

## Rapport

Projectnummer: 357603

Referentienummer: SWNL0229305 – VOORLOPIG DEFINITIEF

Datum: 18-07-2018

## Gebiedspilot Eckeltsebeek

Voor de omgeving, met de omgeving



Status  
Definitief

Opdrachtgever:  
Waterschap Limburg  
Maria Theresialaan 99  
6043 CX ROERMOND

Sweco  
Zernikestraat 17  
5612 HZ Eindhoven  
Postbus 1265  
5602 BG Eindhoven  
Nederland

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

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

Jan Willem Bronkhorst  
Adviseur Waterbeheer  
T +31 88 811 52 24  
M +31 6 20 01 46 42

## Verantwoording

Titel	Gebiedspilot Eckeltsebeek
Subtitel	Voor de omgeving, met de omgeving
Projectnummer	357603
Referentienummer	SWNL0229305 – <b>voorlopig definitief</b>
Revisie	D1
Datum	18-07-2018
Auteur(s)	Jan Willem Bronkhorst
E-mailadres	janwillem.bronkhorst@sweco.nl
Gecontroleerd door	Pim Dik
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Ron Buitelaar
Paraaf goedgekeurd	

## Voorwoord

Met de 'gebiedspilot Eckeltsebeek' uit het actieprogramma 'Water in Balans' geeft Waterschap Limburg nadrukkelijk uitvoering aan haar slogan 'Met de omgeving, voor de omgeving'. Zoals de titel al aangeeft, het is een pilot, waarin een nieuwe werkwijze wordt uitgetest om tot herinrichtingsmaatregelen in het watersysteem te komen. Hierbij voert het streekproces de boventoon in de totstandkoming van de maatregelen die nodig zijn om het systeem toekomstbestendig in te richten.

Het streekproces in het stroomgebied van de Eckeltsebeek loopt al sinds de herinrichting die in 2005-2006 is uitgevoerd. Al vanaf dat moment wordt er in de streek wateroverlast ervaren. Dit rapport is 'slechts' een samenvatting van het proces van de laatste twee jaar, dus sinds de laatste grote wateroverlast van juni 2016 is opgetreden. Deze gebeurtenis gaf de aanleiding om het streekproces weer te intensiveren. In het eerste jaar na de wateroverlast is het watersysteem en haar functioneren grondig geëvalueerd en zijn de eerste knelpunten aangepakt. Dit betroffen knelpunten die no-regret en snel aan te pakken waren, de zogenaamde quick-wins. Hiermee is de eerste stap naar een verbetering van het functioneren van het beekstelsel gezet. Wel is duidelijk geworden dat er meer nodig is om tot een toekomstbestendige inrichting van het beekstelsel te komen.

Sweco is vanaf medio 2017 betrokken geraakt bij dit streekproces. Zij is door het waterschap gevraagd om te ondersteunen met hydrologische berekeningen en bij te dragen in het gebiedsproces door objectieve informatie aan te leveren. Op basis van deze informatie zijn afspraken gemaakt en beslissingen genomen. Het resultaat hiervan is het maatregelenpakket dat in dit rapport is uitgewerkt.

Eindhoven, juli 2018.

## Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>6</b>
1.1 Aanleiding .....	6
1.2 Doel .....	6
1.3 Beleids- en normkader .....	6
1.4 Leeswijzer .....	7
<b>2 Beschrijving van het stroomgebied van de Eckeltsebeek</b> .....	<b>8</b>
2.1 De inrichting van het maaiveld .....	8
2.1.1 Maaiveldhoogte.....	9
2.1.2 Bodemopbouw .....	10
2.2 Oppervlaktewater.....	10
2.2.1 Oppervlaktewaterstanden .....	10
2.2.2 Maaspeil.....	11
2.3 Grondwater .....	12
2.3.1 Grondwaterstanden .....	12
2.3.2 Effecten Maaspeilopzet.....	13
2.3.3 Ervaren grondwateroverlast .....	14
2.4 Beoordeling basisgegevens .....	14
<b>3 Het IBRAHYM-instrumentarium</b> .....	<b>15</b>
3.1 Inzet van het instrumentarium .....	15
3.1.1 Huidige situatie (hoofdstuk 4).....	15
3.1.2 Juni 2016 (hoofdstuk 5).....	15
3.1.3 Maatregelen (hoofdstuk 6) .....	15
3.1.4 Voor elke situatie zijn eigen modelkeuze .....	15
3.2 Oppervlaktewatermodel.....	16
3.3 Grondwatermodel .....	16
<b>4 Toetsing van het actuele watersysteem</b> .....	<b>18</b>
4.1 Uitgevoerde berekeningen .....	18
4.2 Toets op hydraulische condities, jaarlijks voorkomende omstandigheden .....	18
4.3 Toets van de drooglegging .....	18
4.4 Beoordeling grondwaterstanden.....	19
4.5 Toets aan de NBW-normen: inundaties bij extreme omstandigheden .....	19
4.6 Conclusies .....	21
4.7 Verificatie met de streek: knelpuntenkaart .....	21
<b>5 Omstandigheden juni 2016</b> .....	<b>22</b>
5.1 Inleiding .....	22
5.2 Eerdere berekeningen .....	22
5.3 Vernieuwde berekening .....	23
5.4 De lessen van 2016.....	25

<b>6</b>	<b>Maatregelen voor een toekomstbestendig beekstelsysteem.....</b>	<b>26</b>
6.1	Inleiding .....	26
6.1.1	Doel van de maatregelen .....	26
6.1.2	Aanpak.....	26
6.2	Inventarisatie van mogelijke maatregelen .....	26
6.2.1	Groslijst maatregelen .....	26
6.2.2	Knelpuntenkaart .....	27
6.3	Verkenning van de maatregelen.....	28
6.3.1	Verkende maatregelen.....	28
6.3.2	Conclusies bij de verkende maatregelen .....	29
6.3.3	Presentatie van de maatregelen .....	30
6.4	Definitief maatregelenpakket .....	30
6.4.1	Beschrijving fysieke maatregelen per tracé.....	31
6.4.2	Andere mogelijke fysieke maatregelen .....	32
6.4.3	Maatregel dynamisch maaibeheer .....	32
6.5	Effecten van het maatregelenpakket .....	33
6.5.1	Effecten maatregelenpakket in het beekstelsysteem.....	33
6.5.2	Effecten op de drooglegging .....	34
6.5.3	Effecten van het maatregelenpakket op de grondwaterstanden in het gebied.....	35
6.5.4	Effect van het maatregelenpakket tijdens juni 2016.....	37
<b>7</b>	<b>Tot slot.....</b>	<b>40</b>

- Bijlage 1. Beleids-/normenkader en gebiedsproces
- Bijlage 2. Beschrijving modelinstrumentarium
- Bijlage 3. Kaart stroomgebied inclusief Duitsland
- Bijlage 4. Knelpuntenkaart streek
- Bijlage 5. Schematisatie bodemopbouw
- Bijlage 6. Analyse waterstanden en afvoer juni 2016
- Bijlage 7. Toelichting bij groslijst maatregelen
- Bijlage 8. Index digitale kaartbijlage

## 1 Inleiding

Het programma 'Water in Balans' is opgesteld na de wateroverlast die Zuid-Oost-Nederland heeft getroffen in juni 2016. Het programma bestaat uit diverse projecten die beleidsmatig of onderzoekend van aard zijn ofwel een fysieke ingreep betreffen. De 'gebiedspilot Eckeltsebeek' is een van de projecten uit het programma. Het is een proefproject voor de wijze waarop Waterschap Limburg, samen met de streek tot een verbeterd functioneren, dan wel inrichting van haar watersysteem wil komen.

### 1.1 Aanleiding

Vanaf de herinrichting van de Horsterbeek en Eckeltsebeek (ter hoogte van de golfterrein) die is uitgevoerd in 2006, wordt er door de omgeving een verhoging van de waterpeilen en grondwaterstanden ervaren. Over het functioneren van de beek zijn in de loop der jaren klachten ontstaan. Deels wordt dit toegeschreven aan verkeerde uitgangspunten in het ontwerp van de herinrichting van de beek, deels aan de wijze waarop het ontwerp is uitgevoerd en wordt onderhouden.

Het waterschap heeft in de loop der jaren diverse aanpassingen en werken uitgevoerd om de ervaren overlast te verminderen. Dit los van de normen, maar om tegemoet te komen aan de streek. De problemen leken grotendeels verholpen tot de buien in juni 2016 opnieuw voor veel overlast zorgden. De LLTB en het waterschap hebben de gebeurtenissen geëvalueerd en ook is begin 2017 gezamenlijk de staat van de beek beoordeeld met een schouw (d.d. 20-01-2017). Hieruit zijn de eerste actie punten naar voren gekomen. Een geschiedenis van het streekproces is opgenomen in *Bijlage 1.3*. Op dit moment is er een Beekgroep App waarin men elkaar via berichten op de hoogte houdt en direct actie kan worden ondernomen wanneer knelpunten worden gesignaleerd. Door intensief samen op te trekken worden twee doelen bereikt: het aanpakken van knelpunten op de korte termijn en het klimaatbestendig maken van de beek voor de lange termijn.

### 1.2 Doel

De gebiedspilot Eckeltsebeek heeft tot doel om samen met de streek tot een toekomstvisie te komen voor de inrichting van het beekstelsysteem. Met deze visie wordt gekomen tot een gedragen pakket van maatregelen om het functioneren van de Eckeltsebeek te verbeteren. Hierbij zet het waterschap in op een intensief streekproces, waarmee ze uitvoering geeft aan haar slogan 'voor de omgeving, met de omgeving'. De gebiedspilot is geslaagd wanneer het waterschap en de streek tevreden zijn met het maatregelenpakket, dat moet leiden tot een klimaatrobust en toekomstbestendig ingericht beekstelsysteem.

### 1.3 Beleids- en normkader

Alle maatregelen die voortkomen uit deze gebiedspilot worden afgezet tegen het huidige beleids- en normenkader. Het functioneren van het beekstelsysteem moet in ieder geval voldoen aan het huidige normenkader (wat moet), maar mogelijk worden ook extra maatregelen getroffen om het beekstelsysteem toekomstbestendig in te richten (wat mag). De gebiedspilot start daarom met een scan van het vigerende beleid en de normen die worden gesteld aan beeksystemen in het beheergebied van Waterschap Limburg.

De normen voor 'wat moet' komen vanuit verschillende wet- en regelgeving. Ze vinden hun oorsprong in de doelen waaraan watersystemen moeten voldoen: veilig, voldoende en schoon water. Een beschrijving van het normenkader is weergegeven in *Bijlage 1*.

#### **1.4 Leeswijzer**

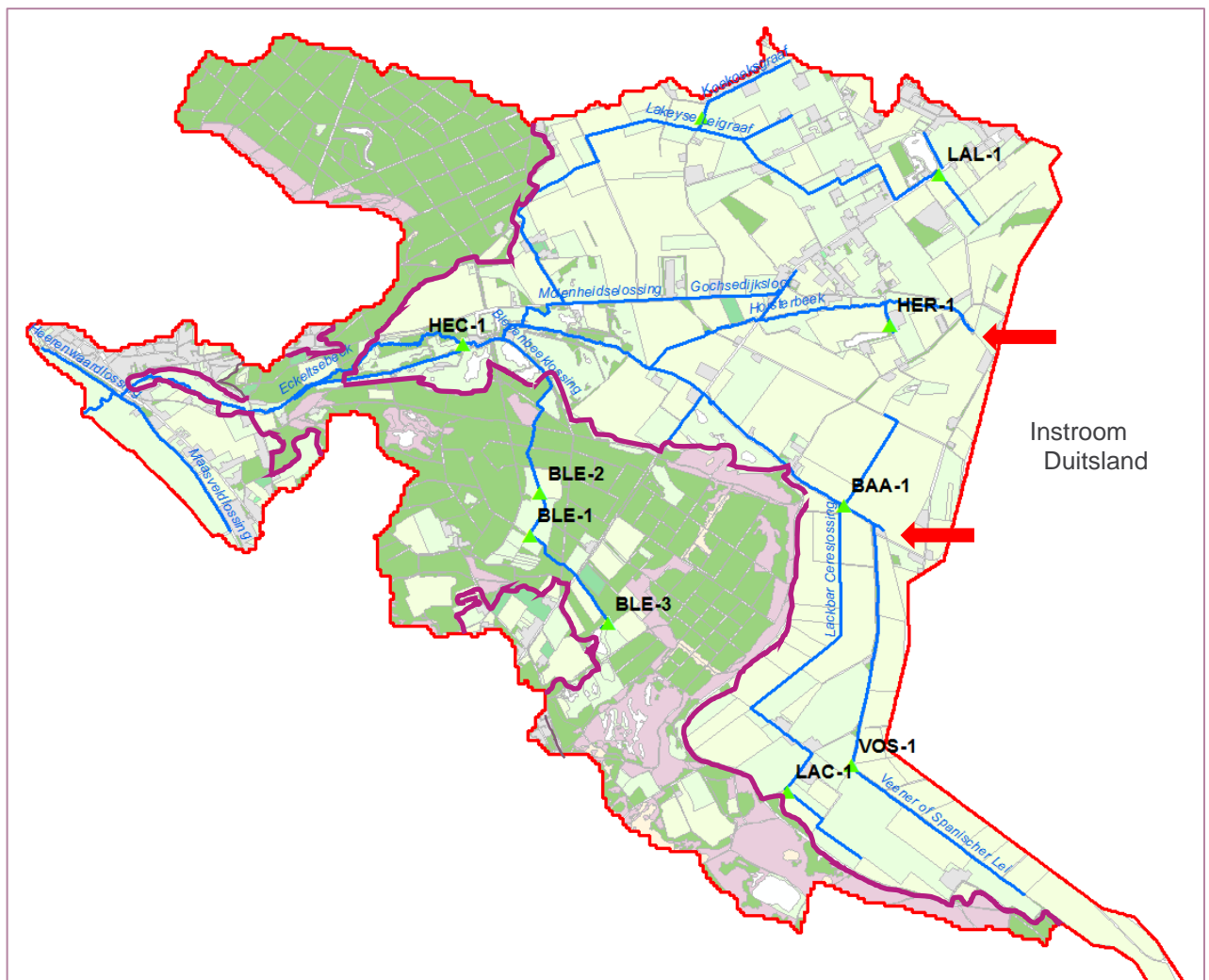
Deze rapportage beschrijft het gebieds- en rekenkundig proces dat is gevolgd om tot een gedragen maatregelenpakket te komen voor het stroomgebied van de Eckeltsebeek. In hoofdstuk 2 worden het stroomgebied en haar (waterhuishoudkundige) kenmerken beschreven, hoofdstuk 3 beschrijft het gebruikte modelinstrumentarium voor de berekeningen en de actualisatie daarvan. In hoofdstuk 4 wordt het huidige systeem getoetst aan het normenkader en knelpunten beschreven. Hoofdstuk 5 geeft een duiding van de gebeurtenissen in juni 2016 en de relatie tot de gevonden knelpunten. In hoofdstuk 6 tenslotte wordt een maatregelenpakket opgesteld om het beekstelsel toekomstbestendig in te richten.



## 2 Beschrijving van het stroomgebied van de Eckeltsebeek

### 2.1 De inrichting van het maaiveld

Het stroomgebied van de Eckeltsebeek bevindt zich op de oostflank van de Maas. Ongeveer de helft tot twee derde van het stroomgebied bevindt zich in Duitsland en het overige deel in Nederland. In Duitsland bestaat het landgebruik hoofdzakelijk uit landbouwgebied en het vliegveld Weeze. Het landgebruik in Nederland is grotendeels natuur en agrarisch, zowel akkerbouw als grasland. Deze gebieden liggen bovenstrooms in het stroomgebied, achter het Nationaal Park de Maasduinen. Dit park is tevens een Natura2000-gebied (paars omljnd). De kernen Siebengewald en Afferden liggen voor een klein deel in het stroomgebied. Midden in het stroomgebied liggen de kenmerkende elementen Golfbaan Bleijenbeek naast de kasteelruïne Bleijenbeek. Onderstaand is een kaart van het Nederlandse gedeelte van het stroomgebied weergegeven. In **Fout!** *Verwijzingsbron niet gevonden.* is het volledige stroomgebied opgenomen.

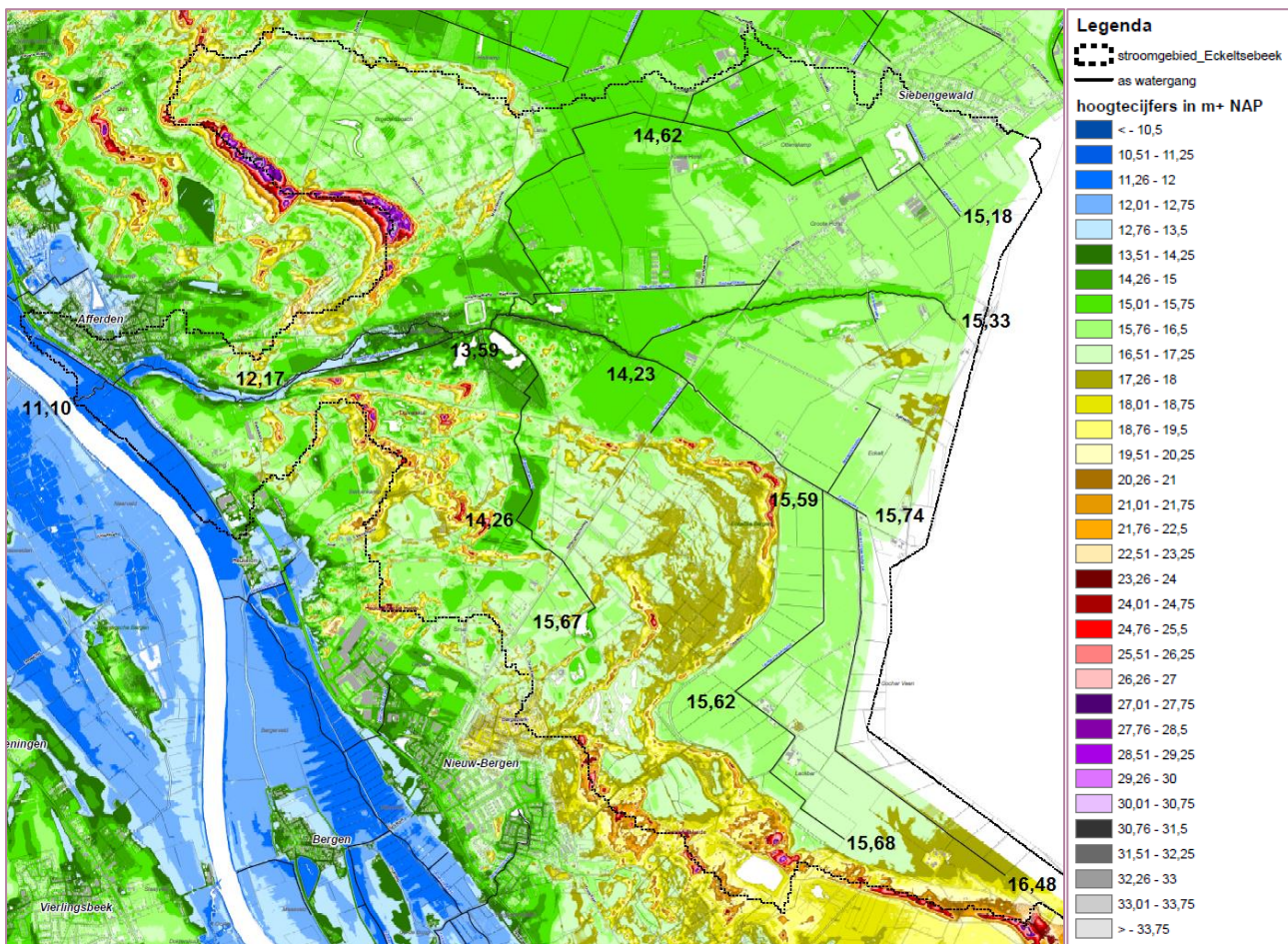


Figuur 2-1 Ligging stroomgebied met waterlopen, stuwen en de instroompunten vanuit Duitsland. Het paars omljnde gebied betreft Natura2000-gebied 'de Maasduinen'.



2.1.1 Maaiveldhoogte

Het maaiveld loopt in westelijke richting af naar de Maas. De Maasduinen vormen een hoge afscheiding tussen de Maas en het achterliggende landbouwgebied. Door de Maasduinen heeft de Eckeltsebeek een beekdal uitgesneden, waardoor de afwatering van het gebied achter de Maasduinen naar de Maas plaatsvindt. Het beekdal is vanaf de Maasduinen als natuur ingericht. Het beekdal is ter plaatse van de Maasduinen diep ingesneden in het landschap, wat op de hoogtekaart goed is terug te zien. De maaiveldhoogtekaart is hieronder weergegeven.



Figuur 2-2 Maaiveldhoogte gebied Eckeltsebeek, in zwarte letters het beekpeil bij zomerafvoer (0,30 MA).

Het maaiveld in het oostelijke landbouwgebied ligt redelijk vlak op ca. 16 m boven NAP. De beken liggen hier niet in een beekdal. Naar het westen toe helt het maaiveld licht af naar 15 m boven NAP tot bij de Golfbaan. De Eckeltsebeek ligt dan al meer dan een meter dieper dan het omliggende maaiveld. Vanaf de Maasduinen duikt de beek naar beneden. Het verval is hier bijna vier meter en de beek ligt hier diep ingesneden in het landschap.

### 2.1.2 Bodemopbouw

De bodem bestaat uit voornamelijk zandige afzettingen, waarin leemlagen en oerbanken voorkomen. Achter de Maasduinen komen ook veenafzettingen voor. De bodemopbouw van het gebied is geschematiseerd in Bijlage 5 opgenomen. De doorlaatfactoren van de verschillende bodemlagen verschillen enorm. Zo komt er grind voor met een zeer hoge doorlaatfactor en ook leem met een lage doorlaatfactor. De doorlatendheid gecombineerd met de laagdikte bepaalt mede hoe effecten van peilveranderingen in lokale waterlopen en in de Maas doorwerken in de grondwaterstanden. Dikke lagen die moeilijk water doorlaten verkleinen de reactie in het grondwater door veranderingen in het oppervlaktewater. Andersom zorgen open zand- en grindlagen voor een grotere respons. De gemêleerde bodemopbouw maakt het lastig te voorspellen hoe en waar deze effecten het meest doorwerken en waar niet.

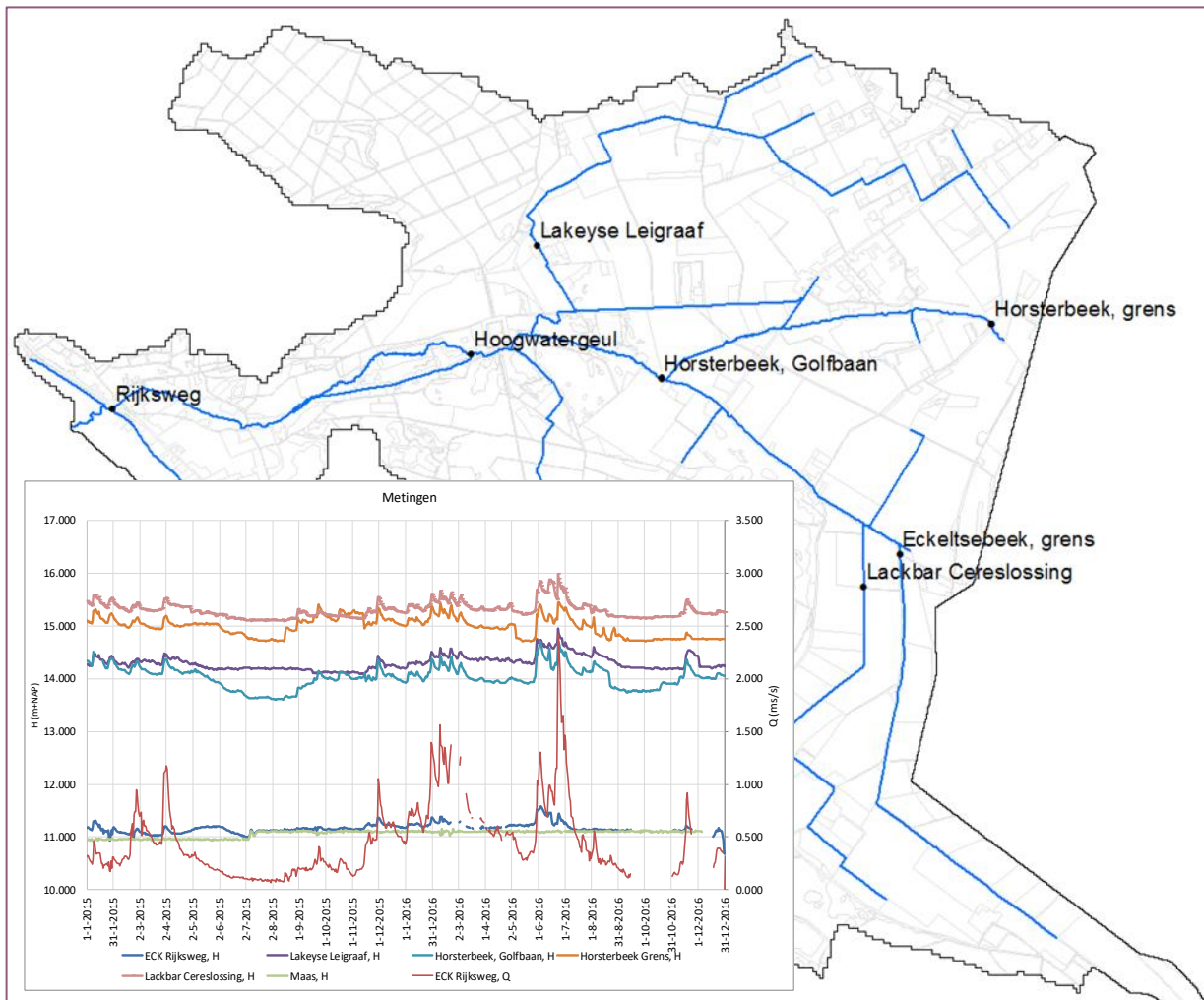
## 2.2 **Oppervlaktewater**

Het stroomgebied bestaat uit de Eckeltsebeek en de Horsterbeek en de zijtakken Vener- of Spanischer Lei, Lackbar-Cereslossing, Lakeyse Leigraaf en de Bleyenbeeklossing. In het Maasdal liggen ook de zijtakken Maasveldlossing en Heerenwaardlossing. De zijtakken zorgen voor de ontwatering van het landbouwareaal en hebben een standaard trapeziumprofiel.

De Eckeltsebeek en Horsterbeek zijn natuurlijke beken en hebben een KRW-typering gekregen. Deze twee beken zijn deels heringericht in 2005-2006. Bij de herinrichting zijn delen van de beken meanderend aangelegd met een zomer- en een winterbed.

### 2.2.1 Oppervlaktewaterstanden

In het stroomgebied zijn zeven meetpunten voor het oppervlaktewaterpeil aanwezig. Deze punten liggen verspreid langs de Eckeltsebeek en Horsterbeek. Bij het meetpunt Rijksweg, vlak bij de Maas, wordt ook de afvoer gemeten. Sinds november 2017 zijn hier twee debietmeetpunten aan toegevoegd bovenstrooms in de Eckeltsebeek en Horsterbeek (Gochsedijk/Siebengewaldseweg). Tevens wordt benedenstrooms van de uitstroom van de Eckeltsebeek in de Maas ook het Maaspeil gemeten. In Figuur 2-3 zijn de gemeten waterstanden van de meetpunten, de afvoer van de Eckeltsebeek bij de Rijksweg en het Maaspeil voor de jaren 2015 en 2016 weergegeven.



Figuur 2-3 Figuur met waterstanden plus weergave verloop afvoer bij Rijksweg (periode 2015-2016)

De peilen in de beek zijn sterk gerelateerd aan de afvoer. Dit is karakteristiek voor hellende beeksystemen waarbij de berging in het systeem nagenoeg kan worden verwaarloosd. Een verhoging van de afvoer komt direct in de peilen tot uitdrukking.

### 2.2.2 Maaspeil

De stuw Sambeek in de Maas ligt net ten noorden van Afferden op circa 1,5 km stroomafwaarts van de monding van de Eckeltsebeek. In het kader van de 'peilopzet van de Maas', o.a. een maatregel tegen verdroging, is het stuwpeil van stuw Sambeek aangepast. Hier mee wordt een peilverhoging in de Maas bij lagere afvoeren bereikt. Meer informatie over de peilopzet is te lezen in het rapport van Rijkswaterstaat<sup>1</sup>.

