HWBP Projectgebonden Innovatie 'Geohydrologische Aanpak voor Piping'

Beschrijving referentie grondwatermodel
Achtergrond bij syntheserapport

Waterschap Aa en Maas

10 november 2020

COLOFON	
Aangeboden door	Projectteam Projectgebonden Innovatie Meanderende Maas
Project	HWBP Projectgebonden Innovatie 'Geohydrologische Aanpak voor Piping''
Opdrachtgever	Waterschap Aa en Maas
Document	Beschrijving referentie grondwatermodel
Datum	10 november 2020
Auteur(s)	Hendrik Kok, Margrietha Bor

Checklist	Door wie	Vink of paraaf
Interne review	Marc Steenvoorden Jacco Hoogewoud	✓
Eindcontrole	CvE + TMC	✓
Goedgekeurd door	TM Jacco Hoogewoud (Advies in Water)	✓
Vrijgegeven door	PM Martine Brinkhuis (Tauw)	✓

Commissie van betrokken experts (CvE)	Aandachtspunt
Ruben Jongejan	Veiligheidsbenadering en probabilistiek
Henk van Hemert	Geotechniek en dijkontwerp
Ane Wiersma	Geologie en (gebrek aan) data
Henk Weijers	Communicatie en draagvlak

Inhoud

1 Inleiding 5
2 Lagenmodel 6
2.1 Koppeling GRAM en MORIA 6
2.2 Deklaag 7
2.2.1 Brongegevens 7
2.2.2 Onderzijde deklaag 8
2.2.3 Parametrisatie deklaag 14
2.2.4 Conservatief uitgangspunt 19
2.3 Eerste watervoerend pakket 19
2.4 Anisotropie 21
2.5 Berging 22
2.6 Breuken 22
2.7 Randvoorwaarden 22
2.8 Onttrekkingen 23
3 Waterlopen/ontwaterinsgmiddellen 24
3.1 Maas en Waal 24
3.1.1 Geconstrueerde hoogwatergolf 24
3.1.2 Insnijding en intredeweerstanden 24
3.2 Overige watergangen 26
3.2.1 Leggerwatergangen 26
3.2.2 Detailwatergangen 26
3.3 Peilen legger- en detailwatergangen bij hoogwater 27
3.4 Buisdrainage 27
3.5 Overlandflow 28
4 Overig 31
4.1 Runfile 31
4.1.1 Tijdstappen en grondwateraanvulling 31
4.1.2 Hoogwatergolf 31
4.1.3 sluitingscriteria 32
5 Effecten van de modelaanpassingen 33

6 Output referentiemodel 33
6.1 Berekende stijghoogten 33
6.2 Berekende riverfluxen 36
7 Kalibratie en validatie 39
7.1 Stationaire kalibratie 39
7.1.1 Stationaire ijkset 39
7.1.2 Initiële prestatie referentiemodel 40
7.1.3 Resultaten Kalibratie 41
7.2 Validatie hoogwatergolfjes 2018/2019 44
8 Gevoeligheidsanalyse 47
9 Toetsing effect verticale anisotropie 48
9.1 Methode en modelopzet 48
9.2 Resultaten 49
9.2.1 Conclusie 50

Bijlage 1 Koppelingstabellen GRAM en MORIA
Bijlage 2 Kaarten inputbestanden kD, C, TOP, BOT en STO
Bijlage 3 Inputbestanden watergangen
Bijlage 4 Berekende stijghoogten modellaag 1 en 4
Bijlage 5 Berekende riverfluxen
Bijlage 6 Berekende drainagefluxen
Bijlage 7 Berekende kwel/infiltratiefluxen
Bijlage 8 Berekende storagefluxen
Bijlage 9 Kaarten gevoeligheidsanalyse
Bijlage 10 Validatie individuele effecten

1 Inleiding

Dit document vormt een achtergrondrapport bij het syntheserapport van de HWBP projectgebonden innovatie ‘’Geohydrologische Aanpak voor Piping’’. In dit achtergrondrapport wordt de tot standkoming van het referentie grondwatermodel beschreven. We nemen u mee in de overwegingen en de stapsgewijze aanpassingen bij het maken van een referentie grondwatermodel met aannemelijke parameterwaarden, waarmee gevoeligheden van onzekere parameters kunnen worden onderzocht in relatie tot het piping vraagstuk. Op voorhand was de verwachting dat naast de weerstand van het zomerbed van de Maas vooral doorlaatvermogen van watervoerend pakket en weerstand van de deklaag bepalend zijn voor opbarstrisico’s. Aanvullend is ook gekeken naar de schematisatie van de ontwateringsmiddelen en de hoogwatergolf in de Maas.

2 Lagenmodel

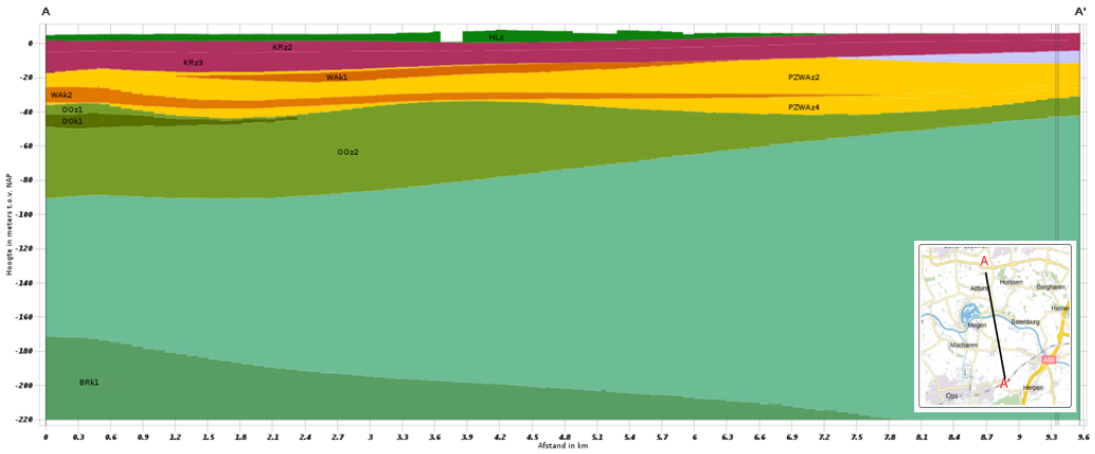
2.1 Koppeling GRAM en MORIA

Omdat GRAM2.0 ten noorden van de Maas eindigt, is het noodzakelijk om het model richting het noorden uit te breiden. Daarom zijn de modellen GRAM2.0 (waterschap Aa en Maas) en MORIA4.3 (grondwatermodel van Waterschap Rivierenland) gekoppeld langs de waterschapsgrens van Aa en Maas en Rivierland. Tabel 1 t/m 4 in bijlage 1 tonen de koppelingstabellen voor het grondwatermodel. De deklaag wordt gevormd door lagen 1 t/m 3. Hoe deze zijn geparametriseerd is beschreven in paragraaf 2.2.

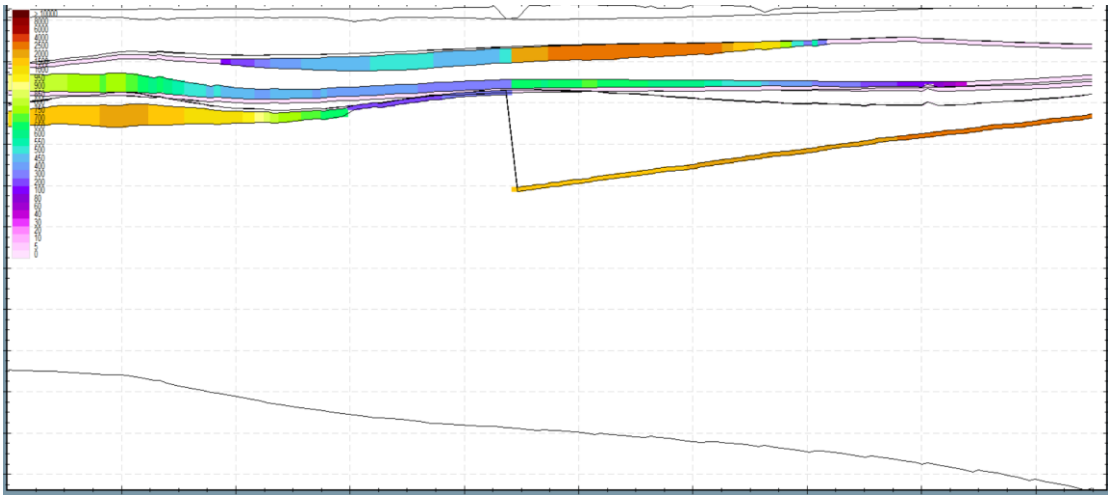
De koppeling is niet uitgevoerd op basis van laagpakketten, omdat de onderverdeling van laagpakketten voor GRAM2.0 niet beschikbaar is. Daarom zijn de scheidende lagen gekoppeld op formatie en is daarna visueel gecontroleerd of de koppeling voor de kD- en c- waarden klopt.

Figuur 2.1 toont een noord-zuid dwarsdoorsnede van REGIS II v2.2. In de dwarsdoorsnede is te zien dat de holocene deklaag uitwigt naar het zouden. Hieronder bevinden zich zanden behorende tot de Kreftenheye en bestaan voornamelijk uit grindige, uiterst grove zanden. Het eerste watervoerend pakket loopt tot Waarle klei 1 (wak1) of Waarle klei 2 (wak2). Deze komen overeen met de c8 en c9 in het grondwatermodel. Tussen wak1 en wak2 bevinden zich de zanden van de Formatie van Peize en Waalre die variëren van grindige grove zanden tot siltige zanden. De volgende scheidende laag is Oosterhout klei 1 (ook1, overeenkomstig met c18) welke in het grondwatermodel in het GRAM2.0 gedeelte is opgenomen, maar niet in REGIS.

Figuur 2.2 geeft een dwarsdoornede van dezelfde locatie weer van het aangepaste lagenmodel. Het grondwatermodel gebruikt de top en bots van de lagen niet bij de berekeningen. Er is met name gefocust om de goede aansluiting van de kD en c-waarden. Daarom is er in de c18 een sprong in diepte is te zien.



Figuur 2.1 Noord-zuid dwarsdoorsnede REGIS II v2.2.



Figuur 2.2 Noord-zuid dwarsdoorsnede aangepast lagenmodel

Bijlage 2 toont de kaarten van de kD, c, TOP en BOT

2.2 Deklaag

Binnen dit project is voor het grondwaterstromingsmodel de geschematiseerde deklaag opnieuw afgeleid. In dit hoofdstuk is de gehanteerde methode beschreven.

2.2.1 Brongegevens

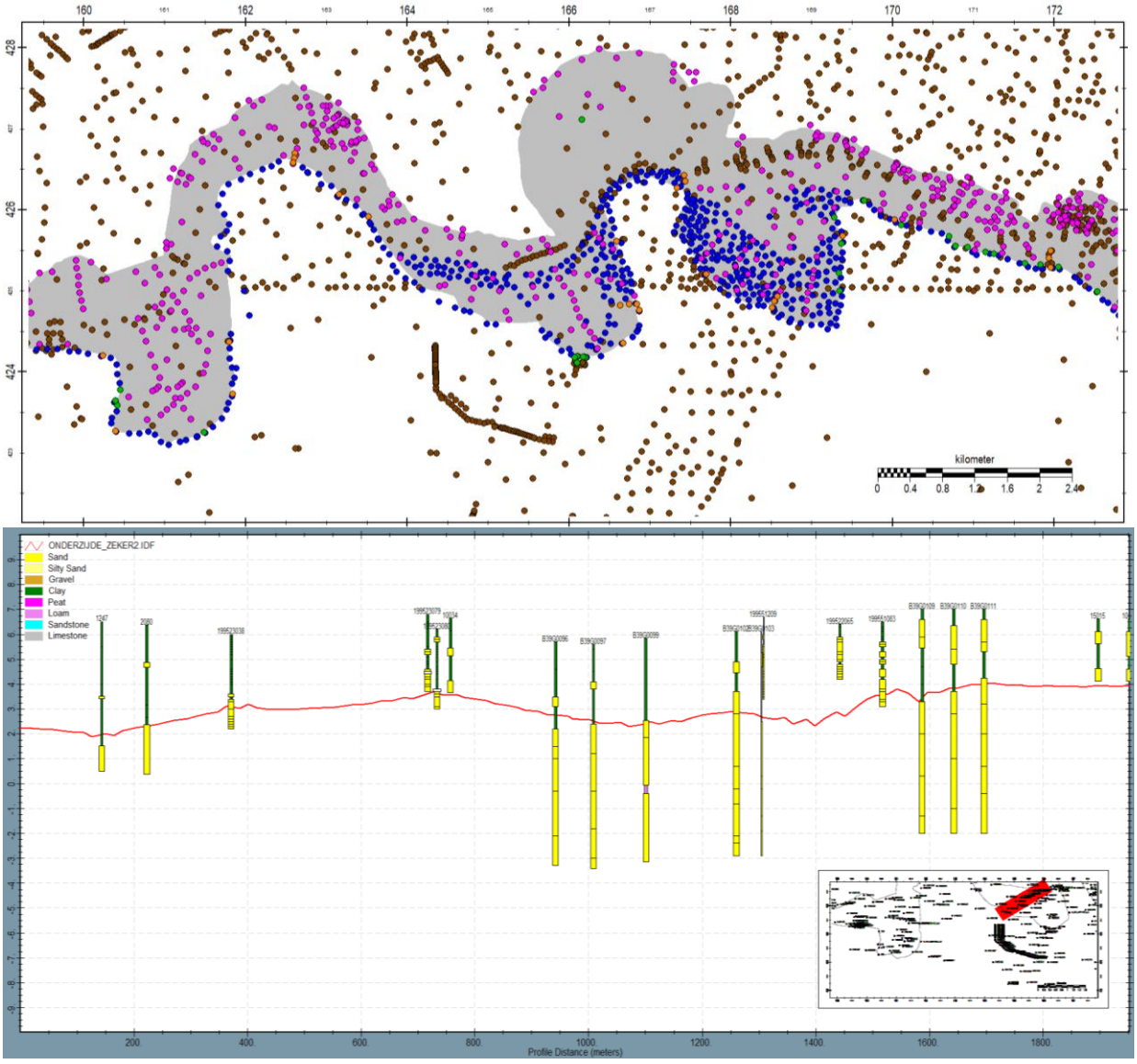
Voor het opnieuw afleiden van de deklaag is een groot aantal boringen gebruikt van verschillende bronnen:

1. Wiertsema: 33 boringen binnen en buiten de uiterwaarden welke zijn aangeleverd in GEF-format
2. Universiteit Utrecht; 512 boringen binnen de uiterwaarden welke zijn aangeleverd als Excel-bestand
3. DINO: 3849 boringen binnen en buiten de uiterwaarden welke zijn aangeleverd via het vaste DINO-format.
4. Tauw; 560 boringen binnen de uiterwaarde en op de dijk, welke zijn aangeleverd in Excel-format
5. Gedigitaliseerd; 35 boringen buiten de uierwaarde welke zijn omgezet vanaf pdf-format.
6. Gedigitaliseerde geotechnische profielen; 131 locaties waarvan de onderzijde van de deklaag is vastgesteld. Deze locaties zijn alleen meegenomen bij het afleiden van de onderzijde van de deklaag.

Ook waren er nog aanvullende boringen beschikbaar van Avallo. Deze zijn niet gebruikt in dit onderzoek, omdat het omzetten van de data relatief veel werk is en het aantal boringen beperkt is.

Alle boorgegevens die niet afkomstig waren van het DINO-loket zijn omgezet naar het DINO txt-file format. Dit is gedaan omdat de tools die zijn gebruikt bij het afleiden van de weerstanden, gebruik maken van dit format. Alle boorgegevens zijn ook omgezet naar het iMOD 3D-format voor het visueel inspecteren van de boorgegevens in de 3D-vieuwer van iMOD. De locaties van de

boringen is weergegeven in figuur 2.1. Ook is hierin een voorbeeld opgenomen van een profiel zoals dat in iMOD kan worden gevisualiseerd.



Figuur 2.3 Boven: de gebruikte boorgegevens voor het opnieuw afleiden van de deklaag. In bruin de DINO boringen, in paars de boringen van de Universiteit Utrecht, in blauw de boringen van Tauw, in oranje de boringen van Wiertsema en in groen de gedigitaliseerde boringen. Onder: Een voorbeeld van een profiel dat is gegenereerd in iMOD.

2.2.2 Onderzijde deklaag

In het plangebied is in de geologie een scherpe grens zichtbaar tussen de Holocene deklaag en het watervoerende pakket. De deklaag bestaat grotendeels uit kleiafzettingen, terwijl de bovenzijde van het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door dekzanden en Pleistocene

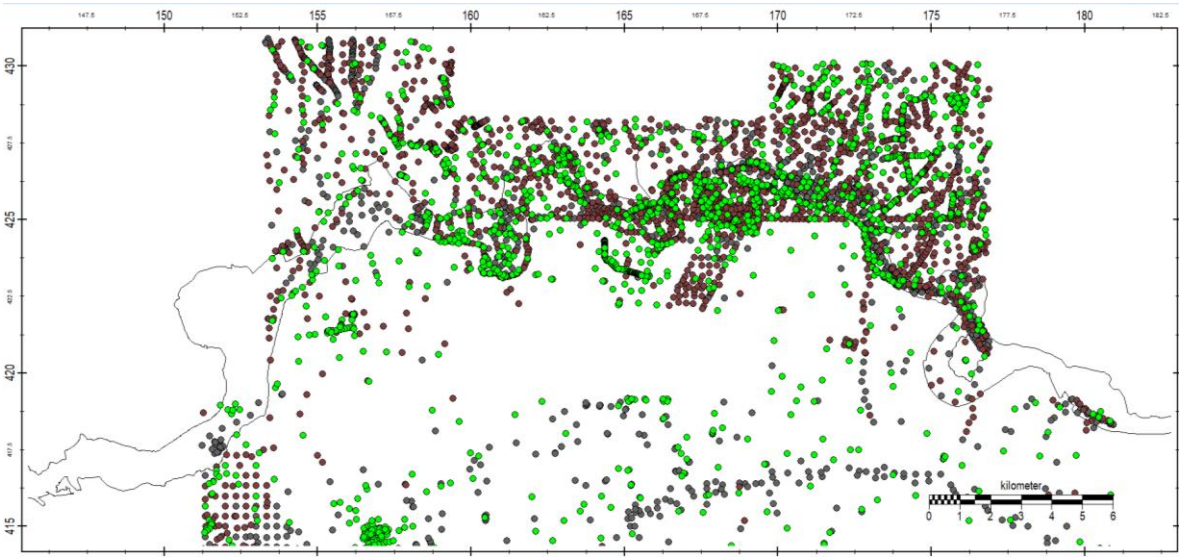
rivierbeddingafzettingen. Door de dynamische aard van het (holocene) fluviatiele afzettingsmilieu komen er echter ook ingesloten zandlagen voor in de holocene (kleiige) deklaag.

Voor het berekenen van de deklaagweerstand op de boorpunten is een ondergrens nodig om te bepalen tot welke diepte de weerstand meegenomen dient te worden. Deze deklaagdikte dient dus de maximale diepte te beschrijven van de holocene deklaag; de aanwezigheid van ingesloten zandlagen is hierbij niet van belang omdat deze terugkomen in de totaal berekende weerstand over dit traject. Om deze onderzijde vast te stellen is een selectie uitgevoerd op de beschikbare gegevens.

Selectie boringen
Voor het afleiden van de onderzijde van de deklaag is het uitgangspunt dat alle (significante) weerstandslagen (klei, leem en veen) die tot 9 m -mv voorkomen, onderdeel zijn van de holocene deklaag. Als een boring voldoende diepte heeft is de onderzijde van de deklaag dus relatief simpel vast te stellen. Wanneer dit niet het geval is, moet echter rekening worden gehouden met de ingesloten tussenzandlaagjes die kunnen voorkomen. Dat een korte boring eindigt in zand, betekend dus nog niet dan de onderzijde van de deklaag is gevonden, omdat dit ook een tussenzandlaag kan zijn. Voor het afleiden van de onderzijde zijn er daarom een tweetal selecties gemaakt.

1. Allereerst is een selectie gemaakt van diepe boringen met een einddiepte >= 9 m-mv. Bij deze boringen ligt de onderzijde van de deklaag altijd ondieper dan de einddiepte van de boringen. De laatst gevonden scheidende laag (klei, leem en veen) in deze boring betreft dan de onderzijde van de deklaag. Van alle ondiepere boringen (<9 m-mv) zijn alleen de boringen geselecteerd waarbij een tussenzandlaag is aangetroffen (dus waaronder ook weer een kleilaag is aangetroffen) en die ook eindigen in zand. Bij deze boringen is de kans klein dat er onder de eerste zandlaag, een tweede tussenzandlaag wordt aangetroffen. Daarom is het uitgangspunt dat bij deze boringen ook de onderzijde van de deklaag is bereikt
2. De tweede selectie bestaat eigenlijk uit alle andere boringen. Bij deze boringen is het dus niet zeker of de onderzijde van de deklaag is gevonden

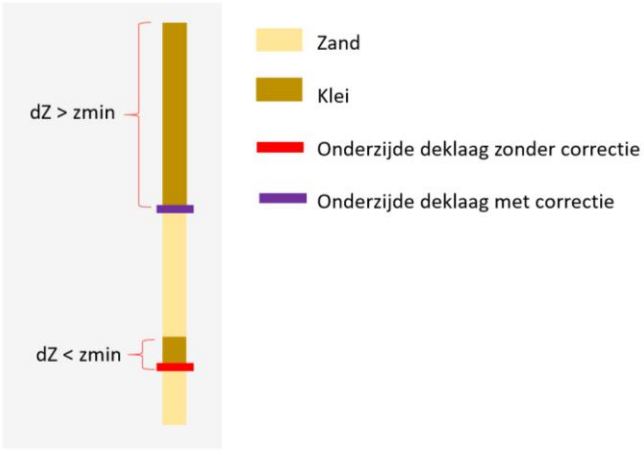
In figuur 2.2 zijn de selecties op een kaart weergegeven.



