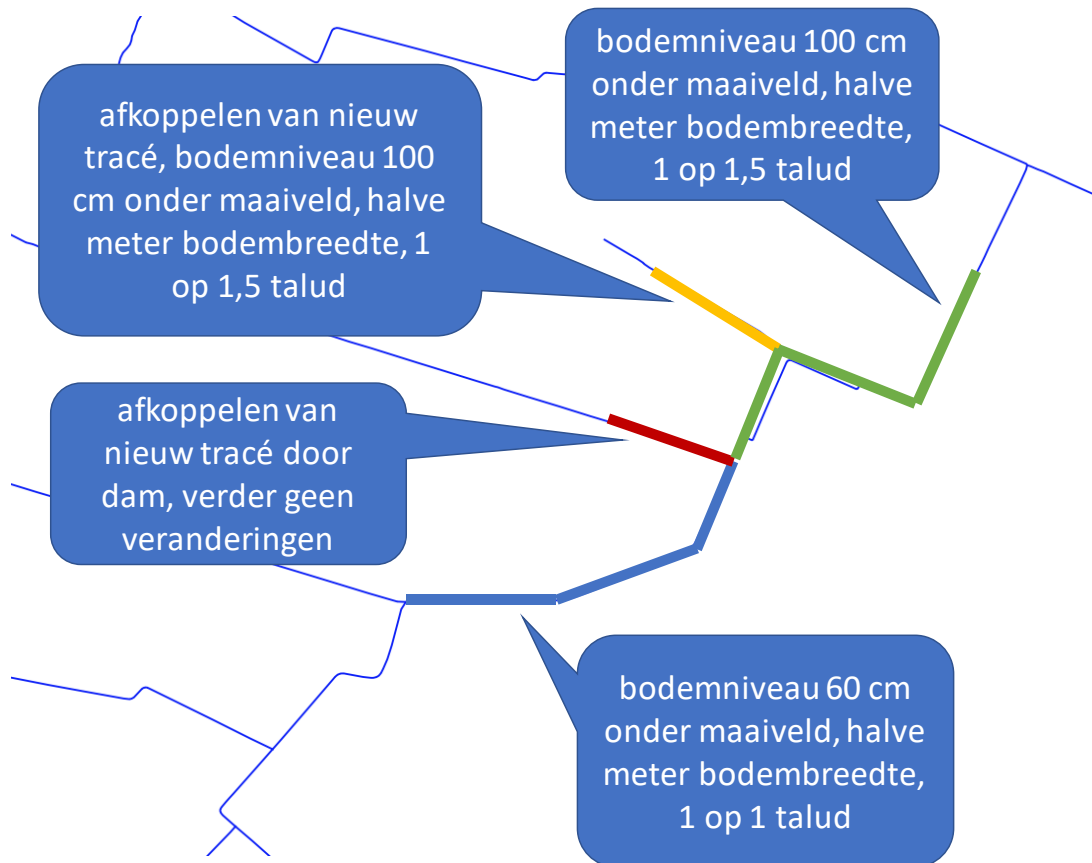
Bron	ID	BOKBOV	BOKBEN	BODEMREACH	BOKBOV-BODEMREACH (m)	BOKBEN-BODEMREACH (m)
LeggerDuikersLijnModelinput.shp	DKR_034645	16,22	16,22	16,30	-0,08	-0,08
	DKR_034217	15,90	15,90	16,60	-0,70	-0,70
	DKR_034215	15,30	15,30	16,60	-1,30	-1,30
	DKR_034214	14,80	14,80	15,60	-0,80	-0,80
	DKR_014828	15,87	15,87	16,20	-0,33	-0,33
	DKR_0148830	15,30	15,30	15,60	-0,30	-0,30
	DKR_034210	14,40	14,40	15,00	-0,60	-0,60
	GB_DU_142	15,99	15,99	16,30	-0,31	-0,31
CF_Culverts.shp	GB_DKR_014851	15,40	15,40	16,60	-1,20	-1,20
	GB_DKR_014848	15,28	15,28	16,60	-1,32	-1,32
	GB_DU_140	15,15	15,15	16,20	-1,05	-1,05
	GB_DKR_014835	14,75	14,75	15,60	-0,85	-0,85
	GB_DKR_014830	15,24	15,24	15,60	-0,36	-0,36
	GB_DKR_014827	15,87	15,87	16,20	-0,33	-0,33
	GB_DU_94	15,30	15,30	16,20	-0,90	-0,90

Op basis van deze tabel wordt geadviseerd om de in de tabel genoemde duikers, met uitzondering van 'DKR\_034645', hoger te plaatsen.



## Bijlage 9: Afmetingen van verkleinde watergangen

In figuur 1 van de hoofdtekst is aangegeven dat een deel van de waterlopen ten noorden van 'de Bruuk' wordt verkleind. In deze bijlage is een kaart opgenomen die toont welke nieuwe afmetingen de watergangen krijgen.



*Figuur B9.1 Toekomstige afmetingen van verkleinde watergangen*