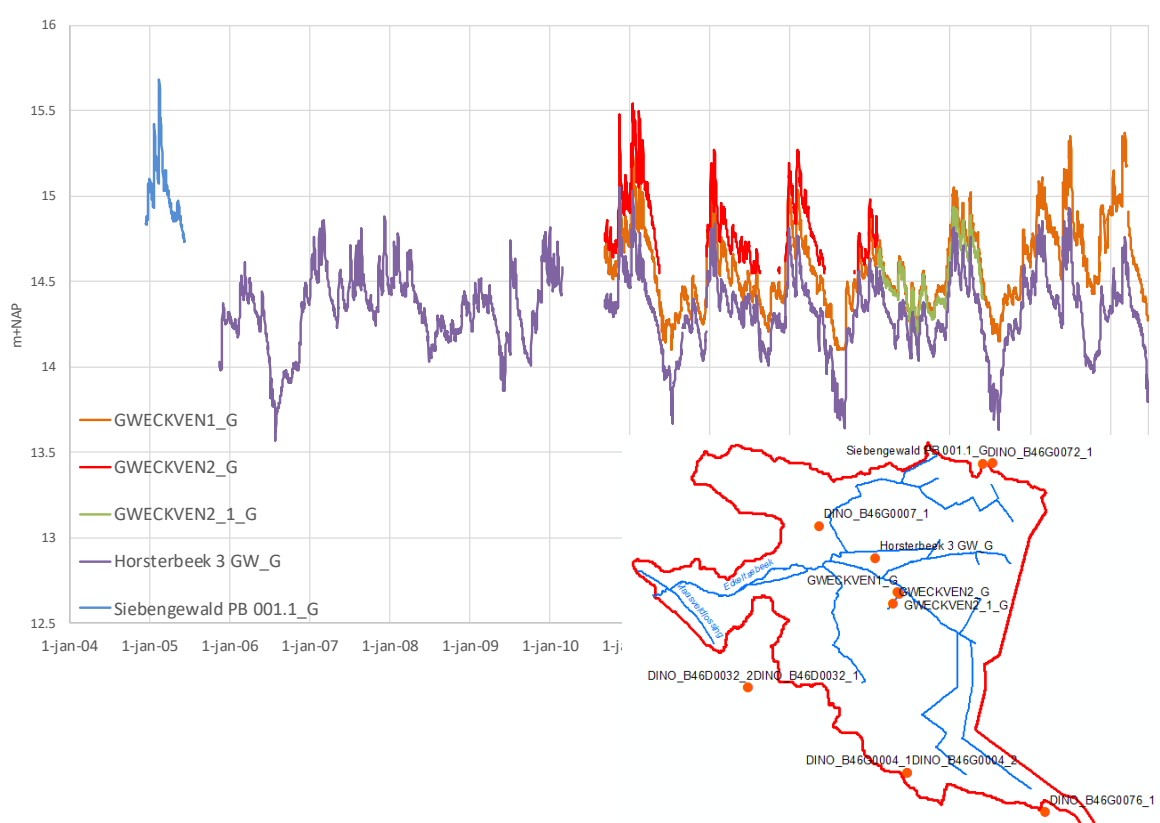
Het Maaspeil is verhoogd van NAP +10,85 m naar NAP +11,10 m (bij afvoeren lager dan 600 m<sup>3</sup>/s). De eerste peilopzet van +10 cm vond plaats op 1 juli 2014, gevolgd door een tweede van +15 cm op 15 juli 2015. Het opzetten van het Maaspeil heeft met name invloed op de oppervlaktewaterstanden in de benedenloop van de Eckeltsebeek en is duidelijk herkenbaar in de meetreeks van meetpunt Rijksweg.

<sup>1</sup> 'Zandmaas/Maasroute, Tracébesluit, Peilopzetplan', RWS 2002.

## 2.3 Grondwater

### 2.3.1 Grondwaterstanden

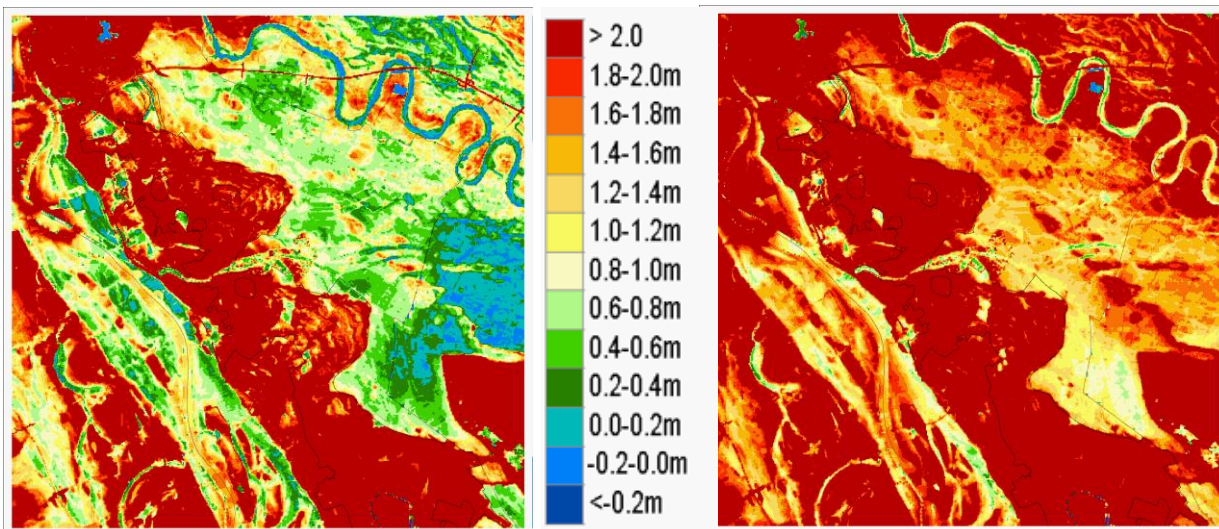
In Figuur 2-4 zijn de peilfilterlocaties en grondwaterstanden weergegeven. In de kaartbijlage is een grote kaart met de grondwaterstanden opgenomen. De dynamiek in de peilfilters komt onderling sterk met elkaar overeen.



Figuur 2-4 Grondwaterstanden meetpunten Eckeltseebek

Inzicht in hoge en lage grondwaterstanden geven kaarten met de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden. In onderstaande figuren zijn deze weergegeven.





Figuur 2-5 Gemiddeld hoogste grondwaterstand en gemiddeld laagste grondwaterstand (bron: IBRAHYM v2)

Hieruit blijkt het volgende:

- de grondwaterstanden hebben een duidelijke relatie met de maaiveldhoogte zowel voor de lagere als hogere grondwaterstanden;
- de gemiddeld hoogste grondwaterstand is voor het landbouwgebied bovenstrooms van de golfbaan vaak hoger dan 0,6 m -mv en voor aanzienlijk delen hoger dan 0,4 m -mv. In de zomerperiode zakken de grondwaterstanden uit onder invloed van de (gewas)verdamping. Dan is de grondwaterstand lager dan 1,0 m -mv;
- opvallend is de zeer hoge GHG in het Duitse deel van het stroomgebied van de Eckeltsebeek. Dit lijkt niet reëel. Door gebrek aan meetgegevens kan dit niet gecheckt worden. Dit betekent echter wel dat de berekeningsresultaten als indicatief beschouwd moeten worden en niet als harde feiten.

### 2.3.2 Effecten Maaspeilopzet

Voor het Tracébesluit Zandmaas/Maasroute is een modelonderzoek uitgevoerd naar de effecten van de peilverhoging en profielwijziging van de Zandmaas (RWS 2002). De peilverhoging wordt nog steeds gemonitord om de effecten op de grondwaterstanden te verifiëren. Hiervoor is ook een apart website ingericht: [www.grondwaterzandmaas.nl](http://www.grondwaterzandmaas.nl). Zowel het rapport als de website geven informatie over de beïnvloeding van de grondwaterstanden door variaties in Maaspeilen. Voor meer informatie kunnen deze bronnen worden geraadpleegd. In deze rapportage zijn de belangrijkste conclusies voor dit project uitgelicht.

In het onderzoek voor het monitoringsplan is geconcludeerd dat over het algemeen: *“Er is een duidelijke afname te zien van de respons op het Maaspeil met toenemende afstand tot de Maas, waarbij op een afstand van 2300 m van de Maas de respons in het algemeen erg klein (i.e. minder dan 0,2 cm/cm) wordt.”*. Bij een peilopzet van 25 cm betekent dit dat de verhoging van de grondwaterstand in ieder geval minder dan 5 cm bedraagt.

De monitoringsreeksen van de peilopzet zijn te kort om uitspraken te doen over de werkelijk opgetreden peilverhogingen. Tot op heden zijn in de peilbuizen van het waterschap, noch in de peilbuizen van het meetnetwerk van het Tracébesluit verhogingen zichtbaar. De peilopzet van de Maas lijkt daarom vooralsnog geen grote invloed te hebben op de grondwaterstanden in het stroomgebied van de Eckeltsebeek.

### 2.3.3 Ervaren grondwateroverlast

Gegevens over ervaren grondwateroverlast zijn op de knelpuntenkaart in **Fout!**

**Verwijzingsbron niet gevonden.** weergegeven. Het betreft gebieden rond de Lackeyse Leigraaf, Lackbar-Cereslossing en bij de golfbaan. Tijdens de extreem natte periode van juni 2016 is op verschillende plaatsen overlast geweest (vanuit neerslag, oppervlaktewater en/of grondwater).

## 2.4 **Beoordeling basisgegevens**

De basisgegevens vormen het uitgangspunt voor het verkrijgen van inzicht in het watersysteem, zowel voor het oppervlaktewater als voor het grondwater. Een aantal gegevens is goed bekend, zoals grondwaterstanden op verschillende punten. Daarnaast is er een aantal omissies in de basisgegevens:

- de inloop vanuit het Duitse gebied is erg onzeker. De inloop was tot november 2017 niet bemeten.  
Aangezien het Duitse grondgebied niet in het model is opgenomen, wordt in de modellen (SOBEK en het integrale model IBRAHYM) een randvoorwaarde met de inloop opgelegd. In bijlage 6 is beschreven hoe groot deze inloop kan zijn;
- door de streek is aangegeven dat een van de hoogwaterschuiven van de duikers onder de Rijksweg (nabij monding) in 2016 gedeeltelijk dichtstond. De schuif kon zeer moeilijk worden verzet, omdat de boel vastgeroest zat. Dit heeft volgens de streek een knelpunt veroorzaakt. Onder normale omstandigheden heeft dit geen enkele invloed, omdat het water niet tot de schuif rijkt. In het verdere verloop van het project wordt rekening worden gehouden met deze toestand. Inmiddels is dit wel verholpen.

## 3 Het IBRAHYM-instrumentarium

### 3.1 Inzet van het instrumentarium

Van het stroomgebied van de Eckeltsebeek is zowel een grondwatermodel (Casco/Simgro) als een oppervlaktewatermodel (Sobek) beschikbaar. Samen vormen zij het integrale grond- en oppervlaktewatermodel IBRAHYM. Van de beide deelmodellen is nagegaan in hoeverre deze bruikbaar zijn voor de toetsing van het watersysteem en op welke wijze deze ingezet kunnen worden. Het instrumentarium is met een beperkte actualisatieslag geschikt gemaakt om in te zetten. Een uitgebreid verslag van de actualisatie- en kalibratie van de twee deelmodellen is opgenomen ***Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.*** Van groot belang is dat de modellen goed op elkaar aansluiten. Het instrumentarium is in het project gebruikt om:

1. De huidige situatie te toetsen (2017-2018).
2. De situatie 'juni 2016' opnieuw door te rekenen.
3. Maatregelen in het oppervlaktewater te onderzoeken.
4. Het maatregelenpakket integraal te toetsen.

Het instrumentarium is voor de diverse berekeningen op verschillende wijzen ingezet. Voordat het instrumentarium is ingezet, is het eerst geactualiseerd naar de huidige situatie van het systeem. Het Sobek-model is door Sweco geactualiseerd, het grondwatermodel door Waterschap Limburg. Hierover meer in de paragrafen 0 en 3.3.

#### 3.1.1 Huidige situatie (hoofdstuk 4)

Voor het toetsen van de huidige situatie zijn met het Sobek-model stationaire berekeningen gemaakt. Met dit model zijn het hydraulisch functioneren en de actuele drooglegging bepaald. Tevens zijn de nieuwe Qh-relaties opgelegd aan het grondwatermodel, waarmee een gevoeligheidsanalyse voor de grondwaterstanden is uitgevoerd. Hiervoor is het casco-grondwatermodel gebruikt. Voor de extremen analyse (NBW-toets) is aan het stationaire model de RR-module toegevoegd om afvoerpieken vanaf verharde gebieden te berekenen.

#### 3.1.2 Juni 2016 (hoofdstuk 5)

De situatie juni 2016 is integraal met het grond- en oppervlaktewatermodel berekend. De respons van het gebied op de neerslaggebeurtenis is met het Simgro-model voor de periode doorgerekend. Zo is het grondwaterstandsverloop én de afvoer naar het oppervlaktewaterstelsel is bepaald. De afvoer op het oppervlaktewater is vervolgens weer aan het Sobek-model opgelegd. Samen met de bepaalde instroom vanuit Duitsland zijn de bijbehorende peilen en inundaties vanuit het oppervlaktewater berekend.

#### 3.1.3 Maatregelen (hoofdstuk 6)

Voor de maatregelberekeningen zijn de voorgestelde maatregelen eerst met separate modellen verkend. De maatregelen zijn doorgevoerd in het Sobek-model. Met een stationaire berekening is per maatregel het effect op de oppervlaktewaterstand berekend. Vervolgens is een vergelijking gemaakt met de situatie juni 2016 door ook deze situatie integraal door te rekenen.

#### 3.1.4 Voor elke situatie zijn eigen modelkeuze

Voor de verschillende berekeningen zijn dus keuzes gemaakt in de gekozen grond- en oppervlaktewatermodellen. De voordelen van deze aanpak is dat de modellen doelgericht worden ingezet. De aanpak is hierdoor 'lean': geen zware instrumenten voor verkennende berekeningen. Wel voor de uiteindelijke uitkomsten. Dit betekent een efficiënte inzet van doorlooptijd en middelen. Ook is het een robuuste aanpak, waarbij relatief eenvoudig verkenningen van effecten zijn uit te voeren, terwijl wel inzicht ontstaat op de effecten op grondwaterstanden.



### 3.2 Oppervlaktewatermodel

Uitgangspunt voor het basismodel is de schematisatie die is gebruikt voor het berekenen van knelpunten in het watersysteem (NBW/WB21) in 2015. Dit basismodel is opgesteld met de meest actuele gegevens die toen voor handen waren (ca. 2009-2012) en sluit bovendien aan op bestaande SIMGRO-model.

Van het oppervlaktewatermodel is het op voorhand al duidelijk dat deze geactualiseerd moet worden, omdat hiervoor nieuwe landmeetgegevens (2017) van de dwarsprofielen beschikbaar zijn. Deze zijn voor dit project ingemeten. Daarnaast is de peilopzet van de Maas nog niet in de benedenstroomse randvoorwaarde verwerkt en moet een oplossing worden gevonden voor het opnemen van de beverdam nabij kasteel Bleijenbeek. Alle modelaanpassingen zijn omschreven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Het aangepaste model is gekalibreerd op zowel de situatie voor de opzet van de Maas-peilen als die daarna. De kalibratie heeft ertoe geleid dat voor het beekprofiel een grotere weerstand is opgenomen voor het zomermodel. Dit ligt in lijn met het gevoel dat in de streek heerst en de conclusies die Waterschap Limburg uit vergelijkbare onderzoeken heeft getrokken.

### 3.3 Grondwatermodel

Voor de modellering van het grondwater is dus gebruik gemaakt van zowel het stationaire CASCO-model als het integrale SIMGRO-model (beide varianten binnen het IBRAHYM-instrumentarium). Beide modellen zijn ook apart gevalideerd.

#### *Aanpassingen stationaire model*

In bijlage 1 is een uitgebreide beschrijving van de actualisatie en validatie opgenomen. In deze paragraaf zijn de belangrijkste aanpassingen genoemd:

1. De berekende oppervlaktewaterstanden van het SOBEK-model zijn voor zowel een winter- als zomersituatie omgezet naar een invoerbestand voor IBRAHYM door het te vergrijden naar de RIV-package. In het stationaire model wordt een gemiddeld jaar doorgerekend en daarom is voor de stationaire model een gemiddelde stand voor het beekpeil ingevoerd.
2. Eenzelfde methodiek is gebruikt bij het scenario met de inrichtingsmaatregelen t.b.v. de beek.

#### *Validatie stationaire model en toepassingsbereik*

- Voor het stationaire model zijn de berekende grondwaterstanden over het algemeen hoger (20-40 cm) dan de gemeten grondwaterstanden. Het is daarom niet geschikt voor het bepalen van absolute grondwaterstanden. Het model is wel geschikt om voor een gemiddelde situatie effecten van veranderingen in het watersysteem te berekenen.

#### *Aanpassingen integrale model*

Op basis van de SOBEK-berekeningen zijn Qh-relaties afgeleid als invoer voor de integrale berekening. Dit is zowel voor de referentie als voor het maatregelenpakket gedaan. De inloop vanuit het Duitse gebied is erg onzeker. De inloop is tot november 2017 niet bemeten. Het Duitse grondgebied is niet in het model opgenomen, zodat daar geen afvoer wordt berekend. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is een analyse uitgevoerd en een inschatting gemaakt van de grootte van deze inloop.

*Validatie integrale model en toepassingsbereik*

De berekende en gemeten grondwaterstanden en afvoeren tonen een goede overeenkomst. Waterschap Limburg zet het integrale model geregeld in voor het bepalen van de inloop van het SOBEK-model. De inundaties worden vervolgens bepaald met SOBEK-1D2D. Het IBRAHYM-model wordt gewoonlijk gebruikt om de grondwaterstanden te evalueren als gevolg van ingrepen en eveneens ten tijde van extreme neerslaggebeurtenissen. In deze studie is het integrale model gebruikt voor 1) het bepalen van de inloop voor de huidige situatie (benodigd voor de SOBEK-som) en voor één maatregelpakket voor de situatie juni 2016 en 2) de effecten op het grondwatersysteem tijdens de situatie juni 2016 voor zowel de huidige situatie als de situatie met het maatregelenpakket.

## 4 Toetsing van het actuele watersysteem

### 4.1 Uitgevoerde berekeningen

Met het geactualiseerde oppervlaktewatermodel is het stroomgebied doorgerekend voor een aantal scenario's. Allereerst is het model voor een zomer- en wintersituatie doorgerekend met een stationaire afvoer variërend van 0,05 tot 2,5 MA. Deze berekeningen zijn alleen met SOBEK-CF uitgevoerd. De uitkomsten van deze berekeningen dienen voor de toets aan de hydraulische condities en het bepalen van de drooglegging.

Daarna is aan het model de Overland Flow (2D) module toegevoegd om voor extreem hoge afvoeren een inundatiebeeld af te leiden (toets aan de normen uit het NBW / WB21). Hierbij is voor de winter gebruik gemaakt van hoge, stationaire afvoeren (1,5 tot 2,5 MA). Voor het bepalen van inundatiebeelden van extreme zomerbuien is aan een hoge zomerafvoer (0,50 MA) een piekafvoer vanuit kasgebieden en bebouwde gebieden toegevoegd. De berekeningen zijn uitgevoerd conform de leidraad van het waterschap.

Kaartmateriaal van de berekeningsresultaten is opgenomen in de Kaartbijlage. Deze is separaat, digitaal aan het rapport toegevoegd. Dit betreffen kaarten van de hydraulische condities, drooglegging, WB21 toets en actuele grondwaterstanden en grondwater gevoeligheidsanalyse. Een index van de kaartbijlage is opgenomen in **Fout!**  
**Verwijzingsbron niet gevonden..**

### 4.2 Toets op hydraulische condities, jaarlijks voorkomende omstandigheden

De hydraulische condities bepalen in belangrijke mate het ecologisch functioneren van de beek. De Eckeltsebeek en Horsterbeek hebben een KRW-typing van respectievelijk R5 en R4, waaraan eisen worden gesteld aan de hydraulische condities. De eisen zijn opgenomen in *Bijlage B1.2*. Uit deze toetsing komt naar voren dat het systeem op hoofdlijnen goed voldoet aan de eisen vanuit de KRW. Het resultaat van deze toetsing is opgenomen in *Bijlage B2.1.6*. Lokaal is de waterdiepte aan de hoge kant en zijn de stroomsnelheden wat aan de lagere kant. Dit betreffen met name de niet heringerichte delen. De hydraulische condities zijn ondersteunend voor het behalen van de KRW-doelstellingen.

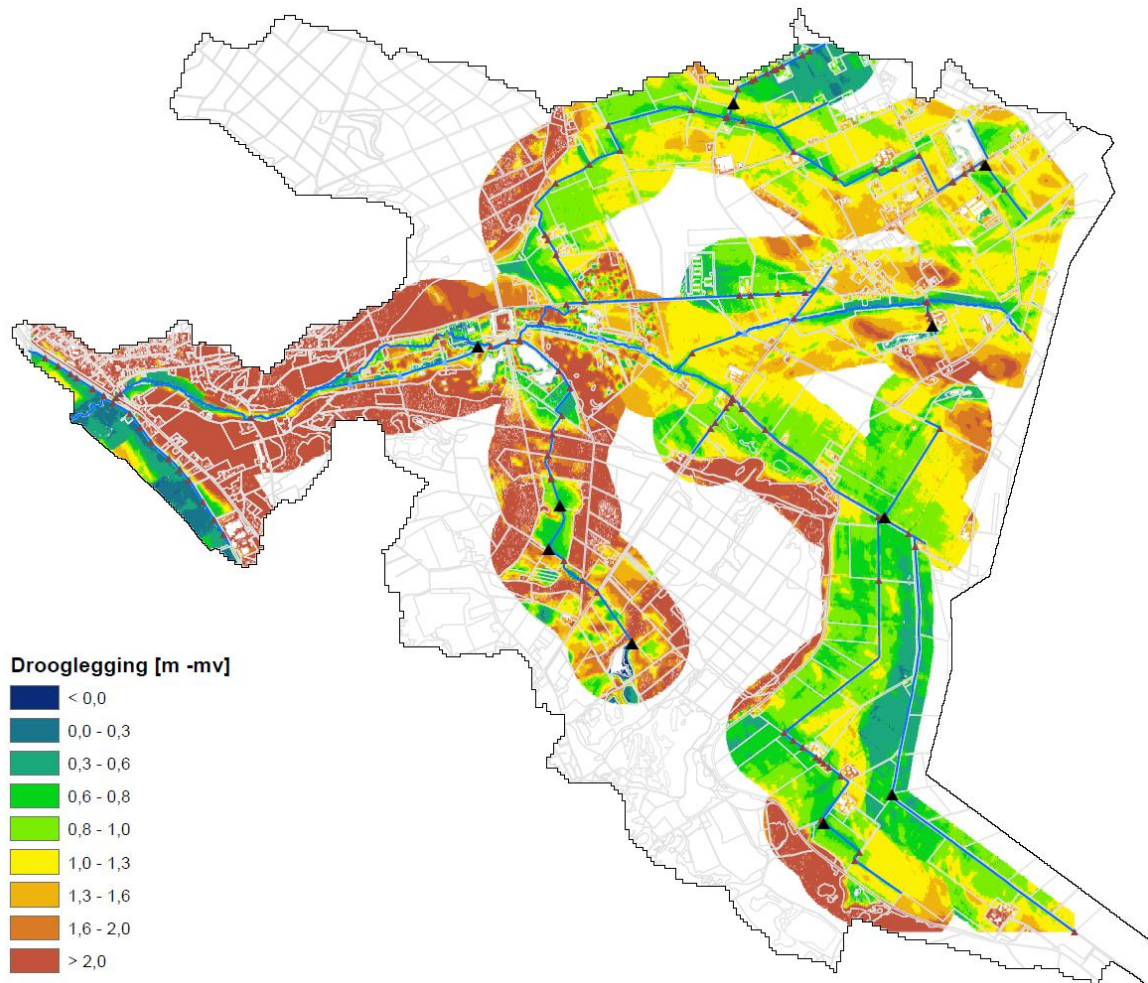
### 4.3 Toets van de drooglegging

De drooglegging is conform het beleid getoetst aan de peilen die optreden bij 50% van de maatgevende afvoer. Voor de zomer en winter gelden dan verschillende normen voor de minimaal vereiste drooglegging. Deze zijn weergegeven in Tabel 4-1. De normen voor de drooglegging zijn formeel niet vastgelegd, maar betreffen een concept uitwerking van het waterschap als voorbereiding op de uitwerking van het peilbeheer.

**Tabel 4-1 Concept toetsingswaarden voor de drooglegging voor een ongestuwde situatie, uitwerking van WBP.**

Grondgebruik	Drooglegging wintersituatie	Drooglegging zomersituatie
<b>Grasland</b>	60 cm – maaiveld	30 cm – maaiveld
<b>Bouwland</b>	80 cm – maaiveld	50 cm – maaiveld
<b>Tuinbouw</b>	80 cm – maaiveld	50 cm – maaiveld
<b>Diep wortelende gewassen</b>	100 cm – maaiveld	80 cm – maaiveld
<b>Glastuinbouw</b>	100 cm – maaiveld	80 cm – maaiveld
<b>Bebouwingskernen (vloer- of bouwpeil)</b>	100 cm – maaiveld	100 cm – maaiveld
<b>Bebouwing in buitengebied</b>	Gelijk aan omgeving	Gelijk aan omgeving

In Figuur 4-1 is de drooglegging in het stroomgebied tijdens de wintersituatie weergegeven. Hieruit blijkt dat deze voor een groot deel van het gebied minder dan één meter is (de groene delen). Tevens zijn er nog behoorlijk wat vlakken waar de drooglegging minder dan 0,8 of zelfs 0,6 m is. Met name het landbouwgebied ronde Lackbar-Cereslossing springt er uit, maar ook delen langs de Lakeyse Leigraaf hebben een geringe drooglegging.



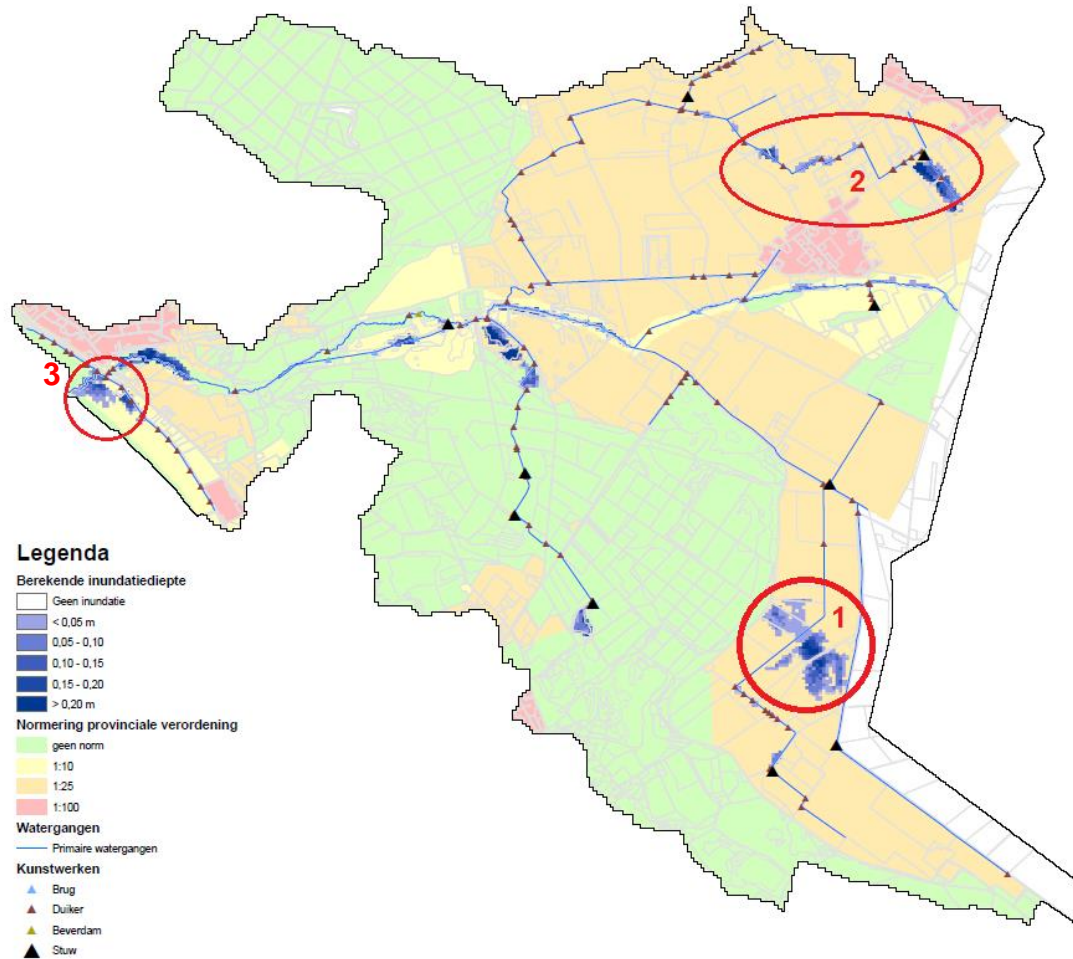
*Figuur 4-1 Drooglegging in de winter bij 0,50 MA*

#### 4.4 Beoordeling grondwaterstanden

In paragraaf 2.3 zijn de grondwaterstanden in hoofdlijnen beschreven. In bijlage B1.2 zijn ook de normen voor grondwater beschreven. Hieruit blijkt dat de GHG op verschillende plaatsen in het gebied dicht tegen of boven de norm komt (Figuur 2-5). Opgemerkt wordt dat de kaart met de berekende GHG en GLG indicatief is. Duidelijk is dat het voorkomen van hoge grondwaterstanden een relatie heeft met de drooglegging zie paragraaf 4.3.

#### 4.5 Toets aan de NBW-normen: inundaties bij extreme omstandigheden

Het watersysteem moet in extreme situaties voldoen aan de landelijk afgesproken normeringen. Deze zijn opgenomen in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). Er zijn vier normklassen onderscheiden: grasland, bouwland, hoogwaardige landbouw/kasgebieden en bebouwd gebied. Deze hebben een oplopende norm. Grasland mag tot eens per 10 jaar inunderen vanuit het oppervlaktewater, maar niet vaker. Bouwland kent een norm van maximaal eens per 25 jaar. Kasgebieden en bebouwde gebieden respectievelijk 50 en 100 jaar. Natuurgebieden en de stroken rond de beken kennen vaak geen norm. In het stroomgebied is voornamelijk de norm voor bouwland vastgesteld. In Figuur 4-2 zijn de berekende inundaties voor een T25 gegeven. Hieruit blijkt een aantal kritische plekken, die dus niet voldoen aan de norm.



Figuur 4-2 Berekende inundaties met het geactualiseerde model voor een T25-situatie.

In het gebied rond de Lackbar Cereslossing (1) is de grootste inundatie berekend. Rond de Lakeyse Leigraaf (2) zijn enkele kleine geïnundeerde gebiedjes direct langs de beek berekend. Bij de monding in de Maas (Maasveldlossing, 3) is de norm lager, eens per tien jaar. Maar ook dan lopen delen van het maaiveld onder, dus ook hier is een knelpunt berekend. De overige inundaties uit de figuur zijn in plassen en beekdalen gelegen en derhalve geen knelpunt (geen norm).

Dit betekent dat op basis van deze berekeningen voor deze drie knelpunten fysieke maatregelen of andere regelingen getroffen moeten worden. Voor de percelen bij de Maasmonding zijn echter in het kader van de peilopzet al regelingen getroffen.