Figuur 2.2 De twee selecties boringen met in groen de boringen voor selectie 1 en in bruin de boringen voor selectie 2

Per boorprofiel is binnen de opgegeven range (0 - 9 m -mv) gekeken op welk niveau de onderzijde van de meest diepe scheidende litho-klasse ligt. Als scheidende litho-klasse zijn veen, leem en klei meegenomen. Om te voorkomen dat dunne veen, leem en/of kleilenzen worden meegenomen is gekeken naar een minimale dikte van de afzettingslaag. In dit geval is uitgegaan van een minimale dikte van 0,5 m[1]. Wanneer de onderste scheidende litho-klasse dunner is dan deze grenswaarde en hierboven een zandlaag wordt aangetroffen, is gezocht naar de eerstvolgende afzettingslaag met voldoende dikte. Het uitgangspunt hierbij is dat kleilenzen aan de onderzijde van de deklaag eigenlijk niet mee doen in de totale deklaagweerstand, omdat deze lateraal zijn aangesloten aan het watervoerende pakket. Dit is dus anders dan bij ingesloten zandlagen in de deklaag[2]. De methode is schematisch weergegeven in figuur 2.2

[1] Er is hierbij rekening gehouden met het feit dat in de boorstaten een aaneengesloten kleilaag soms is beschreven in meerdere lagen. In dit geval, als er geen ingesloten zandlagen worden aangetroffen, worden de scheidende lagen gesommeerd.
[2] Het effect van ingesloten zandlagen in de deklaag wordt meegenomen bij het berekenen van de parameterwaarde. De ingesloten zandlagen zorgen voor een relatief lagere k-waarde. Wat zich dus vertaald in een lagere weerstand.

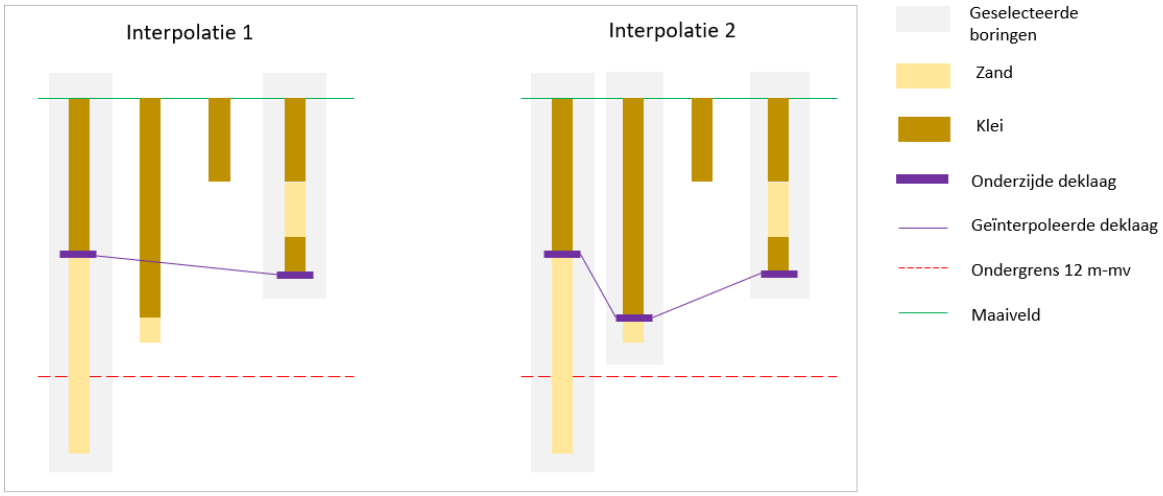


Figuur 2.2 Een schematische weergave van het vaststellen van de onderzijde van de deklaag in het boorprofiel. Om te voorkomen dat veen, leem en/of kleilenzen worden meegenomen bij het vaststellen van de onderzijde van de deklaag, is gekeken naar een minimale dikte van de afzettingslaag.

Interpolatie naar vlakdekkend beeld

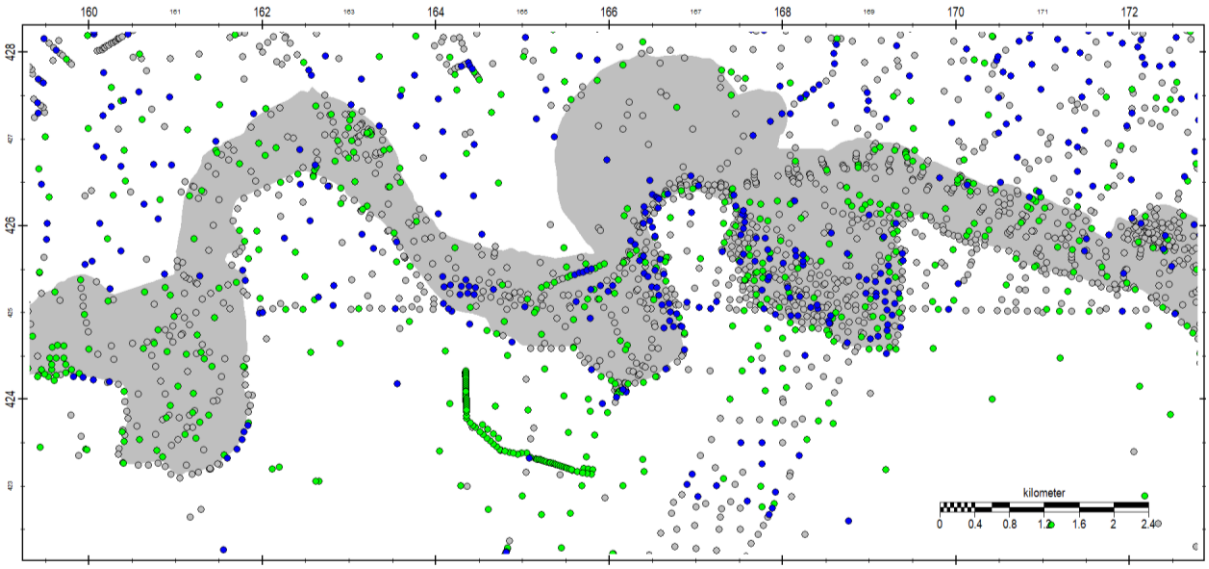
Om van de puntgegevens per boring tot een vlakdekkend beeld te komen is een interpolatie uitgevoerd. Dit is gedaan in twee stappen. De gehanteerde methode is schematisch weergegeven in figuur 2.4.

1. Allereerst is op basis van de 1^{e} selectie van boorgegevens een interpolatie uitgevoerd met de pcg-solver
2. Vervolgens is op de locaties van de 2^{e} selectie boringen gekeken of de onderzijde bij deze boringen ondieper is berekend dan in de boringen is vastgesteld. Alle locaties waar dit het geval is zijn aanvullend meegenomen in de 2^{e} interpolatie. Dit is gedaan omdat op deze locaties het niet zeker is dat de onderzijde van de deklaag is bereikt, maar wel wat de minimale diepte van de deklaag is

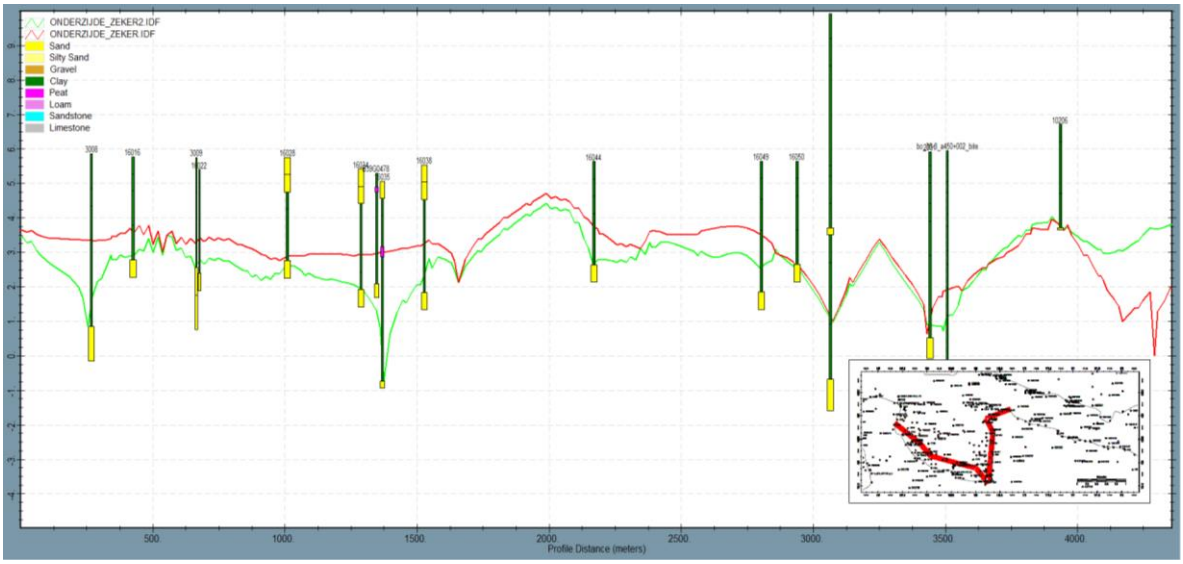


Figuur 2.4 De gehanteerde methode voor het afleiden van de onderzijde van de deklaag schematisch weergegeven. Bij de eerste interpolatie zijn alleen boringen meegenomen waarbij de kans groot is dat de onderzijde van de deklaag is gevonden in het boorprofiel. Bij de 2e interpolatie zijn alle aanvullende boringen meegenomen die tot een diepere deklaag zullen leiden. Voor deze locaties is niet zeker of de onderzijde deklaag is gevonden in het boorprofiel, maar wel wat de minimale diepte is.

In figuur 2.5 zijn de selecties van boringen voor beide stappen weergegeven. Ook is een profiel opgenomen waarbij het effect van het meenemen van de extra boringen duidelijk zichtbaar is[3].



[3] De boringen die niet zijn gebruikt voor het afleiden van de onderzijde van de deklaag zijn verder wel gebruikt voor de paramerisatie. Zie paragraaf 2.2.3.

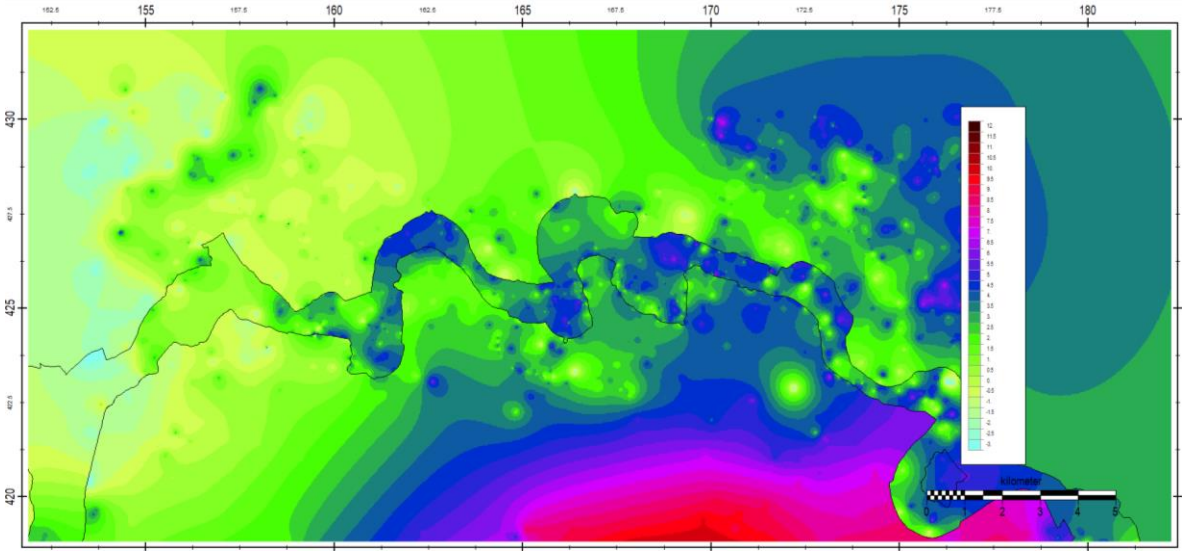


Figuur 2.5 Boven: in groen de selectie boringen die gebruikt is bij interpolatiestap 1, in blauw de boringen die extra zijn toegevoegd bij interpolatiestap 2. Onder: een profiel met hierin in rood de interpolatie bij stap 1 en in groen de interpolatie bij stap 2. Ook zijn de boringen weergegeven die extra bij stap 2 zijn toegevoegd (blauwe locaties in bovenste figuur)

Interpolatie variërend binnen en buitendijks

In overleg met geoloog Ane Wiersma is gekozen om de interpolatie binnen en buitendijks los van elkaar uit te voeren. Deze twee losse interpolaties zijn achteraf samengevoegd, wat leid tot een abrupte overgang ter plaatse van de dijk.

Het uitgangspunt bij deze methode is dat in de uiterwaarde de deklaag op andere wijze is opgebouwd doordat de dijken de invloed van de rivier sterk begrenst heeft. Hierdoor is de onderzijde van de deklaag in de uiterwaarde vaak ondiepe dan daarbuiten. Dit is ook goed terug te zien in figuur 2.6.



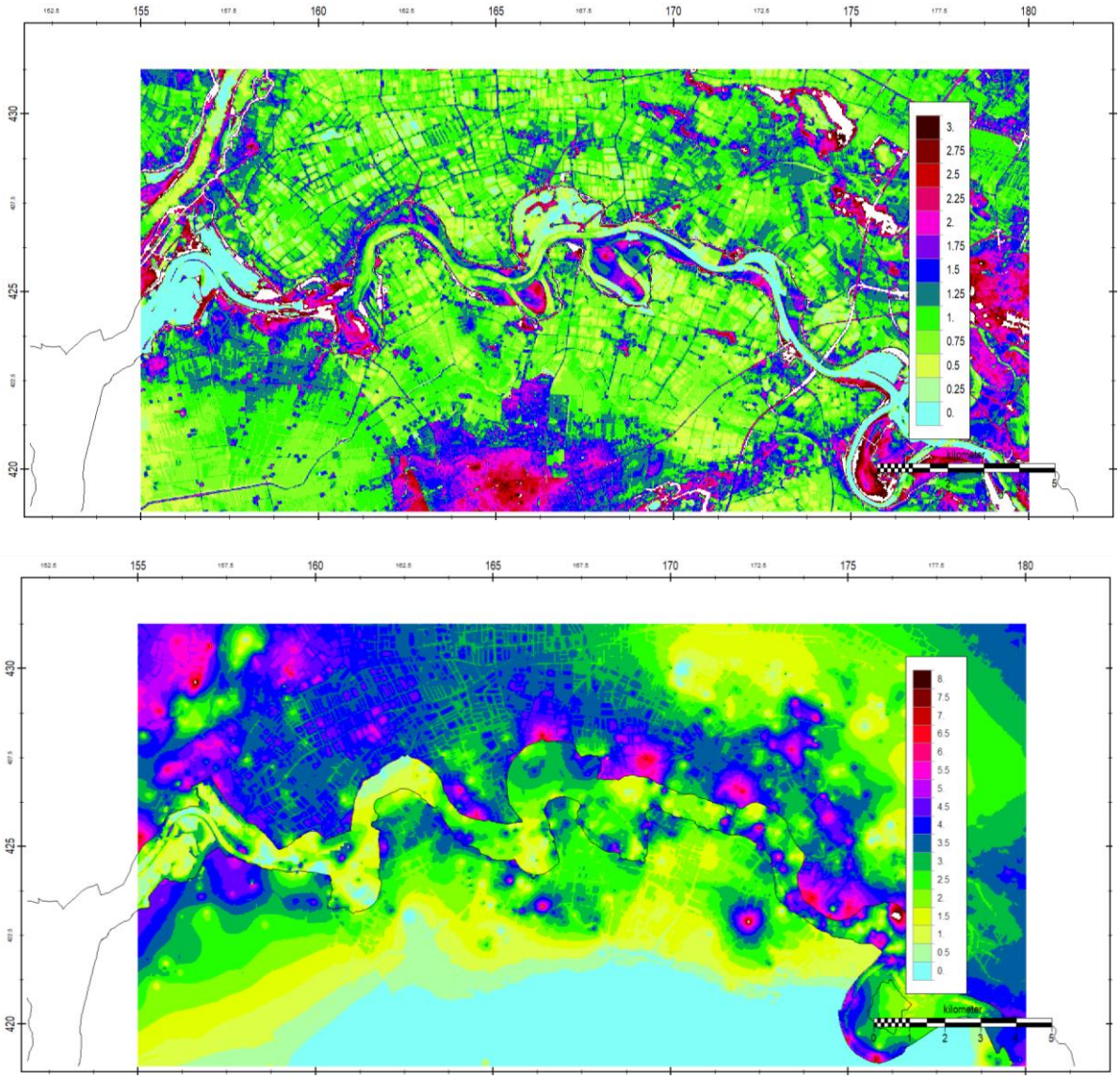
Figuur 2.6 Boven: De berekende onderzijde van de deklaag in m NAP.

2.2.3 Parametrisatie deklaag

Voor afleiden van de deklaagweerstanden is onderscheid gemaakt in de onverzadigde (gerijpte) weerstand en de verzadigde (ongerijpte) weerstand. Kleilagen die zich boven de gemiddelde grondwaterstand bevinden staan onder invloed van bodembewerking, bodemleven en doorworteling van gewassen (bouwvoor). Hierdoor ontstaat veelal een bodemstructuur met iets betere doorlatendheid en wordt gesproken van gerijpte klei.

Er is van uitgegaan dat deze gerijpte weerstand alleen binnen de uiterwaarde een bijdrage heeft. Ten tijden van een hoogwatergolf zullen de uiterwaarde namelijk grotendeels onder water staan. Het is daarom een valide uitgangspunt om hier de gerijpte weerstand mee te nemen. In het achterland is dit niet het geval omdat hier geen grootschalige inundatie van het maaiveld plaatsvind (alleen in een zone achter de dijk). Daarbij zal ook de afvang van de kwel, primair plaatsvinden via de detailontwatering. De weerstand onder deze ingesneden waterlopen is daarom eigenlijk de meeste relevante weerstand. In paragraaf () is verder toegelicht hoe is omgegaan met deze doorsnijding van de deklaag.
Tijdens een hoogwater kan er direct achter de dijk een plas-dras-zone ontstaan. Dit zal echter primair ontstaat uit het feit dat de kwelsloten (tijdelijk) niet voldoende kunnen afvoeren. Hierbij blijft de weerstand rondom deze waterlopen bepalend. Het effect van deze beperkte afvoer zal worden verwerkt in de peilen van de ontwateringsmiddelen.

De verzadigde dikte en onverzadigde dikte van de deklaag is berekend aan de hand van het AHN3 en de gemiddelde grondwaterstand. De onverzadigde dikte betreft het deel tussen het maaiveld en de gemiddelde grondwaterstand, de verzadigde dikte betreft het deel tussen de grondwaterstand en de onderzijde van de deklaag. In figuur 2.7 zijn deze twee diktes weergegeven.



Figuur 2.7 De berekende onverzadigde dikte (boven) en de verzadigde dikte (onder) in mNAP.

Kerngetallen

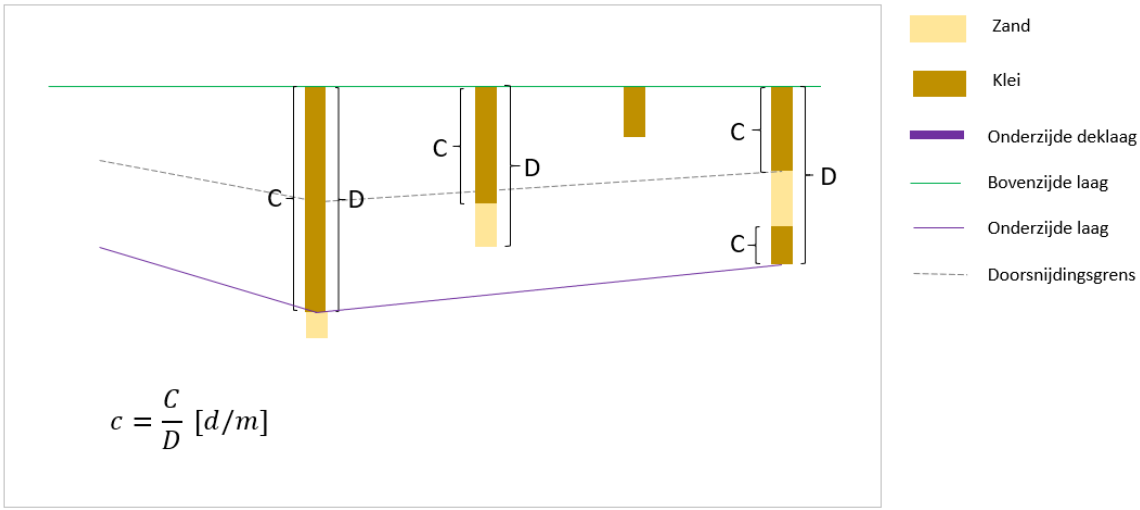
Voor het berekenen van de weerstanden zijn kerngetallen gehanteerd. Deze zijn weergegeven in tabel 2.1. De kerngetallen zijn gekozen op basis van ervaring en expert judgement. In de literatuur worden waarden gevonden die zowel hoger als lager liggen dan de waarden die hier worden gehanteerd.

Tabel 2.1 Gehanteerde weerstanden per bodemtype in d/m

Bijmenging	Geen	Klei	Silt	Zand	Grind
Klei (gerijpt)	200[4]	200	150	75	50
Klei (ongerijpt)	400	400	300	150	100
Leem	150	300	200	100	50
Veen	300	350	250	125	70

Methodiek

Voor het bereken van de weerstanden is de ‘originele’ dataset met boringen weer gebruikt; dit is dus inclusief alle boringen die zijn afgevallen voor het afleiden van de onderzijde van de deklaag. De enige voorwaarde die aan een boring wordt gesteld is dat deze een minimale doorsnijding van 50 procent heeft van de betreffende laag. De gebruikte methode is weergegeven in figuur 2.8.



Figuur 2.8 Een schematische weergave van de gehanteerde methode voor het berekenen van de deklaagweerstanden op de boorlocaties.

De weerstanden zijn binnen de verzadigde en onverzadigde zone separaat berekend aan de hand van de bijbehorende kerngetallen. De weerstand per meter (c), is per boorpunt als volgt berekend:

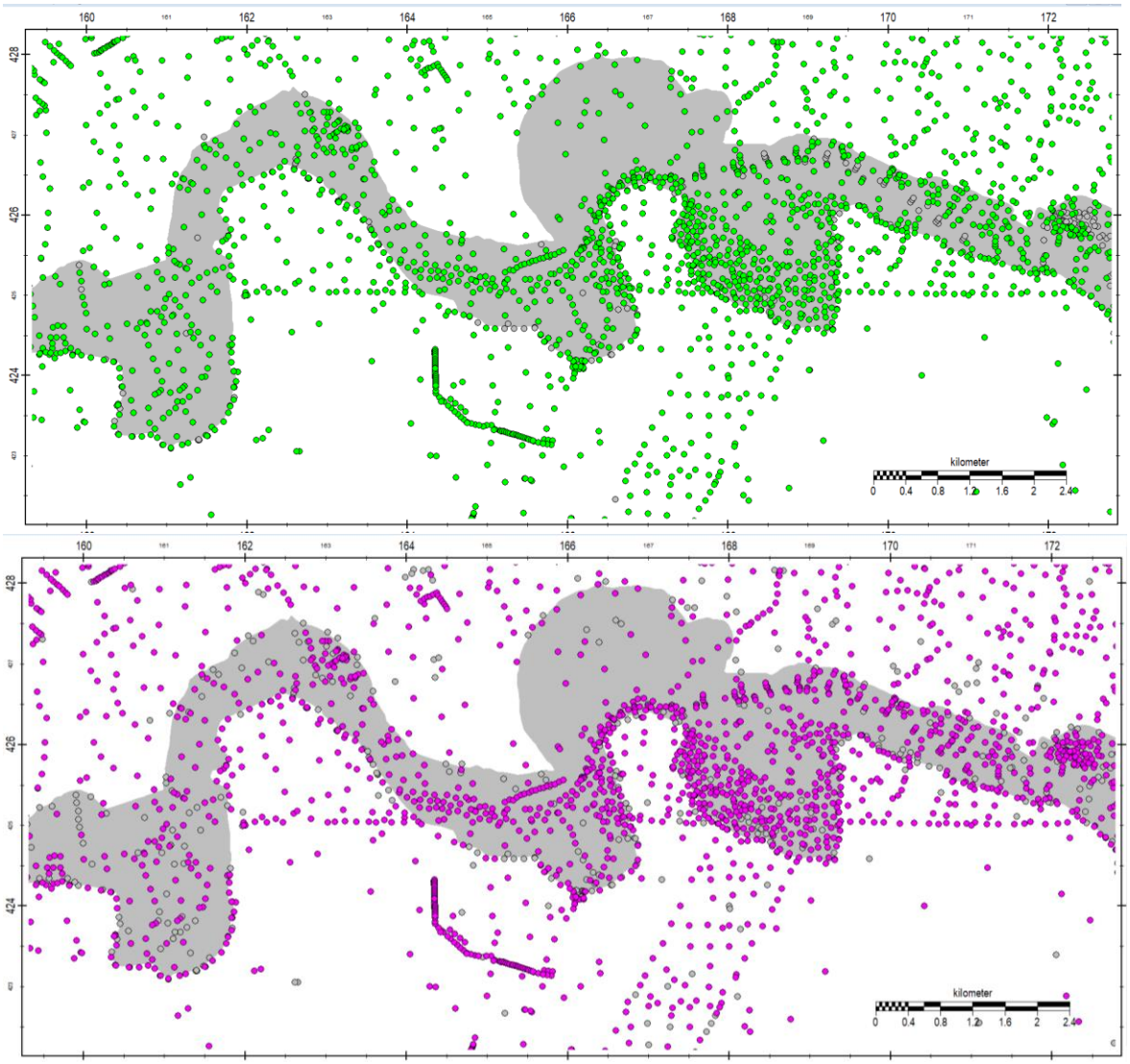
1. Binnen de betreffende laag zijn de weerstanden (C) voor alle scheidende laagjes gesommeerd
2. Bij alle boringen die een volledige doorsnijding hebben van de laag is deze totale weerstand (C) gedeeld door de dikte van de laag (D)
3. Bij alle boringen die de laag niet geheel doorsnijden wordt de weerstand gedeeld door de doorsnijdingslengte (D)

[4] Over de gehanteerde weerstanden voor de gerijpte klei bestaat veel discussie. Er is geen duidelijke waarde herleidbaar uit literatuurstudies omdat deze eigenlijk alleen in-situ te meten is. De hier gebruikte weerstand is relatief hoog en daarmee vormt het geen conservatief uitgangspunt.

Door deze methode wordt het effect van ingesloten zandlaagjes meegenomen in de berekende weerstand. De zandlaagjes dragen immers niet bij aan de weerstand maar wel aan de dikte waardoor gedeeld wordt. Na interpolatie van de weerstanden binnen een laag, wordt deze vermenigvuldigd met de dikte. Dit resulteert:

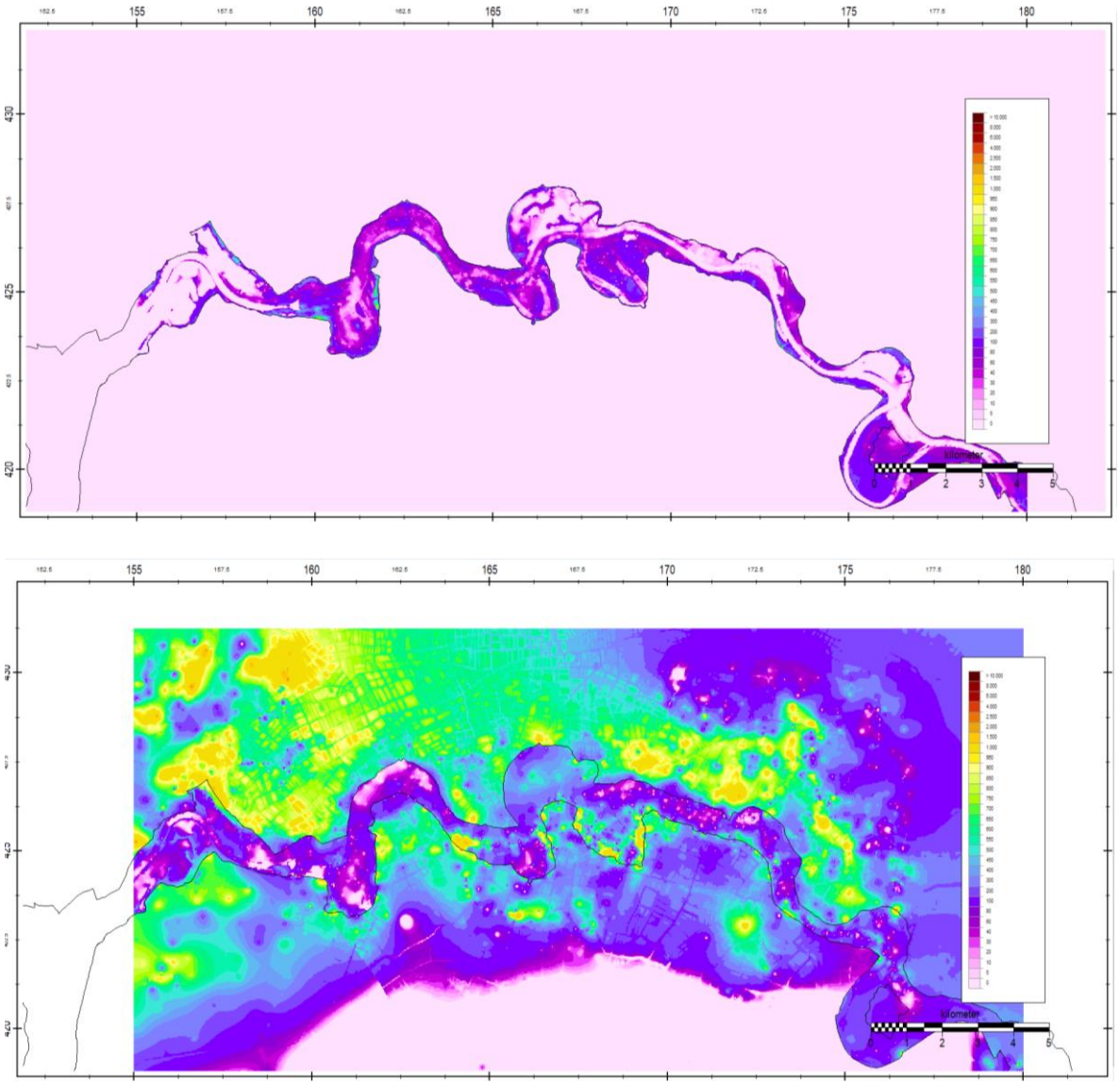
1. Op de plaats van de boringen met dezelfde weerstand als totaal in deze boring is berekend
2. Op plaatsen waar de boringen niet geheel doorsnijden op een weerstand die hoger is dan berekend bij deze boring

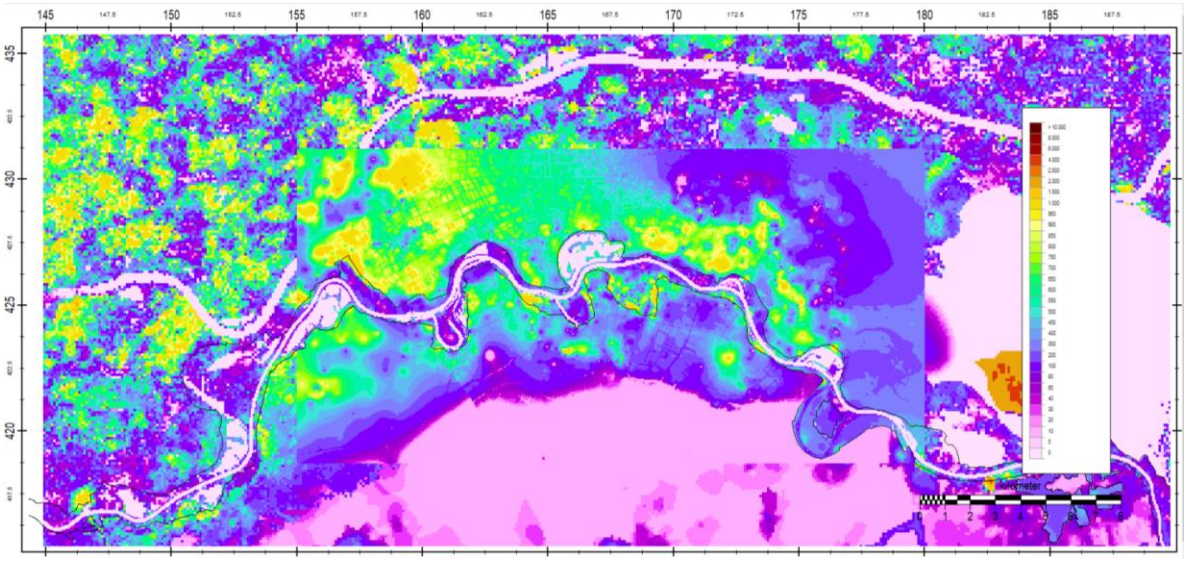
De selectie boringen die is gebruik voor het berekenen van de weerstanden is weergegeven in figuur 2.9.



Figuur 2.9 De selectie boringen die is gebruik voor het berekenen van de gerijpte deklaagweerstanden (boven in groen) en die voor de ongerijpte weerstanden (onder in paars)

In figuur 2.10 is de gerijpte, ongerijpte en totale deklaagweerstand weergegeven. De totale deklaagweerstand is zonder ‘smoothing’ op de randen ingebrand in het basismodel. Wat mooi te zien is, is dat in het interessegebied het detailniveau groter is, maar dat de ordergrootte van de weerstanden en de ruimtelijke patronen mooi in elkaar overlopen.





Figuur 2.10 De onverzadigde weerstand (boven), de verzadigde weerstand (midden) en de totale deklaagweerstand (onder). Bij de totale deklaagweerstand is het aangepaste bestand 'ingebrand' in de basisdata en zijn ook alle doorsnijdende geulen in de uiterwaarde ingebracht. De weerstanden zijn in dagen

2.2.4 Conservatief uitgangspunt

Zoals beschreven is bij het afleiden van de onderzijde van de deklaag uitgegaan van het uitgangspunt dat alleen boringen zijn meegenomen als we zeker weten dat de onderzijde van de deklaag is bereikt. Dit berekend dat de berekende weerstand eerder te groot dan te laag zal zijn. Dit is voor het binnendijks gebied een conservatief uitgangspunt omdat er daardoor minder demping zal optreden van de hoogwatergolf.

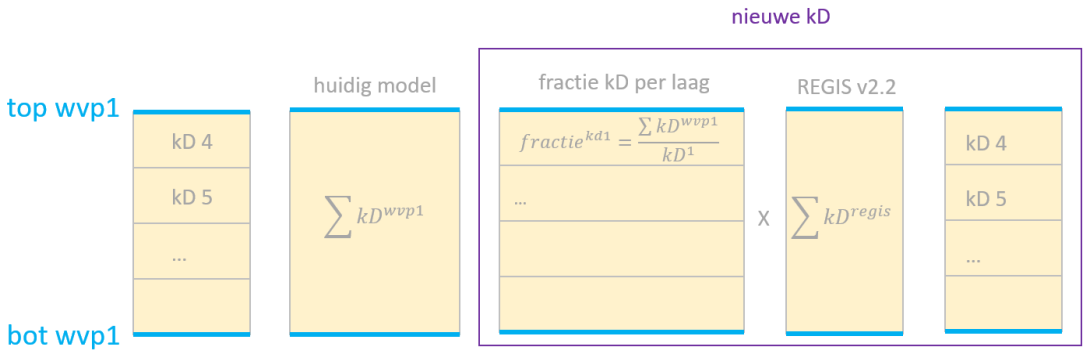
In de uiterwaarde is dit juist geen conservatief uitgangspunt. Alle relatief onzekere weerstand zal hier namelijk leiden tot een grotere demping van de hoogwatergolf richting het eerste watervoerende pakket. In deze zone moet daarom alleen alle zekere weerstand worden meegenomen, en bij onzekerheden deze weerstand juist niet worden toegevoegd. In de planfase dient daarom in de uiterwaarde, de onderzijde van de deklaag te worden berekend uit de volledige set met boringen.

2.3 Eerste watervoerend pakket

Het gebruikte grondwaterstromingsmodel bestaat uit een samenvoeging van 2 regionale modellen. Ten noorden van de Maas is dit het MORIA4.3-model en ten zuiden het GRAM2.0-model. Beide modellen zijn gekalibreerd, waarbij ook de doorlatenheden van het watervoerende pakket zijn aangepast.

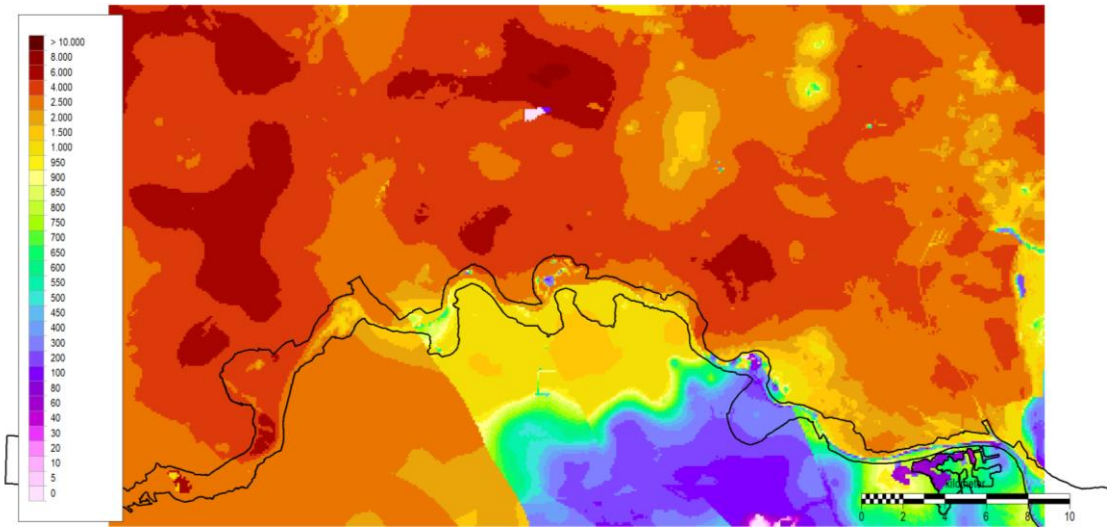
Binnen dit project is ervoor gekozen om de originele REGIS v2.2 doorlatenheden te gebruiken als uitgangspunt voor het nieuwe referentiemodel. Deze doorlatendheden kunnen in een latere fase worden aangepast bij een kalibratie van dit referentiemodel. De gehanteerde methode is

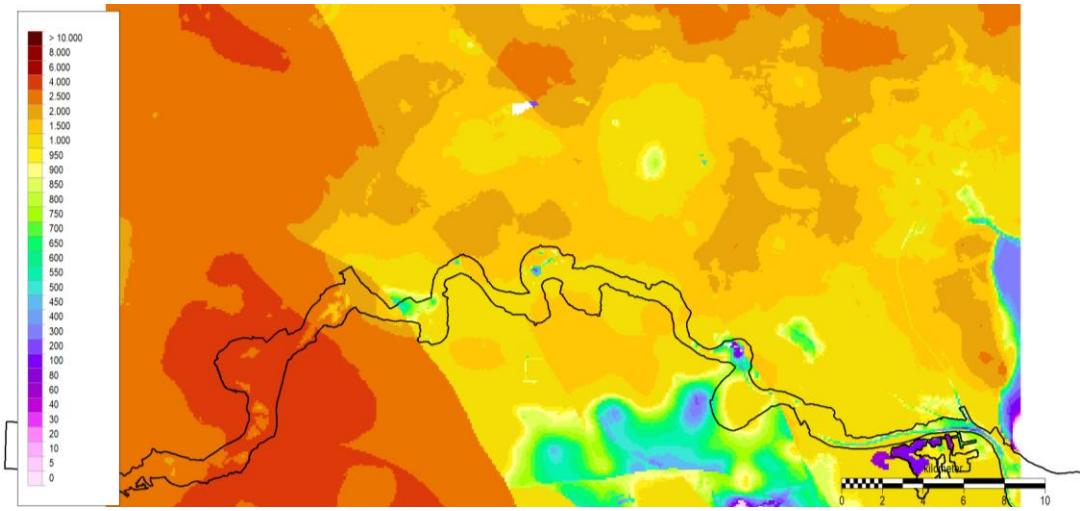
weergegeven in figuur 2.11. Het eerste watervoerende pakket is gedefinieerd als de modellagen 4 t/m 9.



Figuur 2.11 De gebruikte methode om de nieuwe kD van het watervoerende pakket te berekenen op basis van Regis v2.2. In blauw is de top en bot van het WVP1 weergegeven.

Op basis van het originele model worden de som kD van het watervoerende pakket berekend en de fractie van elke modellaag ten opzichte van deze som kD. Vervolgens is binnen de grenzen van het watervoerende pakket REGIS v2.2 gesampled en een nieuwe som kD berekend. Deze is vervolgens over de modellagen verdeeld op basis van de berekende fractie (van oorspronkelijke kD) per modellaag. De som kD van het originele model en die op basis van REGIS v2.2 is weergegeven in figuur 2.12.





Figuur 2.12 De som kD van het eerste watervoerende pakket van het originele model (boven) en die op basis van REGIS v2.2 (onder).

Vergelijking kh- en c-waarden eerste watervoerend pakket met boorbeschrijvingen
Om te controleren of er in het eerste watervoerend pakket voldoende weerstand is opgenomen, zijn alle dinoboringen gedownload en in dwarsdoorsnedes vergeleken met het grondwatermodel. In het grondwatermodel zijn de doorlatendheden en weerstand overgenomen van GRAM2.0 en dus REGIS2.2. Bij het maken van REGIS2.2 is alleen gebruik gemaakt van REGIS-boringen die voldoen aan strenge voorwaarden. Hierdoor worden de meeste dinoboringen niet gebruikt. Verschillende dwarsdoorneden zijn opgenomen in bijlage 2. Hierbij is de dikte van de scheidende lagen binnen het eerste watervoerend pakket minimaal 2 m dik gemaakt zo dat deze goed gevisualiseerd kunnen worden. Uit de dwarsdoorsnedes blijkt dat er veel klei en leemlagen niet zijn terug te vinden in de weerstand van de scheidende lagen van het grondwatermodel. Dit heeft mogelijk invloed op het berekenen van de stijghoogte in het eerste watervoerend bij een hoogwatergolf en op de uitgangspunten voor de sterkteberekeningen. Daarom wordt in een later stadium (uitvoeringsfase) meer aandacht aan de dieper bouwopbouw in het model.

Daarnaast zijn er dwarsdoorsnedes gemaakt met de horizontale doorlatendheden en de boorprofielen. Uit de boorprofielen (op basis van de beschikbare boorgegevens zoals aangegeven in hoofdstuk 2) blijkt dat laag 4 veel grindiger is. In het grondwatermodel is de horizontale doorlatendheid ook groter dan de lagen eronder.

2.4 Anisotropie

De anisotropie module binnen het MODLFOW concept wordt gebruikt voor het diffuus schematiseren van horizontale anisotropie. Bij het diffuus schematiseren van anisotrope condities worden de anisotrope eigenschappen ‘uitgesmeerd’ over en groot gebied. Dit wordt met name toegepast in gestuwde systemen waar bijvoorbeeld niet precies bekend is waar de kleischotten voorkomen. Ook kan worden gekozen voor het discreet schematiseren van macro-anisotropie. Dit wordt bijvoorbeeld gedaan bij het schematiseren van breuklijnen (zie paragraaf 2.6).

In de omgeving van de Maas is echter geen gebruik gemaakt van deze diffuse schematisatie van anisotropie[5]. Omdat iMODLFOW deze inputbestanden regionaal wel nodig heeft, zijn de bestanden van GRAM en MORIA wel gekoppeld.