#### 4.6 Conclusies

Overwegend wordt aan de hydraulische condities goed voldaan. Ook de drooglegging en grondwaterstanden zijn overwegend goed. In extreme omstandigheden zijn 3 knelpunten geïdentificeerd, waar het systeem niet voldoet. Hier komen de diverse toetsingen samen. Per gebied kan het volgende worden gesteld:

1. Het gebied rond de Lackbar-Cereslossing kent zowel een NBW knelpunt, als een geringe drooglegging. Het peil in dit gebied hangt sterk af van het peil van de afvoer-route: de bovenloop van de Eckeltsebeek. Het peil in het gebied zelf is vrij constant onder alle afvoerregimes. Dat wil dus zeggen dat het knelpunt niet zozeer in de afvoercapaciteit van het gebied zelf zit, maar in de afvoercapaciteit van de bovenloop van de Eckeltsebeek: bij grote afvoeren vanuit Duitsland stopt de afvoer van het landbouwgebied. Oplossingen voor het knelpunt liggen dan ook vooral in het verbeteren van de afvoercapaciteit van en het verlagen van de peilen in de bovenloop van de Eckeltsebeek.
2. De bovenloop van de Lakeyse Leigraaf kent ook een NBW knelpunt, hier treden kleine inundaties op bij korte, hevige buien. De hydraulische toetsing hier geeft verder geen knelpunten. Wel zijn er veel duikers met krappe diameters aanwezig. Hier is de afvoercapaciteit en opstuwing door kunstwerken van de Lakeyse Leigraaf leidend voor de ontstane inundaties. De oplossingsrichting hier is een combinatie van aanpak kunstwerken en een voldoende glad dwarsprofiel.
3. De berekende inundaties in de Maasmonding zijn grotendeels het directe gevolg van het opzetten van het Maaspeil. In de aangeleverde modellen met het oude Maaspeil zijn hier minder inundaties berekend. Er is hier al een terugslagklep geplaatst om terugstroom vanuit de Maas / Eckeltsebeek te voorkomen.

#### 4.7 Verificatie met de streek: knelpuntenkaart

De toetsing van het watersysteem is in een gebiedssessie voorgelegd aan de streek. In grote mate werden de gevonden knelpunten herkend. Daarnaast geeft de streek de volgende punten aan:

- De peilen in de Eckeltsebeek en Horsterbeek zijn sinds de herinrichting hoger. Dit leidt sneller tot wateroverlast bij hogere afvoeren. Het gebied is kwetsbaarder geworden in relatie tot de gevoelige ondergrond;
- De afvoercapaciteit van de Lakeyse Leigraaf is beperkt, de verwachting is dat frequenter onderhoud al veel problemen kan wegnemen. Daarnaast liggen er enkele duikers erg hoog in het profiel.
- De peilopzet van de Maas wordt als een van de redenen gezien dat de grondwaterstanden hoger zijn geworden. Dit blijkt niet uit de rapportage van RWS of uit de tot nu toe uitgevoerde monitoring.

De volledige aandachts- en knelpuntenkaart is opgenomen in ***Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.***

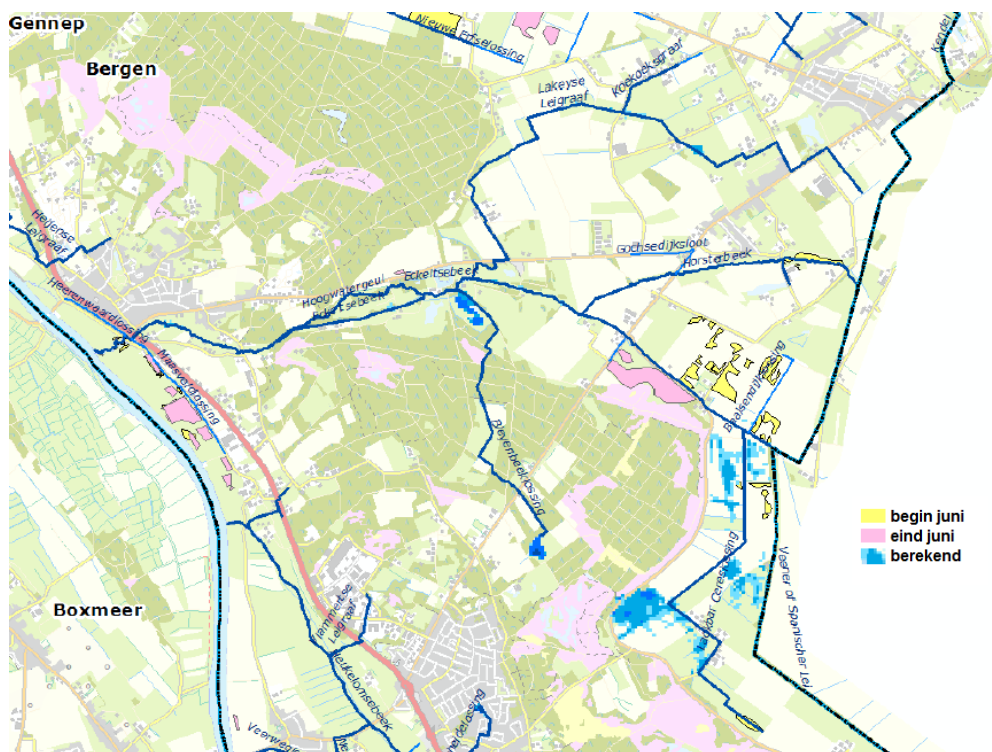
## 5 Omstandigheden juni 2016

### 5.1 Inleiding

De omstandigheden zoals die zich hebben voorgedaan in juni 2016 liggen bij veel inwoners van de streek nog vers in het geheugen. In heel Limburg zijn forse schades geleden als gevolg van een combinatie van hagel en hevige neerslag. Het toenmalige Waterschap Peel en Maasvallei heeft de wateroverlast geëvalueerd in een rapport<sup>2</sup>. Hierin is een duiding van de omstandigheden opgenomen, de relatie tot haar zorgplicht en de wijze waarop het Waterschap is omgegaan met de wateroverlast. Voor meer informatie wordt verwezen naar dat rapport.

### 5.2 Eerdere berekeningen

In het kader van de evaluatie zijn berekeningen uitgevoerd (de zo genaamde 'Code Oranje-berekeningen') met de toen beste en beschikbare modellen. Dit waren de modellen die zijn gebruikt voor de watersysteemtoets 2015. In deze modellen is de staat van het watersysteem zoals die toen bekend was opgenomen. In sommige gevallen dateert de brondata voor de modellen van ruim voor 2015. Met deze modellen is de wateroverlast zoals deze in juni 2016 is opgetreden benaderd. Tevens zijn opgetreden inundaties op basis van luchtfoto's in beeld gebracht al zijn niet voor het hele gebied de inundaties in beeld gebracht. Onderstaande figuur geeft voor de Eckeltsebeek een vergelijking van de berekening en (gedeeltelijke) inventarisatie.



Figuur 5-1 Opgetreden wateroverlast o.b.v. (gedeeltelijke) inventarisatie en berekende wateroverlast met model "Code Oranje". Geel: inundaties begin juni, rood: inundaties eind juni, blauwtinten: berekende inundaties.

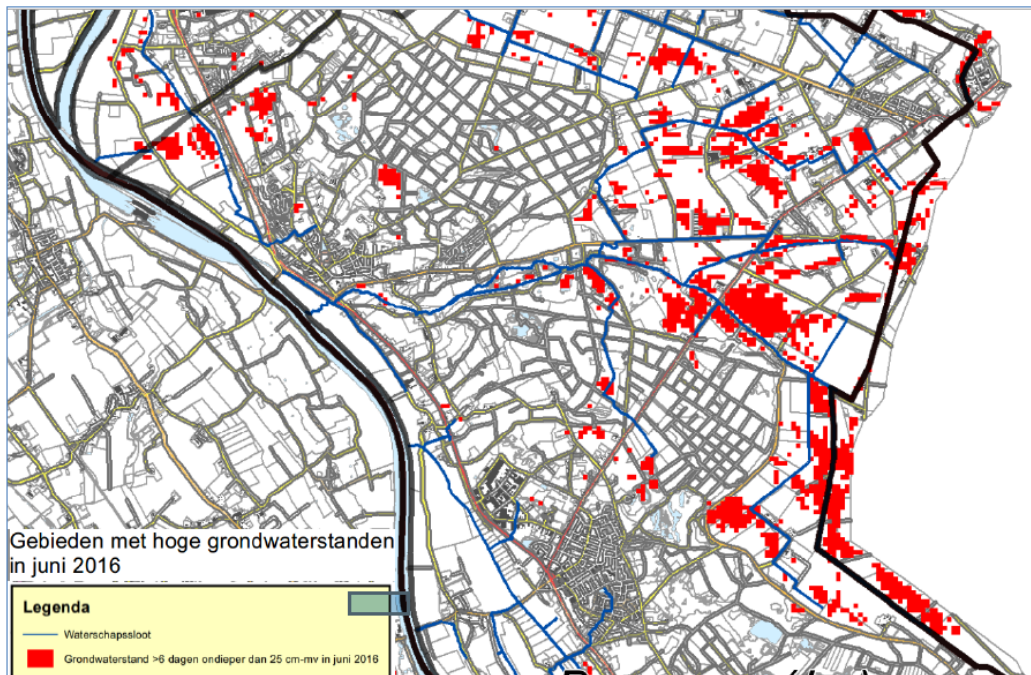
<sup>2</sup> "Evaluatie Regionale Wateroverlast 30 mei t/m 1 juli 2016", Waterschap Peel en Maasvallei. Venlo, 6 juli 2016



Wat opvalt is dat de plaatsen waar inundatie is opgetreden (op basis van de inventarisatie) en de berekende inundaties (model code oranje) verschillen. Hiervoor zijn verschillende oorzaken te bedenken. Een paar voorbeelden, zonder uitputtend te willen zijn:

- de afvoer vanuit Duitsland is onbekend (niet gemeten) en dus een onbekende invoer in het model. Deze is wel belangrijk voor het functioneren van het gebied;
- de berekende inundaties zijn alleen de inundaties die optreden vanuit het oppervlaktewater, hier wordt geen rekening gehouden met hoge grondwaterstanden en op het land stagnerend regenwater;
- de staat van het model is van voor 2015, terwijl de buitenwereld is veranderd (veranderde Maasstanden, toegevoegde of verwijderde kunstwerken, verouderde dwarsprofielen in het model);
- de inventarisaties zijn niet volledig. Er is een beperkt aantal foto's vanuit de inspectievlucht beschikbaar, maar niet het volledige gebied is in beeld gebracht.

Vanuit de streek is aangegeven dat er weinig vertrouwen is in de uitkomsten van het model. Dit is niet geheel terecht, want de modeluitkomsten presenteren slechts een deel van de opgetreden wateroverlast. Een groot deel van de ervaren wateroverlast is geen gevolg van inundatie vanuit het oppervlaktewater, zoals het model berekend, maar het gevolg van hoge grondwaterstanden en op het land stagnerend regenwater. Figuur 5-2 geeft inzicht in de ervaren grondwateroverlast. In deze figuur zijn gebieden weergegeven waar volgens de modelberekeningen de grondwaterstand langdurig dicht onder maaiveld stond of water op het land stond, een indicator voor schade aan gewassen door (grond)wateroverlast.



Figuur 5-2 Berekende grondwaterstanden ondieper dan 25 cm beneden maaiveld langer dan 6 dagen (Simgro, code Oranje som)

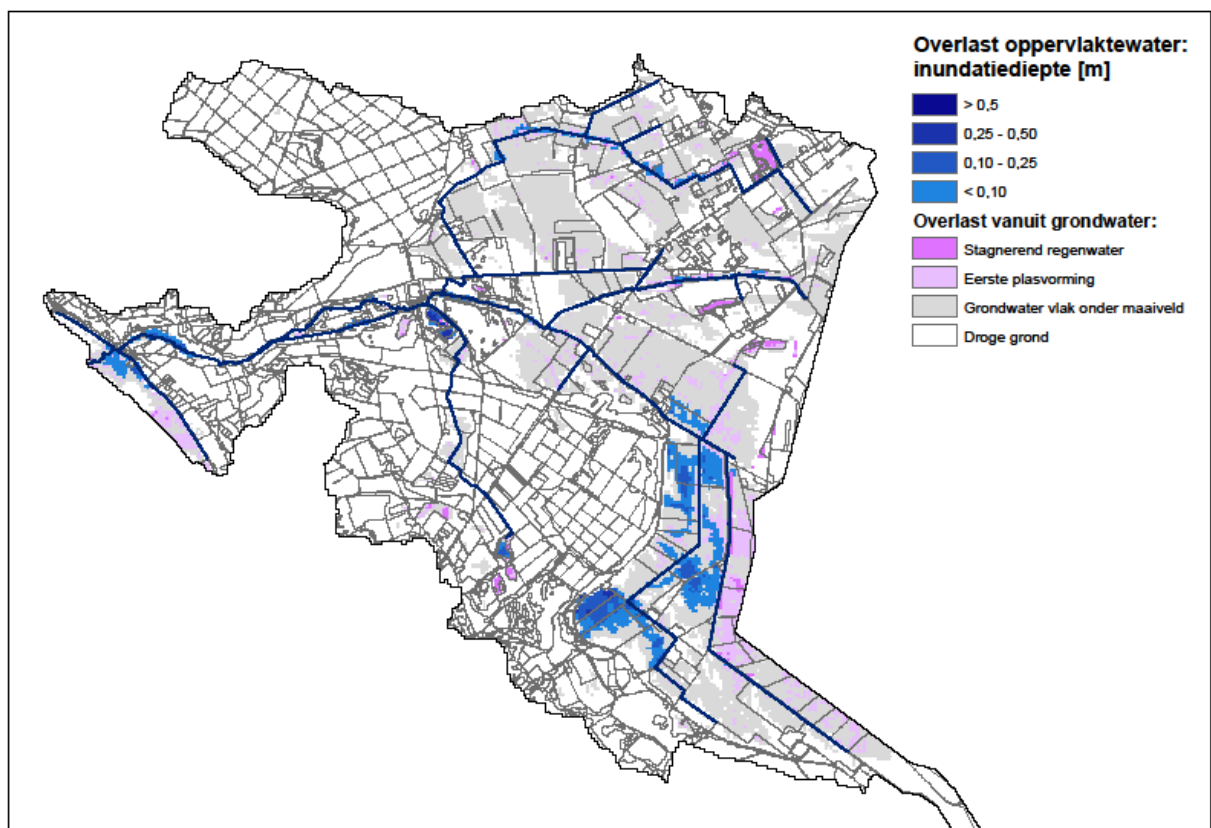
### 5.3 Vernieuwde berekening

Gezien de bovenstaande argumenten is besloten het model voor de Eckeltsebeek te actualiseren. Vanuit de streek is de wens blijven bestaan om de situatie van 2016 met het geactualiseerde model door te rekenen, om zo meer vertrouwen in het model te krijgen. Daarom is de berekening van 'code oranje' opnieuw uitgevoerd, met het geactualiseerde model. Vervolgens zijn de omstandigheden van 2016 zo goed mogelijk in het model verwerkt.

Belangrijk onderdeel hiervan is dat de inloop uit Duitsland is aangepast door een analyse uit te voeren naar het peilverloop en afvoerloop van de meetpunten op het Nederlands grondgebied. Hieruit komt een duidelijk twee pieken verloop naar voren. Ook op de Niers is dit verloop opgetreden, wat het vermoeden versterkt dat de aanvoer vanuit Duitsland ook dit verloop moet hebben gehad.

De resultaten van het oppervlaktewatermodel zijn vergelijkbaar met die van de eerdere berekeningen, zij het dat er iets meer inundatie wordt berekend. De plaats van de inundaties is echter grotendeels dezelfde. Op enkele locaties wordt nu wel inundatie berekend waar dit eerder niet het geval was. Het actualiseren van het model en het aanpassen van de inloop vanuit Duitsland leidt dus niet tot een ander beeld van de gebeurtenissen.

Om een compleet beeld te krijgen is ook de grondwatertoestand beschouwd en gecombineerd met de berekende inundaties vanuit het oppervlaktewater. Zo ontstaat er een gecombineerd beeld van de toestand van het (grond)watersysteem. Dit is gepresenteerd in de volgende figuur.



*Figuur 5-3 Gecombineerd inundatiebeeld vanuit grondwater en oppervlaktewater, situatie van 4 juni 2016, 0:00 uur.*

De figuur toont de situatie na de eerste neerslagpiek (31 mei – 2 juni). Wanneer we naar het gecombineerde beeld kijken, dan is te zien dat veel plaatsen waar geen inundatie vanuit het oppervlaktewater wordt berekend. Wel wordt wateroverlast ervaren door (langdurig) hoge grondwaterstanden en door stagnerend regenwater. Dit water kan de bodem niet intrekken of afstromen. Het gecombineerde resultaat komt goed overeen met de geconstateerde wateroverlast.

#### **5.4 De lessen van 2016**

De uitzonderlijk hoge neerslagsom van de maand juni heeft voor heel veel (grond)wateroverlast gezorgd. De herberekening bevestigt het beeld dat is geschetst in de evaluatie van 2016. Belangrijkste constatering is dat overlast niet alleen door het oppervlaktewater, maar met name ook vanuit het grondwater is opgetreden. De hogere Maasstand heeft alleen invloed op de benedenloop van het stroomgebied, op het bovenstroomse gebied lijkt deze geen invloed te hebben op de uitkomsten.

De overlast is met name opgetreden in de gebieden waarvan al bekend was dat deze gevoeliger waren voor wateroverlast. Dit zijn de lager gelegen delen rond de Lackbar-Cereslossing, delen tussen de Eckeltsebeek en Horsterbeek en Lakeyse Leigraaf. Deze gebieden zijn ook uit de watersysteemtoets naar voren gekomen.

## 6 Maatregelen voor een toekomstbestendig beekstelsysteem

### 6.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is de huidige situatie beschreven, het model-instrumentarium en de resultaten van de toetsing van het huidige systeem. Op hoofdlijnen functioneert het beekstelsysteem binnen de normen. Op het gebied van wateroverlast in extreme situaties zijn er nog enkele knelpunten gevonden.

#### 6.1.1 Doel van de maatregelen

De maatregelen hebben tot doel om een toekomstbestendige inrichting van het beekstelsysteem te realiseren. Onder normale omstandigheden moet het beekstelsysteem functioneren binnen de criteria die in bijlage 1.2 zijn gesteld. Ook wordt gestreefd om de peilen terug te brengen naar die van voor de herinrichting van 2005-2006. In natte perioden moeten de maatregelen bijdragen aan een verlaging van de oppervlaktewaterstanden en daarmee ook een verlaging van de grondwaterstanden. De ontwatering van het gebied wordt dan verbeterd. Tegelijkertijd mag het gebied als gevolg van de maatregelen niet verdrogen in perioden van droogte.

#### 6.1.2 Aanpak

Dit hoofdstuk beschrijft het proces van de keuzes van mogelijke maatregelen naar haalbare maatregelen, waaruit een uiteindelijk maatregelenpakket is samengesteld. Eerst zijn daarvoor alle mogelijke maatregelen uiteengezet in een groslijst. Uit deze groslijst is een aantal maatregelen gekozen om de effectiviteit daarvan modelmatig te verkennen en is onderzocht welke dimensionering nodig is om de maatregelen effectief te laten zijn. Vervolgens is een definitief maatregelenpakket samengesteld en integraal doorgerekend met het grond- en oppervlaktewatermodel. Zo ontstaat een onderbouwd en getoetst maatregelenpakket waarmee het beekstelsysteem wordt aangepakt. De maatregelen zijn doorgerekend met 10% meer afvoer, zodat ook al rekening wordt gehouden grotere afvoeren als gevolg van klimaatverandering.

### 6.2 Inventarisatie van mogelijke maatregelen

Het doel van de maatregelen is dus het verbeteren van het functioneren van het beekstelsysteem in extreem natte perioden (NBW / WB21 maatregelen), zonder concessies te doen aan het functioneren in normale en drogere omstandigheden. Er is daarom met name gezocht naar maatregelen die direct een effect hebben op de oppervlaktewaterpeilen. Tevens zijn **extra** oplossingsrichtingen geformuleerd die onder zeer extreme omstandigheden de kwetsbaarheid van het gebied verminderen en leiden tot het vergroten van de flexibiliteit.

#### 6.2.1 Groslijst maatregelen

De mogelijke maatregelen zijn samengevat in een groslijst en gescoord op effect op de NBW / WB21 knelpunten en op bijdrage aan de robuustheid van het stroomgebied. Bij het samenstellen van de lijst heeft vooraf geen (rekenkundige) toetsing van de maatregelen plaatsgevonden. De lijst dient als basis om kansrijke maatregelen te selecteren. De groslijst is ingedeeld in vier groepen: fysieke maatregelen in het beekstelsysteem, maatregelen in het stroomgebied, maatregelen met betrekking op periodiek onderhoud van de beek en proces- en beleidsmatige afspraken. Op de volgende pagina is de groslijst weergegeven.

Tabel 6-1 Groslijst met mogelijke NBW/WB21 maatregelen

Maatregel	Knelpunt 1	Knelpunt 2	Knelpunt 3
<b>A Fysieke maatregelen watersysteem</b>			
A1 Verruimen zomerprofiel Eckeltsebeek	✓	✗	✗
A2 Verruimen winterprofiel	✓	✗	✗
A3 Aanpak van kunstwerken	✓	✓	✗
A4 Aanpassen profiel Hoogwatergeul	✗	✗	✗
A5 Aanleg bypass Cereslossing (verkorten afvoerroute)	✓	✗	✗
A6 Aanleg bergingsgebied "Ceres"	✓	✗	✗
A7 Shortcut Cereslossing – Maas	✓	✗	✗
A8 Aanleggen bypass Stuw Sambeek	✗	✗	✓
<b>B Fysieke maatregelen stroomgebied</b>			
B1 Aanleg peilgestuurde drainage	✓	✓	✓
B2 Bol leggen percelen	✓	✓	✓
B3 Saneren kassen / Vergroten berging kassen	✗	✓	✗
B4 Aanpak riooloverstorten	✗	✓	✗
<b>C Periodiek onderhoud "APK"</b>			
C1 Constructief onderhoud	✓	✓	✗
C2 Aangepaste maaicyclus / dynamisch maaibeheer	✓	✓	✗
<b>D Proces</b>			
D1 Monitoring inloop uit Duitsland: mogelijkheid afspraken maken met Wasser- und Bodenverband Baaler Bruch.	✓	✓	✗
D2 Stimuleren teelten van gewassen met hoge verdamping	✓	✓	✗
D3 Ontmoedigen van containerteeltvelden	✓	✓	✗
D4 Tijdelijk verlagen Maaswaterstanden	✗	✗	✓

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is een korte toelichting op de maatregelen opgenomen. De maatregelen uit groep A zijn systeemingrepen door het waterschap (en RWS) uit te voeren. Voor de maatregelen uit groep B geldt dat deze (eventueel samen met het waterschap) door derden kunnen worden uitgevoerd. De maatregelen uit groep C kunnen door het waterschap in de werkprocessen worden verankerd. De maatregelen uit groep D zijn gericht op (gebieds)processen en/of beleidsmatige aanpassingen en niet direct uitvoerbaar.

### 6.2.2 Knelpuntenkaart

Naast de maatregelen uit de groslijst is er tijdens de diverse gebiedsbijeenkomsten een knelpuntenkaart opgesteld. Op deze kaart zijn de aangedragen knelpunten tijdens deze bijeenkomsten opgenomen, maar ook knelpunten die uit de evaluatie wateroverlast 2016 en de schouw 2017 naar voren zijn gekomen. De kaart is opgenomen in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**



### 6.3 Verkenning van de maatregelen

Maatregelen die kansrijk worden geacht zijn verder verkend met het oppervlaktewatermodel, om zo het effect te bepalen in het beekstelsysteem. De verkenning is alleen uitgevoerd in het oppervlaktewaterstelsysteem omdat: 1) Dit het systeem is waar het waterschap maatregelen kan uitvoeren, 2) Het verkennen met het grondwatermodel arbeidsintensief is en 3) de absolute resultaten in het grondwatermodel een nauwkeurigheid vereist die er niet is. De gevoeligheidsanalyse van het grondwater voor peilveranderingen (kaart W18 van de kaartenbijlage) geeft een indicatie van effect van een peilverandering in het oppervlaktewater op het grondwaterpeil. Met deze kaart in het achterhoofd zijn de verkenningen gestart.

Het doel van de verkenning is om te bepalen:

- of de maatregelen een bijdrage leveren aan de benodigde waterstandsverlaging bij hogere afvoeren;
- of bij lagere afvoeren een niet te grote waterstandsval optreedt;
- waar de maatregel het meeste effect heeft (i.e.: waar te maaien, waar de bodem te verlagen, etc.);
- welke dimensies de maatregel moet hebben (i.e.: hoeveel verlaging van de bodem / b.o.b. van duikers, welke afmeting duikers moeten hebben).

#### 6.3.1 Verkende maatregelen

Uit de groslijst zijn een aantal maatregelen geselecteerd die nader zijn verkend. De verkende maatregelen zijn opgenomen in onderstaande tabel.

**Tabel 6-2 Verkende maatregelen**

**Onderzochte maatregel**

A1: Verruimen zomerprofiel door de bodem te verlagen met 20 en 40 cm

A2: Aanleg / herstel van het winterbed in heringerichte delen tot 10 m breedte, ca. 50 cm boven het zomerbed

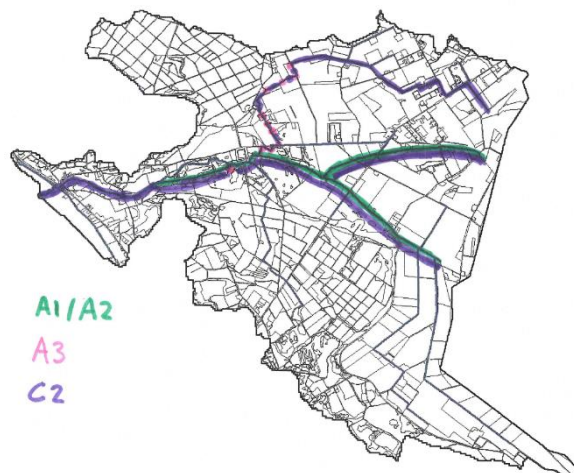
A3: Dieper leggen van duikers naar de hoogte van de bodem van de beekbedding

A3: Vergroten van duikers tot minimaal rond 800 mm

A3: Automatiseren van stuw HEC1 (Hoogwatergeul)

A4: Vergroten Hoogwatergeul

C2: Intensiveren van het maaionderhoud (minder begroeiing toestaan) in bovenloop, benedenloop of gehele beekstelsysteem



A1/A2  
A3  
C2

Op de figuur naast de tabel is aangegeven op welke trajecten deze maatregelen zijn onderzocht. De profielaanpassingen zijn alleen onderzocht in de hoofdlopen van de Eckeltsebeek en Horsterbeek. Aanpassingen aan duikers zijn alleen onderzocht in de duikers van de Lakeyse Leigraaf en de 3 waco's nabij de kasteelruïne. Dynamisch maai-beheer is onderzocht voor de hoofdlopen en de Lakeyse Leigraaf. De resultaten van de verkenningen zijn in beeld gebracht op kaart. De kaarten zijn te vinden in de kaartbijlage, die digitaal is toegevoegd aan deze rapportage.

### 6.3.2 Conclusies bij de verkende maatregelen

#### *Geen effecten van benedenloop op bovenloop*

Maatregelen in de benedenloop van de beek, dat wil zeggen stroomafwaarts van de stuw HEC1, hebben geen of weinig effect op de bovenloop. Dit is een belangrijke conclusie, die ons ook vertelt dat bijvoorbeeld de impact van de peilopzet in de Maas niet via het oppervlaktewater doorwerkt. Ook het verdronken zijn van de duikers onder de Rijksweg heeft dus geen effect op het systeem bovenstrooms van de stuw in de Hoogwatergeul. Dit komt ten eerste doordat de stuw HEC1 veelal niet verdronken raakt en dus peilveranderingen benedenstrooms niet doorwerken bovenstrooms. Ten tweede is het verhang vanaf de stuw naar de Maas zo groot dat de meeste effecten benedenstrooms al uitdempen voordat ze de stuw bereiken.

#### *Verruimen zomerprofiel*

Het verruimen van het zomerprofiel in de bovenloop heeft veel effect op zowel het peil in de Horsterbeek, maar meer nog in de Lackbar-Cereslossing. Dit is dus een effectieve maatregel die vrijwel één op één doorwerkt naar het bovenstroomse gebied. Met name het gebied rond de Lackbar-Cereslossing profiteert van deze maatregel. Een verdieping van 20 cm van het profiel levert al voldoende resultaat. Een verlaging van 40 cm levert een te groot verdrogend effect, omdat deze te ver doorwerkt naar Natura2000-gebied de Maasduinen. Deze maatregel is vooral zinvol op plaatsen waar de ruimte beperkt is, dus waar geen capaciteit in de breedte gevonden kan worden.

#### *Aanleg / herstel van het winterbed in heringerichte delen*

Deze maatregel draagt bij aan het doorstromend vermogen van de beek. Vooral lokaal worden grotere effecten op het peil gezien in de Eckeltsebeek en Horsterbeek. Het effect van de maatregel werkt niet helemaal door naar de bovenstroomse gebieden rond de Lackbar-Cereslossing. Dit is met name een geschikte maatregel om grote afvoergolven door te leiden. Het positieve is dat deze maatregel wel zorgt voor verlaging bij hoge afvoeren, terwijl bij lage afvoeren de peilen nauwelijks afnemen. Deze maatregel heeft dan ook de voorkeur in de heringerichte delen, waar ruimte in de breedte makkelijk te vinden is.

#### *Vergroten van profiel Hoogwatergeul*

Deze maatregel heeft alleen een lokaal effect ter plaatse van de Hoogwatergeul. De stuw aan het einde van de Hoogwatergeul zorgt ervoor dat de waterstandsverlaging niet verder bovenstrooms kan doordringen. Alleen bij hele hoge afvoeren en een verdieping van 40 cm van het profiel is er enige verlaging (enkele centimeters) van de waterstand bovenstrooms van de stuw. Deze maatregel is daarom met name geschikt om een betere drooglegging c.q. ontwatering van de Golfbaan te realiseren.

#### *Dieper leggen of vergroten van duikers*

Het aanpakken van duikers heeft een minimaal effect op de waterhuishouding. De effecten zijn vooral lokaal en werken nauwelijks door bovenstrooms. Dit geldt zowel voor het opnieuw uitlijnen van de duikers (op hoogte leggen) als voor het vergroten van de diameter. Het vergroten van de WACO duikers bij de kasteelruïne heeft hierbij nog het grootste effect, maar zal een kostbare maatregel zijn. Een aantal duikers in de Lakeyse Leigraaf ligt zichtbaar te hoog en kunnen worden aangepakt.

#### *Automatiseren stuw HEC1*

Het automatiseren van stuw HEC1 zorgt voor minder peilfluctuatie rond de golfbaan. Bij lage afvoeren is er geen verschil met de huidige situatie. Pas bij hogere afvoeren worden lokaal bovenstrooms peilverlagingen bereikt. Deze zijn echter niet dermate groot dat het de moeite waard is om de stuw daarvoor te automatiseren. Deze maatregel wordt afgeraden.



### Intensiveren onderhoud

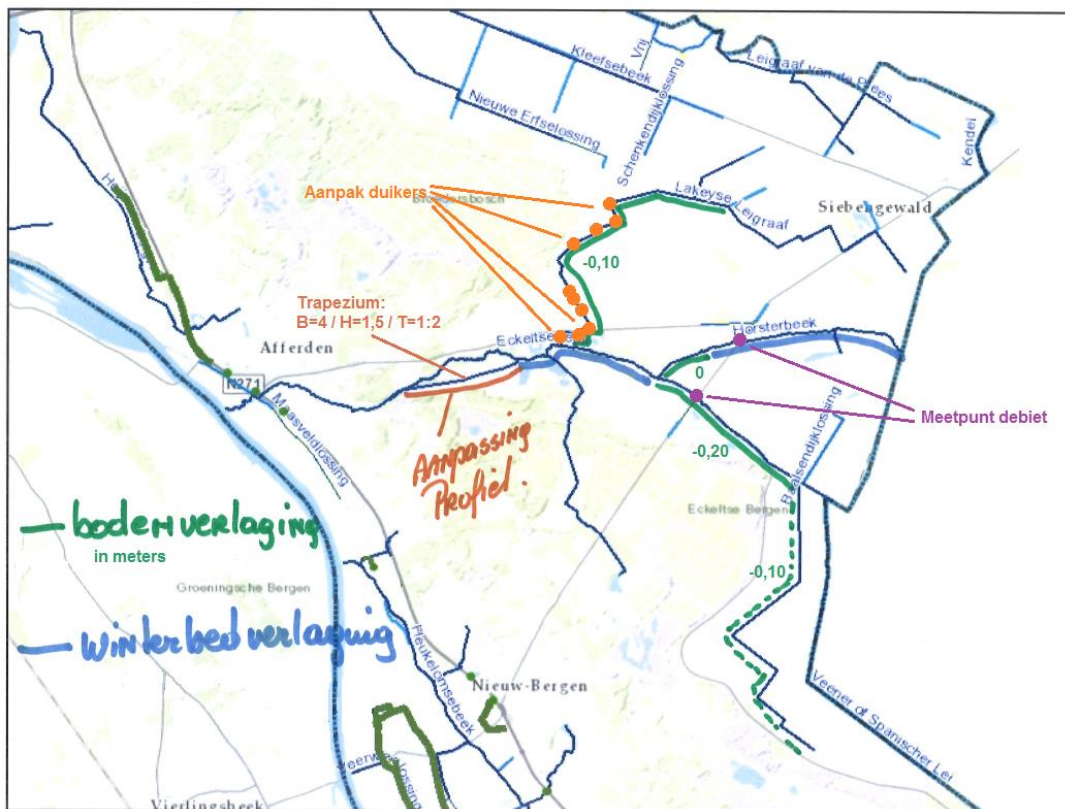
Het verlagen van de weerstand in de beekbedding levert grote winst op, maar gaat ten koste van de natuurlijke inrichting van de beekbedding. Ook hier geldt: wat benedenstrooms van de stuw HEC1 wordt gedaan heeft geen invloed bovenstrooms. Een intensiever onderhoud is daarom vooral effectief bovenstrooms van de stuw HEC1, waar landbouwgebied zich direct naast de beek bevindt. Sturen op begroeiingsweerstand is alleen effectief in de zomerperiode, dan neemt de weerstand door begroeiing toe. Dit is ook al uit de modelkalibratie gebleken: de gemodelleerde weerstand speelt een grote rol in de berekeningen.

### 6.3.3 Presentatie van de maatregelen

De verkenning van de maatregelen zijn gepresenteerd in de streekbijeenkomst van 7 maart 2018. In de bijeenkomst werden de resultaten grotendeels onderschreven. Het beeld van de effectiviteit van de maatregelen is op deze wijze gedeeld. Uit deze bijeenkomst is naar voren gekomen dat een samenstelling van maatregelen de voorkeur heeft. Vanuit de bijeenkomst werd ingezet op: aanpak van het beekprofiel (verdieping en winterbed), aanpak van de meest knellende kunstwerken in de Lakeyse Leigraaf (duikers) en het intensiveren van het onderhoud (maaibeheer).

### 6.4 Definitief maatregelenpakket

Op basis van de groslijst, knelpuntenkaart en verkenning van de maatregelen is het uiteindelijke maatregelenpakket samengesteld. Hierbij is uitgegaan van maatregelen waarvoor geen aankoop van gronden noodzakelijk is. Door deze keuze wordt een lang (en duur) traject van grondverwerving voorkomen. Het maatregelenpakket volgt in grote lijnen wat er in de streekbijeenkomst als meest wenselijke maatregelen is beoordeeld. De maatregelen in het maatregelenpakket zijn op onderstaande kaart weergegeven.



Figuur 6-1. Schets met inrichtingsmaatregelen in het stroomgebied van de Eckeltsebeek.

De maatregelen zijn een combinatie van het verruimen zomerprofiel (groen, verdiepen profiel), verruimen winterprofiel (blauw, herstel/aanleg winterbed), het aanpakken van kunstwerken (oranje, duikers) en het aanpassen van het profiel van de Hoogwatergeul (rood). Daarnaast wordt ingezet op de verkenning van een aangepaste maaicyclus (dynamisch maaibeheer) en de monitoring van de inloop uit Duitsland (meetpunten).

- De fysieke maatregelen worden concreet uitgewerkt en vervolgens uitgevoerd. Een omschrijving wordt gegeven in paragraaf 6.4.1.
- De voorgestelde maatregelen dragen bij aan een robuustere inrichting van het systeem, vooral gericht op wateroverlast. In paragraaf 6.4.2. zijn nog een aantal aanvullende maatregelen opgenomen.
- Het aanpassen van de maaicyclus is een ingewikkeld proces. Ten behoeve van deze gebiedspilot zijn de eerste verkenningen gedaan naar wat er nodig is om dynamisch maaibeheer in te voeren. Een korte samenvatting hiervan is opgenomen in paragraaf 6.4.3.
- De monitoring inloop uit Duitsland is reeds gestart. Twee meetpunten zijn geplaatst, één in de Eckeltsebeek en één in de Horsterbeek. Het meten van het debiet geeft systeeminzicht.

#### 6.4.1 Beschrijving fysieke maatregelen per tracé

De maatregelen zijn onderstaand per tracé beschreven. De indeling van de tracés is gemaakt op de veldsituatie van het nu aanwezige profiel en de daarmee samenhangende werkzaamheden op dat tracé.

##### *Tracé 1: Aanpassingen profiel hoogwatergeul*

De hoogwatergeul is 1.400 meter lang. Het profiel is een trapeziumprofiel met een bodembreedte van 4 m, taluds 1:2 en een diepte van bodem tot insteek van ca. 1,5 m. De beek is onder een constant verhang van 0,7 m/km gebracht (1 m op 1.400 m lengte). Grondverzet ca. 4 m<sup>3</sup>/m beek.

##### *Tracé 2: Eckeltsebeek vanaf stuw HEC1 tot instroom Horsterbeek*

Het heringerichte deel van de Eckeltsebeek is ca. 1.650 m lang. Dit deel krijgt een winterbed op ca. 50 cm boven de bodemhoogte van het zomerbed en een breedte van 10 m. Grondverzet bedraagt ca. 3 m<sup>3</sup>/m beek. De duikers in het tracé worden gereinigd.

##### *Tracé 3: Eckeltsebeek vanaf instroom Horsterbeek tot aan grens*

Het niet meanderen deel van de bovenloop is ongeveer 2.150 m lang en is ingeklemd tussen de weg en landbouwpercelen. Het profiel wordt hier met 20 cm verdiept en de taluds mee opgetrokken. De vijf bruggen / duikers in het tracé worden gereinigd, maar niet constructief aangepakt.

##### *Tracé 4: Lackbar-Cereslossing*

Het tracé met een trapeziumprofiel is 3.600 meter lang en kent een zeer gering verval. Het tracé wordt met 5 tot 10 cm uitgediept en de taluds weer in profiel gebracht. De twaalf duikers in het tracé worden gereinigd, maar niet constructief aangepakt.

##### *Tracé 5: Horsterbeek*

Het niet heringerichte deel (vanaf de instroom Eckeltsebeek stroomopwaarts) is 750 m lang. Hier wordt alleen slib verwijderd. Het heringerichte deel van de Horsterbeek is ca. 1.950 m lang. Op enkele plaatsen zijn er twee geulen. Hier wordt het slib verwijderd en een winterbed gerealiseerd, het grondverzet bedraagt ongeveer 2 m<sup>3</sup>/m beek. De duikers (5) in het tracé worden gereinigd, maar niet constructief aangepakt.

#### *Tracé 6: Lakeyse Leigraaf*

Over een lengte 2.250 m vanaf de instroom Eckeltsebeek stroomopwaarts wordt de bodem met 10 tot 20 cm uitgediept zodat een constant bodemverhang wordt gerealiseerd. Ook worden de taluds weer in profiel gebracht. De negen duikers in het tracé worden opnieuw in het profiel op hoogte gelegd, zoveel mogelijk worden duikers hergebruikt.

#### 6.4.2 Andere mogelijke fysieke maatregelen

Naast de maatregelen uit de groslijst zijn er aanvullend nog drie maatregelen die in het stroomgebied genomen kunnen worden. Deze maatregelen vinden geen oorsprong in wateroverlast, maar hebben te maken met waterkwaliteit, droogte en onderhoud. Deze maatregelen zijn niet in het maatregelenpakket opgenomen en derhalve zijn ook de effecten niet doorgerekend. Deze maatregelen zijn:

- Verbinding van de kasteelgracht met de Eckeltsebeek herstellen ten behoeve van de waterkwaliteit. Via een zijsloten wordt doorspoeling (met een klein debiet) van de kasteelgracht gerealiseerd. Dit mede op initiatief van de beheerder van de kasteelruïne. De maatregel heeft geen effect op het hydraulisch functioneren van de beek. Uitvoering maatregel in overleg met de beheerder.
- Tracé van de Eckeltsebeek zuidelijk van het kasteel iets verleggen ten behoeve van onderhoud en doorstroming. Feitelijk wordt hier de Hoogwatergeul nog iets mee verlengd. Onduidelijk is in hoeverre dit bijdraagt aan het hydraulisch functioneren van de beek. Deze maatregel wordt op een later tijdstip nog onderzocht.
- Aanleg van 'droogtestuwen' in de Eckeltsebeek. De maatregelen hebben een verdrogend effect bij lagere afvoeren. Door de aanleg van een droogte stuw kan het peil bij lage afvoeren hoger worden gehouden. De aanleg van een of meer droogtestuwen is alleen voorzien in de niet heringerichte delen van tracé 3 en eventueel 5.

#### 6.4.3 Maatregel dynamisch maaibeheer

Dynamisch maaibeheer is als laatste maatregel toegevoegd aan het maatregelenpakket voor de Gebiedspilot Eckeltsebeek. In de Eckeltsebeek heeft de begroeiingsgraad in de heringerichte delen een grote invloed op het hydraulisch functioneren van het systeem.

Dynamisch Maaibeheer betekent dat het maaien van de watergangen wordt ingepland op basis van de actuele begroeiingsgraad van de beek. Afhankelijk van de begroeiingsgraad en snelheid van groeien zal er eerder, later, of frequenter gemaaid moeten worden. Dit betekent dat in de zomers waarin de begroeiing harder groeit dan gemiddeld er eerder gemaaid moet worden. Andersom kan het ook zijn dat in de zomers waarin de begroeiing minder hard en in perioden van droogte de maaibeurt later of helemaal niet wordt uitgevoerd.

De klimaatverandering zorgt ervoor dat gemiddeld genomen de begroeiing steeds harder/ sneller groeit en het groeiseizoen eerder begint en langer doorloopt. Tevens is het moment waarop gemaaid moet worden steeds minder voorspelbaar. Jaren onderling verschillen steeds meer. Dit is dan ook de achterliggende reden om dynamisch maaibeheer als maatregel op te nemen. Op dit moment gebeurt dit ook al in een beperktere vorm. Er wordt steeds vaker gekeken of er eerder of later gemaaid moet worden ten opzichte van de maaikalender.

Het stroomgebied van de Eckeltsebeek is zeer geschikt om te experimenteren met Dynamisch Maaibeheer. Er zijn meerdere peilmeetpunten aanwezig en sinds kort ook een tweetal debietmeten punten voorhanden. De grote invloed van de weerstand op het stromingsregime en de combinatie van natuur- en landbouwfuncties maken een flexibeler ingericht maaibeheer tot een waardevolle bijdrage aan het beheer en onderhoud van de beek. Daarom worden de mogelijkheden voor het stroomgebied van de Eckeltsebeek nader verkend om Dynamisch Maaibeheer toe te passen. Dit zal dan een meerjarige monitorings-traject worden. Denk hierbij aan ervaringen van de peilen, begroeiingshoeveelheden, frequentie van maaien etc..

Ook de inbreng van de ervaringen van bijvoorbeeld de Regiobeheerder speelt hierin een belangrijke rol. En ook organisatorisch moet ervaring worden opgedaan: Waterschap Limburg heeft +/- 2.700 km watergang in beheer en onderhoud. Dit vergt de nodige afstemming: we kunnen niet overal op hetzelfde tijdstip werkzaamheden uitvoeren. Door de Eckeltsebeek als pilotgebied in te zetten voor dynamisch maaibeheer wordt meer inzicht verkregen in de systematiek van dynamisch maaibeheer en -beleid.

## 6.5 Effecten van het maatregelenpakket

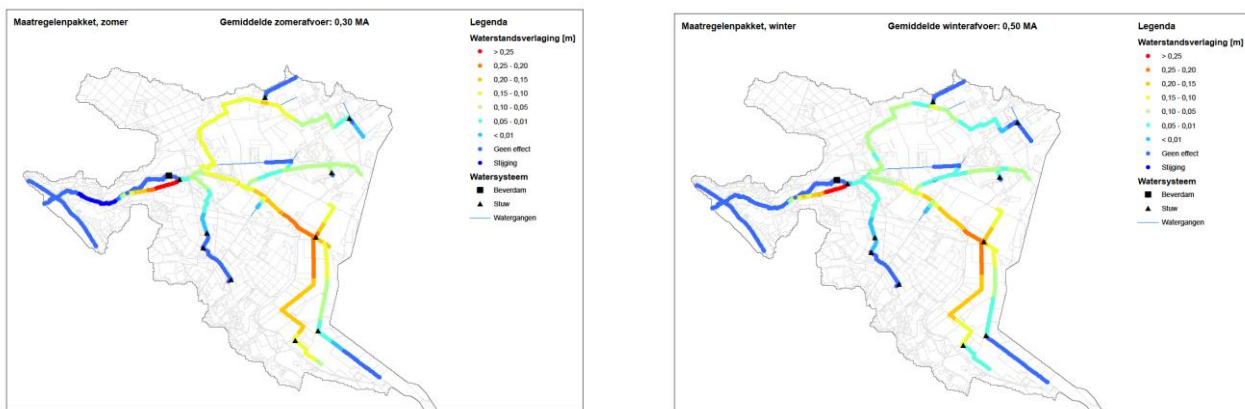
Om het effect van het totale maatregelenpakket inzichtelijk te maken zijn drie berekeningen uitgevoerd.

- Stationaire berekeningen met het oppervlaktewatermodel: Hiermee zijn de effecten van het maatregelenpakket voor een gemiddelde zomer- en wintersituatie bepaald.
- Vertaling van de peilveranderingen in het oppervlaktewatersysteem op het grondwaterregime met een stationaire berekening met het grondwatermodel. Hiermee is ruimtelijk inzichtelijk wat de verandering van de grondwaterstanden op perceelsniveau is.
- De situatie juni 2016. Deze is vergeleken met de berekening van de situatie in 2016. Hiermee is in beeld gebracht wat het maatregelenpakket betekent in een extreme situatie.

De resultaten van deze berekeningen zijn in de volgende paragrafen opgenomen.

### 6.5.1 Effecten maatregelenpakket in het beekstelsysteem

Het maatregelenpakket zorgt voor een duidelijke verlaging van de waterstanden in zowel de gemiddelde zomer- als de wintersituatie. Van beide situaties zijn ter illustratie kleine kaarten opgenomen. De grootste verlagingen van de waterstand worden bereikt bij de instroom van de Lackbar-Cereslossing in de Eckeltsebeek. De verlagingen, zowel bij 30% als 50% van de maatgevende afvoer, zijn 20 tot 25 centimeter (donkeroranje in onderstaande figuur). In de Horsterbeek en in de Lakeyse Leigraaf wordt het peil met ca. 5 tot 10 cm verlaagd.



Figuur 6-2. Berekende peilverschillen in het stroomgebied na doorvoeren van het maatregelenpakket. De kaarten zijn op groot formaat tevens opgenomen in de kaartenbijlage.

De uitkomsten van de berekeningen laten zien dat door de uitvoering van het maatregelenpakket het oppervlaktewaterpeil nagenoeg terugkeert naar het niveau van vóór de herinrichting van 2005. De projecthydroloog van het Waterschap heeft deze peilen voor lage afvoeren afgeleid op basis van modelberekeningen van de veldsituatie van 2003. In deze berekeningen wordt wel uitgegaan van een (zeer) lage weerstand, zoals dat in het herinrichtingsproject ook is gedaan. Nu wordt gerekend met hogere weerstanden. Dit betekent dat de maatregelen óók compenseren voor een ruwere beekinrichting. Het systeem is dus robuuster gemaakt.

**Tabel 6-3. Vergelijking van lage afvoersituatie: voor herinrichting, actuele peilen en na uitvoering van maatregelen, ca. 15% van de maatgevende afvoer (zomerweerstand)**

Locatie	Debiet [l/s]	Peil 2003 [m NAP]	Actueel peil [m NAP]	Peil na maatregelen [m NAP]
Eckeltsebeek, bovenstrooms stuw HEC1	320	13,59	13,51	13,51
Eckeltsebeek, instroom Horsterbeek	320	13,91	13,98	13,91
Eckeltsebeek, instroom Lackbar-Cereslossing	160	15,11	15,35	15,11
Horsterbeek, grens	160	14,87	14,96	14,96

**Tabel 6-4. Vergelijking van hoge afvoersituatie: voor herinrichting, actuele peilen en na uitvoering van maatregelen, ca. 50% van de maatgevende afvoer (zomerweerstand)**

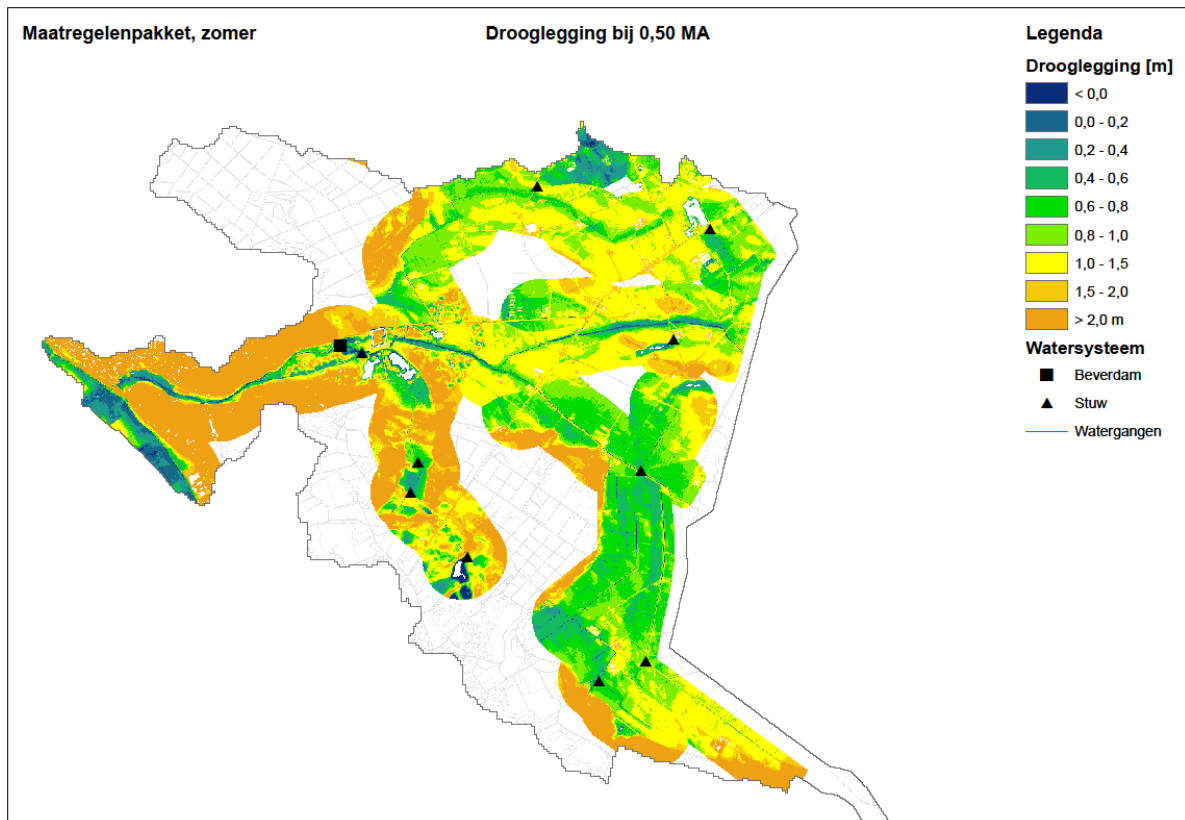
Locatie	Debiet [l/s]	Peil 2003 [m NAP]	Actueel peil [m NAP]	Peil na maatregelen [m NAP]
Eckeltsebeek, bovenstrooms stuw HEC1	1050	13,77	13,67	13,67
Eckeltsebeek, instroom Horsterbeek	865	14,21	14,42	14,21
Eckeltsebeek, instroom Lackbar-Cereslossing	525	15,38	15,79	15,57
Horsterbeek, grens	280	15,09	15,36	15,15

De verlagingen bij lagere afvoeren zijn kleiner dan die bij hoge afvoeren. Alleen bij de Lackbar-Cereslossing wordt zowel bij lage als bij hogere afvoeren de waterstand flink verlaagd (20-25 cm). In droge tijden kan het daarom nodig zijn om actief water vast te houden door het plaatsen van droogtestuwen. Dit is mede afhankelijk van de impact van de verlagingen op de grondwaterstanden. Let wel: in het zomerscenario is ook rekening gehouden met een intensiever onderhouden watergang, waardoor de berekende peilverschillen hier groter zijn.

#### 6.5.2 Effecten op de drooglegging

De drooglegging (zowel zomer als winter) wordt hierdoor aanzienlijk verbeterd in het landbouwgebied rond de Lackbar-Cereslossing. Als voorbeeld is hier de drooglegging in de zomersituatie weergegeven. Waar eerder de drooglegging op veel plekken nog 20 tot 40 cm was, is deze nu grotendeels 40 tot 60 cm en hoger. Voor landbouw is minimaal 50 cm de norm.





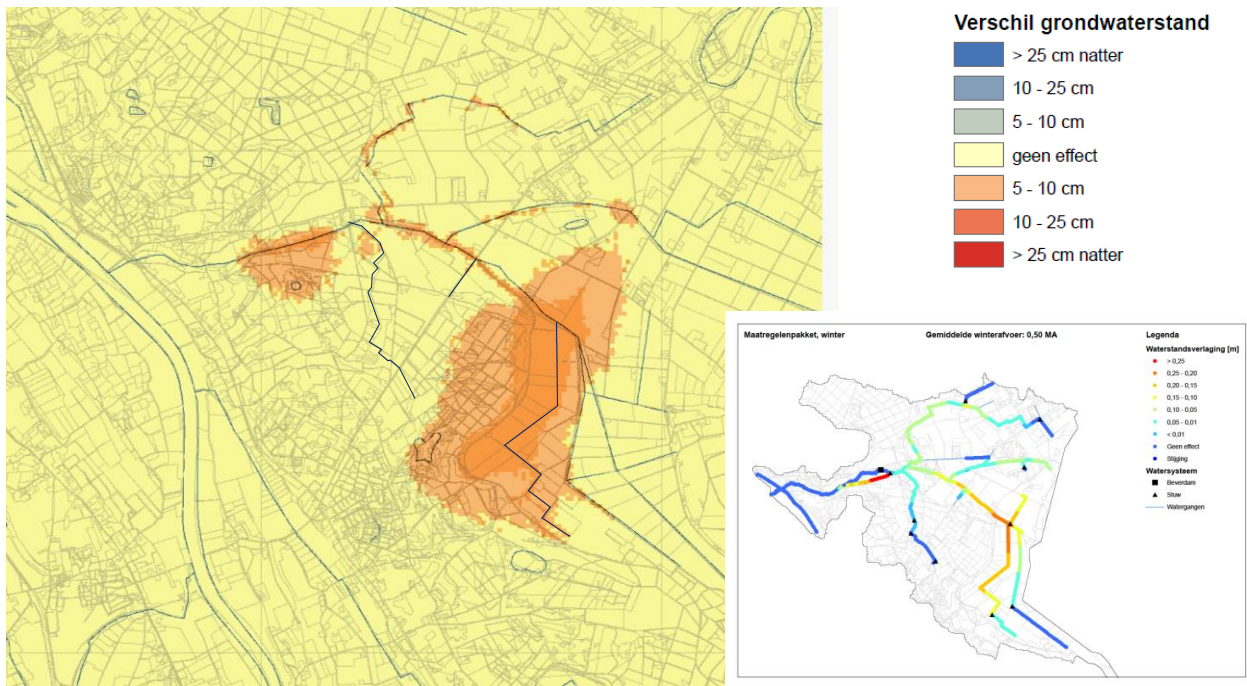
Figuur 6-3. Drooglegging zomersituatie.

De berekening is gedaan bij een afvoer van 50% van de maatgevende afvoer, bij lagere (zomerse) afvoeren is de drooglegging dus nog groter.

### 6.5.3 Effecten van het maatregelenpakket op de grondwaterstanden in het gebied

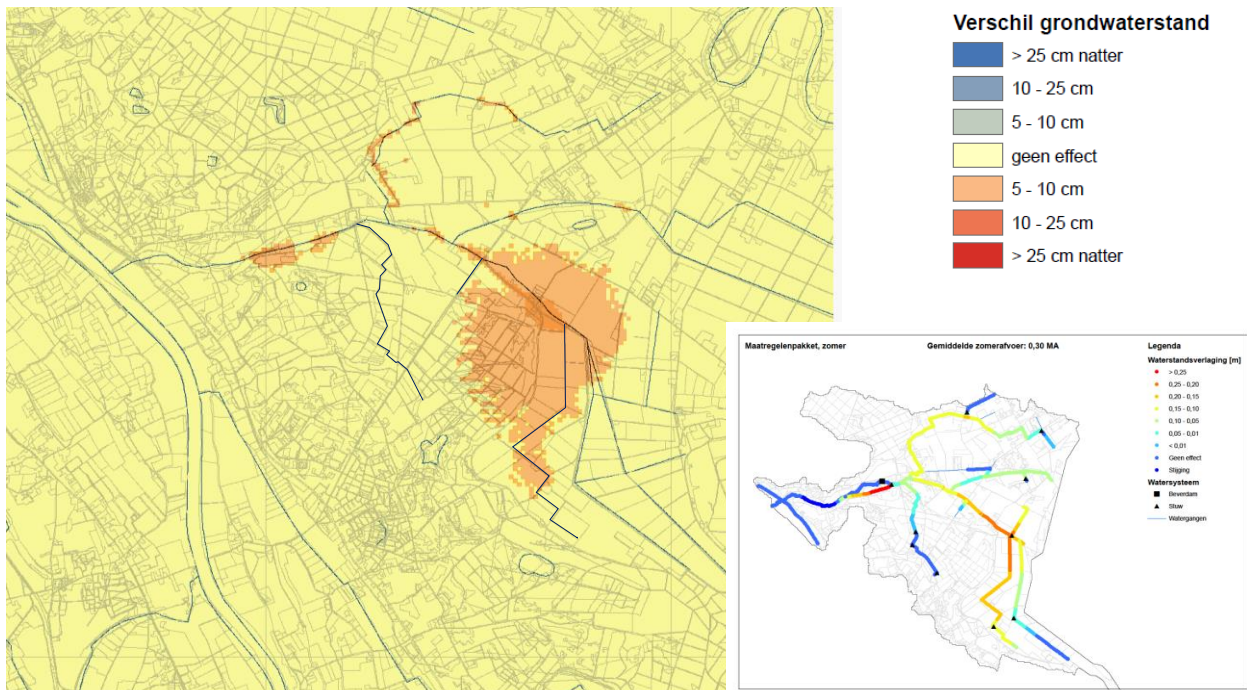
De maatregelen hebben peilverlagingen in het oppervlaktewater tot gevolg en beïnvloeden vervolgens de grondwaterstanden. Een indicatie van de effecten is verkregen met behulp van de rekenresultaten van het integrale niet-stationaire model. Hierbij is op basis van de grondwaterstanden van 2014 en 2015 een drogere zomersituatie en een nattere wintersituatie berekend (een GLG en GHG-situatie). Voor deze situaties is het effect van de maatregelen in de beken doorgerekend.