Na aanleiding van verschillende vragen over het effect van verticale anisotropie in de (bovenzijde) van het eerste watervoerende pakket is een kort onderzoek uitgevoerd om het effect hiervan te toetsen. Dit onderzoek is beschreven in hoofdstuk 9.

2.5 Berging

De freatische bergingscoëfficiënt is in het buitendijkse gebied verlaagt van 0.15 naar 0.01. Dit is gedaan omdat het model een hoogwatersituatie simuleert, waarbij de uiterwaarden voor een groot deel onderwater zullen staan en er dus eigenlijk bijna geen freatische berging mogelijk is.

Ook zijn de bergingscoëfficiënten voor de gespannen watervoerende pakketten aangepast. Deze waren in beide basismodellen relatief hoog. Hoe hoger de bergingscoëfficiënt is, hoe groter de demping van de dynamiek tijdens de hoogwatersituatie zal zijn. Voor het doorrekenen van een relatief korte periode met veel stijghoogtevariatie is de bergingscoëfficiënt dus belangrijk. In overleg met Deltares is de elastische berging in de watervoerende pakketten berekend met een specifieke bergingscoëfficiënt van 1E-5 (m^{-1}). Deze is vervolgens vermenigvuldigd met de diverse laagdiktes. In het Grondwaterzakboekje (2016) wordt een range aan specifieke bergingscoëfficiënt benoemd voor gespannen pakketten. De hier gehanteerde specifieke bergingscoëfficiënt is een ondergrens van de opgegeven range. Het is hiermee een conservatief uitgangspunt, waarbij relatief weinig demping optreed van de hoogwatergolf. In bijlage 2 is per laag de berekende bergingscoëfficiënt weergegeven.

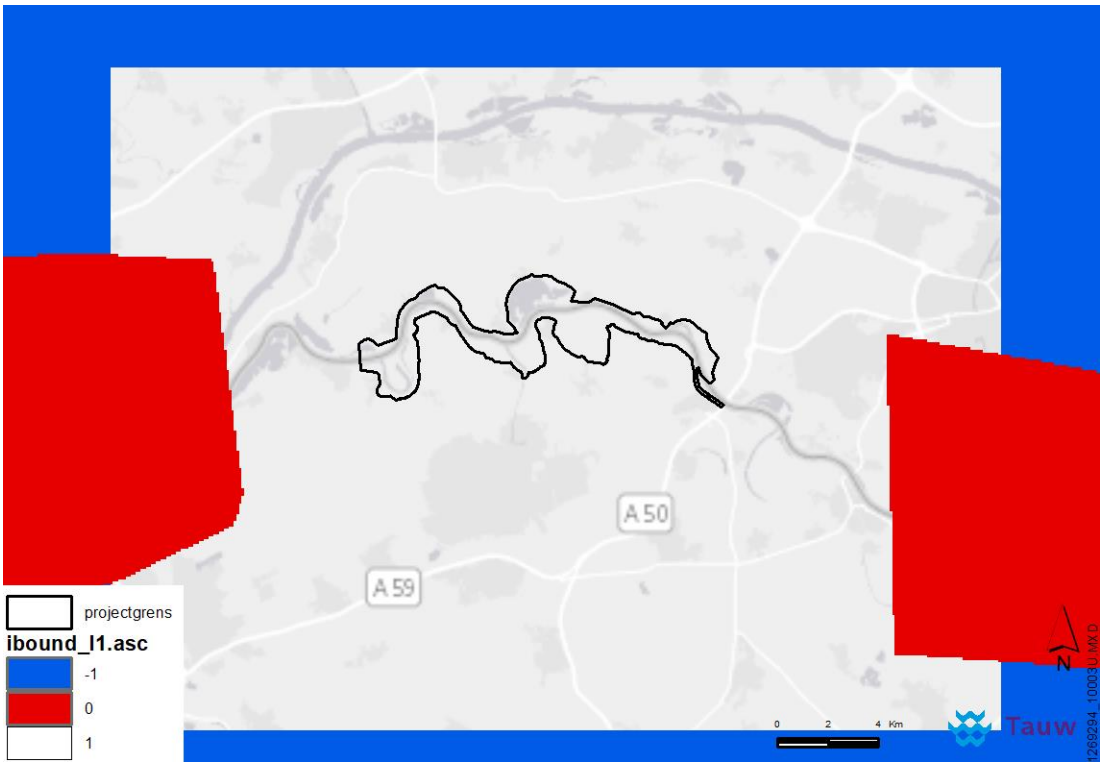
2.6 Breuken

In het basismodel liep de Peelrandbreuk aan de bovenzijde door tot en met het eerste watervoerende pakket. Omdat het onrealistisch is dat de Peelrandbreuk ook in het eerste watervoerende pakket een barrière vormt, is deze verwijderd uit de lagen 1 t/m 8.

2.7 Randvoorwaarden

In het westen en oosten van de maas zijn de randen langs de maas op inactief gezet. Hierdoor ontstaat een “no-flow” rand, waardoor de dynamiek vanuit de Maas vrij landinwaarts kan bewegen.

[5] In het model is verder ook niets opgenomen m.b.t. tot micro-anisotropie waarbij de hydraulische eigenschappen van het materiaal niet gelijk is in de x en y richting. In het model wordt uitgegaan van horizontaal isotrope condities.



Figuur 2.13 iBOUND van het model. In blauw de randen met een vast peil en in rood de randen die op inactief zijn gezet

2.8 Onttrekkingen

De gegevens uit de WEL-package zijn gecombineerd. Hierbij zijn de winningen vanuit MORIA 4.3 toegekend in overeenstemming met het aangepaste lagenmodel.

3 Waterlopen/ontwaterinsgmiddellen

3.1 Maas en Waal

3.1.1 Geconstrueerde hoogwatergolf

In het model is een nieuwe hoogwatergolf opgenomen. De wijze waarom deze golf is geconstrueerd is beschreven in een separate notitie. Deze notitie is opgenomen in bijlage 13.

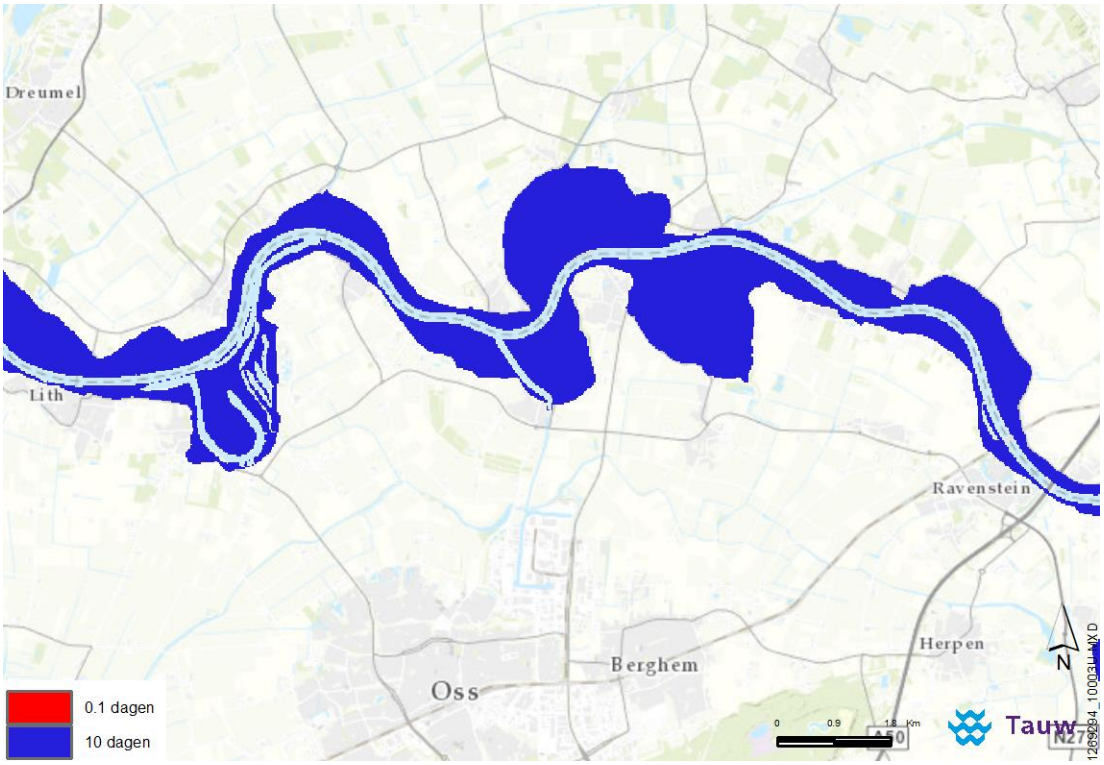
3.1.2 Insnijding en intredeweerstanden

Het zomerbed en de nevengeulen van de Maas snijden in tot en met laag 4, zie figuur 3.2. De intredeweerstand in het zomerbed is 0.1 dag en die van de nevengeulen 10 dagen. Dit onderscheid is gemaakt omdat de doorstroming in de nevengeulen minimaal is (in de drogere periodes), en zich hier dus een sliblaag kan opbouwen. Dit zal in zomerbed van de Maas niet het geval zijn. De insnijding van de nevengeulen in het eerste watervoerende pakket is berekend op basis van bodemhoogtebestand in baseline (Maas-beno_mknov15_5-v3). Ter plaatse van het zomerbed is de deklaagweerstand verwijderd.

Het winterbed van de maas (de uiterwaarden) snijdt niet in tot het watervoerende pakket en is daarom alleen toegevoegd in laag 1. De intredeweerstand is ook hier op 10 dagen gezet[6]. Hieronder bevindt zich op de meeste plaatsen dan ook nog de deklaagweerstand.

De infiltratie factor voor de gehele maas is 1. Dit betekend dat de intredeweerstand gelijk is aan de uittredeweerstand.

[6] De intredeweerstand is een parameter die vaak onzeker is, omdat deze weerstand in de praktijk nooit wordt gemeten. In dit geval is gekozen voor een minimale waarde van 10 dagen. Dit is mogelijk niet voldoende conservatief. In de gevallen waar geen deklaag aanwezig is, is deze weerstand namelijk zeer bepalend voor de demping richting het eerste watervoerende pakket. In de planfase zal deze weerstand aarom heroverwogen moeten worden.



Figuur 3.1 Waterbodemweerstand winterbed Maas (modellaag 1)

3.2 Overige watergangen

3.2.1 Leggerwatergangen

De leggerwatergangen van GRAM2.0 en MORIA3.4 zijn gekoppeld. Alle watergangen bevinden zich in modellaag 1 t/m 3. Op basis van de bodemhoogte van de watergangen en de berekende onderzijde van de deklaag, is bepaald of ze ook insnijden in het watervoerende pakket. Bij de onderzijde deklaag is 50 cm afgetrokken om er zeker van te zijn dat er echt contact is tussen watergang en eerste watervoerend pakket. De conductance is verdeeld zoals weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Verdeling conductance over modellagen

	Geen insnijding watervoerend pakket	Wel insnijding watervoerend pakket
Modellaag 1	15 %	10 %
Modellaag 2	15 %	10 %
Modellaag 3	70 %	10 %
Modellaag 4	0 %	70 %

De infiltratiefactoren zijn niet aangepast. In het GRAM-deel van het model bedraagt deze 0,3.

Toevoeging Burg Delenkanaal

In GRAM2.0 is het kanaal en haven van het Burgemeester Delenkanaal niet opgenomen. Daarom is deze alsnog toegevoegd. Het peil (NAP 5 m jaarrond) en bodemhoogte (NAP 0,0 m) is overgenomen uit het beheerplan[7] van de gemeente Oss. De infiltratiefactor (0,30) is hetzelfde gekozen als grote watergangen in de omgeving. De conductance is gekozen op 62,5 m^2/dag overeenkomstig met een bodemweerstand van 10 dagen.

In bijlage 2 zijn de volgende kaarten weergegeven:

- Bodemhoogte
- Totale conductance
- Infiltratiefactor
- Winterpeil
- Zomerpeil

3.2.2 Detailwatergangen

De detailwatergangen van GRAM2.0 en MORIA3.4samengevoegd in één bestand. Echter, bijna alle waterlopen in MORIA3.4 zijn in de legger opgenomen. Alle watergangen bevinden zich in modellaag 1 t/m 3. Op basis van de bodemhoogte van de watergangen en de onderzijde deklaag is bepaald of ze zich ook in laag 4 bevinden. Hierbij is een buffer van 0,5 m aangehouden. Waterlopen snijden alleen in als deze meer de 0,5 m insnijden in het eerste watervoerende pakket. Op basis van dit criteria snijden er binnen het interessegebied geen waterlopen in het

[7] Gemeente Oss, Beheerplan haven 2015 – 2019, d.d. 9 september 2015

eerste watervoerende pakket. Er is voor deze methode gekozen omdat anders op verschillende plekken, dicht achter de dijk, korte delen van waterlopen insnijden in het eerste watervoerende pakket. Het is de vraag of dit realistisch is, omdat hiervoor zowel de onderzijde deklaag als de waterbodemhoogte met relatief grote zekerheid vastgesteld dient te zijn. Ook op basis van veldmetingen blijkt dit niet het geval te zijn. Er is daarom gekozen voor dit conservatieve uitgangspunt. Doordat de waterlopen niet insnijden, vind de ontlasting van het eerste watervoerende pakket pas op grotere afstand plaats. Hierdoor treed er minder demping op van de hoogwatergolf.

De conductance is op dezelfde wijze verdeeld als bij de leggerwatergangen. De infiltratiefactor is 0 zodat de watergangen niet kunnen infiltreren.

In bijlage 2 zijn de volgende kaarten weergegeven:
- Bodemhoogte
- Conductance
- Peil

3.3 Peilen legger- en detailwatergangen bij hoogwater

Bij hoogwater zijn de peilen in de watergangen in het achteland hoger vanwege de kweldruk. Om in te schatten in welke gebied langs de dijk zich dit voordoet, zijn luchtfoto's van 1993 en 1995 opgevraagd. Deze zijn helaas niet beschikbaar. Daarom is in het eerste peilvak achter de dijk in het achterland het peil gelijk gezet aan de minimale maaiveldhoogte in de omgeving van de watergang. De maaiveldhoogte is in dit geval bepaald door AHN3 (0,5 m) om te zetten naar 25 m waarbij de minimale waarde wordt genomen. Ter plaatse van de watergangen is de maaiveldhoogte verwijderd en weer opgevuld door middel van interpolatie (PCG in iMOD). Bijlage 4 toont de verhoging van het peil en het aangepaste peil. De hogere peilen worden in het model actief vanaf tijdstap 12. Dit moment vormt de overgang van de aanloopperiode naar de daadwerkelijke hoogwatergolf. Het uitgangspunt is hierbij dat vanaf dat punt de uiterwaarde onderlopen en er significante kweldruk ontstaat in de sloten.

3.4 Buisdrainage

De buitendijkse waterlopen zijn vanuit de RIV-package verplaatst naar de DRN-package. Dit is gedaan omdat bij het onderlopen van de uiterwaarde deze waterlopen zo uitgeschakeld kunnen worden.

In bijlage 3 zijn de input bestanden voor de drn-package weergegeven. River bestanden (RIV-package) binnen uiterwaarden naar de drn package verplaatst.

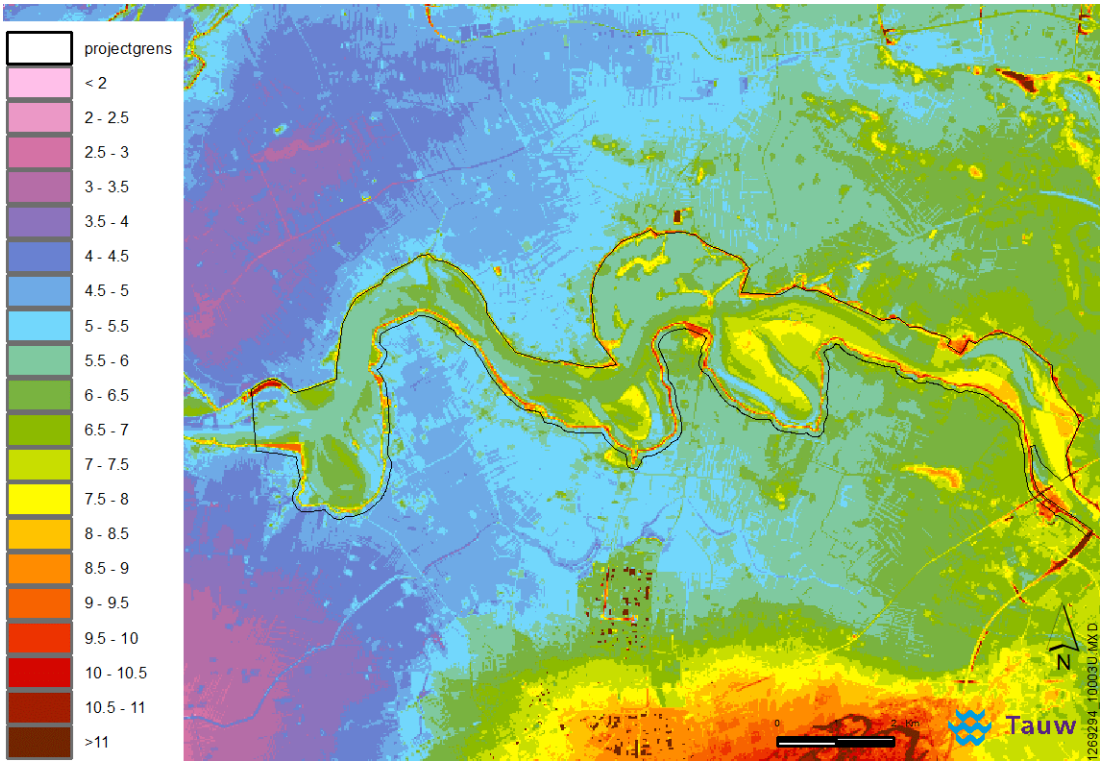
GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
BUISDRAINAGE_CONDUCTANCE.IDF	DRAINAGE_CONDUCTANCE.IDF	
BUISDRAINAGE_PEIL.IDF	DRAINAGE_NIVEAU_WINTER.IDF	Onverklaarbaar lage waarden in MORIA gebied aangepast naar waarden van omliggende cellen

3.5 Overlandflow

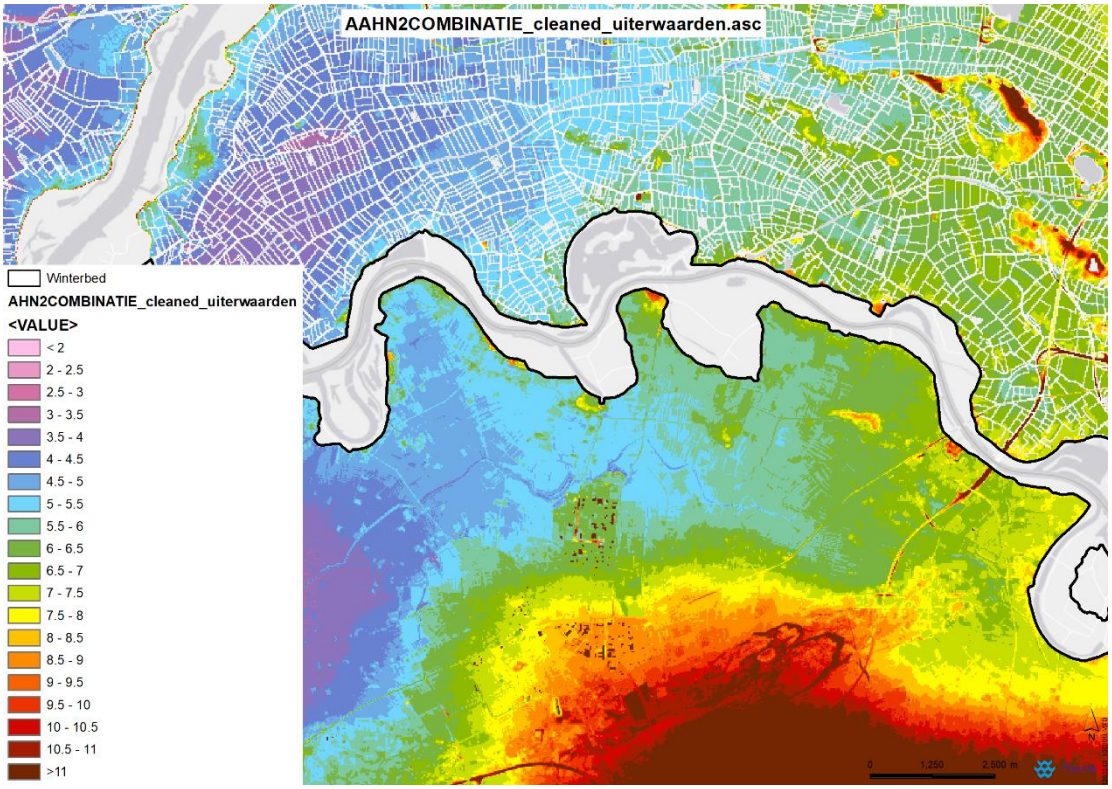
Overlandflow zorgt er voor dat grondwaterstanden niet boven maaiveld kunnen stijgen. Bij de toekenning van overlandflow is onderscheid gemaakt tussen de stationaire aanloopperiode (tijdstap 1 van het model) en de simulatie van de hoogwatergolf.
In tijdstap 1 is wel een OLF-niveau ingebracht in de uiterwaarden. Dit is gedaan om te voorkomen dat het grondwaterniveau ongelimiteerd kan stijgen in deze ‘inspeelperiode’ van 10 jaar. De OLF is bij de start van de hoogwatergolf (tijdstap 2) verwijderd binnen de uiterwaarden om te zorgen dat de grondwaterstand hier met het rivierpeil kan meestijgen.

Het OLF-niveau voor tijdstap 1 en de rest van de rekenperiode zijn weergegeven in figuren 3.7 en 3.8.

GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
AHN2COMBINATIE.IDF	OVERLANDFLOW.IDF	OLF verwijderd binnen uiterwaarden zodat deze kunnen overstromen



Figuur 3.2 Niveau (m NAP) overlandflow voor tijdstap 1



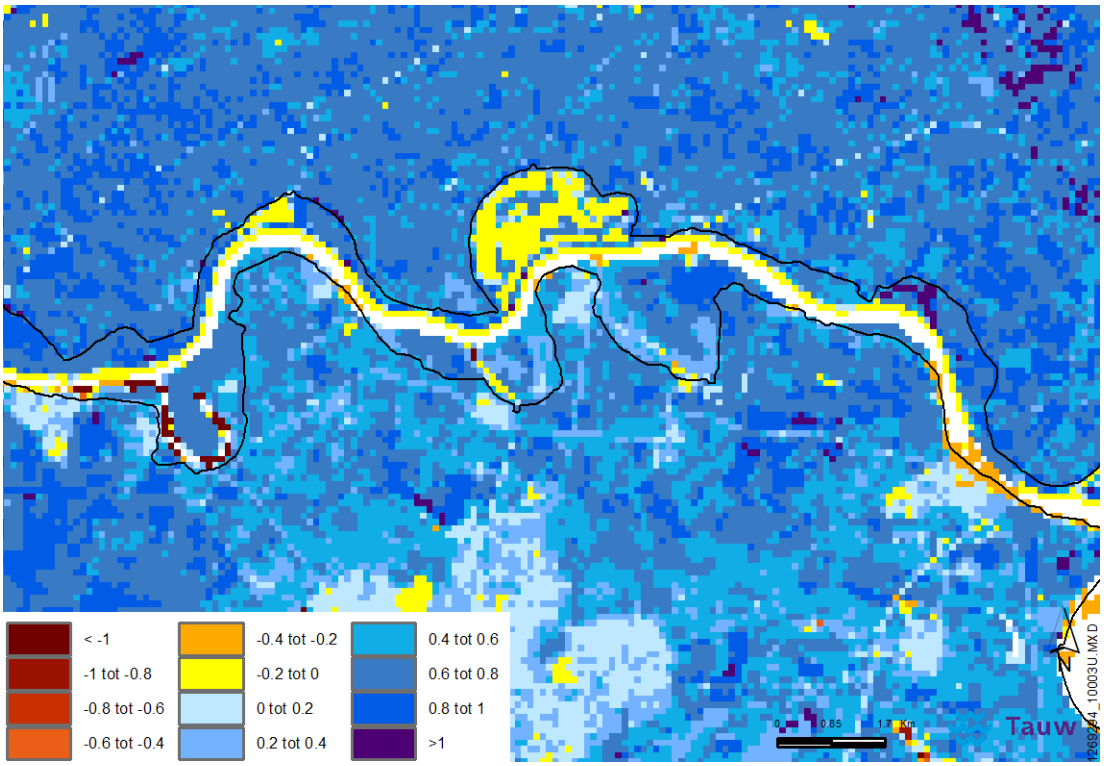
Figuur 3.3 Niveau (m NAP) overlandflow

4 Overig

4.1 Runfile

4.1.1 Tijdstappen en grondwateraanvulling

De stationaire aanloopperiode (tijdstap 1) bedraagt 10 jaar waarin startstijghoogten worden berekend met een gemiddelde grondwateraanvulling, zie figuur 4.1. De startcondities betreffen dus een gemiddelde situatie.

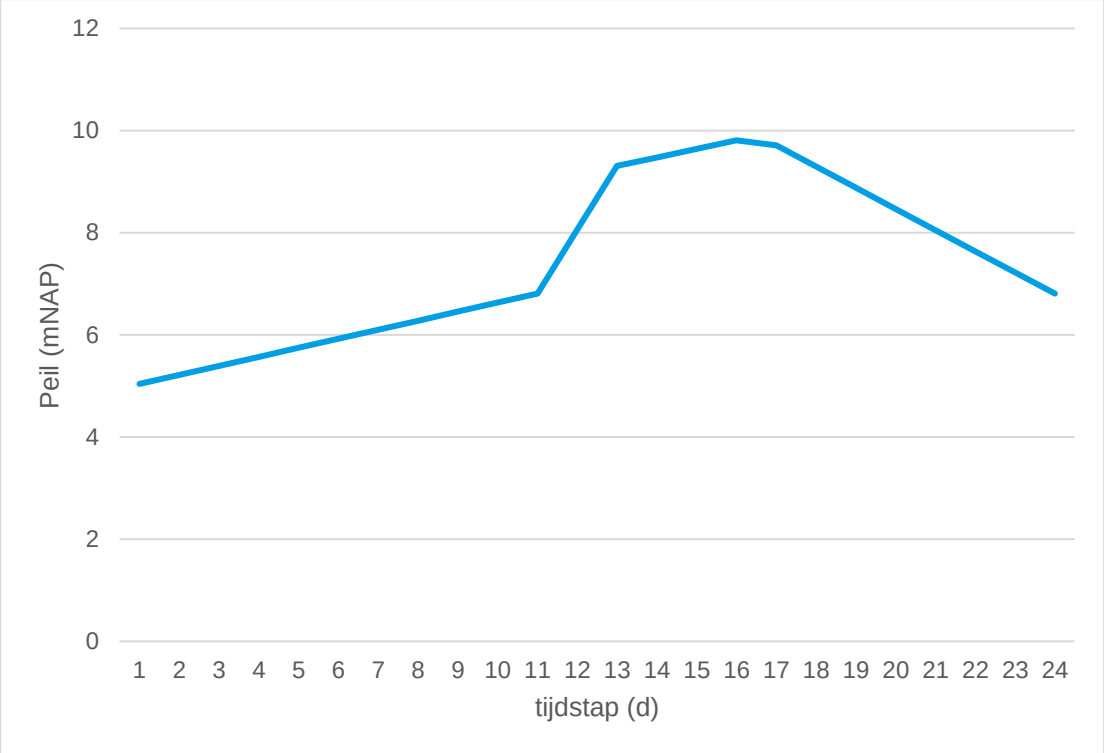


Figuur 4.1 Grondwateraanvulling in tijdstap 1

Tijdstappen 2 t/m 25 bedragen steeds 1 dag waarbij een grondwateraanvulling van 4 mm/dag is aangehouden.

4.1.2 Hoogwatergolf

Het afleiden van de hoogwatergolf is beschreven in een separate notitie die is opgenomen in bijlage 13. In het referentiemodel start de waterstart conform de betrekkingslijnen bij een afvoer van (825 m^3/d). Hierna loop de waterstand over 15 tijdstappen op tot de waterstand bij norm (WBN t=10000). Hierna zak het peil over 9 tijdstappen terug tot de WBN -3 m. Het verloop van de hoogwatergolf (voor een specifieke rekencel in het rivier-grid) is weergegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2 Het verloop van de hoogwatergolf in het referentiemodel voor een specifieke rekencel in het model. Het verloop van het peil is in het gehele model gelijk, het absolute niveau van het peil verschilt.

4.1.3 sluitingscriteria

HCLOSE op 0,001 m en QCLOSE op 1 m^3 gezet. Er is een berekening gedaan met kleinere sluitingscriteria, maar dit had geen significant effect op berekende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.

Als startstijghoogte is de uitvoer van het stationaire model gebruikt. Aangezien de eerste periode 10 jaar wordt doorgerekend zijn deze initiële startstijghoogte ter plaatse van het onderzoek niet relevant voor de uitkomst van het model.

5 Effecten van de modelaanpassingen

Gedurende het innovatietraject zijn in de drie verschillende fases, aanpassingen uitgevoerd aan het grondwaterstromingsmodel. Aan het eind van elke fase is een versie van het grondwaterstromingsmodel gebruikt om invoer te generen voor de sterkteberekeningen. In fase 1 is in de QuickScan het basisgrondwatermodel opgesteld. De effecten van aanpassingen in fase 2 en 3 zijn steeds weergegeven ten opzichte van de voorgaande modelversie.

De aanpassingen zoals gepresenteerd in dit rapport hebben dus altijd betrekking op aanpassingen die nog steeds zijn opgenomen in het huidige referentiemodel van fase 3. Sommige effecten die berekend zijn in fase 2 zijn dus niet meer relevant omdat in fase 3 deze aanpassing opnieuw en op andere wijze is uitgevoerd. Dit geld bijvoorbeeld voor de deklaagweerstand.

De effecten van alle modelaanpassingen binnen beide fasen, zijn weergegeven in bijlage 10.

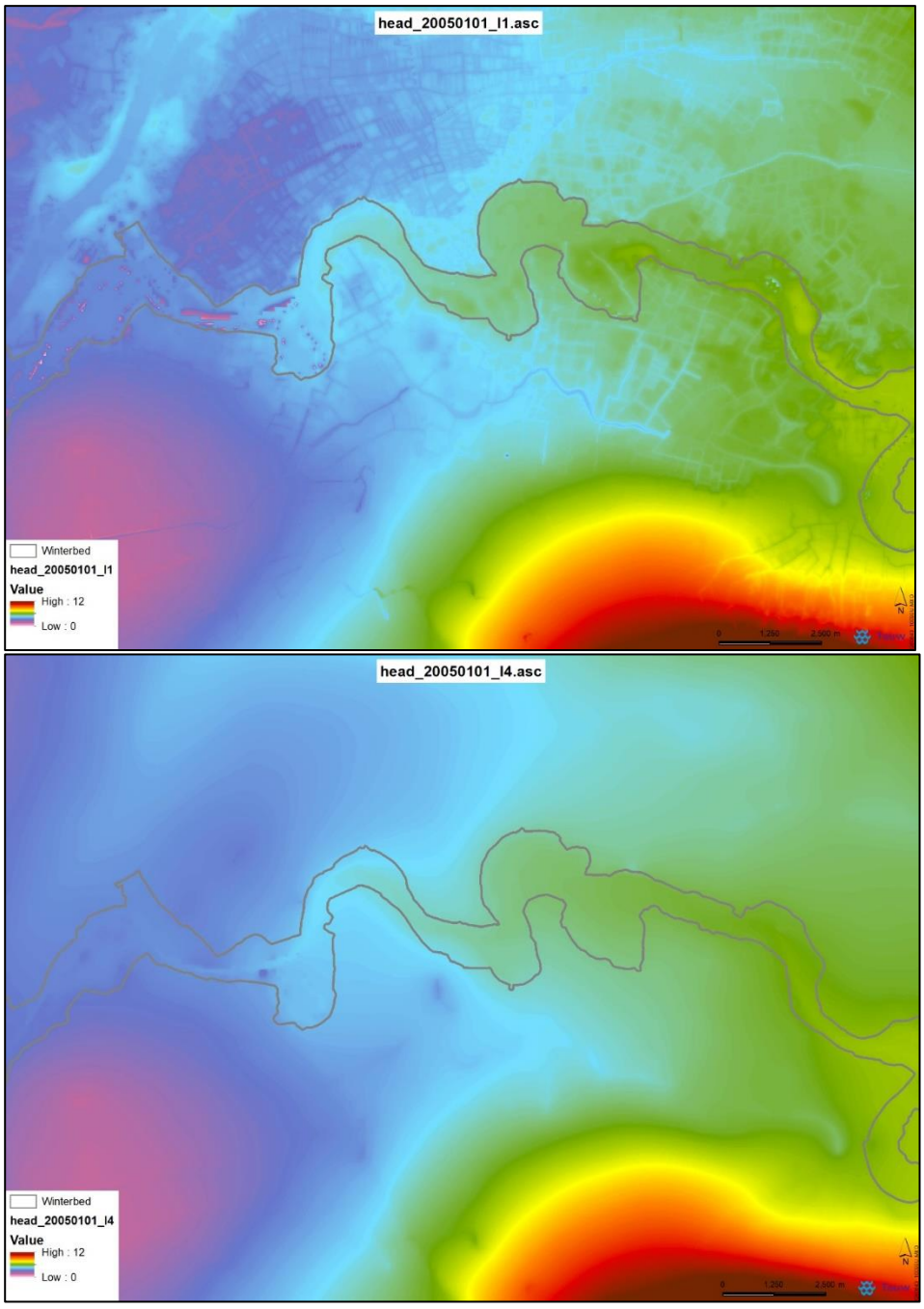
6 Output referentiemodel

De volgende kaarten zijn opgenomen in de bijlagen:

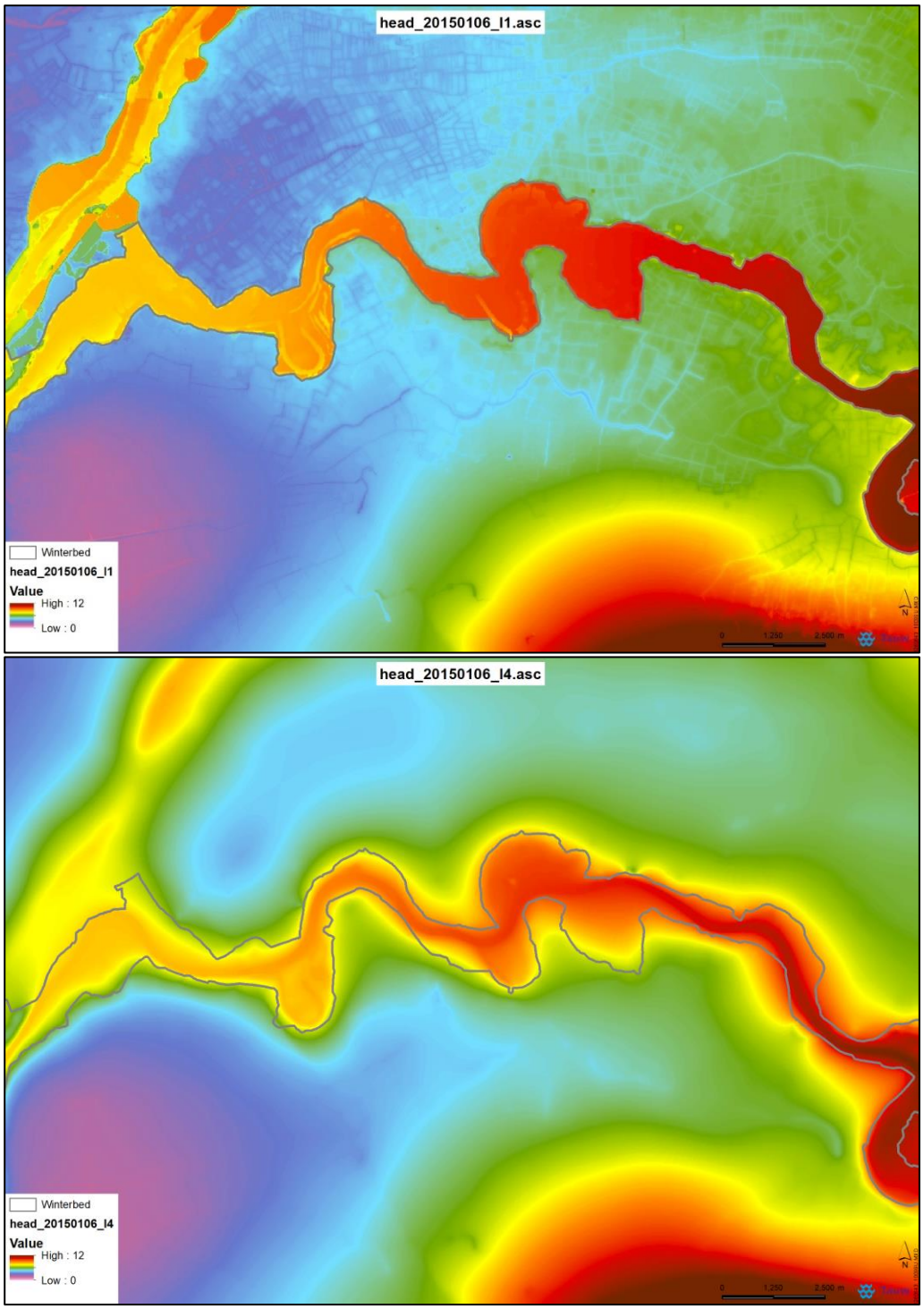
- Berekende stijghoogten modellaag 1 en 4 (bijlage 4)
- Berekende riverfluxen modellagen 1, 3 en 4 (bijlage 5)
- Berekende drainfluxen modellaag 1 (bijlage 6)
- Berekende kwel/infiltratiefluxen 1, 3 en 4 (bijlage 7)
- Berekende storagefluxen modellagen 1, 3 en 4 (bijlage 8)

6.1 Berekende stijghoogten

Figuur 6.1 en 6.2 tonen de berekende freatische grondwaterstand en stijghoogte in het eerste watervoerend pakket voorafgaand aan de hoogwatergolf en op het hoogtepunt van de hoogwatergolf. In figuur 6.2 is te zien dat ter plaatse van het zomerbed van de Maas de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket het hoogst. Verder is te zien dat de stijghoogte ter plaatse van de binnenbochten van de meanders hoger is dan in de buitenbochten.



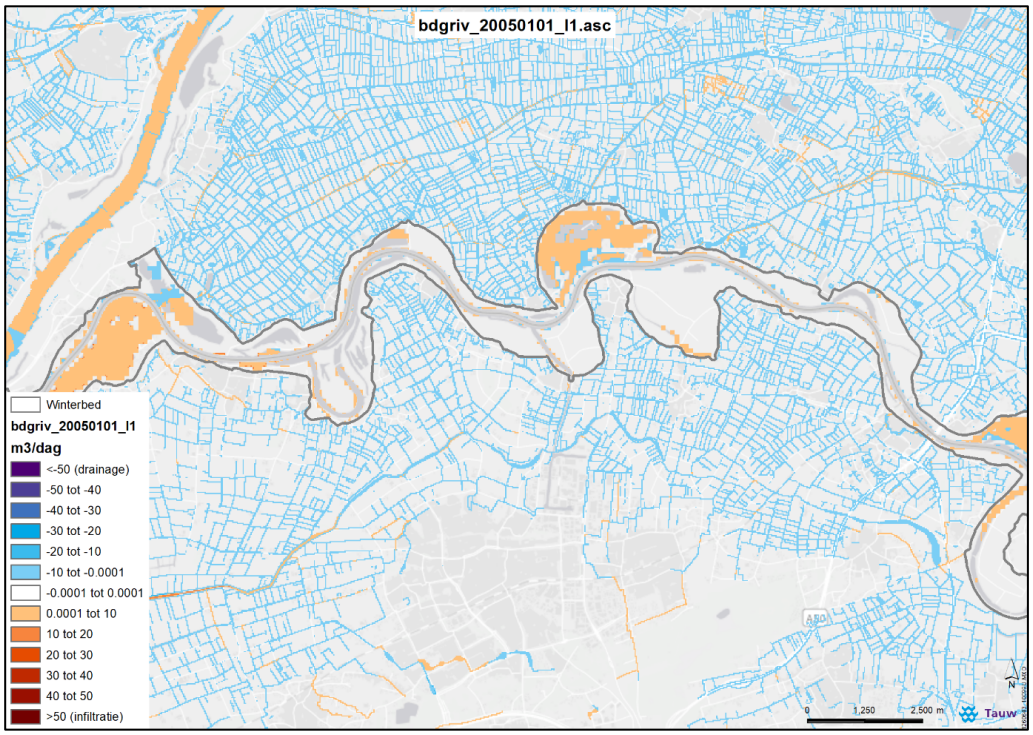
Figuur 6.1 Berekende grondwaterstand freatisch pakket en stijghoogte eerste watervoerend pakket voor de start van de hoogwatergolf.