De effecten op de grondwaterstanden zijn in onderstaande figuren weergegeven. Het effect is zowel voor de GHG (natte periode met hoge grondwaterstanden) als voor de GLG (droge periode met lage grondwaterstanden) bepaald. Door de maatregelen worden met name een lagere GHG gerealiseerd in het gebied rond de Lackbar-Cereslossing en nabij de bovenloop van de Eckeltsebeek. Ook rond de Hoogwatergeul is een duidelijk effect merkbaar. Hier zal de grondwateroverlast in natte perioden dus ook afnemen. De donkeroranje vlek betekent een daling van 10 tot 25 cm.



Figuur 6-4. Effecten tijdens een wintersituatie (inzet: effect op oppervlaktewater). Geel: geen effect (< 5 cm), lichtoranje: 5-10 cm verlaging en donkeroranje: 10-25 cm verlaging.

Ook voor de een zomerse situatie is het effect op de grondwaterstanden bepaald. Hierbij is het wenselijk dat de grondwaterstanden niet te veel dalen. Maar door het verdiepen van de profielen is dit wel gebeurd. In de volgende figuur is het effect op de GLG weergegeven.



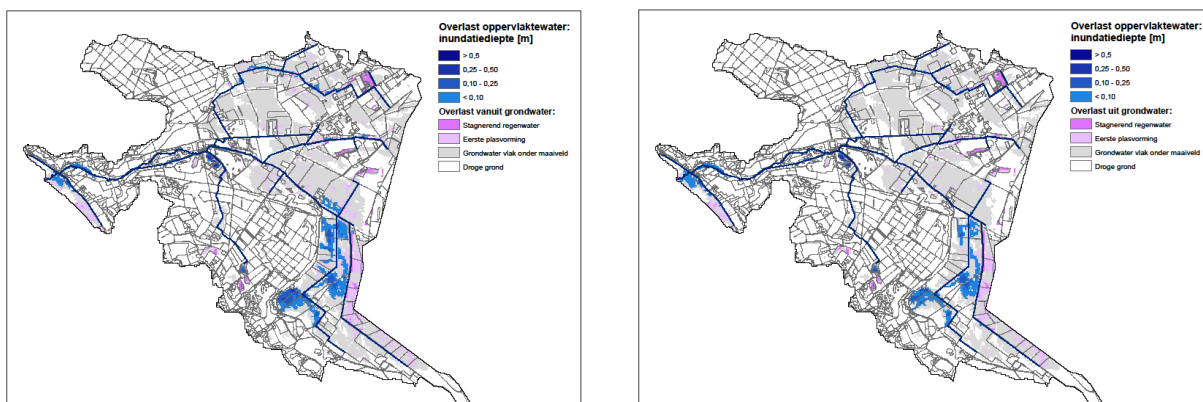
Figuur 6-5 Effecten tijdens een zomersituatie (inzet: effect op oppervlaktewater). Geel: geen effect (< 5 cm), lichtoranje: 5-10 cm verlaging en donkeroranje: 10-25 cm verlaging.



Het effect op de GLG is een stuk kleiner, maar wel aanwezig. Ook in droge perioden daalt dus de grondwaterstand. Het effect straalt hierbij ook uit richting Natura2000-gebied de Maasduinen. Deze zijn beschermd door landelijke regelgeving, waarbij geen negatieve effecten voor de natuurdoeltypen mogen optreden. Deze toets is in dit project nog niet uitgevoerd en zal in een verdiepingsslag plaatsvinden. Het aanleggen van (geautomatiseerde) droogtestuwen kan dan als mitigerende maatregel worden opgenomen.

#### 6.5.4 Effect van het maatregelenpakket tijdens juni 2016

De situatie juni 2016 was extreem door de enorme neerslaghoeveelheden, die effecten uitten zich in zowel (langdurig) verhoogde grondwaterstanden als oppervlaktewaterstanden. In hoofdstuk 5 is dit beschreven. Het maatregelenpakket zorgt ook in extreme situaties voor een verlaging van de oppervlaktewater- en grondwaterstanden.

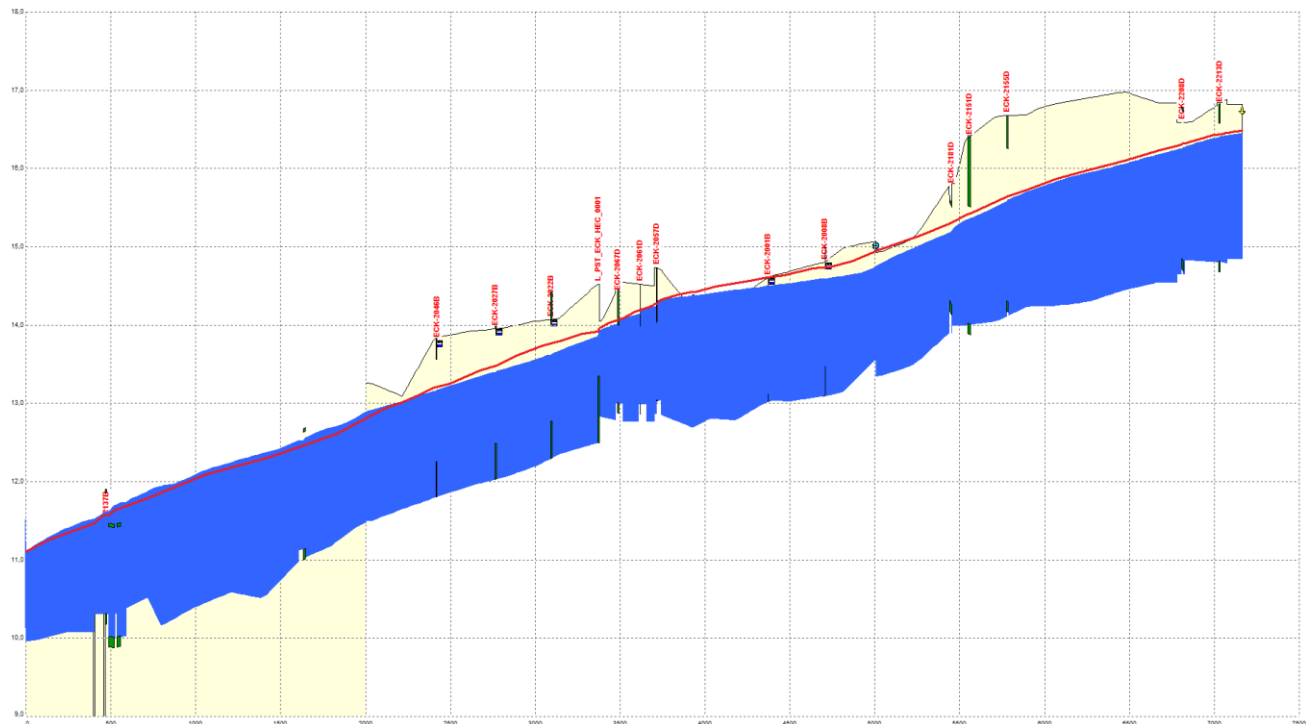


*Figuur 6-6 Gecombineerd inundatiebeeld vanuit grondwater en oppervlaktewater, situatie van 4 juni 2016, 0:00 uur voor de huidige situatie en voor de situatie met maatregelen.*

Op het eerste gezicht lijken de verschillen niet zo groot. Het overstromingspatroon van beide berekeningen is hetzelfde. Ook het gebied waarin hoge grondwaterstanden voorkomen is voor het scenario met maatregelen vergelijkbaar met die van de actuele situatie. Wel zien we een afname van de grootte van de inundaties uit het oppervlaktewater en een veel mindere mate van regenwater dat op het land blijft staan. Zoals eerder gesteld: de situatie was zodanig extreem, dat met het maatregelenpakket de wateroverlast niet had kunnen worden voorkomen, maar wel verminderd.

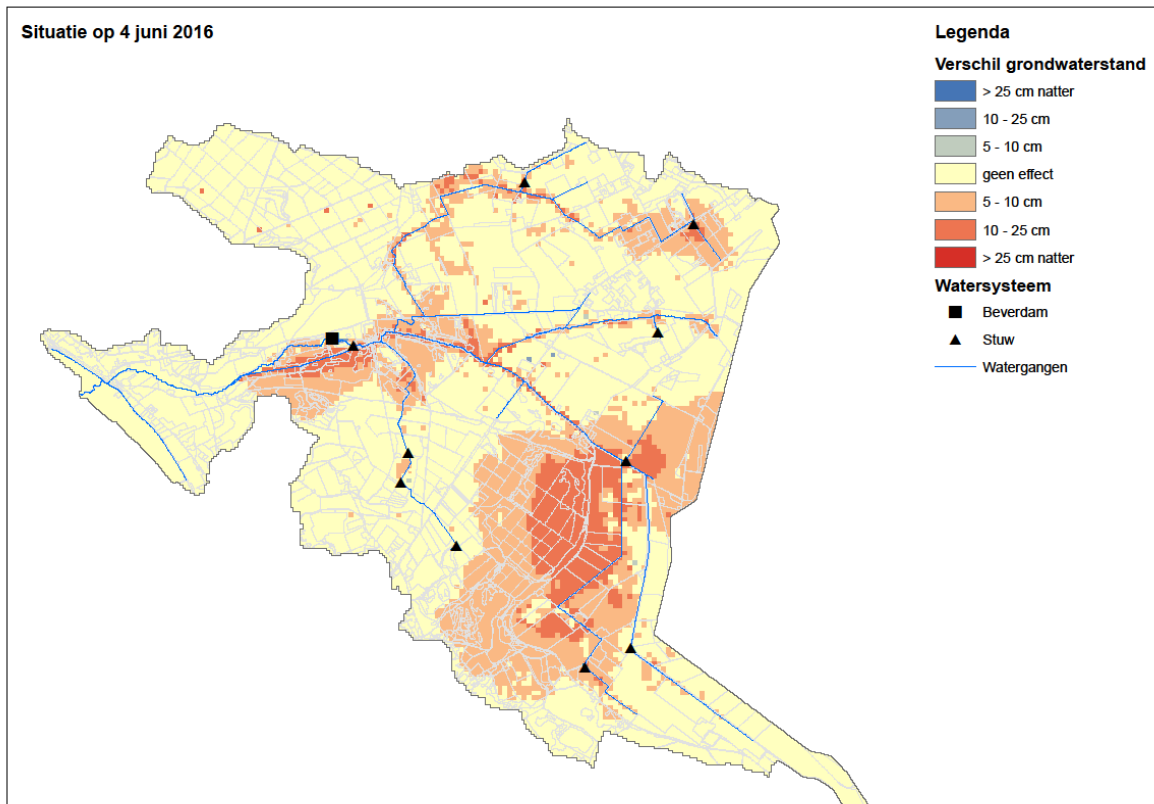
De inundaties vanuit het oppervlaktewater tussen de Spänischer Lei en Lackbar-Cereslossing zijn met het maatregelenpakket afgenomen. De afvoergolf op de Eckeltsebeek is leidend voor de wateroverlast in dit gebied: water stroomt vanaf de Eckeltsebeek terug ofwel laat de afvoer vanuit het gebied stagneren. De hoogte van de afvoergolf bij de instroompunten in de Eckeltsebeek is door de maatregelen verlaagd, wat verklaart dat de wateroverlast is afgenomen.

Bij het uitstroompunt van de Eckeltsebeek bij de Heerenwaardlossing en de Maasveldlossing nemen de oppervlaktewaterstanden bij een extreme bui enigszins toe. Dit leidt eveneens tot grotere inundaties aldaar. Dit is een effect wat vaker gezien wordt wanneer de afvoer bovenstrooms wordt verbeterd en de afvoergolf minder tijd krijgt om af te vlakken.



6-7. Vergelijking van de oppervlaktewaterstanden tijdens de eerste piek, 2 juni 2016, 21:00 uur.  
 Blauw: systeem met maatregelen. Rode lijn: systeem zonder maatregelen.

Het lagere oppervlaktewaterpeil vertaalt zich naar het grondwater. Water op het maaiveld komt nog altijd voor maar wel op minder grote oppervlakken. Dit vindt zijn oorzaak in de lagere grondwaterstand voorafgaand aan de extreme neerslagevent. Hierdoor is er meer berging in de bodem en duurt het dus langer voordat water op maaiveld optreedt. Water op maaiveld kan dus bij dit soort extreme neerslaggebeurtenissen niet worden voorkomen. Maar door een betere ontwateringssituatie is de frequentie van voorkomen en de duur wel te beïnvloeden. Dit is in onderstaande figuur goed te zien:



*Figuur 6-8 Verlaging van de grondwaterstanden door het maatregelenpakket, situatie 4 juni 2016.*

De berekening van juni 2016 na het doorvoeren van het maatregelenpakket laat zien dat de wateroverlast zich ook zal manifesteren nadat het beekstelsel flink op de schop is gegaan. De fysieke maatregelen, zijnde het aanpakken van het beekprofiel, aanpak van kunstwerken en verlagen van de watergangbodems, zorgen voor een vermindering van de wateroverlast.

## 7 Tot slot

Dit rapport markeert het einde van de gebiedspilot Eckeltsebeek en is het resultaat van een jaar lang uitvoeren van verkenningen in het beekstelsel van de Eckeltsebeek. Het systeem is uitgebreid geanalyseerd. Zo is een beeld ontstaan van het functioneren onder droge, normale, natte en extreme omstandigheden. Ook is onderzocht wat de gevoeligheden in het systeem zijn, met name de invloed van begroeiing, en waar de knelpunten zitten. Daarnaast is de relatie gelegd met de wateroverlast van juni 2016.

Met dit complete beeld van het systeem zijn maatregelen onderzocht. Deze maatregelen zijn met name gericht op het verbeteren van het beekstelsel onder zeer natte en extreme omstandigheden. Dus op een robuustere inrichting van het beekstelsel waarmee getracht wordt in de toekomst (de kans op) wateroverlast te verminderen. Een inrichtingsvisie van de beek voor de toekomst.

Het maatregelenpakket is opgesteld op basis van de analyses en met input vanuit de streek die is geleverd in de twee gebiedsbijeenkomsten van november 2017 en maart 2018. Dit rapport met de daarin opgenomen maatregelen is ook besproken in een derde streek-bijeenkomst op 24 juli 2018. Dit moment markeert ook het einde van gebiedspilot, maar niet het einde van het streekproces.

Het is dan ook nog niet klaar: het vervolg van de gebiedspilot zal een gedetailleerde uitwerking zijn van de maatregelen, zodat ze kunnen worden uitgevoerd. Daarnaast wordt een pilot opgestart voor het toepassen van dynamisch maaibeheer op de Eckeltsebeek; een wens vanuit streek en waterschap. Zo wordt een start gemaakt met een toekomstbestendige inrichting van de Eckeltsebeek.

Bijlage 1. Beleids-/normenkader en gebiedsproces



## **B1.1 Inleiding**

De gebiedspilot Eckeltsebeek heeft tot doel om samen met de streek tot maatregelen te komen om het functioneren van de Eckeltsebeek te verbeteren. Over dit functioneren zijn in de loop der jaren klachten ontstaan. Deels wordt dit gewijd aan verkeerde uitgangspunten in het ontwerp van de herinrichting van de beek, deels wordt dit gewijd aan de wijze waarop het ontwerp is uitgevoerd en wordt onderhouden.

Om te bepalen 'wat móet' en 'wat mág' is het van belang te weten wat de thans geldende normen zijn waaraan de staat van het watersysteem moet voldoen. 'Wat moet' zijn de ingrepen in het systeem om te voldoen aan deze normen. 'Wat mag' zijn ingrepen die het functioneren extra verbeteren of het beeksysteem toekomstbestendig maken.

De normen voor 'wat moet' komen vanuit verschillende wet- en regelgeving. Dit document is bedoeld om het toetsingskader te bepalen en dient als uitgangspunt van de watersysteemtoets.

### B1.1.1 Geraadpleegde documenten

De normen volgen uit Europese, landelijke en provinciale wet- en regelgeving. Deze zijn vervat in de beleidsstukken van het waterschap. Aanvullend zijn er in de Leidraad Uitvoering Horsterbeek en Eckeltsebeek afspraken gemaakt.

Algemene beleidsdocumenten (geldig voor geheel Waterschap Limburg):

- Provinciaal Omgevingsplan Limburg 2014 (Prov. Limburg);
- Provinciaal Waterplan 2016-2021 (Prov. Limburg);
- Omgevingsverordening Limburg 2014 (Prov. Limburg);
- Waterbeheerplan 2016-2021: Water in Beweging (WPM/WRO, 2016).

Voorlopige toetsingscriteria beken:

- Voorlopige werkwijze NBW-toetsing;
- Voorlopige werkwijze drooglegging.

Specifieke aanvullingen:

- Herinrichtingsplan Eckeltsebeek (RHK, 10 december 2003, 9M9405/R008/EDI/MAAS);
- Evaluatie herinrichting Eckeltsebeek traject 2, 3 & 4 (WPM, 19 februari 2013);
- Leidraad Uitvoering Horsterbeek en Eckeltsebeek (WPM, december 2016);
- Rapportage Wateroverlast en knelpunten: Stroomgebied Eckeltsebeek (LLTB 2016);
- Schouw Eckeltsebeek 20-01-2017 (Waterschap Limburg).

### B1.1.2 Veldbezoek projectgroep

Op 8 november 2017 heeft ook een veldbezoek plaatsgevonden met medewerkers van het Waterschap en Sweco. Hierbij is een zestal locaties aangedaan in het projectgebied, waaronder de monding in de Maas, de beverdam en hoogwatergeul, de Horsterbeek en Lackbar-Cereslossing.

## B1.2 Normen

### B1.2.1 Peilbeheer

Waterschap Limburg kent een inspanningsverplichting voor het behalen van de gewenste drooglegging. Dit betekent dat het peilbeheer is gericht op het behalen van een (lokale) minimale drooglegging. De wijze waarop de gewenste drooglegging wordt bepaald is niet in een protocol vastgelegd. Hierop is de voorlopige werkwijze voor het bepalen van de minimale drooglegging gebaseerd: deze wordt voor de zomer en winter bepaald bij 50% van de maatgevende afvoer.

Om meer grip te krijgen op het peilbeheer zijn streefpeilen gedefinieerd behorend bij de op dat moment aanwezige afvoer. Deze zijn opgenomen in het zogenaamde streefpeilenplan. Hierin is gegeven de afvoer en de op dat moment aanwezige begroeiingsgraad een peil opgenomen. Hieruit kan een bandbreedte van het peil worden afgeleid en geeft de beheerder houvast voor het onderhoudsplan van de beek.

In de Leidraad Uitvoering, waarin het praktische beheer is omschreven, wordt voor het peilbeheer verwezen naar het streefpeilenplan.

### B1.2.2 Ontwateringsdiepte

De normen voor ontwateringsdiepte zijn wel vastgesteld in het Waterbeheerplan. De ontwateringsdiepte is gerelateerd aan het grondgebruik. Voor de ontwateringsdiepte is een bovengrens en ondergrens bepaald.

#### Peilbeheer, grondwater en grondgebruik

In de vlakkere gebieden hebben we met het regionale oppervlaktewatersysteem grote invloed op het grondwatersysteem en daarmee op de watervoorziening voor landbouw- en natuurgebieden. Als waterschap kunnen we hierin sturen door de aanwezige beken en stuwen. De afmetingen en onderhoudstoestand van de beken zijn mede bepalend en deels ook stuurbaar.

Gewas / locatie	Grondwaterniveau t.o.v. maaiveld	
	gemiddeld hoog	gemiddeld laag
Grasland	-0,30 m	-0,60 m
Bouwland	-0,50 m	-0,80 m
Tuinbouw	-0,50 m	-0,80 m
Diep wortelende gewassen	-0,80 m	-1,00 m
Glastuinbouw	-0,80 m	-1,00 m
Bebouwingskernen (vloer- of bouwpeil)	-0,70 m	-1,00 m
Bebouwing in buitengebied	gelijk aan omgeving	gelijk aan omgeving

Figuur B1-1. Peilbeheer, grondwater en grondgebruik volgens het Waterbeheerplan

De bovengrens, 'gemiddeld hoog' komt overeen met een situatie bij 50% maatgevende afvoer. 'Gemiddeld laag' komt overeen met circa 30% van de maatgevende afvoer.

### B1.2.3 Hydraulische normen en maatvoering

Hydraulische normen zijn restricties aan het maximale verhang of stroomsnelheid in een waterloop of kunstwerk bij de maatgevende afvoer. Vanuit het oogpunt van wateroverlast worden het verhang en de stroomsnelheid gelimiteerd om het functioneren van het watersysteem te waarborgen. Stroomsnelheden worden beperkt om schade aan de watergang, taluds (erosie) en kunstwerken te voorkomen. Het verhang wordt gelimiteerd om te veel opstuwung en dus kans op inundaties bovenstrooms te voorkomen. Vanuit ecologisch oogpunt worden een minimaal verhang en stroomsnelheid gewenst om de voorwaarden te creëren voor het ontwikkelen van de gewenste ecosystemen.

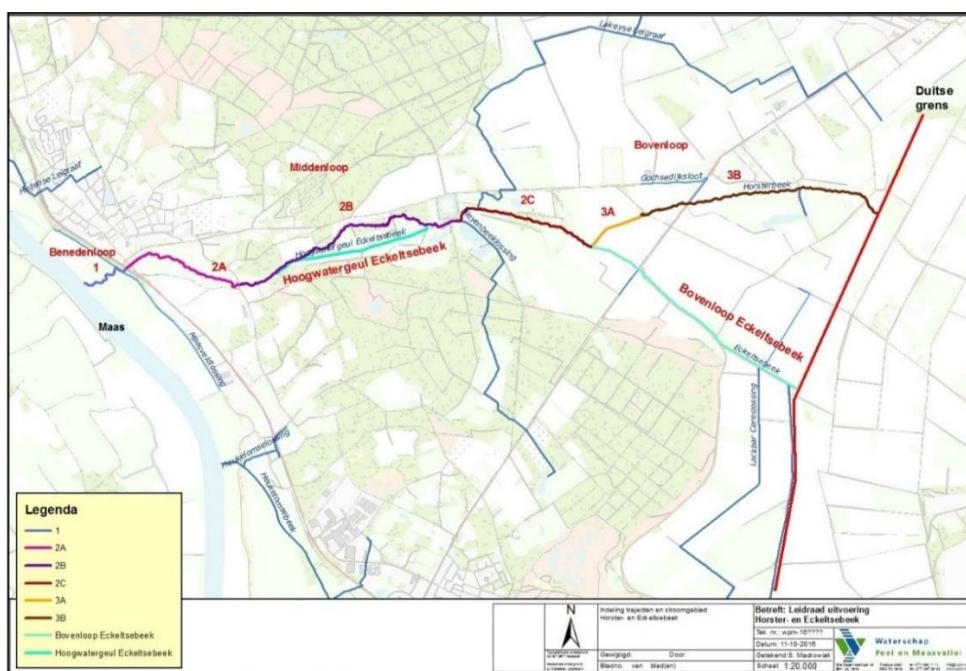
Hydraulische kenmerken zoals het verhang en de stroomsnelheid worden bepaald door de afmetingen van watergangen en kunstwerken, alsmede de begroeiingsgraad van de beek. Het Waterschap hanteert hiervoor geen algemene normen of eisen. Ook stelt zij aan de (minimale) afmetingen van watergangen en kunstwerken, waaraan het watersysteem moet voldoen. In plaats daarvan wordt per beek bekeken wat de optimale range van stroomsnelheden en verhang is, aan de hand van de doelen die volgen uit het toegewezen KRW-type.

In het algemeen geldt dat het realiseren van een minimale stroomsnelheid en verhang in de Noord-Limburgse beken al lastig genoeg is.

### B1.2.4 Hydraulisch ontwerp Eckeltsebeek en Horsterbeek

De Horsterbeek en Eckeltsebeek zijn aangeduid als KRW-lichamen. Dit betekent dat aan deze beken doelen zijn gesteld aan de afmetingen (breedte en diepte), waterkwaliteit en het hydraulisch functioneren (stroomsnelheid, verhang, begroeiing). Het hydraulisch functioneren van deze beken moet leiden tot de natuurlijke ontwikkeling van het gewenste aquatische ecosysteem.

In de Leidraad Uitvoering Eckeltsbeek (een handboek voor het waterschap voor beekonderhoud) zijn bandbreedtes aangegeven waarbinnen de (profiel)afmetingen, stroomsnelheid en het verhang bij voorkeur variëren. Onderstaande kaart geeft de deeltracés van de Eckeltsebeek en Horsterbeek weer waarvoor het gewenste hydraulisch functioneren is bepaald. In de navolgende tabel zijn de hydraulische ontwerpnormen opgenomen.



Figuur B1-2. Indeling Eckeltsebeek en Horsterbeek in deeltrajecten

**Tabel B1-1. Hydraulisch ontwerp Eckeltsebeek en Horsterbeek**

#	Naam	KRW-type [-]	Bodem [-]	Breedte [m]	Diepte [cm]	Stroomsnelheid [cm/s]	Verhang [m/km]	Begroeiing
1	Benedenloop	R5	Zand, slib	2-4	20-70	10-50	0	30-40%
2A	Middenloop Eckeltsebeek	R5	Zand, slib, dood hout	2-4	20-70	10-50	< 1	30-40%
2B	Middenloop Eckeltsebeek	R5	Zand, slib, dood hout	2-4	20-70	10-50	< 1	30-40%
2C	Middenloop Eckeltsebeek	R5	Zand, slib, dood hout	2-5	20-70	10-50	< 1	30-40%
3	Bovenloop Eckeltsebeek	R5	Zand, slib	1-2	20-70	10-50	< 1	30-40%
3A	Horsterbeek	R4	Zand, slib	1-2	30-60	20-50	< 1	< 30%
3B	Horsterbeek	R4	Zand, slib	1-3	30-60	20-50	< 1	< 30%

Let wel, alleen voor de KRW-lichamen zijn hydraulische ontwerpnormen zijn bepaald. Voor de overige watergangen zijn vanuit de KRW geen bandbreedtes geduid. Voor deze beken zijn dus geen normen beschikbaar.

#### B1.2.5 Normering regionale wateroverlast

Naast het hydraulisch functioneren van de individuele watergangen (onder maatgevende omstandigheden) wordt gekeken naar het functioneren van het watersysteem onder extreme omstandigheden. De zogenaamde WB21 toets op de kans op regionale wateroverlast. In het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) zijn tussen de rijksoverheid en regionale overheden afspraken gemaakt over de normering van regionale wateroverlast.

Deze werknormen vormen de leidraad voor het vaststellen van de daadwerkelijk te hanteren norm, er mag gemotiveerd worden afgeweken van de werknorm (zoals bijvoorbeeld in bebouwde gebieden in de diepe beekdalen in Zuid-Limburg en langs Natuurbeken wordt gedaan).

De zogenaamde NBW-normen zijn vastgesteld in de Omgevingsverordening van provincie Limburg en opgenomen in het Waterbeheerplan. De normen zijn onderstaand weer-gegeven.

### Normen voor bescherming

We kunnen geen garanties geven tegen wateroverlast. We treffen allerlei maatregelen om aan de vastgestelde normen tegen wateroverlast te voldoen, zoals het aanleggen van waterbuffers en het inrichten van beken (zie Bijlage H Kaart 2 Maatregelen). Valt er meer regen dan waar beken en buffers op zijn berekend, dan kan er wateroverlast optreden. Provincie Limburg heeft de Normeringskaart Wateroverlast vastgesteld: deze geeft aan waar welk beschermingsniveau tegen wateroverlast geldt, gebaseerd op de gebruiksfunctie van het gebied. In het POL geeft de provincie tevens de ambitie aan om voor bebouwing een norm van 1/100 na te streven. Dit betekent dat we bij het ontwerp van maatregelen in de planperiode onderstaande beschermingsniveaus onderzoeken.

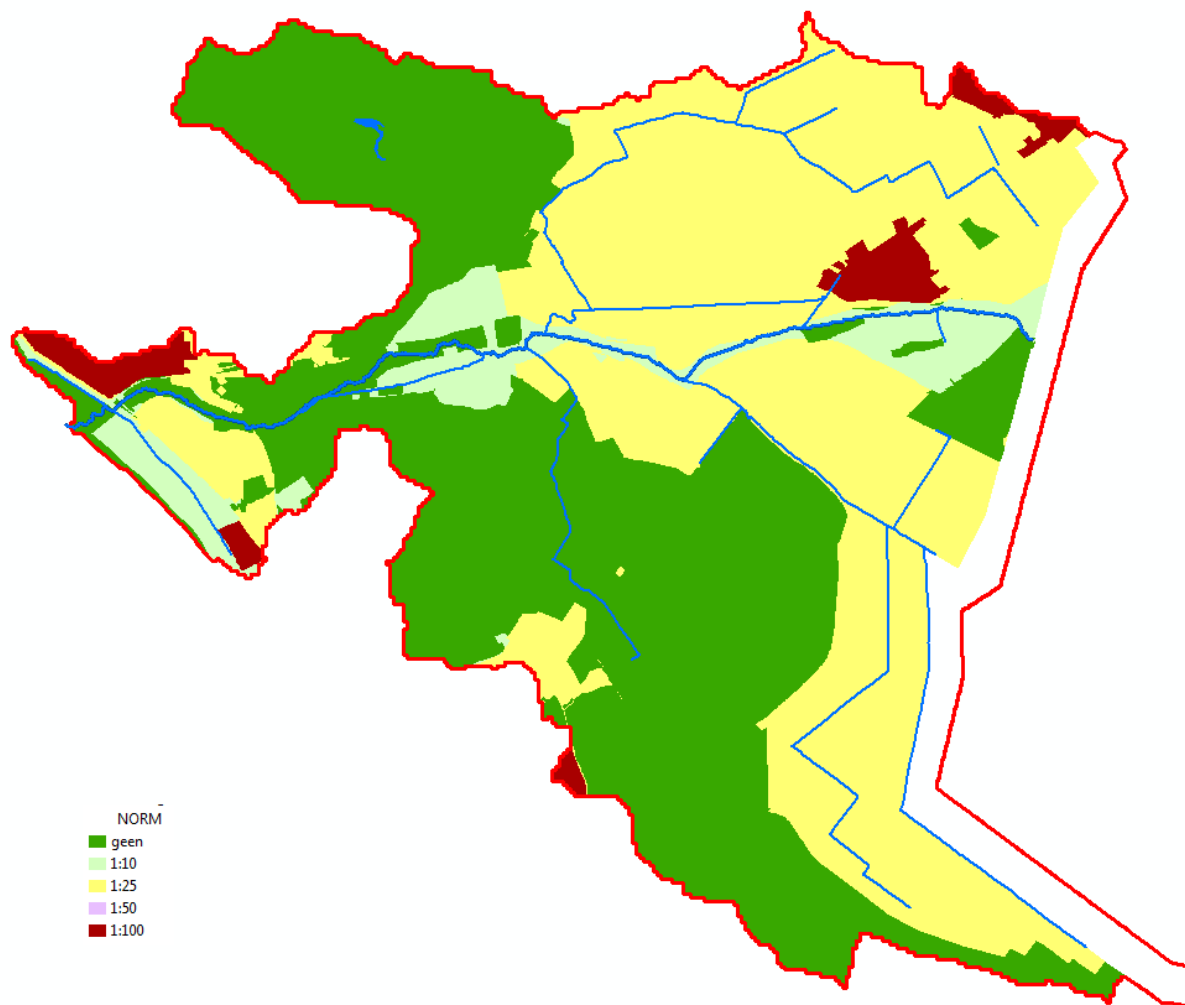
POL zonering:	Specificatie	Te realiseren beschermingsniveau
Goud- en Zilvergroene natuurzone		Geen norm
Bronsgroene landschapszone en natuurlijke beekdalen	Langs natuurbeken	Geen norm
	Overige gebieden	1:10
Overige landbouwgebieden, stedelijk groen, recreatieparken		1:25
Glastuinbouwgebieden		1:50
Bebouwing	Alle woonbebouwing, bedrijven, ziekenhuizen	1:100

Toelichting bij de normen: Een norm van 1:100 houdt in: jaarlijks een kans van 1/100 dat wateroverlast plaatsvindt. De norm geldt voor bebouwde kernen voor water dat over de drempel in woon- en bedrijfsgebouwen, kantoren en ziekenhuizen stroomt. De normen komen tot stand na een kosten-batenanalyse.

*Figuur B1-3. Normen voor wateroverlast vanuit het oppervlaktewater.*

Bij de vastgestelde normen is tevens een normeringskaart opgenomen. Dit is de geografische vaststelling waar welke norm wordt gehanteerd. De normering en kaart vormen samen het kader voor de beoordeling van regionale wateroverlast. De normeringskaart uit de Omgevingsverordening is onderstaand opgenomen.





*Figuur B1-4 Normeringskaart Verordening Water (Bron: Provincie Limburg).*

Bij de normeringskaart is in het Provinciaal Waterplan een toelichting opgenomen. In deze toelichting wordt onder andere gesteld dat langs natuurbeken een zone van 25 meter aan weerszijde van de beek geen norm wordt gehanteerd, zolang zich hier geen landbouw of stedelijk gebied bevindt dat een norm van 1:25 jaar of hoger geniet. Dit is, vanwege het detailniveau, in de normeringskaart niet opgenomen. Dit betekent dat de normeringskaart nog aangepast moet worden: daar waar een 1:10 norm geldt en zich een natuurbek bevindt, mag de norm aangepast worden naar 'geen norm'.

### B1.2.6 Overige randvoorwaarden

Naast de hiervoor omschreven randvoorwaarden die komen uit het beleidskader zijn de volgende aandachtspunten van belang:

- riooloverstort op de Horsterbeek: drempelhoogte NAP +15,00 m;
- droogleggingseisen voor de golfbaan:

Landgebruik	Optimale drooglegging (in cm-mv)	Drooglegginseis bij MA (in cm-mv)
Akkerland	100	25
Grasland	80	15
Golfbaan (tees en fairways)	100	25
Golfbaan (greens)	100	50

- kasteelgracht instroom, voeding garanderen;
- eventuele beverdammen mogen zo min mogelijk wateroverlast veroorzaken;
- riooloverstort Afferden: drempelhoogte NAP +11,60 m;
- mogelijk opheffen van de primaire status van de Bleijenbeeklossing.

### B1.3 Geschiedenis gebiedsproces

#### B1.3.1 Gebiedsproces tot aan juni 2016

Het gebiedsproces loopt al sinds de herinrichting in 2006. Vanaf dat moment loopt er een doorlopend proces omdat het functioneren van de beek ter discussie wordt gesteld. Onderstaand is een schets weergegeven van het verloop van gebiedsproces tot aan start project:

#### **Tabel B1-2. Overzicht gebiedsproces**

2006:	Werkzaamheden herinrichting gereed.
2007:	Meldingen wateroverlast.
2008:	Aanpassing profiel, zomerprofiel met 30-40 cm verdiept, peilmeetpunten geplaatst.
2010:	Overleg en evaluatie met omgeving en LLTB. Aan de hand van dit overleg wordt besloten een hydrologisch onderzoek uit te voeren en jaarlijks een omgevingsoverleg te voeren.
2011:	Hydrologisch onderzoek geeft aan dat peilen uit ontwerpplan voor herinrichting worden gehaald. Er zijn peilverlaging bij de Lackbar-Cereslossing te realiseren door bodem Eckeltsebeek bovenstrooms van de herinrichting te verlagen. Verdiepen van de hoogwatergeul heeft positief effect voor naastgelegen golfterrein. Onderzoekresultaten zijn besproken in jaarlijks overleg met de streek. Daar is besloten deze maatregelen direct uit te voeren. Ook komt er vervolgonderzoek naar de peilen voor en na herinrichting 2006.
2012:	Vervolgonderzoek wijst uit dat er fouten zijn gemaakt in de berekeningen voor het ontwerpplan. Er is van te lage ontwerppeilen uitgegaan. Dit jaar wordt ook voor het eerst de Beverdam geconstateerd in het heringerichte deel van de Eckeltsebeek, parallel aan de hoogwatergeul. Om enige afvoercapaciteit via de hoofdloop te bewerkstelligen wordt afgesproken een 'leveler' in de dam aan te leggen.
2014:	Jaarlijks overleg wordt gestopt. Meetgegevens 2008-2014 maken duidelijk dat waterstand sinds herinrichting ca. 10 cm hoger zijn nabij de instroom Horsterbeek in Eckeltsebeek.
2016:	In juni grote wateroverlast. 15 meldingen ontvangen.

### B1.3.2 Evaluatie wateroverlast juni 2016

Naar aanleiding van de wateroverlast die is opgetreden in juni 2016 als gevolg van zeer extreme neerslag heeft een evaluatie van het functioneren van de Eckeltsebeek plaatsgevonden door de LLTB en het Waterschap. De LLTB heeft daarover een rapportage opgesteld met de titel: *Wateroverlast en knelpunten – Stroomgebied Eckeltsebeek 2016*. In het rapport zijn knelpunten opgenomen en een aantal maatregelen om deze knelpunten op te lossen.

De knelpunten vallen uit een in hydraulische knelpunten (afmetingen) en onderhoudsknelpunten (aanzandingen, veel begroeiing). Daarnaast wordt in het algemeen ervaren dat de grondwaterstanden erg hoog zijn. Opgemerkt wordt dat dit niet uit de metingen blijkt.

Er is een aantal maatregelen voorgesteld:

- volledig openzetten afsluiters in duikers N271 (hydraulisch);
- maaien van winterbed (onderhoud);
- verwijderen van houtopstanden (onderhoud);
- verwijderen aanzandingen nabij duikers N271 (hydraulisch / onderhoud);
- vergroten van duikers bovenloop Eckeltsebeek, Cereslossing, Spanischer Lei (hydraulisch).

Deze maatregelen zijn allemaal uitgevoerd, met uitzondering van het vergroten van de duikers. Het vergroten van de duikers wordt meegenomen in deze gebiedspilot, waarbij de effectiviteit van de maatregel getoetst zal worden. Het verwijderen houtopstand is alleen gebeurd op eigendom van het waterschap.

### B1.3.3 Schouw 20 januari 2017

In januari 2017 heeft wederom een schouw plaatsgevonden, waarbij zowel medewerkers van het waterschap als een vertegenwoordiging van de LLTB en belanghebbende aanwezig waren. Van deze schouw is door de LLTB een verslag opgesteld. Ook hierin zijn maatregelen voorgesteld om het functioneren van de Eckeltsebeek voor de landbouw te verbeteren.

Maatregelen:

- verwijderen zandverzakking bij N271;
- plaatsen van een klep in Maasveldlossing om te voorkomen dat Maaswater binnenstroomt;
- verwijderen aanzandingen en begroeiing bij en rondom de vee-oversteek bij Spitsbrug;
- verbeteren bereikbaarheid onderhoudspaden en uitvoeren onderhoud zoals het verwijderen van houtopstanden;
- verwijderen van de begroeiing aan zonzijde van de beek en het verbeteren van de schaduwwerking aan de zuidzijde van de beek;
- verwijderen van aanzandingen bij de stuw bij de instroom in de hoogwatergeul, tevens het verlagen van de stuw;
- verbeteren gezamenlijke afvoercapaciteit van de Eckeltsebeek en de Hoogwatergeul;
- verbeteren uitstroom van de duiker in de Lakeyse Leigraaf nabij de instroom in de Eckeltsebeek. De hoogteligging van de duiker is te hoog.

Dit zijn deels dezelfde maatregelen en allen reeds uitgevoerd, behoudens de laatste twee. Deze worden meegenomen in de gebiedspilot. Ook van deze twee maatregelen zal eerst de effectiviteit worden bepaald.

Bijlage 2. Beschrijving modelinstrumentarium

## **B2.1 Sobek-model**

Het Sobek-model is zowel geactualiseerd als gekalibreerd. De aanpassingen en resultaten worden in de navolgende paragrafen beschreven

### B2.1.1 Modelaanpassingen

Alle model aanpassingen. In de navolgende paragrafen is een samenvatting opgenomen van de aanpassingen. De aanpassingen zijn doorgevoerd op basis van de verzamelde landmeetkundige gegevens.

#### *Profielen*

Alle hoofdwaterlopen, behalve de Spänischer Lei zijn opnieuw ingemeten. Voor deze waterlopen zijn de landmeetkundige gegevens vertaald naar dwarsprofielen in SOBEK, ter vervanging van de oude profielen. Daar waar geen nieuwe inmeting heeft plaatsgevonden zijn de profielen uit het basismodel opgenomen. De relatieve hoogteligging van de profielen is gecontroleerd. Er zijn geen afwijkingen gevonden.

#### *Duikers*

De duikers zijn overwegend goed opgenomen in het basismodel. Na controle tussen de modelgegevens en landmeetgegevens van 2017 bleek er een tweetal duikers niet meer te bestaan. Deze zijn verwijderd uit het model. Van een tweetal andere duikers zijn de diameters aangepast op basis van de inmeting. Tevens zijn drie nieuwe duikers toegevoegd. Tot slot zijn de duikers onder de Dorpsstraat en Rijksweg bij Afferden, in werkelijkheid twee kokers, geschematiseerd als één duiker met de gezamenlijke afmeting van de twee kokers. De weerstand in de duiker is verlaagd om te compenseren voor de extra wandwrijving die een dubbele koker heeft.

#### *Stuwen*

Er zijn tien stuwen opgenomen in het model. Er zijn geen nieuwe stuwlocaties bijgekomen of afgegaan. De actuele stuwinstelling zijn uit de stuwen-app overgenomen. Onderstaand overzicht geeft de opgenomen drempelhoogte, zomer- en winterstand van de stuwen in het model.





### *Afvoer*

Voor de stationaire afvoer is uitgegaan van het basismodel. De afvoer uit het basismodel is vergeleken met de maatgevende afvoerkaart van het Waterschap. Hieruit bleek dat de debietverdeling tussen de Horsterbeek en Eckeltsebeek niet strookte met de werkelijkheid, doordat een deel van de afvoer uit Duitsland via de Spänischer Lei niet goed was meegenomen. In overleg met de projecthydroloog is daarom de afvoer via de Spänischer Lei verhoogd. Het is echter de vraag hoe de afvoer uit Duitsland daadwerkelijk Nederland binnenkomt, omdat deze via meerdere verbindingen tussen de Spänischer Lei (Duitsland) en de Alte Spänischer of Veenerlei (Nederland) kan toestromen. Daarnaast is er de mogelijkheid om het water in Duitsland via schuiven om te leiden naar de Eckeltsebeek.

### *Peilopzet Maas*

In juli 2014 en juli 2015 is in twee fases het peil van de Maas opgezet van NAP +10,85 m naar NAP +11,10 m bij de stuw Sambeek. De Maas kent hierdoor bij lage afvoeren nauwelijks verval, waardoor de randvoorwaarde een op een is opgenomen als Maaspeil bij de monding van de Eckeltsebeek. Alleen bij hoge afvoeren op de Maas neemt het peil op de Maas toe. Voor de modellering wordt uitgegaan van een normaal Maaspeil.

### *Riooloverstorten en kasgebieden (alleen gebruikt bij dynamische berekening)*

De riooloverstorten en kasgebieden in het basismodel zijn correct opgenomen. Er zijn geen wijzigingen doorgevoerd.

### B2.1.2 Kalibratie

Het hydraulisch functioneren van het model wordt bepaald door drie elementen:

1. de afmetingen van het systeem;
2. de instelling van kunstwerken (het dagelijks beheer van de verstelbare kunstwerken);
3. de weerstand (door aanwezige begroeiing).

De afmetingen van het systeem liggen vast en zijn met de meest actuele gegevens opgenomen. Er zijn geen automatische stuwen in het gebied aanwezig, wat betekent dat de verstelbare stuwen handmatig worden bediend. In het model zijn de stuwen vastgezet op hun standaard zomer- en winterstand bij alle afvoeren. Dit betekent dat alleen de weerstand een nog vrij te kiezen parameter is, waarop gekalibreerd wordt.

### *Gegevens*

Voor de kalibratie zijn alle automatische registraties in het gebied gebruikt. De registraties zijn teruggebracht tot daggemiddelden. De ligging van de meetpunten is in onderstaande figuur weergegeven.



*Figuur B2-1. Ligging meetpunten medio 2017. Nb: De in november 2017 geplaatste debietmeetpunten zijn niet op kaart opgenomen.*

Op alle punten zijn peilregistraties beschikbaar, alleen bij het meetpunt Rijksweg wordt ook het debiet gemeten. Andere registraties van het debiet zijn niet voor handen.

Er is gebruik gemaakt van alle registraties tussen 2008 en de zomer 2014, dus van voor de peilopzet van de Maas. Redenen om van deze periode gebruik te maken zijn: 1) er wordt gebruik gemaakt van de langst mogelijke periode waarin geen hydrologische ingrepen zijn gepleegd en 2) de kalibratie is voor een groot bereik van afvoeren uit te voeren. Het eerst is nodig omdat om het effect van de weerstand op het systeemgedrag te onderzoeken, het noodzakelijk is dat andere oorzaken van veranderend gedrag buiten de meetreeks worden gehouden. Hydrologische ingrepen, zoals de peilopzet, beïnvloeden het systeemgedrag. Het laatst zit hem in het feit dat door de peilopzet van de Maas de relatie tussen het debiet en waterstand enorm is afgevlakt voor de lagere afvoeren. Het peil verandert door de Maasopzet nauwelijks meer bij variërende, lage afvoeren. De invloed van de weerstand wordt dan ook kleiner.

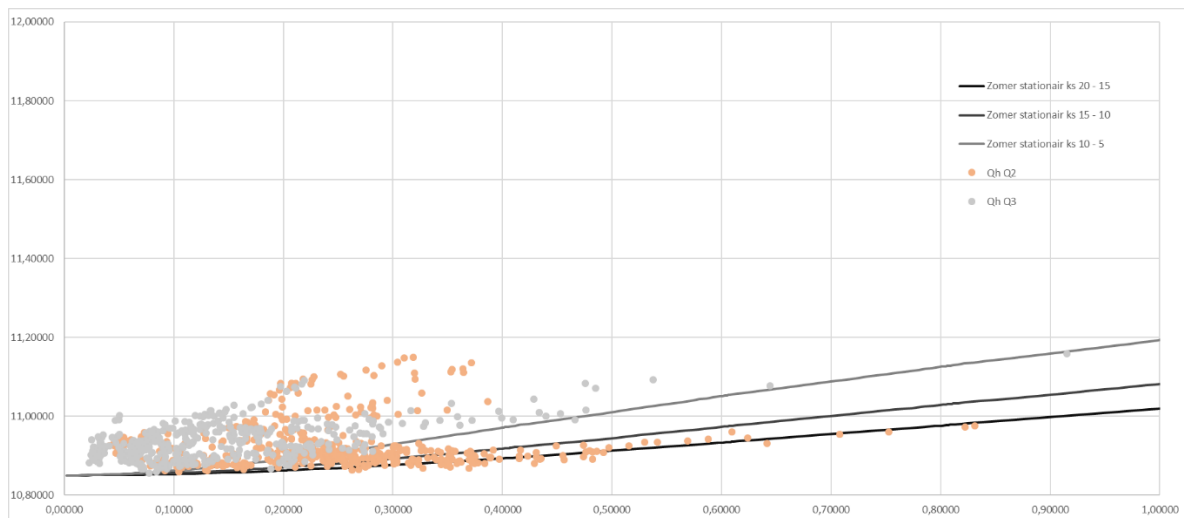
*Methodes*

Vanwege het ontbreken van meerdere locaties met een gecombineerde peil- en debietregistratie is een gedifferentieerde kalibratie van de weerstand per watergang niet mogelijk. Daarom is eerst in detail gekeken naar het effect van de weerstandsparameter in de zomer en in de winter op de meetlocatie Rijksweg. Uit deze analyse zijn de waarden voor de weerstandsparameter voor de zomer en winter gekozen.

### Resultaten

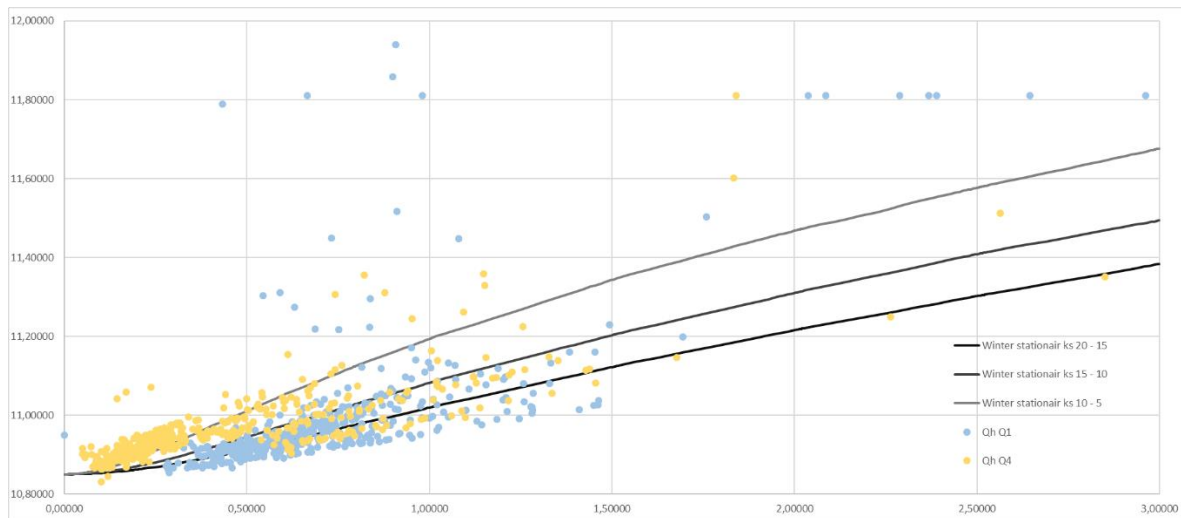
Bij het meetpunt Rijksweg is zijn de gemeten Q-h-relaties (peil bij afvoer) vergeleken met de berekende waarden in de zomer en de winter. Deze zijn in onderstaande figuren inzichtelijk gemaakt.

Voor de lagere afvoeren is in de zomer is een grote bandbreedte van het peil bij dezelfde afvoer aanwezig. De reden hiervoor is niet duidelijk. Er is goed te zien dat het systeemgedrag bij hogere afvoeren verschilt in de eerste helft van de zomer (kwartaal 2) en de tweede helft van de zomer (kwartaal 3). In kwartaal 3 worden hogere peilen gemeten. Dit komt overeen toenemende mate van begroeiing in het derde kwartaal. Voor de weerstand wordt uitgegaan van de 'worstcasesituatie', er is gekozen voor een waarde  $k_s$  van  $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  voor de hoofdwaterlopen en  $5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  voor de zijwatergangen.



Figuur B2-3. Vergelijking Q-h-relatie in SOBEK voor diverse weerstanden (lijnen) met de meetgegevens van de Rijksweg voor kwartaal 2 (oranje punten) en kwartaal 3 (grijze punten)

Voor de winter is op eenzelfde wijze de metingen de vergelijking gemaakt. De Q-h-relatie in de metingen is veel eenduidiger dan in de zomer, zoals te zien is in onderstaande figuur. Voor de weerstand is hier gekozen voor de onderste lijn, een waarde voor  $k_s$  van  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  voor de hoofdwaterlopen en  $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  voor de zijwatergangen. Daarnaast vallen in deze figuur de zeer hoge peilmetingen op. Deze zijn gerelateerd aan hoogwaters op de Maas.

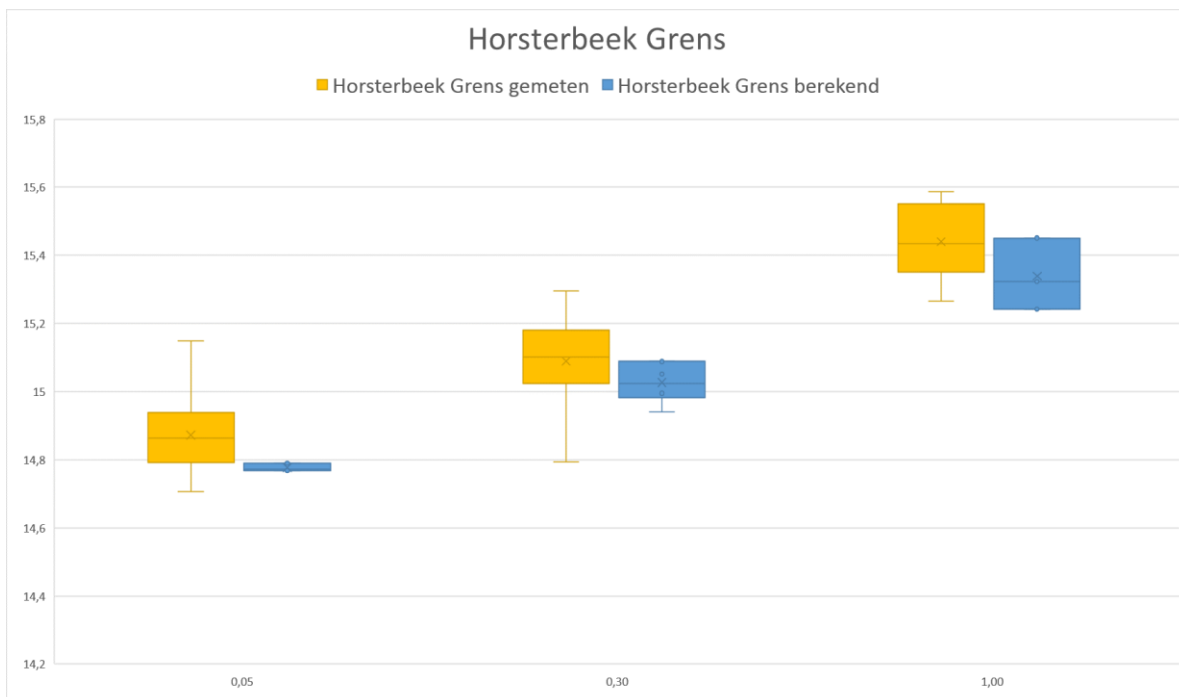


Figuur B2-4. Vergelijking Q-h-relatie in SOBEK voor diverse weerstanden (lijnen) met de meetgegevens van de Rijksweg voor kwartaal 4 (blauwe punten) en kwartaal 1 (gele punten)

### B2.1.3 Plausibiliteit

Omdat de kalibratie alleen is uitgevoerd op het meetpunt bij de Rijksweg is ook gekeken naar de uitkomsten van het model bij de andere meetpunten. Daarom zijn uit de dag-gemiddelde debietregistraties van de Rijksweg de dagen geselecteerd waarop respectievelijk ongeveer 5, 30 en 100 procent van de maatgevende afvoer (0,05 en 0,30 en 1,00 MA) is gemeten. Op deze zelfde dagen is het peil van de overige meetpunten vergeleken met het berekende peil bij deze afvoeren. Hierbij wordt de aanname gedaan dat op het moment dat bij de Rijksweg een bepaald percentage van de maatgevende afvoer wordt gemeten, ditzelfde percentage van de maatgevende afvoer ook optreedt bij de andere meetpunten. Anders gezegd: de afvoer in het gebied is homogeen verdeeld.

In onderstaande figuur is de vergelijking voor meetpunt Horsterbeek Grens weergegeven. In de gele box plots zijn de variaties van de peilmetingen te zien bij 0,05, 0,30 en 1,00 MA. In blauw is de variatie van de berekende waarden uit het SOBEK-model voor alle combinaties van weerstand en seizoen te zien. De hoogste berekende peilen met het model horen bij de combinatie zomer met grootste weerstand, de laagst berekende peilen bij een winterse situatie met lage weerstand.



Figuur B2-5. Vergelijking van de gemeten waterstanden en berekende waterstanden in SOBEK bij 3 afvoeren voor het meetpunt Horsterbeek Grens.

De peilen van de zomerse situatie komen goed overeen met de gemiddelde peilmeting bij de betreffende afvoer. Hier presteert de gekozen combinatie van weerstand dus goed. In een winterse situatie met een lage weerstand wordt het peil onderschat. De mate van afwijking neemt toe naar mate de afvoer groter wordt. Op eenzelfde wijze zijn de overige punten vergeleken. Het beeld dat daaruit naar voren komt is dat de range van de berekende peilen met het model vrij aardig klopt, waarbij met name de zomerse situatie met de hoogste weerstand goed overeenkomt. Alleen bij het meetpunt Lakeyse Leigraaf komt het model te laag uit. Het verder verhogen van de weerstand biedt hier geen soelaas, omdat de peilen bij de andere meetpunten dan (veel) te hoog worden.

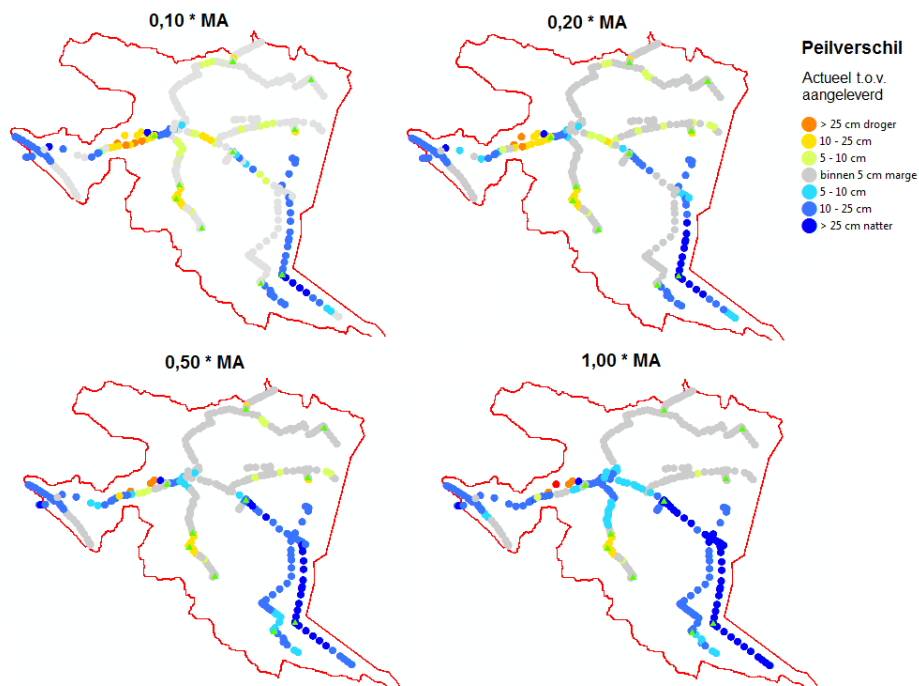
#### B2.1.4 Geactualiseerd stationair model

Het gekalibreerde model is vervolgens doorgerekend voor de situatie na de peilopzet van de Maas. Het effect op de oppervlaktewaterpeilen hiervan is met name te zien bij de Maasmonding, waar de peilen (logischerwijs) dan ook hoger zijn geworden. Dit effect is in het oppervlaktewater nagenoeg uitgewerkt bij het einde van de Hoogwatergeul. Ten opzichte van het basismodel zijn de volgende elementen veranderd:

- de peilopzet in de Maas;
- vernieuwde profielen en duikers;
- aanwezigheid beverdam;
- vergroting van de inloop vanuit Duitsland in de Spänischer Lei;
- aangepaste stuwstanden.

Dit leidt in het gehele stroomgebied tot een verschil in berekende peilen, hoofdzakelijk hoger dan eerst. Een vergelijking tussen het basismodel en het volledig geactualiseerde model maakt inzichtelijk waar de verschillen optreden en is te zien in onderstaande figuur.





Figuur B2-6. Vergelijking van de berekende peilen van het basismodel met geactualiseerd model, voor diverse afvoeren.

### B2.1.5 Dynamisch model

Nadat met het stationaire model goede resultaten zijn verkregen, zijn de dynamische componenten in het model gebracht. De dynamische componenten zijn de snelle afvoercomponenten als gevolg van hevige neerslag op verharde gebieden (riolering) en kassengebieden. In het gebied zijn drie riooloverstortlocaties en vier kassen gelegen.

De afvoer van de verharde gebieden is geschematiseerd met een lateraal debiet ter plaatse van de riooloverstort. Voor iedere herhalingstijd van de NBW-toets (10, 25, 50 en 100 jaar) is een berekende afvoergolf beschikbaar. De afvoer is uit de gegevens van het aangeleverde model overgenomen. Daartoe is geverifieerd dat de kenmerken van de riolingsgebieden niet zijn veranderd.