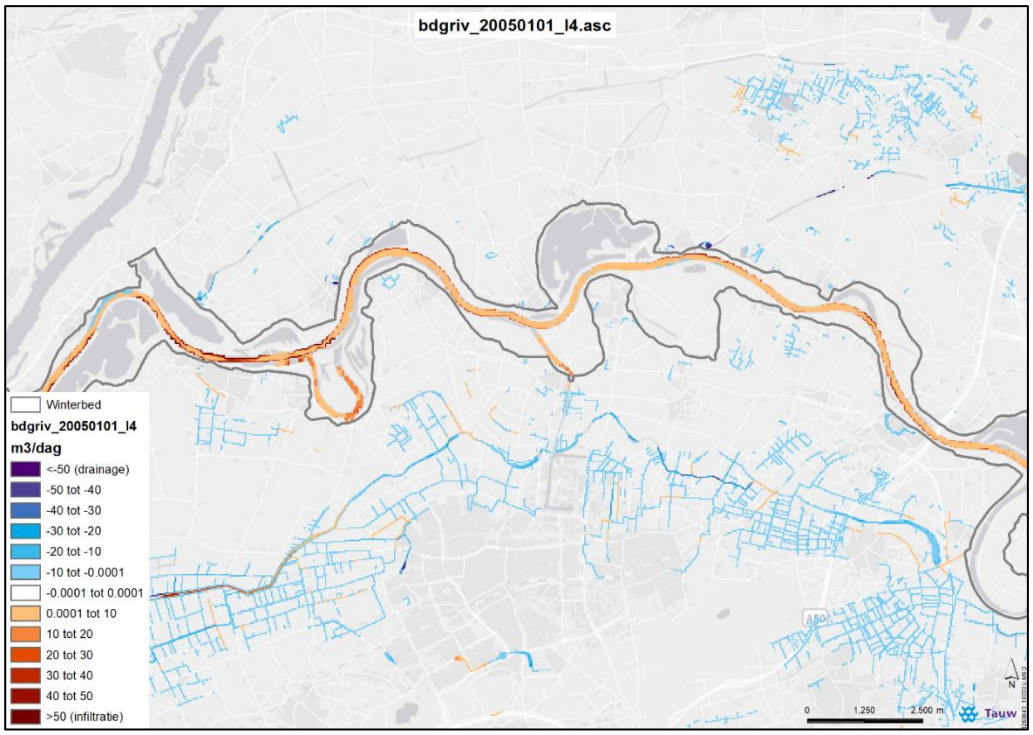


Figuur 6.2 Berekende grondwaterstand freatisch pakket en stijghoogte eerste watervoerend pakket op het hoogste punt van de hoogwatergolf

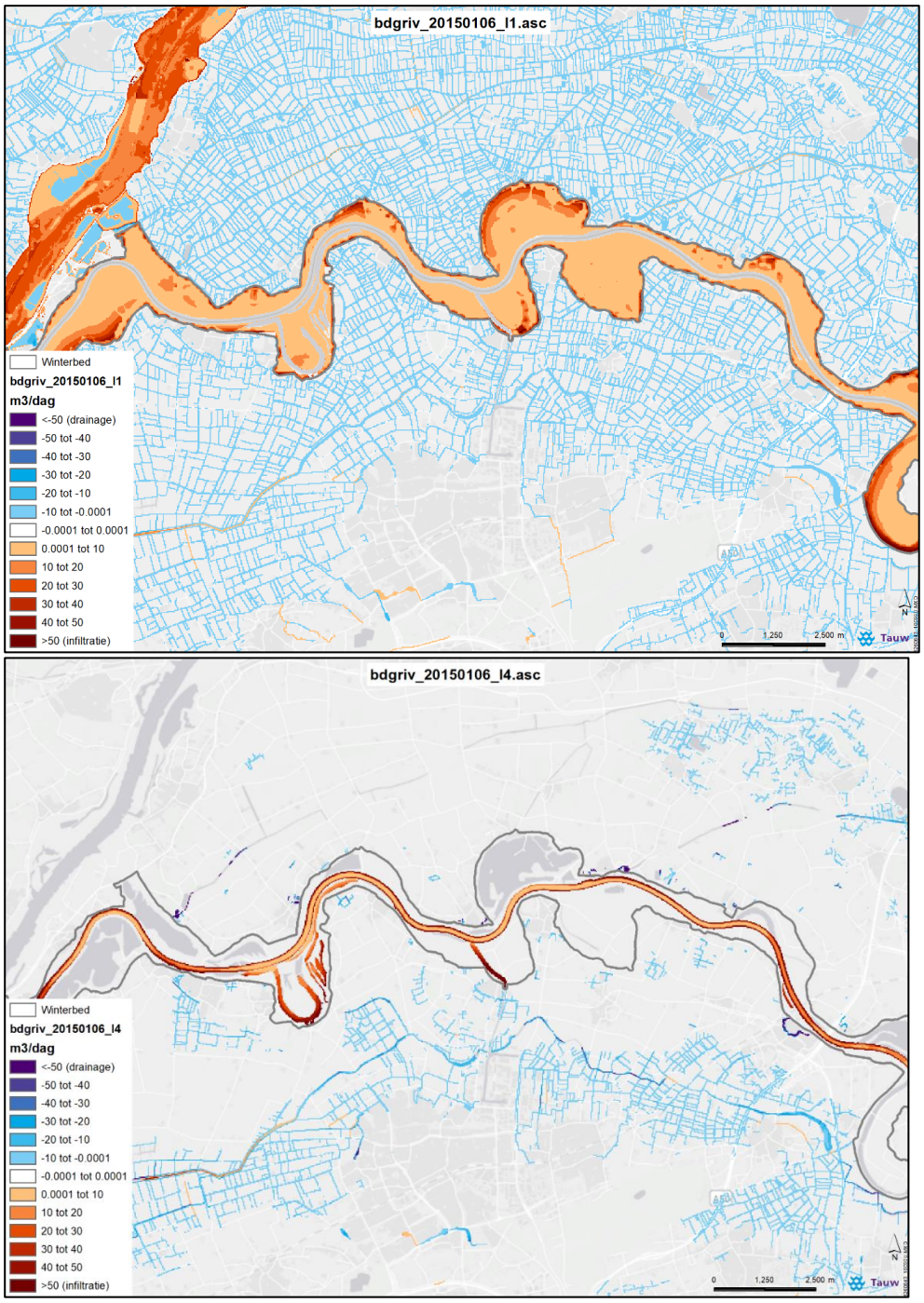
6.2 Berekende riverfluxen

De berekende riverfluxen zijn weergegeven in bijlage 5. Figuur 6.3 en 6.4 tonen de berekende riverfluxen in het freatisch en eerste watervoerend pakket voorafgaand aan de hoogwatergolf en op het hoogtepunt van de hoogwatergolf. Door de overstroming van de uiterwaarden nemen de riverfluxen hier toe tijdens de hoogwatergolf. Ook in het eerste watervoerend pakket neemt de infiltratie toe bij een hogere waterstand.





Figuur 6.3 Berekende riverfluxen freatisch pakket en stijghoogte eerste watervoerend pakket voor de start van de hoogwatergolf.



Figuur 6.4 Berekende riverfluxen freatisch pakket en stijghoogte eerste watervoerend pakket op het hoogste punt van de hoogwatergolf

7 Kalibratie en validatie

Het aangepaste referentiemodel is stationaire gekalibreerd en niet-stationair gevalideerd. In dit hoofdstuk worden beide toegelicht.

7.1 Stationaire kalibratie

Het referentiemodel is stationair gekalibreerd met behulp van PEST. In deze kalibratie zijn de volgende parameters meegenomen:

1. De deklaagweerstand
2. De weerstand aan de onderzijde van het 1^{e} watervoerende pakket
3. De kD van het 1^{e} watervoerende pakket
4. De conductance van de legger en detailwaterlopen

Op basis van een stationaire kalibratie kan voor deze 4 parameters goed worden vastgesteld of er aanpassing nodig zijn voor een betere modelprestatie. De parameteraanpassingen zijn steeds vlakdekkend toegepast.

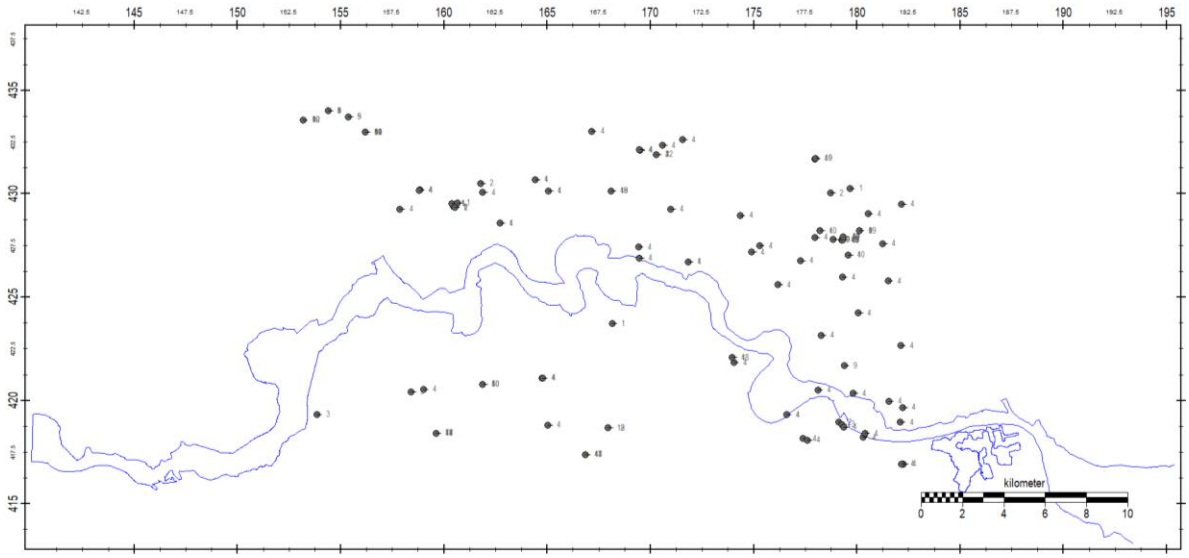
7.1.1 Stationaire ijkset

Voor de kalibratie is de stationaire ijkset van het MORIA- (noordelijk van de Maas) en GRAM-model (westelijk van de Maas) gecombineerd. Alle metingen tot een afstand van 2 km van de modelrand zijn gebruikt. Een uitzondering zijn de metingen langs de no-flow randen aan de oost en west zijde van de maas. Hier is geen afstand tot de moderanden aangehouden. In totaal waren 145 peilbuislocaties beschikbaar. Hiervan bevind het grootste deel van de locaties zich in het 1^{e} watervoerende pakket. De onderverdeling is weergegeven in tabel 7.1. Er zijn relatief gezien zijn er veel metingen beschikbaar in het 1^{e} watervoerende pakket. Dat is ook het systeem waar de interesse ligt.

Tabel 7.1 Het aantal beschikbare stationaire ijkpunten binnen het modeldomein

Lagen	Systeem	Aantal metingen
1 t/m 3	deklaag	19
4 t/m 9	1e watervoerende pakket	82
>9	dieper systeem	44

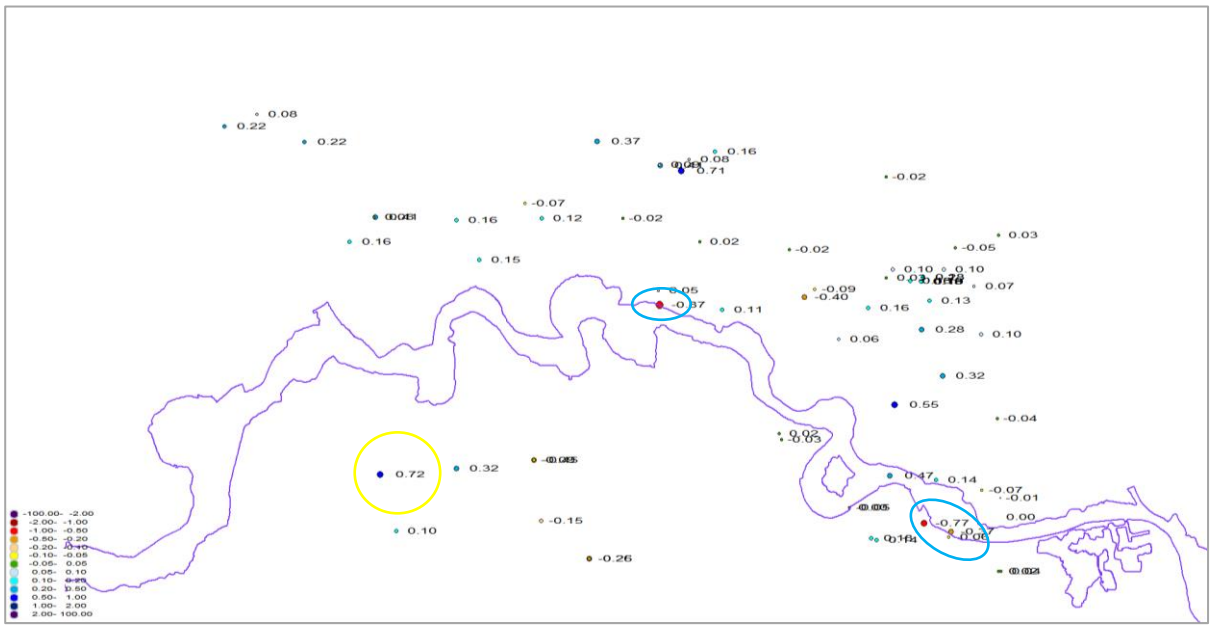
Het aantal ijkpunten in de directe omgeving van het plangebied (rondom de dijkzone) is beperkt. Daarnaast is vaak voor de beschikbare punten slechts enkele jaren gemeten, daarom zijn deze meetreeksen verlengd voor de ijkset van GRAM2.0. In bijlage 11 zijn ook kaarten opgenomen waarin is weergegeven hoeveel jaar is gemeten en welke meetreeksen verlengd zijn. In figuur 7.1 zijn de locaties van de peilbuizen weergegeven.



Figuur 7.1 De locaties van de beschikbare peilbuizen. Het label geeft de laag waarin zich het filter bevind

7.1.2 Initiële prestatie referentiemodel

Voor aanvang van de kalibratie is gekeken naar de initiële prestatie van het stationaire referentiemodel. Hierbij is gekeken naar de residuen per peilbuislocatie. In figuur 7.2 zijn de residuen voor de peilbuizen in modellaag 4 weergegeven (bovenzijde 1e watervoerende pakket).

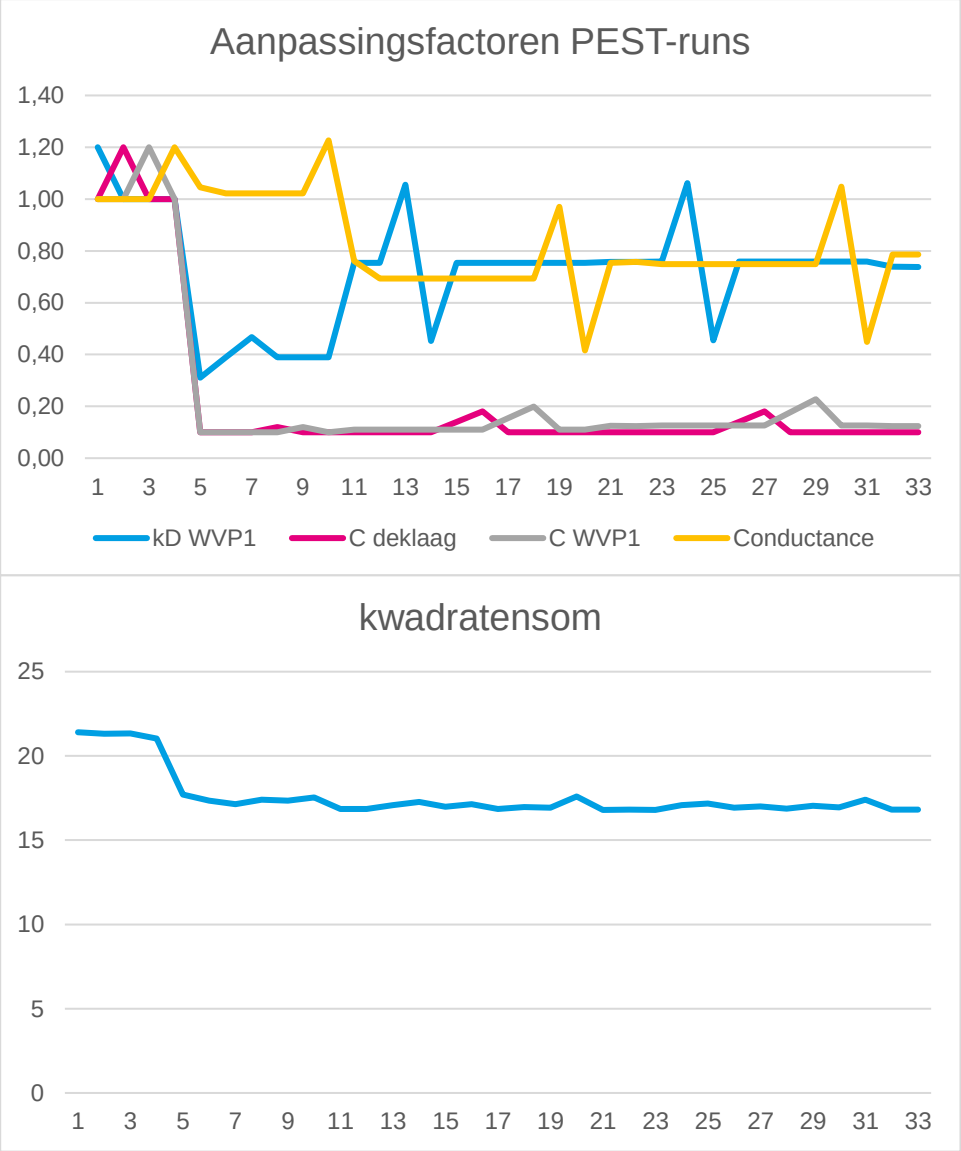


Figuur 7.2 De berekende initiële residuen voor het referentiemodel in modellaag 4 (bovenzijde 1e watervoerende pakket). In geel omcirkeld de peilbuis in de buurt van de breukzone en in blauw de peilbuizen in de directe omgeving van waterlopen

Wat opvalt is dat het referentiemodel initieel al goed presteert; de residuen bij de meeste peilbuislocaties is beperkt. De meeste peilbuislocaties in de buurt van de Maas laten een kleine afwijking zien. Wel zijn er enkele peilbuizen met extreme uitschieters van circa 80 cm. In geen is de peilbuis omcirkeld in de directe omgeving van een breukzone. In blauw zijn afwijkingen weergegeven waarbij een duidelijk effect van ontwateringsmiddelen zichtbaar is in het eerste watervoerende pakket. Deze afwijkingen ontstaan waarschijnlijk door fouten in het modelconcept (lokaal foute parametrisatie waterlopen en breuk) of in de meetgegevens. Omdat de meetpunten op afstand liggen van het interessegebied en omdat omliggende peilbuizen een veel kleinere afwijking laten zien, is hier niet verder naar gekeken. Uit controle blijkt dat deze afwijkingen geen invloed hebben gehad op de PEST-analyse.

7.1.3 Resultaten Kalibratie

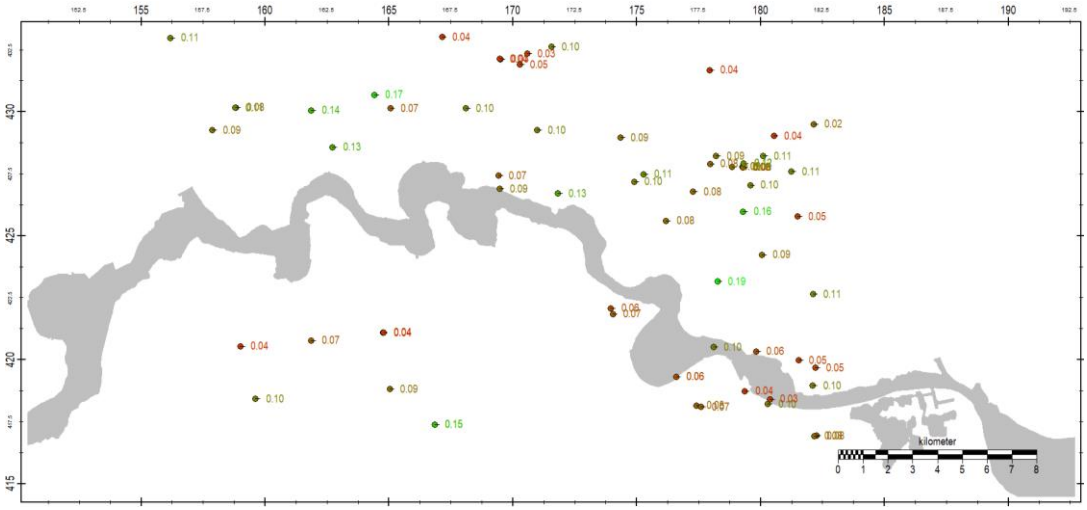
In totaal zijn er in de PEST-analyse 33 runs nodig geweest voor het behalen van de doelfunctie. De kwadratensom is binnen deze runs van 21 verkleint tot 17. De optimalisatie die is gerealiseerd is dus zeer beperkt. Dit komt met name door de relatieve goede stationaire prestatie van het initiële model. Het verder verkleinen van de afwijking wordt daardoor steeds lastiger, wat vaak ook resulteert in extreme aanpassingsfactoren. Het verloop van de kwadratensom en de bijbehorende aanpassingsfactoren is weergegeven in figuur 7.3.



Figuur 7.3 Het verloop van de aanpassingsfactoren (boven) en van de kwadratensom (onder)

Gevoeligheid bij meetpunten

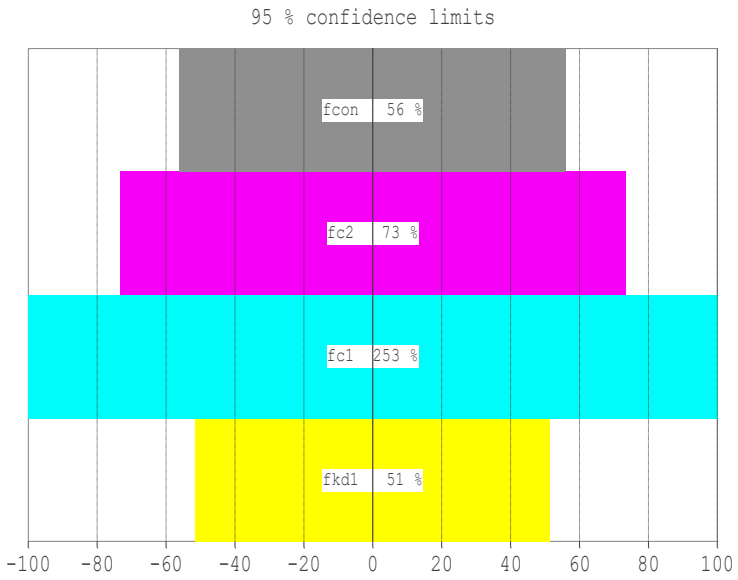
In figuur 7.4 is de gevoeligheid van de meetpunten in modellaag 4 weergegeven. Hieruit blijkt dat het effect van de (extreme) aanpassingen in de omgeving van het interessegebied beperkt is. De meest gevoelige locaties liggen ten noorden van de Maas.



Figuur 7.4 De gevoeligheid van de meetpunten in modellaag 4 (top 1e watervoerende pakket). Hoe kleiner het getal is hoe minder gevoelig deze locatie is voor de aanpassingsfactoren die zijn gevonden. De getallen zijn ook gekoppeld aan een kleur met groen voor meer gevoelig en rood voor minder gevoelig.

Betrouwbaarheid aanpassingsfactoren

Zoals aangegeven is de afname van de kwadratensom beperkt. Hiervoor zijn extreme aanpassingen nodig van de weerstanden aan de boven en onderzijde van het 1e watervoerende pakket. Ook is de range van het 95 betrouwbaarheidsinterval, zeker voor de weerstandsaanpassingen, erg groot. Het betrouwbaarheidsinterval is per parameter weergegeven in figuur 7.5.



Figuur 7.5 Het 95 betrouwbaarheidsinterval van de aanpassingsfactoren die zijn berekend aan de hand van de PEST-analyse

Het betrouwbaarheidsinterval en de aanpassingsfactoren die horen bij de gerealiseerde doelfunctie zijn gecombineerd tot een betrouwbaarheidsrange. Deze is weergegeven in tabel 7.2.

Tabel 7.2 De aanpassingsfactor bij de gerealiseerde doelfunctie en de bijbehorende bandbreedte op basis van het 95 betrouwbaarheidsinterval

Aanpassingsveld	Aanpassingsfactor	betrouwbaarheidslimiet (%)	bandbreedte (min)	bandbreedte (max)
kD WVP1	0.71	51	0.35	1.08
C deklaag	0.10	253	-0.15	0.35
C WVP1	0.13	73	0.03	0.22
Conductance	0.80	56	0.35	1.25

Op basis van het betrouwbaarheidsinterval is besloten om geen aanpassing door te voeren op de geselecteerde parametervelden. Voor de kD1 en de conductance geldt, dat op basis van het betrouwbaarheidsinterval een factor 1 (dus geen aanpassing) ook passend is. Voor deze parametervelden is het ook waarschijnlijk dat we de juiste parameterwaarden hebben gevonden. Wel dient hier opgemerkt te worden dat er zeer weinig metingen beschikbaar zijn nabij de dijk of in de uiterwaarde. Het is daarom lastig om op basis van deze bandbreedtes uitspraken te doen over de gekozen bandbreedte bij de onzekerheidsbenadering.