De kasgebieden zijn eveneens als een lateraal debiet overgenomen. De afvoer van deze gebieden is door het model zelf berekend op basis van neerslag en afvoerend areaal (rationele methode). Omdat de kasgebieden erg klein en relatief oud zijn, is met een beperkte hoeveelheid berging (4 mm/dag) rekening gehouden. Er wordt vanuit gegaan dat gedurende een extreme (zomerse) bui de gietwaterbassins hoegenaamd vol zitten. Tot slot is het 2D maaiveldgrid en bijbehorend weerstandsgrid toegevoegd aan de schematisatie. Deze zijn eveneens uit het aangeleverde model overgenomen.

### B2.1.6 Resultaten stationaire toetsing hydraulische condities

#### *Waterdiepte*

De waterdiepte in zowel de Eckeltsebeek als de Horsterbeek bevindt zich bij 0,30 MA vrijwel overall tussen de streefwaarden voor de waterdiepte. Alleen bij de Maasmonding en de beneden-middenloop (trajecten 1 en 2A) is de beek te diep. Hier speelt in belangrijke mate mee dat het peil van de Maas met 25 cm is opgezet. Hierdoor is in de benedenloop, met name bij lagere afvoeren al een ruime waterdiepte aanwezig. Van nature ontstaat daarom ook de neiging tot aanzanding in de benedenloop. In de benedenloop van de beek is frequent onderhoud of een aanpassing aan de beek noodzakelijk om aanzanding te mitigeren of te voorkomen.

Bij 0,50 MA wordt in de winter op meerdere locaties (traject 1, 2C, 3B) de bovengrens van de diepte overschreden. Op een aantal plaatsen is de beek dus aan de diepe kant. In de zomer komt een afvoer van 0,50 MA veel minder vaak voor. Deze afvoer, samen met hogere stuwstanden leidt dan ook tot grotere waterdiepten.

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat uit de berekeningsresultaten de maximale diepte per ingemeten profiel wordt aangehouden. Dit is dus de diepste meting uit het gehele dwarsprofiel. De gemiddelde (of representatieve) waterdiepte is enigszins kleiner.

#### *Stroomsnelheid*

De stroomsnelheden vallen over het gehele lengteprofiel van de Eckeltsebeek en bij afvoeren tussen 0,30 en 0,50 MA binnen de marges (toets: 10-50 cm/s). Variërend langs het dwarsprofiel zijn er locaties waar de stroomsnelheid wat hoger is (in de hoogwatergeul en de bovenloop) en wat lager (langs de golfbaan en nabij de monding).

De stroomsnelheden in de Horsterbeek zitten meer aan de onderkant van marges waarop wordt getoetst (toets: 20-50 cm/s). Bij de lagere afvoeren (0,30 MA) is de stroomsnelheid te laag. De stroomsnelheden zijn gemiddeld ook wat lager dan in de Eckeltsebeek, terwijl ze volgens de normen juist wat hoger mogen zijn.

#### *Verhang*

Het verhang kent alleen een bovengrens waaraan wordt getoetst (< 1 m/km). Er zijn drie locaties waar het verhang te groot is, ook al bij de lagere afvoeren: benedenstrooms van de hoogwatergeul, in de hoogwatergeul en in de bovenloop (bij de instroom van de Horsterbeek en de Siebengewaltseweglossing). In alle gevallen is het lokale bodemverhang hier groter met als gevolg hogere stroomsnelheden en verhang. Het zijn dan ook precies delen waar de beek niet meandert. De Hoogwatergeul en de bovenloop zijn gekanaliseerd. Daarnaast zijn het ook trajecten waar het maaiveld het sterkst afloopt. De beek moet hier dan ook het grootste verval overbruggen. Naar oordeel van de ecologen is dit echter geen hard criterium en is een groter verhang geen probleem.

#### *Kunstwerken*

Voor de toetsing van de kunstwerken is geen norm vastgesteld. Wel zijn de resultaten van de berekening geanalyseerd op stroomsnelheid en verval. De analyse is uitgevoerd bij 50% van de maatgevende afvoer. De volgende constatering worden gedaan:

1. In de Lakeyse Leigraaf zijn veel duikers aanwezig. In de bovenloop is een aantal krappe duikers aanwezig die 1 tot 5 cm opstuwing geven. In de benedenloop is dit ook het geval, waar bij 3 duikers 1 tot 5 cm verval optreedt. De laatste twee duikers voor de instroom in de Eckeltsebeek kennen een nog veel groter verval: tot meer dan 10 cm.
2. De drie bruggen/duikers bij de kasteelruïne hebben ook een groter verval, hetzelfde geldt voor een aantal duikers verder bovenstrooms bij de Siebengewaltseweg. De duikers dragen bij aan het grote verval op de Eckeltsebeek traject golfbaan – Duitse grens.
3. Her en der in het gebied zijn in de bovenlopen duikers gevonden met kleine diameters (rond 300-400). Deze krappe duikers leiden waarschijnlijk niet tot knelpunten omdat het achterliggende gebied en dus afvoer klein is. Waterschap Limburg hanteert een minimale diameter van 500 mm voor nieuwe duikers.

## B2.2 CASCO-model

### B2.2.1 Beschrijving

Voor het basismodel is gebruik gemaakt van IBRAHYM v2.

#### *Grondwateraanvulling*

De grondwateraanvulling is gebaseerd op eerdere niet-stationaire berekeningen, waarbij deze gelijk is aan de jaargemiddelde neerslag (Pm) minus de berekende verdamping ( $ET_{act}$ ).

#### *Koppeling SOBEK-resultaten met IBRAHYM-grondwatermodel*

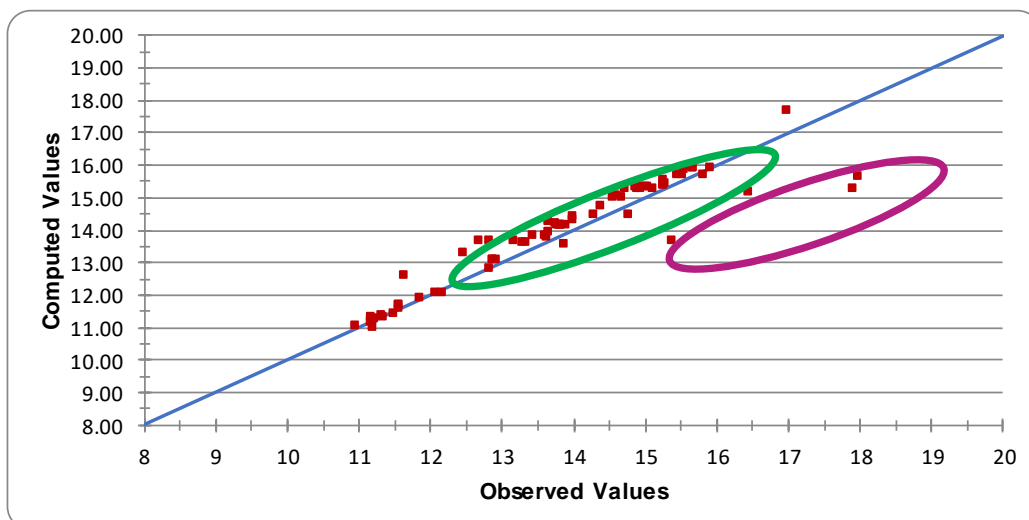
De berekende oppervlaktewaterstanden van het SOBEK-model zijn voor zowel een winter- als zomersituatie omgezet naar een invoerbestand voor IBRAHYM door het te vergriden naar de RIV-package (ImportSOBEK: ISG met de Qh-reeks -> ISG vergriden op bepaalde momenten: RIV-package). In het stationaire model wordt een gemiddeld jaar doorgerekend en daarom wordt ook een gemiddelde stand voor het beekpeil ingevoerd. Eenzelfde methodiek is gebruikt voor het bepalen van inrichtingsmaatregelen ten behoeve van de beek.

Bij het omzetten van de resultaten van SOBEK wordt eerst een gemiddeld zomerpeil en winterpeil berekend en vervolgens een jaargemiddeld peil door het gemiddelde van deze beide te nemen. Bij het bepalen van het gemiddelde zomer- en winterpeil wordt respectievelijk de 0,3 MA van het zomermodel en de 0,5 MA van het wintermodel gebruikt.

### B2.2.2 Modelplausibiliteit

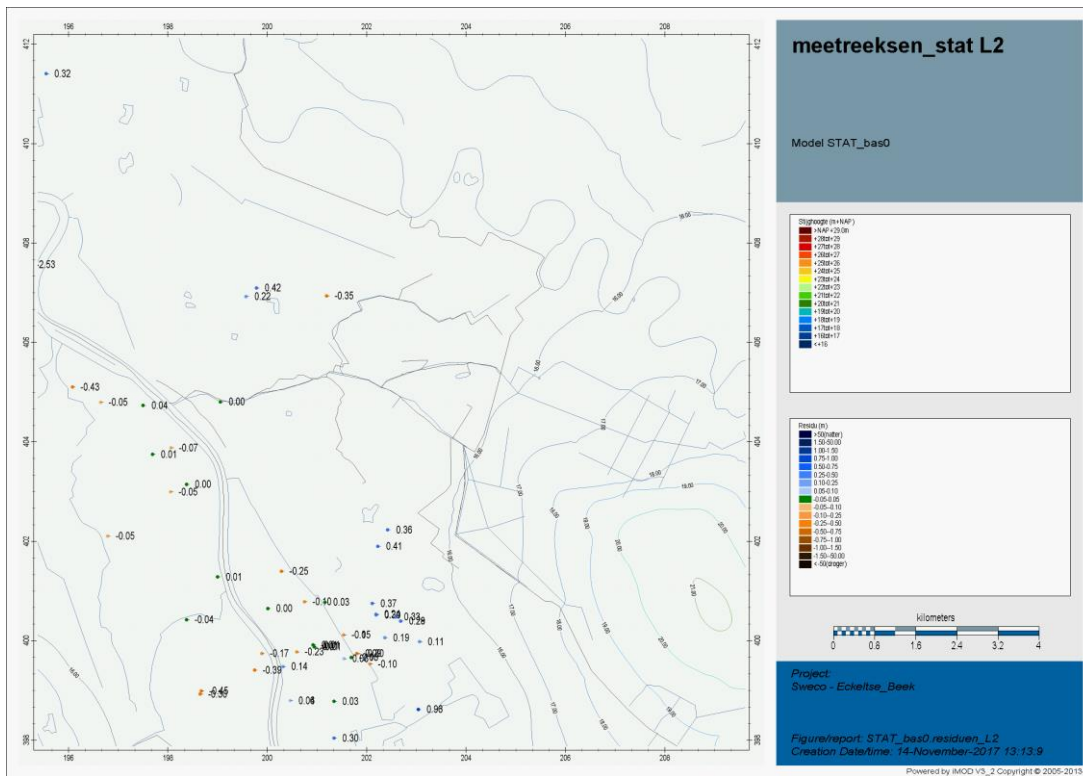
#### *Grondwaterstanden volgens model*

De resultaten van het stationaire basismodel zijn geanalyseerd, waarbij voor het modelgebied de berekende waarden in een figuur zijn uitgezet tegen de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten ( Figuur B2-7).

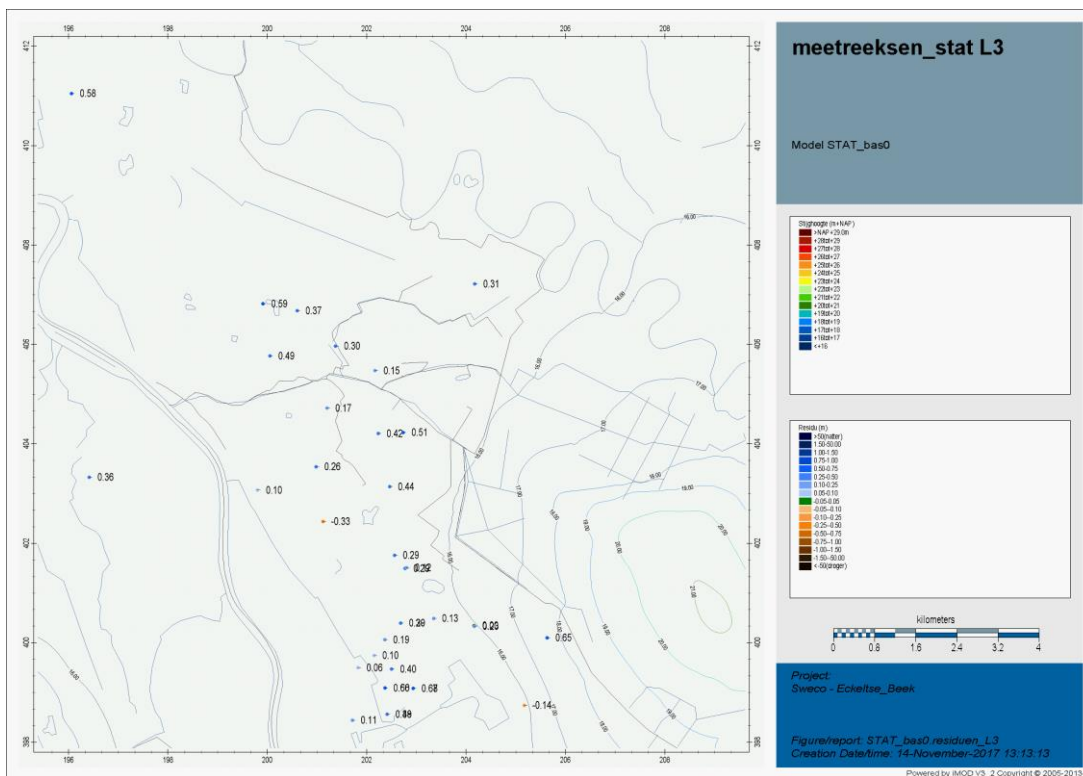


Figuur B2-7 Berekende grondwaterstanden/stijghoogten uitgezet tegen de gemeten waarden (voor alle modellagen)

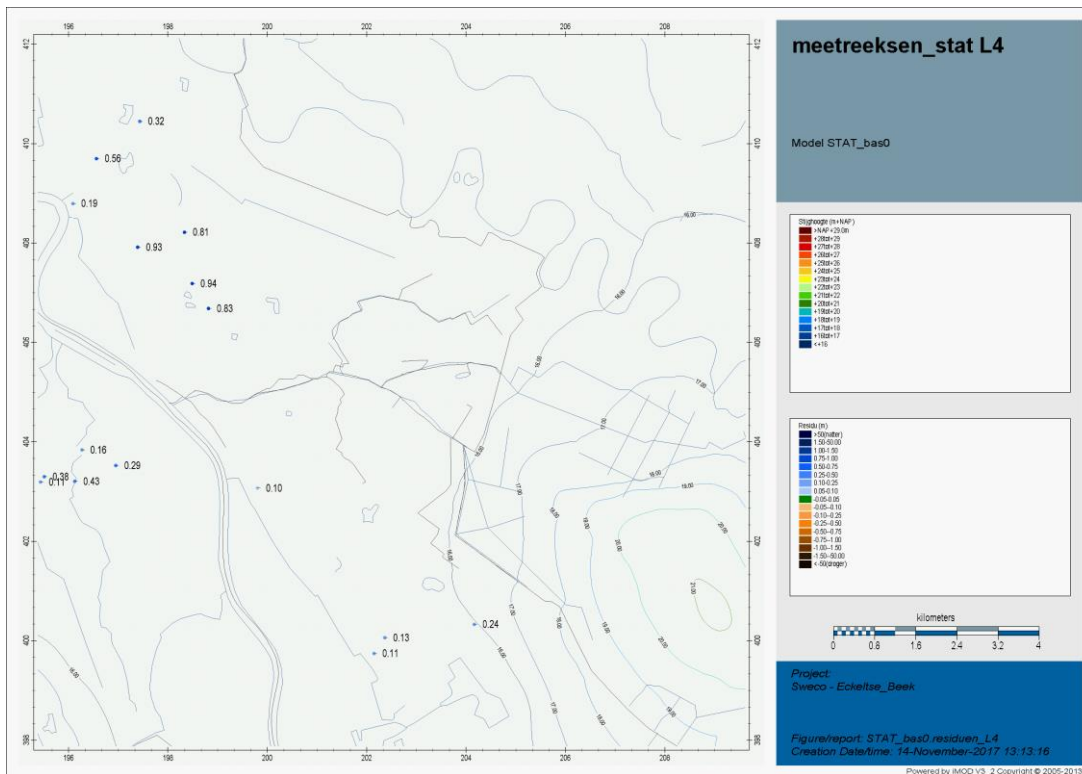




Figuur B2-9. Verschil berekende en gemeten gemiddelde grondwaterstanden voor laag 2 (voor het basismodel)



Figuur B2-10. Verschil berekende en gemeten gemiddelde grondwaterstanden voor laag 3 (voor het basismodel)



Figuur B2-11. Verskil berekende en gemeten gemiddelde grondwaterstanden voor laag 4 (voor het basismodel)

### B2.2.3 Toepassingsbereik

Het model is daarmee wel geschikt om voor een gemiddelde situatie effecten van veranderingen in het watersysteem te berekenen. Het gebruiken van de absolute waarden is niet aan te bevelen, omdat bijvoorbeeld voor de ontwateringsdiepte bij grondwaterstanden tussen 50 cm en 1 m een verschil van 20 – 40 cm aanzienlijk is en tot heel andere geschiktheidsbeoordeling van de bodem voor een bepaald grondgebruik kan leiden.

## B2.3 Integrale SIMGRO-model

### B2.3.1 Beschrijving

Op 6 december heeft een streekbijeenkomst plaatsgevonden in het kader van de gebiedspilot Eckeltsebeek. Op deze bijeenkomst is onder andere de vraag vanuit de streek gekomen om een integrale berekening uit te voeren van de situatie van juni 2016. Doel van deze berekening is:

1. toetsen van het integrale modelinstrumentarium aan een herkenbare situatie;
2. met als doel een gedragen beeld te krijgen bij effectiviteit (te bepalen met model) van eventuele maatregelen.



Het waterschap heeft in het kader van 'code oranje' het model al eens eerder een 2016-som gemaakt, waarbij de volgende punten zijn aangepast:

- Maasstanden (en evt. van het de Niers en het Nierskanaal): Effect peilopzet 2014/2015 is niet meegenomen en is ook niet cruciaal;
- meteorologische gegevens;
- onttrekkingen;
- oppervlaktewaterpeilen (niet Maas, Niers en Nierskanaal);
- randvoorwaarden grondwater modelrand;
- randvoorwaarden oppervlaktewater modelrand  
De invoer vanuit Duitsland is toen voor twee meetpunten in het Nederlandse deel (en niet op de rand) geanalyseerd, waarna een inloop vanuit Duitsland is bepaald;
- uitvoermomenten resultaten tiop\_sim.inp.

In de door het waterschap al doorgerekende som voor code oranje zat niet alle informatie die we nu wel hebben (verstopte duiker, onderhoudstoestand watergangen) en was de instroom uit Duitsland onzeker. De onderhoudstoestand is in SOBEK aangepast, de dichte schuif in de duiker is goed in SOBEK door te voeren. Dat levert al een verbetering op in de benadering van de waterstanden (of qH-relaties). De instroom uit Duitsland is en blijft onzeker, maar daar is een onderbouwde aanname voor afgeleid.

Voor de scenario berekeningen zijn de voorgestelde of bedachte maatregelen eerst met separate modellen verkend. De maatregelen voeren we door in SOBEK en bepalen met het SOBEK-model per maatregel een effect op de oppervlaktewaterstand. Vervolgens is een maatregelpakket opgesteld en dat eenmalig integraal is doorgerekend.

### B2.3.2 Validatie

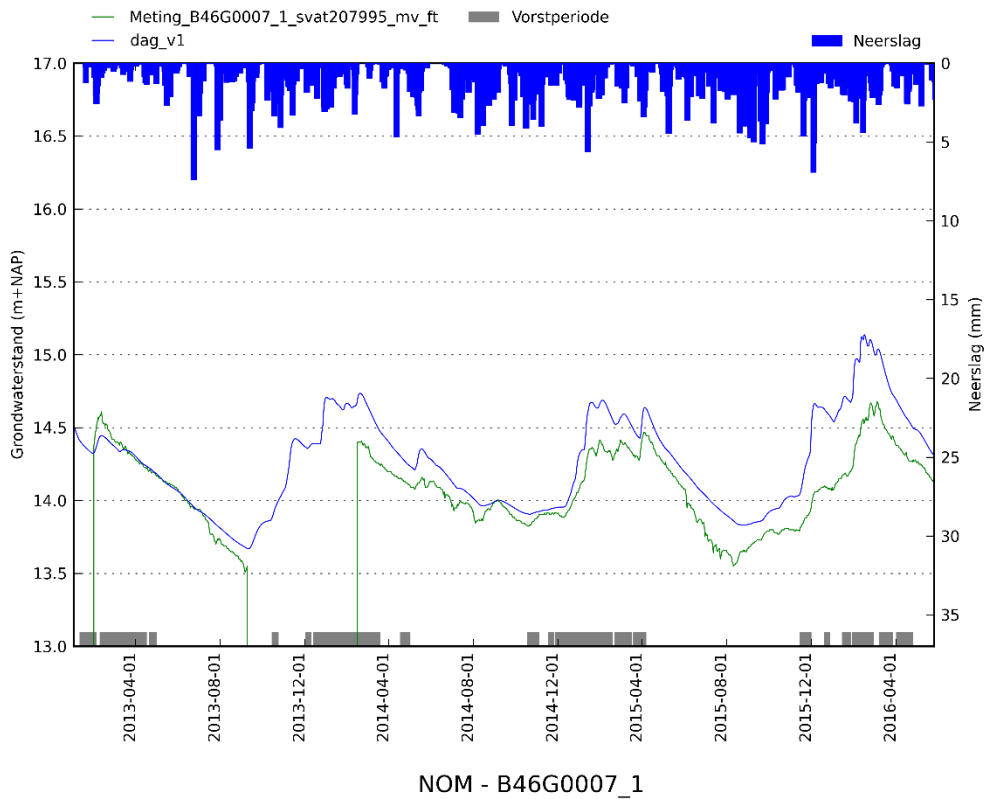
Op voorhand is een aantal belangrijke kanttekeningen te plaatsen:

- De inloop vanuit het Duitse gebied is erg onzeker. De inloop is niet bemeten en het Duitse grondgebied is niet in het model opgenomen, zodat daar geen afvoer wordt berekend. De invloed van de inloop op de uitkomsten van het model is groot. In bijlage 6 is een analyse uitgevoerd en een inschatting gemaakt van de grootte van deze inloop.
- Door de streek is aangegeven dat de hoogwaterschuiven van de duikers onder de Rijksweg (nabij monding) een knelpunt hebben veroorzaakt. Een van de schuiven stond half dicht (wat bij normale afvoeren ook geen enkel probleem is), en kon zeer moeilijk worden verzet, omdat de boel vastgeroest zat.
- Verder gaf het waterschap aan dat de figuren met de berekende inundatie (code oranje berekening) en de inundaties vanuit de luchtfoto's veel van elkaar verschillen. LLTB (of de agrariërs) hebben weer een ander beeld van de inundaties (zij hebben ook een rapportage opgesteld met beelden van de inundaties).

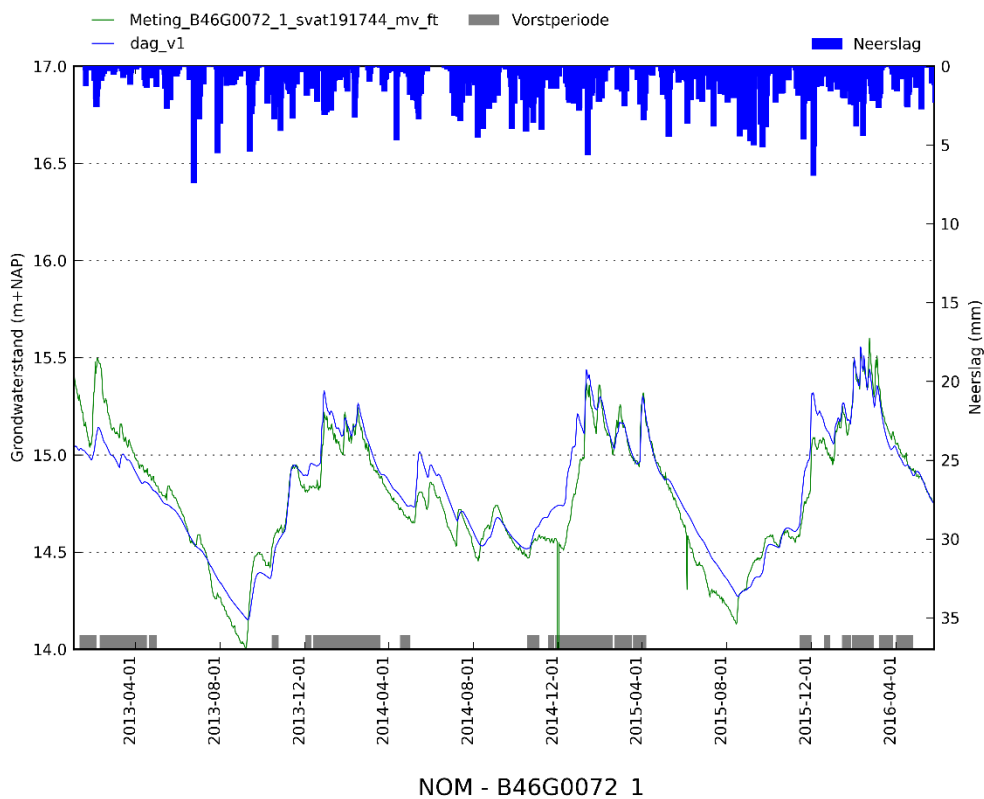
De bovenstaande onzekerheden kunnen met een modellering niet geheel ondervangen worden.

### *Grondwaterstanden*

In de figuren B1 en B2 zijn twee peilfilters weergegeven van de gesimuleerde grondwaterstanden van het dagmodel. De simulaties komen mooi overeen met de metingen.



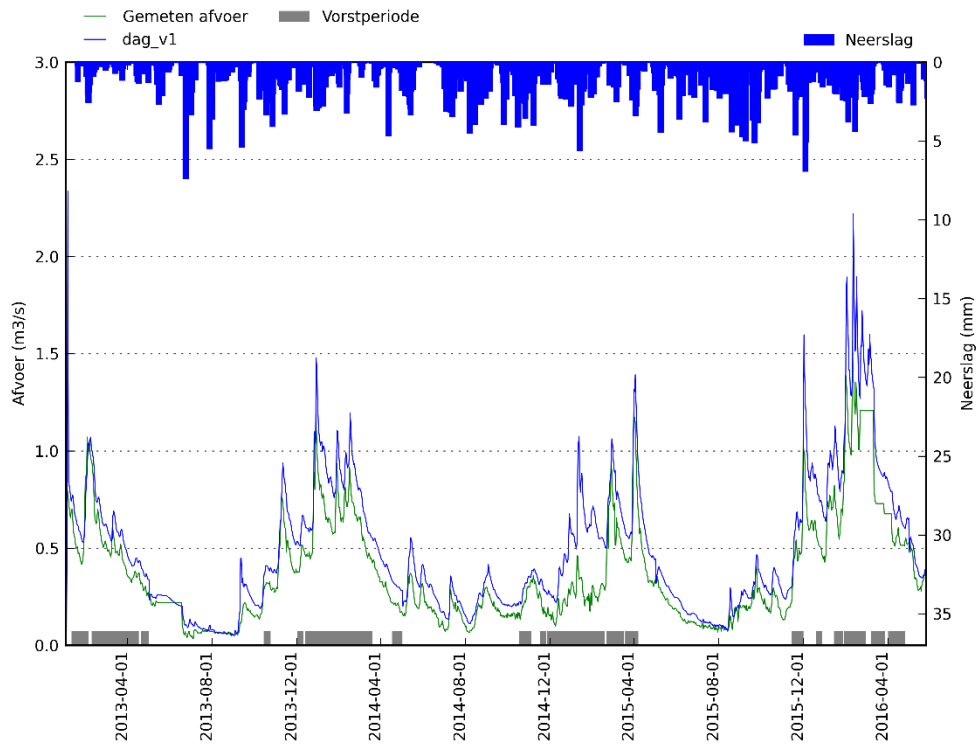
*Figuur B2.12 Gemeten en gesimuleerde grondwaterstand (nabij benedenloop Lakeyse Leigraaf)*



*Figuur B2.13 Gemeten en gesimuleerde grondwaterstand (nabij Siebengewald)*

### Afvoer

Ook de afvoer is goed herkenbaar. De gesimuleerde afvoer is gemiddeld circa 30% hoger dan de gemeten afvoer. Natuurlijk zit in de afvoermeting ook een behoorlijke fout.



NOM - Eckeltsebeek\_Rijksweg\_OECKE02

Figuur B2.14. Gemeten en SIMGRO-gesimuleerde afvoer (Rijksweg)

### B1.3.3 Toepassingsbereik

Waterschap Limburg zet het integrale model geregeld in voor het bepalen van de inloop van het SOBEK-model. De inundaties worden vervolgens bepaald met SOBEK-2D. Het IBRAHYM-model wordt gewoonlijk gebruikt om de grondwaterstanden te evalueren als gevolg van ingrepen en eveneens ten tijde van extreme neerslaggebeurtenissen. In deze studie wordt het integrale model gebruikt voor 1) het bepalen van de SOBEK-inloop voor de huidige situatie en voor één maatregelpakket voor de situatie juni 2016 en 2) de effecten op het grondwatersysteem tijdens de situatie juni 2016.

Bijlage 3. Kaart stroomgebied inclusief Duitsland

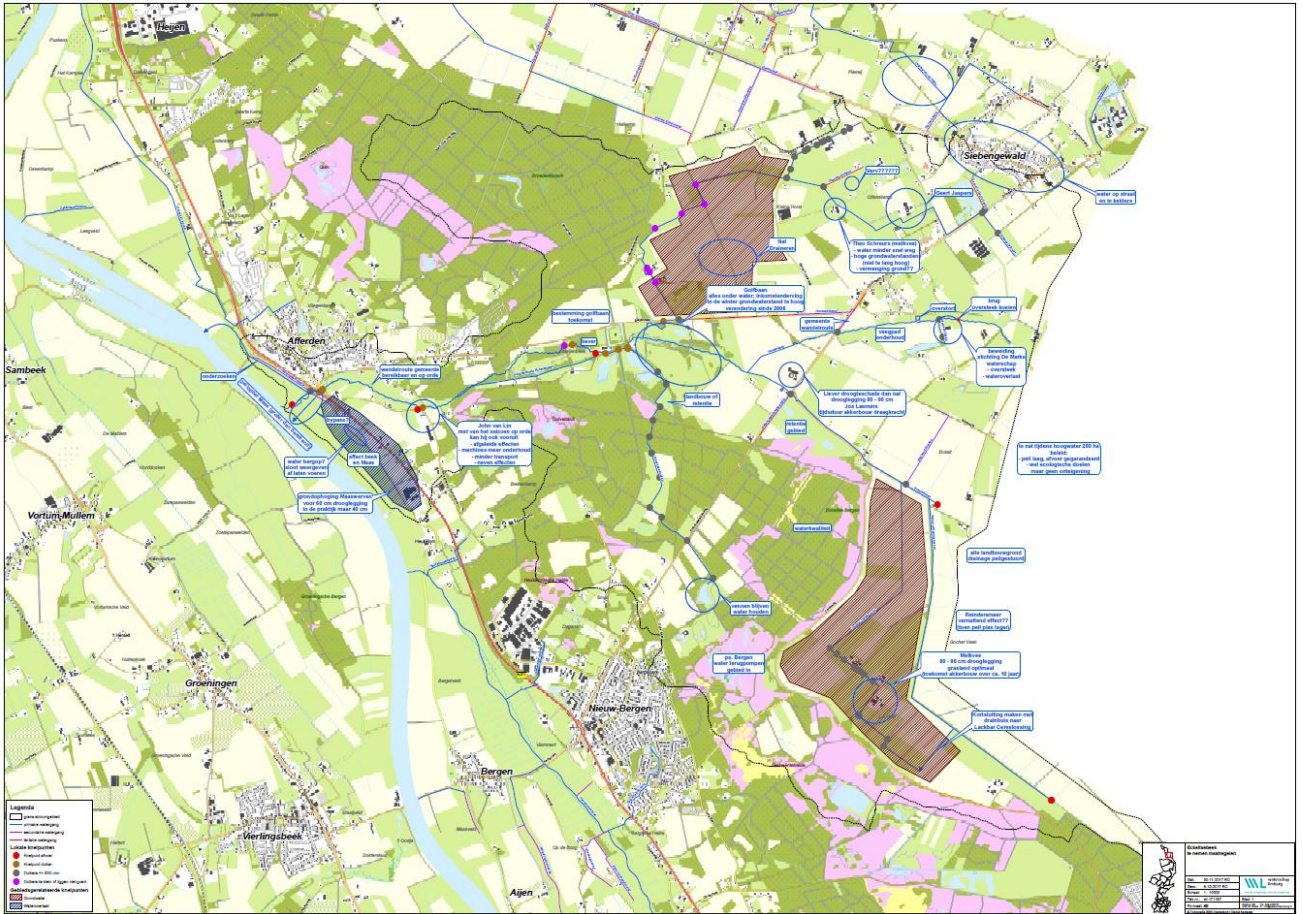


*Figuur B3-1. Kaart stroomgebied Eckelksebeek inclusief Duitsland.*

Deze kaart is ook digitaal beschikbaar op een groot formaat.

Bijlage 4. Knelpuntenkaart streek



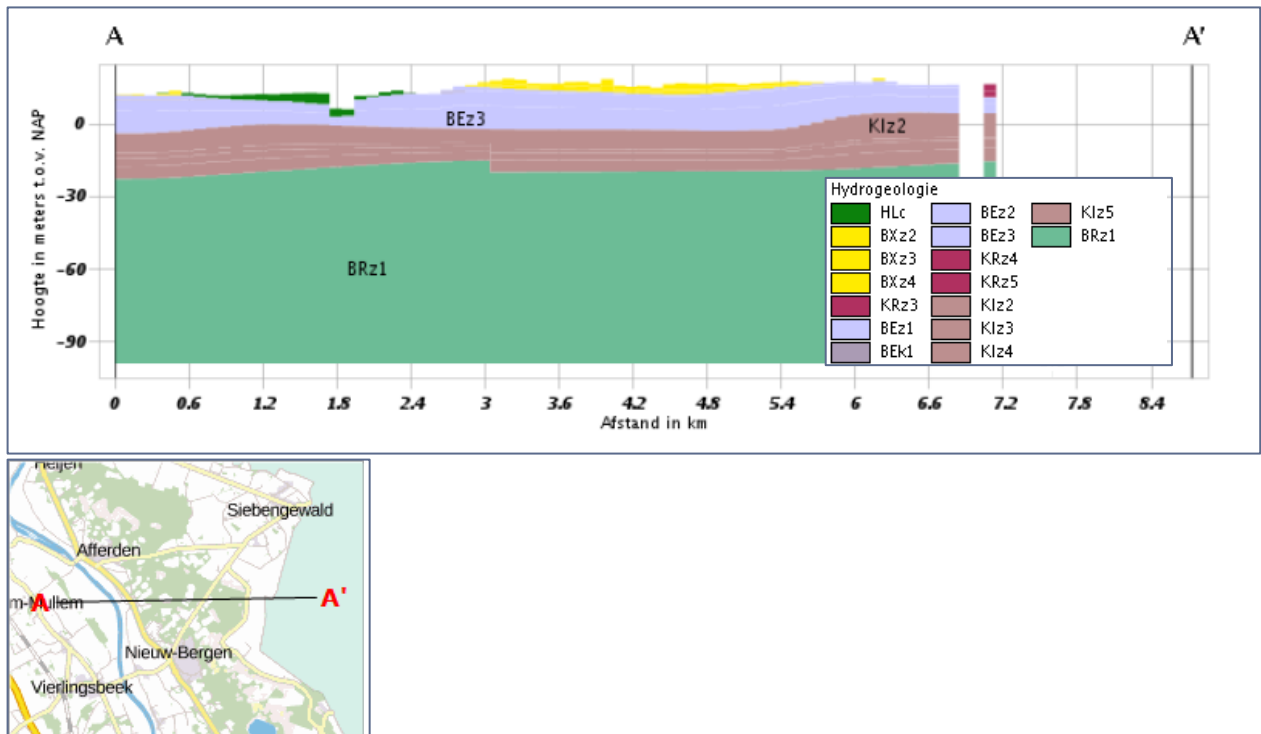


Figuur B4-1. Knelpuntenkaart

Deze kaart is ook digitaal beschikbaar op een groot formaat.

Bijlage 5. Schematisatie bodemopbouw

De bodemopbouw is uit REGIS overgenomen. In de volgende figuur zijn de verschillende formaties weergegeven:



Figuur B5-2. Doorsnede hydrogeologie volgens REGIS2

- Holocene afzettingen (groen): complexe samenstelling bestaande uit:
  - Zavel en klei.
- Formatie van Boxtel (geel): veelal eolische afzettingen bestaande veelal uit:
  - Zand, matig fijn tot matig grof (150-300  $\mu\text{m}$ ), zwak siltig, lichtgeel tot donkerbruin, kalkloos tot kalkhoudend.
  - Zand, sterk siltig, zeer fijn tot matig fijn (105-210  $\mu\text{m}$ ), lichtgeel tot lichtgrijs, kalkloos tot sterk kalkhoudend.
  - Leem, zwak tot sterk zandig, soms kleiig, soms humeus, grijsbruin tot donkergrijs, kalkloos tot sterk kalkhoudend.
- Formatie van Beegden (paars): rivierafzettingen bestaande veelal uit:
  - Zand, matig grof tot uiterst grof (210 - 2000  $\mu\text{m}$ ), zwak tot sterk grindig, overwegend kalkloos, grijs en blauwgrijs.
- Kiezeloöliet Formatie (bruin): fluviale en in kustvlaktes afgezette sedimenten veelal bestaande uit:
  - Zand, uiterst fijn tot uiterst grof (63 - 2000  $\mu\text{m}$ ), kalkloos tot kalkarm, wit en bruingrijs.
- Formatie van Breda (groen): complexe opeenvolging van ondiep mariene en in de kustzone gevormde afzettingen veelal bestaande uit:
  - Zand, zeer fijn tot matig fijn (105 - 210  $\mu\text{m}$ ), siltig, grijsgroen tot zwartgroen, glauconiet- en kalkhoudend.
  - Klei, sterk zandig tot matig siltig.

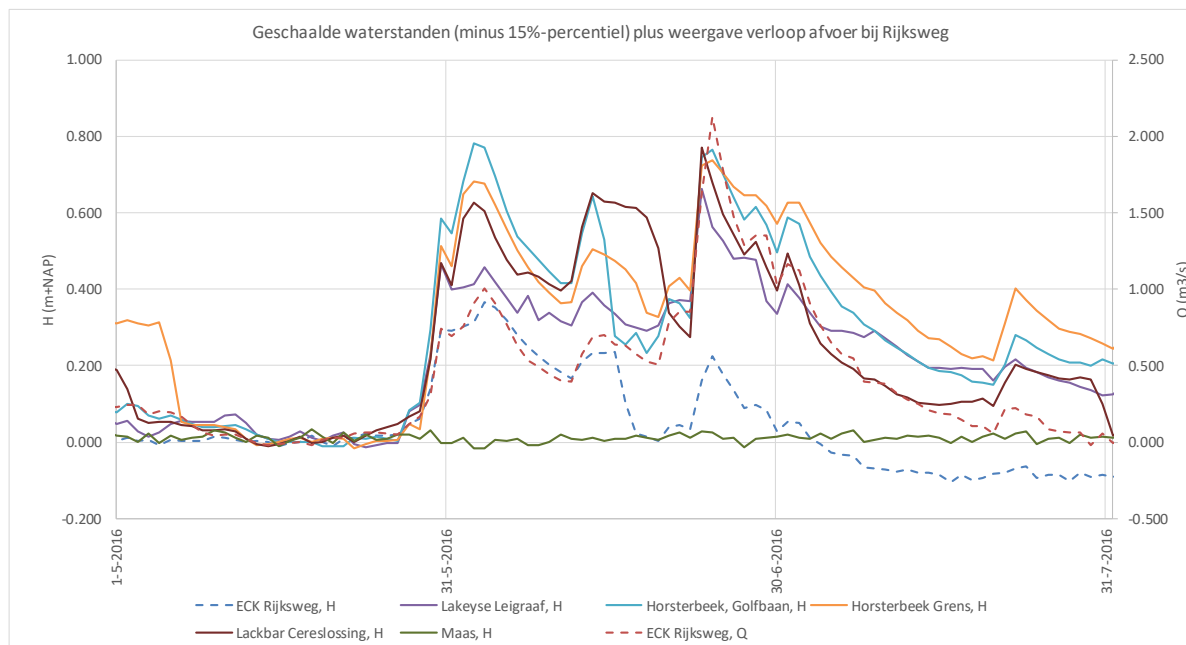
Bijlage 6. Analyse waterstanden en afvoer juni 2016

## B6.1 Achtergrond

Bij de oppervlaktewatermodellering wordt het Duitse oppervlaktewatersysteem niet gesimuleerd. Dit betekent dat een inloop vanuit Duitsland aan het model opgelegd moet worden. Bij aanvang van het project (medio 2017) was de enige gemeten afvoer de meting in de Eckeltsebeek bij de rijksweg. Om de afvoer vanuit Duitsland zo goed mogelijk aan het model op te leggen is een analyse gedaan naar het peil- en afvoerloop in het stroomgebied en vergeleken met andere naastgelegen meetpunten van de afvoer vanuit Duitsland, de Niers.

## B6.2 Metingen Eckeltsebeek

Figuur B5-1 is een bewerking van de gemeten waterstanden en afvoeren voor de periode mei tot en met juli 2016. De waterstanden zijn geschaald zo dat eind mei 2016 de waterstanden op hetzelfde niveau beginnen<sup>3</sup>.



Figuur B6-1 Gemeten oppervlaktewaterstanden geschaald (zodat de waterstanden op dezelfde hoogte beginnen eind mei 2016) plus weergave verloop afvoer bij Rijksweg

Het volgende valt hieruit af te lezen:

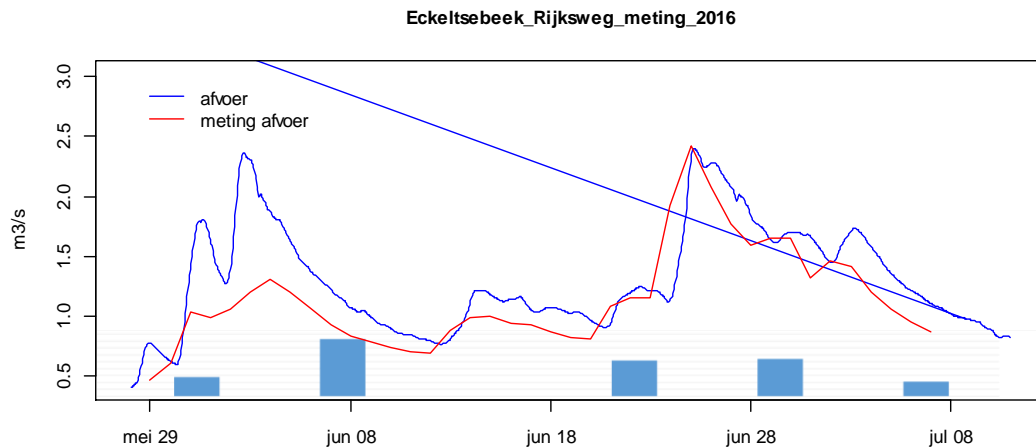
- Het Maaspeil (groen) is heel constant.
- De Horsterbeek (grens en golfbaan), Lackbar-Cerslossing, Lackeyse Leigraaf tonen alle een stijging van de waterstanden van 70 à 80 cm. Zowel begin als eind juni 2016 treedt deze stijging op.
- Bij de Rijksweg reageert de beek anders (gestippelde lijnen voor Q en H). Daar is de peilstijging begin juni het grootst en is eind juni veel beperkter. Dit heeft te maken met de maatregelen die toen zijn genomen: maaien watergang in uitwaarden, openzetten schuif bij de Rijksweg. Het gemeten debiet bij de Rijksweg vertoont juist eind juni de hoogste piek: ook dit is waarschijnlijk deels een gevolg van het maaien en het verlagen van stuwpeilen bovenstrooms en het verzadigd zijn van de bodem, waardoor de tweede piek veel hoger is.

Zoals uit het bovenstaande blijkt is het gemeten peil van de Eckeltsebeek bij de Rijksweg sterk beïnvloed door de schoonmaakwerkzaamheden en de stuwinstellingen. Verder liggen de metingen dicht bij elkaar: het systeem reageert overal nagenoeg hetzelfde.

<sup>3</sup> De waterstandsreeksen zijn geschaald door van de gemeten waterstanden het 15%-percentiel van de waterstanden in mei 2016 af te trekken.

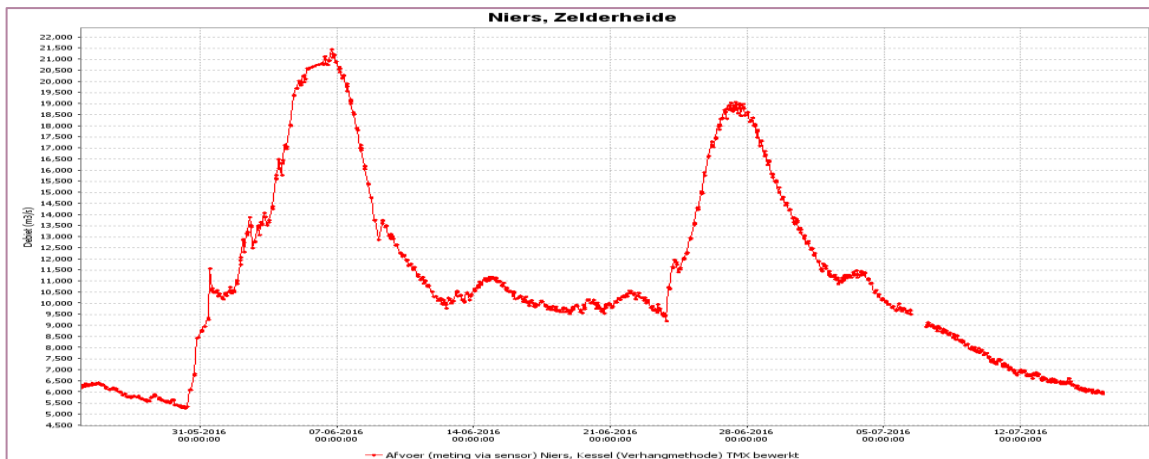
### B6.3 Vergelijking met andere bronnen

In Figuur B5-2 zijn de gemeten en berekende afvoer (SIMGRO-model) in de Eckeltsebeek gegeven. Ook hier zijn in de berekeningen duidelijk twee pieken te zien. De afvoerpieken volgen het verloop van de neerslag in die periode (blauwe balkjes geven de neerslag per week weer).



Figuur B6-2. Gemeten en gesimuleerde afvoer in de Eckeltsebeek aan de Rijksweg met het niet-stationaire model

De berekende en gemeten afvoeren voor het stroomgebied Eckeltsebeek komen ook overeen met het verloop van de afvoer op de Niers. Het stroomgebied van de Niers ligt direct ten noordoosten van de Eckeltsebeek. Het afvoerverloop is weergegeven in figuur B5-3.



Figuur B6-3. Gemeten afvoer in de Niers (bij instroompunt Nederland)



**B6.4 Conclusie**

Uit het voorgaande wordt geconcludeerd dat vanuit alle beschikbare bronnen hetzelfde afvoerverloop naar voren komt. Voor de onbekende inloop vanuit het Duitse deel van het stroomgebied wordt voor de modelberekeningen van juni 2016 ditzelfde verloop aangehouden. De grootte van de inloop wordt geschaald zodat de totale berekende afvoer bij de Rijksweg overeenkomt met de gemeten afvoer.

Bijlage 7. Toelichting bij groslijst maatregelen

## B7.1 Groslijst

Lijst met maatregelen als resultaat van een brainstormsessie. Vooraf heeft geen toetsing plaatsgevonden of de maatregel daadwerkelijk effectief is. Daarna is een inschatting gemaakt of de maatregel bijdraagt aan het oplossen van de NBW / WB21 knelpunten.

Tabel B7-1. Groslijst maatregelen.

Maatregel	Knelpunt 1	Knelpunt 2	Knelpunt 3
<b>A Fysieke maatregelen watersysteem</b>			
A1 Verruimen zomerprofiel Eckeltsebeek	✓	✗	✗
A2 Verruimen winterprofiel	✓	✗	✗
A3 Aanpak van kunstwerken	✓	✓	✗
A4 Aanpassen profiel Hoogwatergeul	✗	✗	✗
A5 Aanleg bypass Cereslossing (verkorten afvoerroute)	✓	✗	✗
A6 Aanleg bergingsgebied "Ceres"	✓	✗	✗
A7 Shortcut Cereslossing – Maas	✓	✗	✗
A8 Aanleggen bypass Stuw Sambeek	✗	✗	✓
<b>B Fysieke maatregelen stroomgebied</b>			
B1 Aanleg peilgestuurde drainage	✓	✓	✓
B2 Bol leggen percelen	✓	✓	✓
B3 Saneren kassen / Vergroten berging kassen	✗	✓	✗
B4 Aanpak riooloverstorten	✗	✓	✗
<b>C Periodiek onderhoud "APK"</b>			
C1 Constructief onderhoud	✓	✓	✗
C2 Aangepaste maaicyclus / dynamisch maaibeheer	✓	✓	✗
<b>D Proces</b>			
D1 Monitoring inloop uit Duitsland: mogelijkheid afspraken maken met Wasser- und Bodenverband Baaler Bruch.	✓	✓	✗
D2 Stimuleren teelten van gewassen met hoge verdamping	✓	✓	✗
D3 Ontmoedigen van containerteeltvelden	✓	✓	✗
D4 Tijdelijk verlagen Maaswaterstanden	✗	✗	✓

## B7.2 Toelichting op de groslijst

### B7.2.1 Fysieke maatregelen beekstelsysteem

- A1 Verruimen zomerprofiel: Verdiepen van het zomerprofiel door het uitdiepen / baggeren van het zomerbed. Hiermee kunnen de waterstanden bovenstrooms in het stroomgebied bijna één op één verlaagd worden.
- A2 Verruimen winterprofiel: Aanpak van het winterbed. Winterbed verbreden en verdiepen. Hiermee wordt meer berging en doorstroming in het beekstelsysteem aangebracht. Heeft met name bij hogere afvoeren effect.
- A3 Aanpak van kunstwerken: vooral nu krap ontworpen kunstwerken (stuwen, gemalen, duikers) kunnen bij vergroting de afvoercapaciteit van de beek vergroten. Om verdroging te bestrijden kunnen uiteraard ook extra stuwen (met voldoende afvoercapaciteit) geplaatst worden.
- A4 Aanpassen profiel Hoogwatergeul: De hoogwatergeul is niet ontworpen op de volledige afvoer van de Eckeltsebeek. De volledige afvoer moet nu wel via de hoogwatergeul omdat de beverdam in de hoofdgeul nagenoeg alle afvoercapaciteit wegneemt.
- A5 Aanleg bypass Cereslossing (verkorten afvoerroute): Het verkorten van de afvoerroute en vergroten van de afvoercapaciteit vanaf de Cereslossing naar de Eckeltsebeek. Dit is een variant van de hoogwatergeul.
- A6 Aanleg bergingsgebied 'Ceres': Het realiseren van een bergingsgebied in het bovenstroomse deel van het stroomgebied. De locatie zal nog onderzocht moeten worden. Effectiviteit hangt sterk af van de afvoeren vanuit Duitsland: zijn deze erg hoog, dan is de berging (te) snel vol.
- A7 Shortcut Cereslossing – Maas: Het verbinden van de Cereslossing, door de Maasduinen met het stroomgebied ten zuidwesten. Hiermee kan een robuustere afwatering van landbouwgebied rond de Cereslossing worden gerealiseerd. Waarschijnlijk kosten intensief en moeilijk te realiseren.
- A8 Aanleggen bypass Stuw Sambeek: Het verbinden van de Maaslossing met de Maas benedenstrooms van de stuw Sambeek. Dit geeft een groter beschikbaar verval ten tijde van hoog water op de Maas en bij hoge afvoeren op de Eckeltsebeek. Hiermee kan langdurige wateroverlast tijdens extreem weer worden verkort.
- A9 Verlagen Maaswaterstanden: Dit is een theoretische discussie omdat recent de Maaspeilen ter hoogte van de Eckeltsebeek zijn verhoogd. Dit kan meer worden gezien als een impact benadering van de verhoging van de Maasstanden. De opgaven zitten ook hoger in het stroomgebied, waar de Maasstanden weinig invloed meer hebben.

### B7.2.2 Maatregelen in het stroomgebied

- B1 Aanleg peilgestuurde drainage: uitbreiding van het areaal buisdrainage leidt tot vergroting van de berging in de bodem. Anderzijds kan de drainageweerstand wel weer verlaagd worden wat weer tot vergroting / versnelling van de afvoeren kan leiden. De vraag is dan onder welke omstandigheden netto de afvoer vergroot dan wel verlaagd wordt. Hierbij speelt de ingestelde drainageniveau een belangrijke rol.
- B2 Bol leggen percelen: dit versnelt de afvoer over maaiveld nadat een inundatie is opgetreden. Dit is vooral een bestrijding van lokale (grond)wateroverlast. Dit lost geen NBW-opgave op. Het maakt landbouwpercelen minder kwetsbaar voor schade.
- B3 Saneren kassen of vergroten berging bij kassen: Analyse van de huidige modelberekeningen toont aan dat de gebieden met inundaties voor een deel liggen bij en veroorzaakt worden door kassen. Het gaat dan om de piekafvoeren in 's zomerse situaties. Het areaal kassen is niet erg groot. Waarschijnlijk is dit knelpunt ook anders op te lossen.
- B4 Aanpak van riooloverstorten. Er zijn een drietal overstorten in het stroomgebied. De verwachting is dat deze niet significant bijdragen aan de afvoer c.q. knelpunten in het gebied. De riooloverstort van Afferden zit daarbij ook nog eens helemaal benedenstrooms in het stroomgebied. Aandeel stedelijk gebied is klein, dus waarschijnlijk geen potentie voor de probleemoplossing.

### B7.2.3      Periodiek onderhoud 'APK'

- C1 Constructief onderhoud: het invoeren van een 'APK voor het watersysteem' met controle op de uitvoering zorgt ervoor dat het watersysteem op orde is, zodat tijdens een incidenteel voorkomen van een extreme neerslaggebeurtenis de afvoercapaciteit van de watergangen conform ontwerp is. Hierbij moet gedacht worden aan het verwijderen van aanzandingen, optrekken van verzakte duikers en herstellen van (beschadigde) kunstwerken en ingezakte taluds.
- C2 Aangepaste maaicyclus: Het maaibeheer (nog) meer vraag gestuurd maken. In verschillende jaren ontwikkeld begroeiing zich verschillend. Door (nog) meer naar de maaibeheer te kijken, kunnen knelpunten in de afvoer tijdig worden opgelost, voor, tijdens of direct na hevige neerslag. Met een berekening kan aangetoond worden wat het effect is als dit niet het geval is, wanneer we dus uitgaan van een grote weerstand in de waterlopen.

### B7.2.4      Toepassingsbereik

- D1 Monitoring inloop uit Duitsland: het is vooralsnog onduidelijk hoe groot de inloop is bij verschillende herhalingstijden. Monitoring van de afvoeren maakt dat duidelijk en biedt een basis om de Duitse burens in gesprek te gaan. Dit werkt tweeledig:
  - gedurende calamiteiten kun je eerder ingrijpen, c.q. in overleg treden om de afvoer in Duitsland te begrenzen. Hiermee kan acute schade worden voorkomen of verminderd;
  - op de lange termijn kan een waterakkoord worden gesloten waarin beheerafspraken over de afvoer kunnen worden gemaakt. Hiervoor moeten vragen als: Hoeveel draagt Duitsland bij aan de wateroverlast in de huidige situatie en na de maatregelen? Het effect van een waterakkoord kan bepaald worden door de inloop te variëren (bv. halvering dan wel 50% meer inloop).
- D2 Stimuleren teelten van gewassen met hoge verdamping: Dit verbetert de grondwaterbalans. Natte gebieden waar gewassen met een lage verdamping worden geteeld worden alleen maar natter. Het doorbreken van deze cyclus kan voor een beter hydrologisch gedrag van het gebied leiden.
- D3 Ontmoediging van containerteelt: deze vorm van teelten draagt bij aan een versnelling van de afvoer, wat vooral bij zomerse piekbuien tot problemen kan leiden.

Bijlage 8. Index digitale kaartbijlage



**Kaarten Watersysteemtoets**

W01 Waterdiepte Winter  
W02 Waterdiepte Zomer  
W03 Stroomsnelheid Beek Winter  
W04 Stroomsnelheid Beek Zomer  
W05 Stroomsnelheid Kunstwerken Winter  
W06 Stroomsnelheid Kunstwerken Zomer  
W07 Verhang Beek Winter  
W08 Verhang Beek Zomer  
W09 Verval Kunstwerken Winter  
W10 Verval Kunstwerken Zomer  
W11 Drooglegging Winter  
W12 Drooglegging Zomer  
W13 Toets WB21 NBW T10  
W14 Toets WB21 NBW T25  
W15 Toets WB21 NBW T100  
W16 Toets WB21 NBW T100+  
W17 Gemeten grondwaterstanden  
W18 Gevoeligheidsanalyse grondwater  
W19 Maaiveldhoogt

**Kaarten juni 2016**

J1 Inundaties grond- en oppervlaktewater 4 juni  
J2 Inundaties grond- en oppervlaktewater 24 juni  
J3 Inundaties grond- en oppervlaktewater 26 juni

**Kaarten verkenning maatregelen**

M01 - Aanpak kunstwerken - variant 1 - 030MA  
M02 - Aanpak kunstwerken - variant 1 - 050MA  
M03 - Aanpak kunstwerken - variant 1 - 100MA  
M04 - Aanpak kunstwerken - variant 2 - 030MA  
M05 - Aanpak kunstwerken - variant 2 - 050MA  
M06 - Aanpak kunstwerken - variant 2 - 100MA  
M07 - Automatiseren HEC1 - variant 1 - 030MA  
M08 - Automatiseren HEC1 - variant 1 - 050MA  
M09 - Automatiseren HEC1 - variant 1 - 100MA  
M10 - Verlagen zomerbed - variant 1 - 030MA  
M11 - Verlagen zomerbed - variant 1 - 050MA  
M12 - Verlagen zomerbed - variant 1 - 100MA  
M13 - Verlagen zomerbed - variant 2 - 030MA  
M14 - Verlagen zomerbed - variant 2 - 050MA  
M15 - Verlagen zomerbed - variant 2 - 100MA  
M16 - Aanleg winterbed - variant 1 - 030MA  
M17 - Aanleg winterbed - variant 1 - 050MA  
M18 - Aanleg winterbed - variant 1 - 100MA  
M19 - Aangepast onderhoud - variant 1 - 030MA  
M20 - Aangepast onderhoud - variant 1 - 050MA  
M21 - Aangepast onderhoud - variant 1 - 100MA  
M22 - Aangepast onderhoud - variant 2 - 030MA  
M23 - Aangepast onderhoud - variant 2 - 050MA  
M24 - Aangepast onderhoud - variant 2 - 100MA  
M25 - Aangepast onderhoud - variant 3 - 030MA  
M26 - Aangepast onderhoud - variant 3 - 050MA  
M27 - Aangepast onderhoud - variant 3 - 100MA

**Kaarten maatregelenpakket**

MP1 - Peilverschil - Zomer - 030MA  
MP2 - Peilverschil - Zomer - 050MA  
MP3 - Peilverschil - Zomer - 100MA  
MP4 - Peilverschil - Winter - 030MA  
MP5 - Peilverschil - Winter - 050MA  
MP6 - Peilverschil - Winter - 100MA  
MP7 - Drooglegging - Zomer - 050MA  
MP8 - Drooglegging - Winter - 050MA

**Kaarten Juni 2016 met maatregelenpakket**

JP1 Inundaties 04 juni na mtr  
JP2 Inundaties 24 juni na mtr  
JP3 Inundaties 26 juni na mtr  
JP4 Verschil gws 04 juni 2016  
JP5 Verschil gws 26 juni 2016