Voor het aanpassen van de weerstanden boven en onder het 1^{e} watervoerende pakket geld, dat de onzekerheid relatief groot is en de aanpassingsfactor onrealistisch klein worden. Daarbij komt dat de gerealiseerde afname in de kwadratensom zeer beperkt is. Voor deze parametervelden kunnen we dus met minder zekerheid zeggen of de juiste parameterwaarden zijn gevonden. Het kan namelijk ook zijn dat het stationaire model minder gevoelig is voor deze parameters. Op basis van de instationaire validatie kan hier meer over gezegd worden.

7.2 Validatie hoogwatergolfjes 2018/2019

Op basis van gemeten grondwaterstanden is het model globaal gevalideerd. Hierbij is met name gekeken hoe goed het grondwatermodel de grondwaterstand bij pieken in Maaspeil simuleert. Er zijn geen meetreeksen beschikbaar voor hoge waterpeilen zoals in 1993 of 1995. Daarom is naar de kleine pieken in de winter 2018/2019 gekeken voor zover er gemeten is. Hiervoor zijn modelaanpassingen verwerkt in het instationair model GRAM2.0. Verder moet worden opgemerkt dat in de ISG's behorende bij het GRAM2.0 model de uiterwaarden van de Maas overstromen terwijl dit in de werkelijkheid niet het geval was.

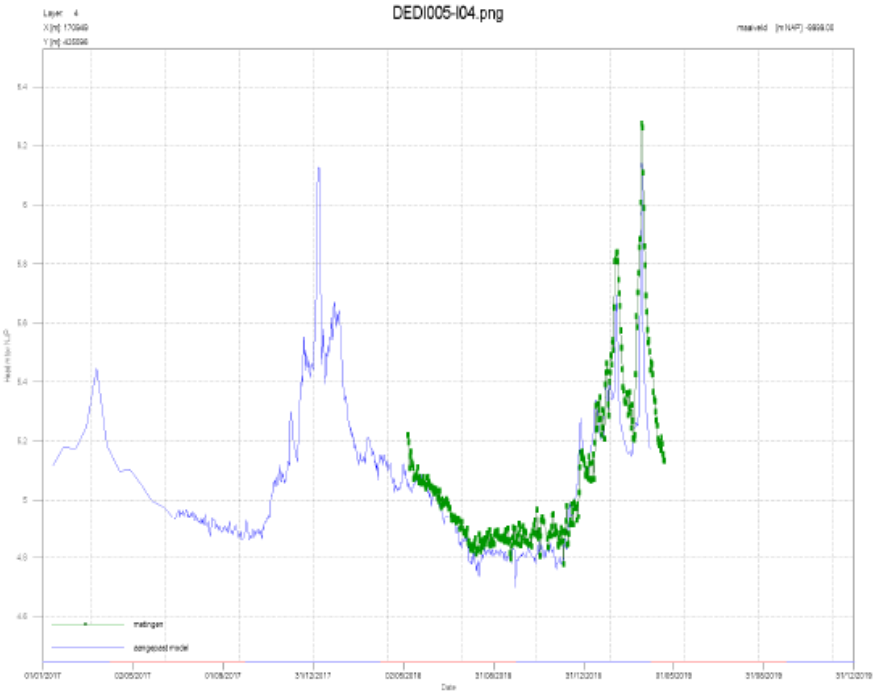
Voor de validatie is een validatieset gemaakt met:

- Dinopeilbuizen
- Data uit meetnet waterschap Aa en Maas opgeleverd bij Evaluatie grondwatermeetnet Ravenstein Lith[8]

[8] Berendrecht Consultancy, Evaluatie grondwatermeetnet Meanderende Maas, traject Ravenstein Lith, kenmerk 2019.001, d.d. 31 mei 2019

Op basis van de filterstelling is bepaald in welke modellaag het filter zich bevindt.

Uit de tijdstijghoogtelijnen (bijlage 12) blijkt dat de grondwaterstand bij pieken in Maaspeil goed berekent. Ter illustratie zijn de tijdstijghoogtelijnen voor 2 locaties weergegeven in figuur 7.6.



Figuur 7.6 Tijdstijghoogte lijnen voor 2 locaties. In blauw is de gesimuleerde stijghoogte weergegeven en in groen de gemeten. Onder een locatie waarbij te zien is dat in de zomersituatie de stijghoogte in het model te droog worden berekend.

De berekende grondwaterstand in de zomer van 2018 wordt te laag berekend. Dit kan verschillende oorzaken hebben, maar het is waarschijnlijk dat dit een wateraanvoer probleem is. In het model is de infiltratiefactor van alle ontwateringsmiddelen op 0 gezet. Dit is veilig bij het berekenen van een hoogwatergolf, echter is dit niet realistisch als seizoenseffecten gaan meespelen. Verder valt het op dat er in veel tijdstijghoogtelijnen het effect van beregening te zien is. Het is onbekend of er daadwerkelijke zoveel beregening plaatsvindt.

8 Gevoeligheidsanalyse

Voor een oudere versie van het grondwatermodel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de volgende parameters:

- Weerstand van de deklaag modellaag 1
- Weerstand deklaag modellaag 3
- Weerstand eerste scheidende laag (modellaag 8 en 9)
- Conductance detailwatergangen
- Conductance buisdrainage
- Conductance van sloten binnen uiterwaarden
- Conductance leggerwatergangen
- Conductance winterbed Maas
- Conductance zomerbed Maas
- kD-waarde tussenzandlaag deklaag (modellaag 2)
- kD-waarde watervoerend pakket 1
- kD-waarde watervoerend pakket 2
- Grondwateraanvulling
- Bergingscoëfficiënt eerste watervoerend pakket

De waarde van de parameters is aangepast met een factor 0,9 en 1,1 en vervolgens is het verschil in maximale stijghoogte in het eerste watervoerend pakket met het grondwatermodel (factor 1.0) berekend. Voor de bergingscoëfficiënt van het eerste watervoerend pakket is het verschil berekend tussen 0.001 en 0.00001*Dikte laag berekend. In bijlage 9 zijn de verschilkaarten opgenomen.

De volgende parameters zijn gevoelig:

- Parameters die bijdragen aan de deklaagweesstand, namelijk c-waarde laag 1, c-waarde laag 3, conductance leggerwatergangen en in mindere mate de conductances van het zomer- en winterbed van de Maas
- De kD-waarde van het eerste watervoerend pakket
- De bergingscoëfficiënt van het eerste watervoerend pakket

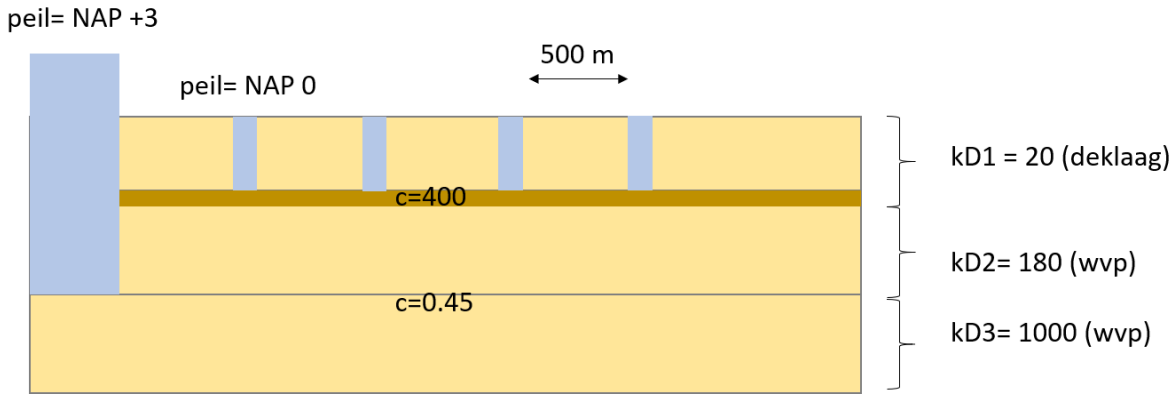
9 Toetsing effect verticale anisotropie

Onder isotrope condities is de richting van de grondwaterstroming alleen afhankelijk van de (tegenovergestelde) richting van gradiënt. Onder anisotrope condities is deze stromingsrichting ook afhankelijk van de materiaaleigenschappen. In het anisotrope materiaal is de doorlatendheid in de x-, y-, of z-richting niet gelijk aan elkaar. Anisotrope eigenschappen kunnen optreden op macroniveau waarbij duidelijke geologische fenomenen te definiëren zijn met een andere doorlatendheid (zoals kleischotten en breuklijnen) of meer op microniveau. Dit laatste betreft de doorlatende eigenschappen van het materiaal zelf (zoals bijvoorbeeld de doorlatendheid van de klei zelf).

In deze toetsing is de anisotropie op microniveau onderzocht waarbij de doorlatendheid in de xy-richting niet gelijk is aan die in de z-richting. Binnen het MODLFOW 2005-concept kan deze vorm van anisotropie alleen worden geschematiseerd door een groot aantal lagen te definiëren.
Bij een bestaand watervoerende pakket betekend dit dat de totale kD wordt herverdeel over de modellagen en de weerstand per laag wordt berekend uit de K_z en dikte van de lagen. Op deze wijze wordt de weerstand die binnen het watervoerende pakket optreed nu diffuus over dit pakket verdeeld.

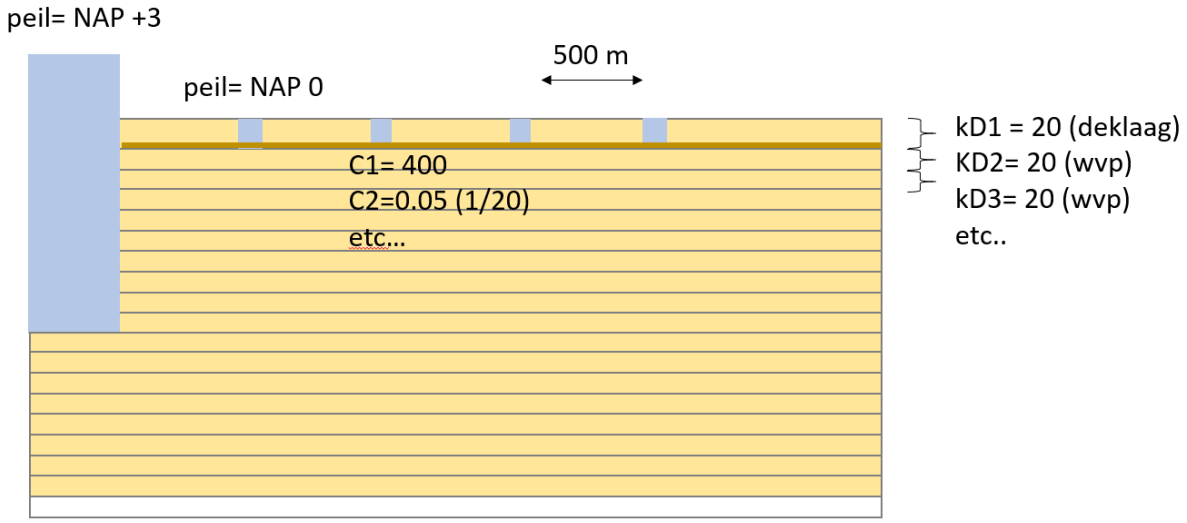
9.1 Methode en modelopzet

De modelopzet van het referentiemodel is weergegeven in figuur 9.1.



Figuur 9.1 modelopzet van het referentiemodel de weerstand (C) is in dagen, de transitiviteit (kD) is in m^2/d

Het betreft een stationair 3-laags effecten profielmodel waarbij een impuls van 3 m vanuit de Maas wordt doorgerekend. Modellaag 1 betreft de deklaag, de modellagen 2 en drie betreffen het watervoerende pakket. Modellaag 2 is nodig om de partiele insnijding van de maas juist te kunnen schematiseren. De weerstand tussen laag 2 en 3 is berekend uit de dikte van 9 m en de K_v van 20 m/d. De ontwateringssloten snijden niet in, in het watervoerende pakket.
Op basis van het referentiemodel is een aanvullend 60-laags model opgesteld waarbij elke laag een dikte heeft van 1 m. Deze modelopzet is weergegeven in figuur 9.2.



Figuur 9.2 modelopzet aanvullende model. Het model heeft totaal 60 lagen, waarvan alleen de bovenste 19 zijn weergegeven. De weerstand (C) is in dagen, de transitiviteit (kD) is in m^2/d.

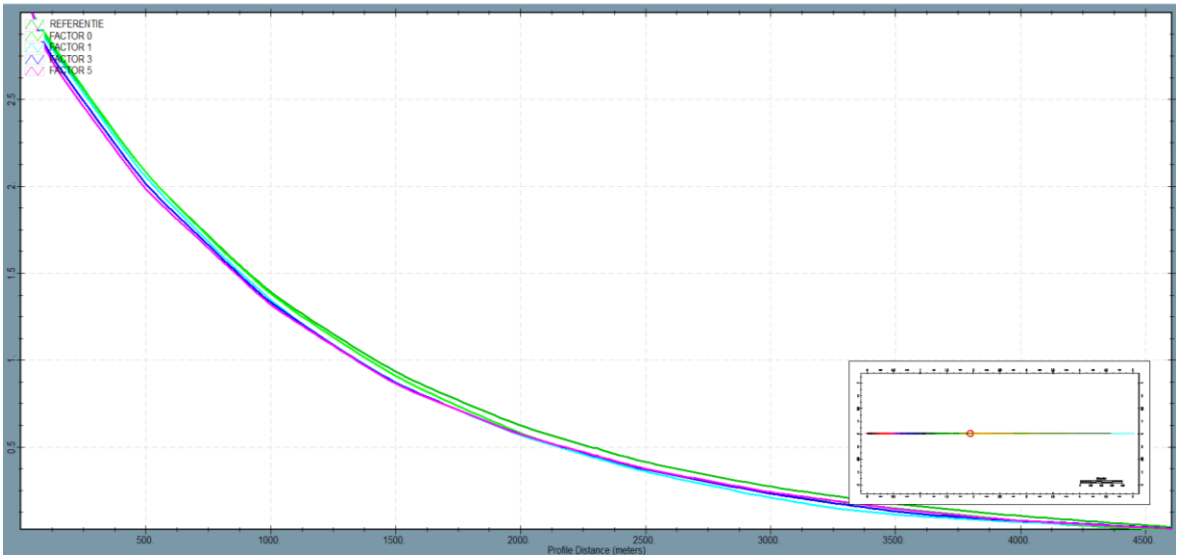
Zoals gezegd bestaat dit profielmodel uit 60 lagen. Laag 1 betreft de deklaag, waarvan de weerstand de daadwerkelijke deklaagweerstand betreft. De lagen 2 t/m 60 betreffen het watervoerende pakket waarbij de weerstand steeds de weerstand uit het verticale anisotropie betreft. Er zijn verschillende varianten doorgerekend waarbij deze weerstand steeds is berekend als factor t.o.v. de K_v. De Maas is toegekend aan de modellagen 1 t/m 10, de ontwateringssloten zijn alleen toegekend aan laag 1.
Aan de hand van deze twee basismodellen zijn een aantal varianten doorgerekend. Deze varianten zijn weergegeven in tabel 9.1.

Tabel 9.1 Berekende varianten

type model	Anisotropie-factor (-)	situatie
3-laags	n.v.t.	referentie (3-laags)
60-laags	0*	referentie (60-laags)
60-laags	1	anisotropie variant 1
60-laags	3	anisotropie variant 2
60-laags	5	anisotropie variant 3

9.2 Resultaten

De resultaten van de vijf varianten zijn weergegeven in figuur 9.3. Dit betreft de stijghoogte in laag 2 (direct onder de deklaag) langs het profiel. Op het eerste gezicht lijken de resultaten met elkaar vergelijkbaar.



Figuur 9.3 Berekende stijghoogtes langs het profiel. De stijghoogte is in mNAP.

In tabel 9.2 zijn puntwaarden van de stijghoogte op 2 afstanden van de maas weergegeven.

Tabel 9.2 Berekende varianten

Variant	Afstand tot impuls	
	1 km	2.5 km
referentie 3-laags	1.371	0.399
anisotropie factor 0	1.359	0.357
anisotropie factor 1	1.324	0.343
anisotropie factor 3	1.310	0.357
anisotropie factor 5	1.298	0.361

Het effect van de impuls is logischerwijs het grootst nabij de maas. Hier is ook het verschil tussen de varianten het grootst. Bij een toenemende anisotropie-factor neemt nabij de maas de stijghoogte iets af. Op grotere afstand is dit effect juist omgekeerd en neemt de stijghoogte dus iets toe. Dit komt doordat de spreidingslengten steeds iets verandert.
Tussen het 3 laags referentiemodel en het 60 laags referentiemodel (factor 0) is het verschil maximaal 1 cm. Tussen de verschillende anisotropie-varianten is het effect maximaal circa 6 cm. Het effect is het grootst bij een anisotropie factor van 5.

9.2.1 Conclusie

Een anisotropiefactor van 5, voor het hele watervoerende pakket van 59 m dik is een vrij extreem uitgangspunt. Maar zelfs met deze uitgangspunten is het effect van anisotropie niet erg groot en blijft in de cm-range.

Bijlage 1 Koppelingstabellen GRAM en MORIA

Tabel B1.1 Koppeling c-waarden GRAM en MORIA

	GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
C1	Opnieuw Geparametriseerd	Opnieuw Geparametriseerd	Zie paragraaf 2.2
C2	Opnieuw Geparametriseerd	Opnieuw Geparametriseerd	Zie paragraaf 2.2
C3	Opnieuw Geparametriseerd	Opnieuw Geparametriseerd	Zie paragraaf 2.2
C4	C4.IDF	C4.idf t/m c9.idf	
C5	C5.IDF	C10.IDF	
C6	C6.IDF	C11.IDF	
C7	C7.IDF	1*	
C8	C8.IDF	C12.IDF	
C9	C9.IDF	C13.IDF	
C10	C10.IDf	C14.IDf	
C11	C11.IDf	C15.IDf	
C12	C12.IDf	C16.IDf	
C13	C13.IDf	C17.IDf	
C14	C14.IDf	1*	
C15	C15.IDf	3*	
C16	C16.IDf	1*	
C17	C17.IDf	1.5*	
C18	C18.IDf	C18.IDf	

*deze formatie behorende tot deze modellaag komt niet voor in MORIA. c op defaultwaarde van GRAM2.0 voor die laag gezet

Tabel B1.2 Koppeling kD-waarden GRAM en MORIA

	GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
KD1	Vastgezet op 1 m^2/dag	Vastgezet op 1 m^2/dag	
KD2	Opnieuw Geparametriseerd	Opnieuw Geparametriseerd	Zie paragraaf 2.3
KD3	Vastgezet op 1 m^2/dag	Vastgezet op 1 m^2/dag	
KD4	kd4.IDF	kd4.idf t/m kd9.idf	
KD5	kd5.IDF	kd10.IDF	
KD6	kd6.IDF	kd11.IDF	
KD7	kd7.IDF	0.015*	
KD8	kd8.IDF	kd12.IDF	
KD9	kd9.IDF	kd13.IDF	

	GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
KD10	kd10.IDf	kd14.IDf	
KD11	kd11.IDf	kd15.IDf	
KD12	kd12.IDf	kd16.IDf	
KD13	kd13.IDf	kd17.IDf	
KD14	kd14.IDf	0.015*	
KD15	kd15.IDf	0.015*	
KD16	kd16.IDf	0.015*	
KD17	kd17.IDf	kd18.IDf	
KD18	kd18.IDf	kd18.IDf	
KD19	kd19.idf	kd19.idf	

*deze formatie behorende tot deze modellaag komt niet voor in MORIA. kD op defaultwaarde van GRAM2.0 voor die laag gezet

Tabel B1.3 Koppeling TOPS

GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
top1.IDF	top1.idf	
top2.IDF	top2.idf	
top3.IDF	top3.idf	
top4.IDF	top4.idf	
top5.IDF	top10.idf	
top6.IDF	top11.idf	
top7.IDF	top11.idf	
top8.IDF	top12.idf	
top9.IDF	top13.idf	
top10.IDF	top14.idf	
top11.IDF	top15.idf	
top12.IDF	top16.idf	
top13.IDF	top17.idf	
top14.IDF	top17.idf	
top15.IDF	top17.idf	
top16.IDF	top17.idf	
top17.IDF	top17.idf	
top18.IDF	top18.idf	
top19.IDF	top19.idf	

Tabel B1.4 Koppeling BOTS

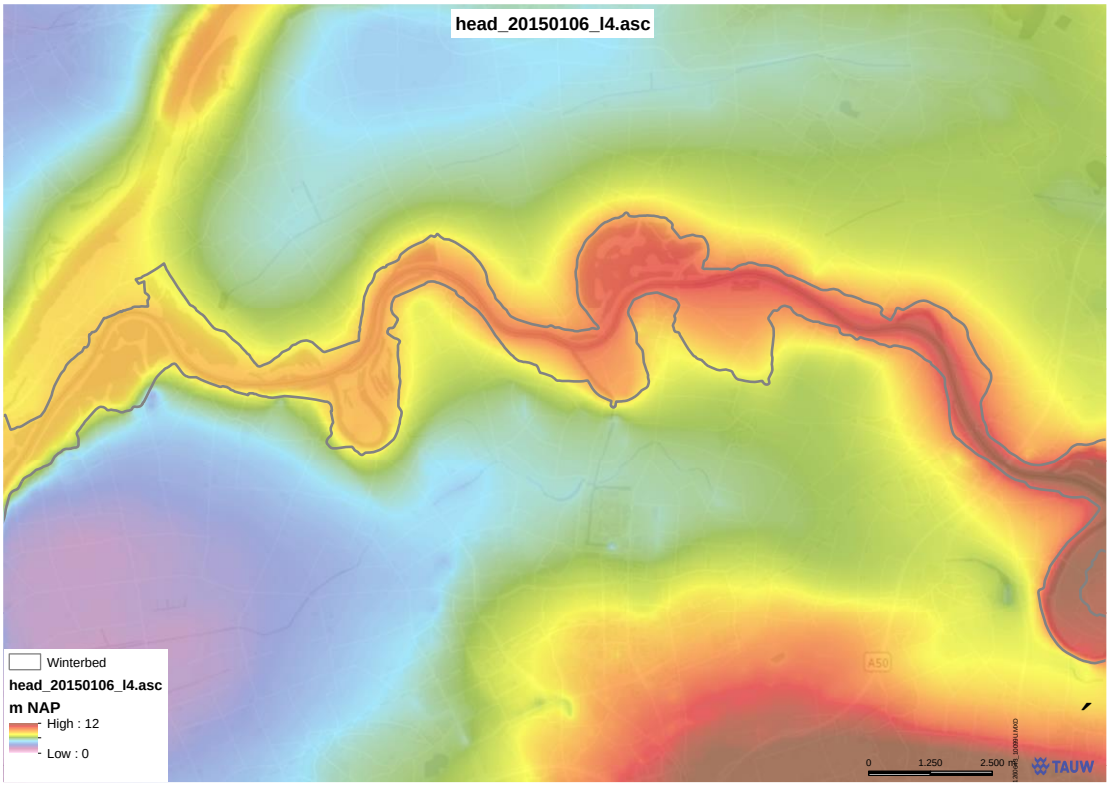
GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
BOT1.IDF	BOT1.idf	
BOT2.IDF	BOT2.idf	
BOT3.IDF	BOT3.idf	
BOT4.IDF	BOT9.idf	
BOT5.IDF	BOT10.idf	
BOT6.IDF	BOT11.idf	
BOT7.IDF	BOT11.idf	
BOT8.IDF	BOT12.idf	
BOT9.IDF	BOT13.idf	
BOT10.IDF	BOT14.idf	
BOT11.IDF	BOT15.idf	
BOT12.IDF	BOT16.idf	
BOT13.IDF	BOT17.idf	
BOT14.IDF	TOP17.idf *	
BOT15.IDF	TOP17.idf *	
BOT16.IDF	TOP17.idf *	
BOT17.IDF	TOP17.idf *	
BOT18.IDF	BOT18.idf	
BOT19.IDF	BOT19.idf	

*de dikte van deze lagen is in het MORIA-gebied 0 in verband met het berekenen van de berging

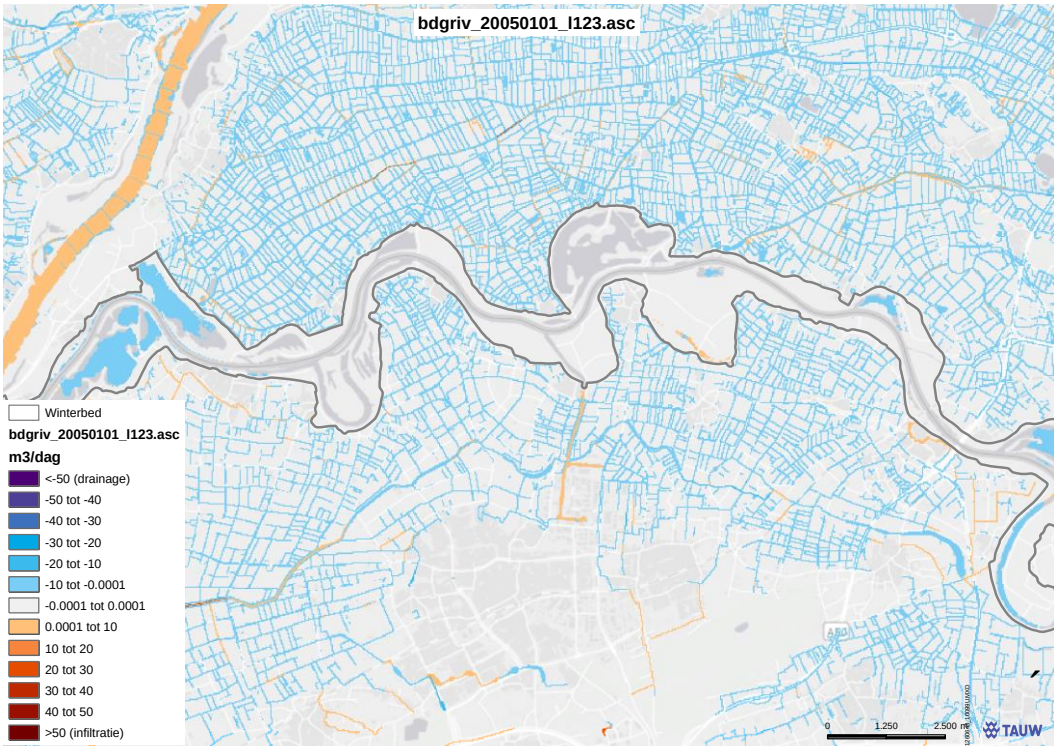
Bijlage 2 Kaarten inputbestanden kD, C, TOP, BOT en STO

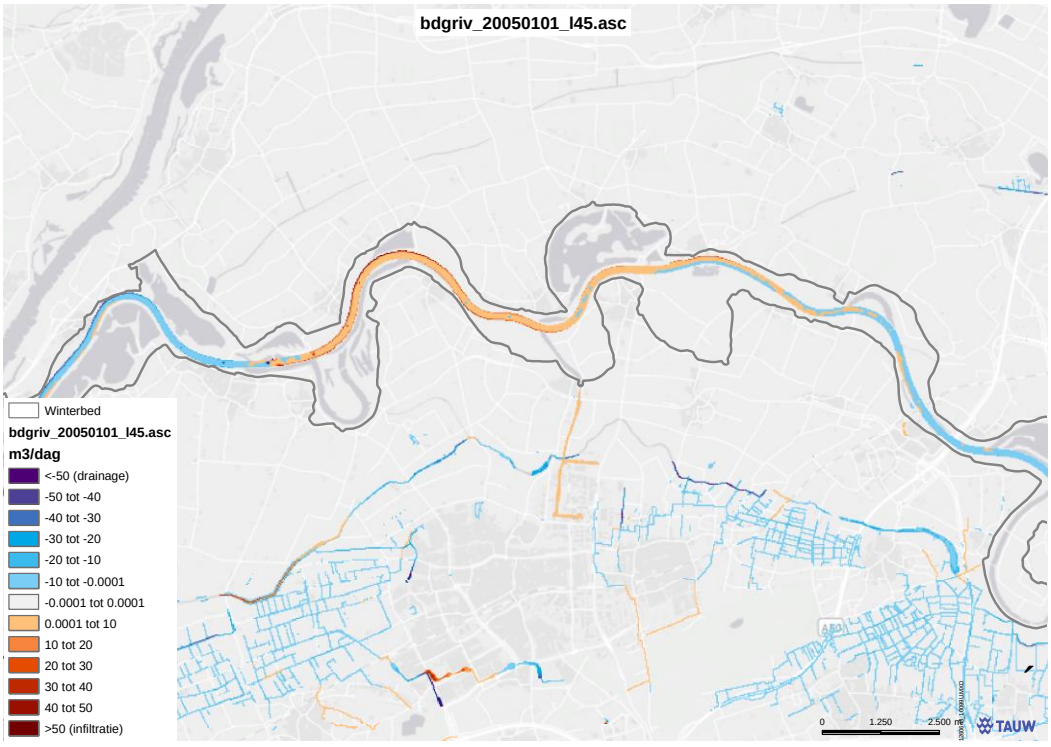
Bijlage 3 Inputbestanden watergangen

Bijlage 4 Berekende stijghoogten modellaag 1 en 4

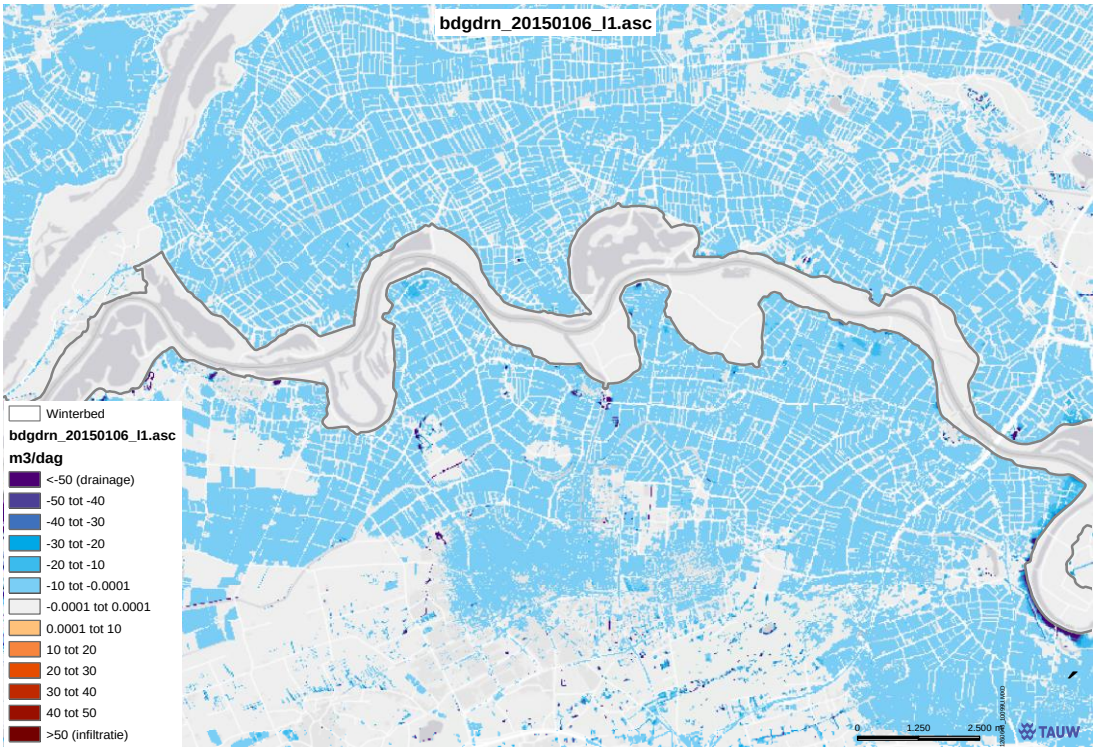


Bijlage 5 Berekende riverfluxen

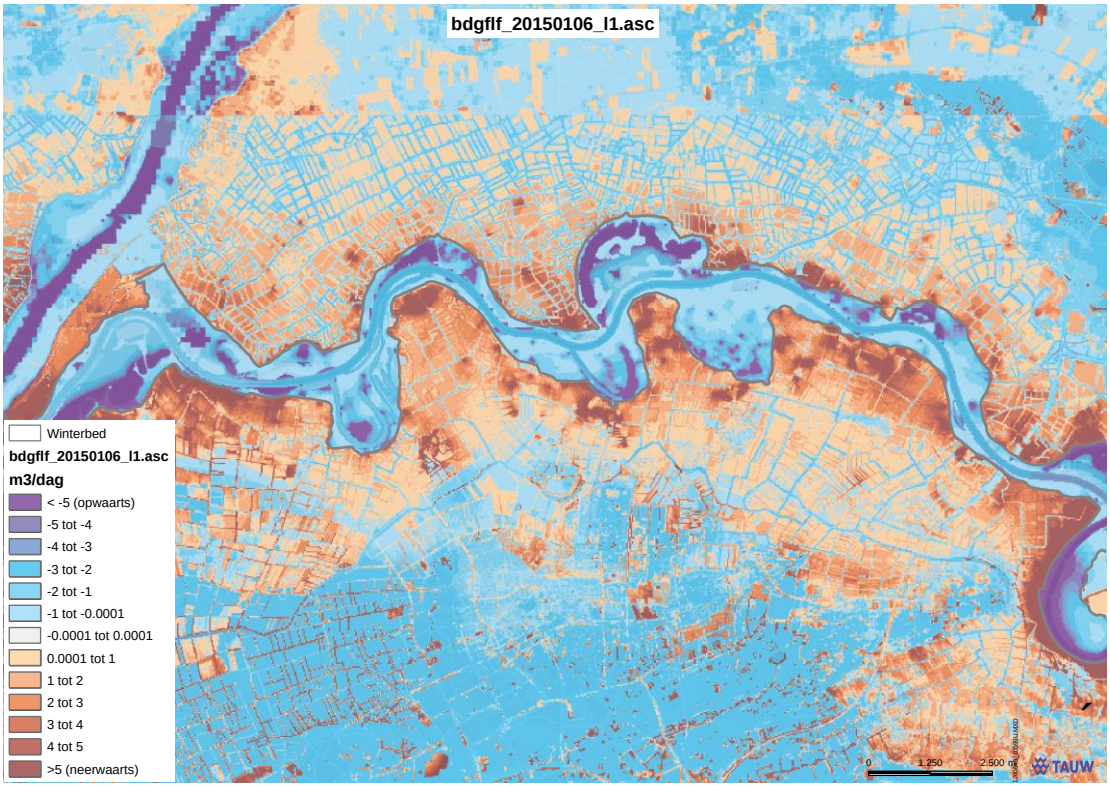




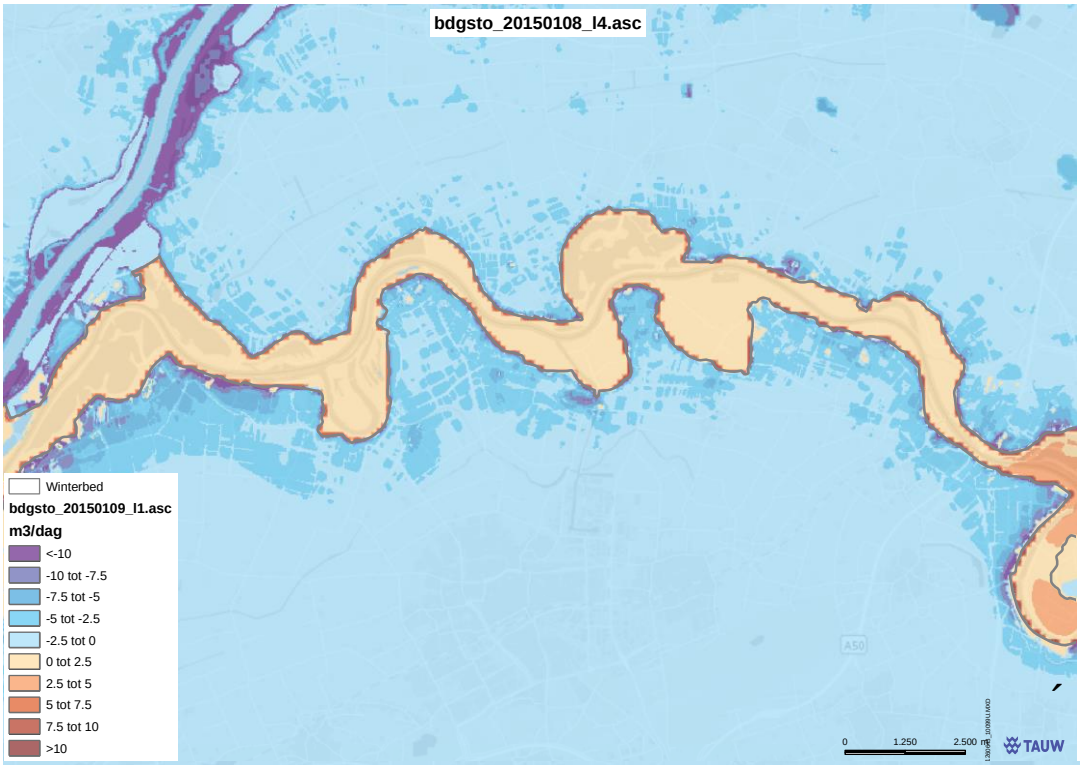
Bijlage 6 Berekende drainagefluxen

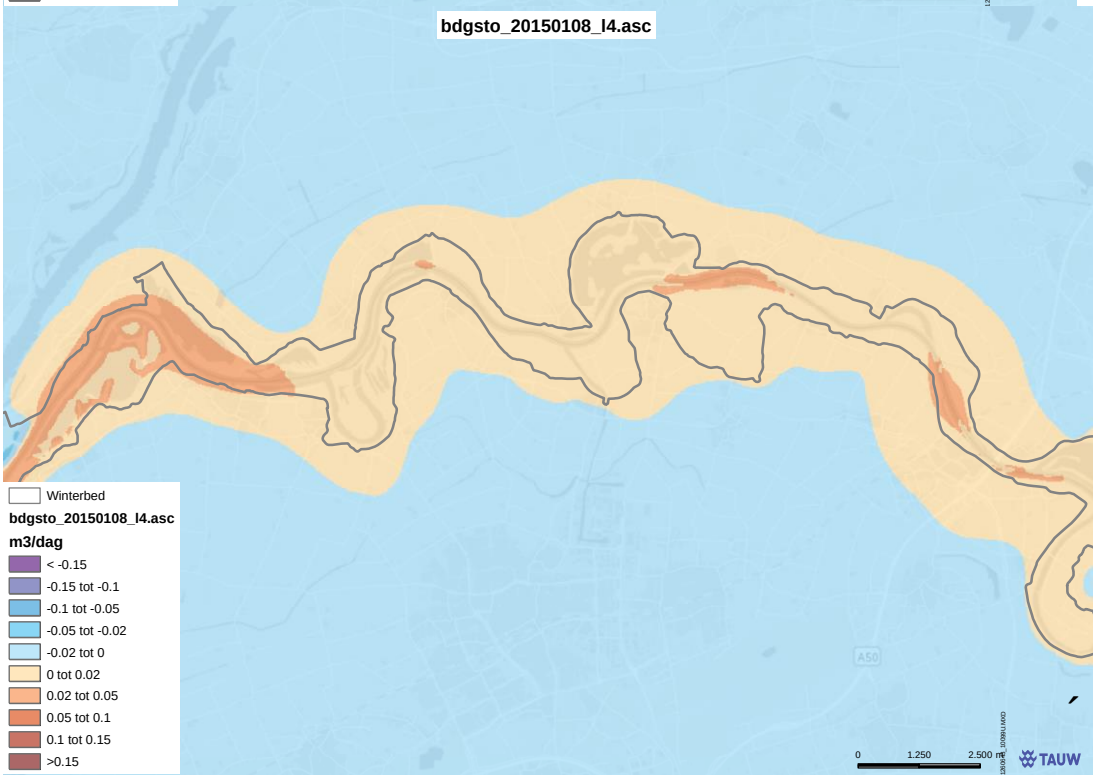


Bijlage 7 Berekende kwel/infiltratiefluxen



Bijlage 8 Berekende storagefluxen





Bijlage 9 Kaarten gevoeligheidsanalyse

Bijlage 10 Validatie individuele effecten

In deze bijlage zijn de effecten van de individuele aanpassingen toegelicht. De aanpassingen zijn binnen de fase 2 en 3 van het innovatieproject uitgevoerd. In het eerste hoofdstuk zijn de aanpassingen uit fase 2 weergegeven. De effecten zijn hier ten opzichte van het model van de QuickScan uit het voorjaar van 2019. In het tweede hoofdstuk zijn de aanpassingen uit fase 3 weergegeven.

1 Validatie aanpassingen fase 2

In dit hoofdstuk worden de effecten van de aanpassingen uit fase 2 weergegeven ten opzichte van het model van de QuickScan uit het voorjaar van 2019.

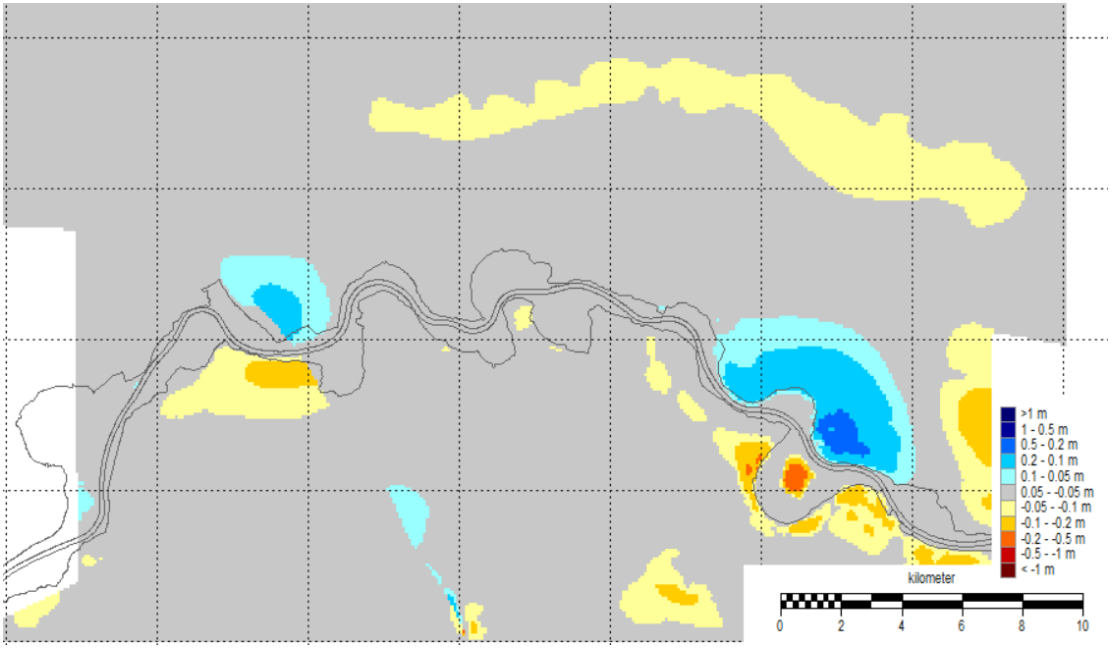
1.1 Effect individuele wijzigingen

Bij het evalueren van de effecten van de aanpassingen is steeds alleen gekeken naar het effect van de individuele aanpassing. De aanpassingen zijn steeds cumulatief toegevoegd aan het model uit April 2019. De volgorde van het inbrengen van de aanpassingen in het model is gelijk aan de volgorde die hier zal worden beschreven. Het effect is steeds weergegeven ten opzichte van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

1.1.1 Aanpassen van de eerste stressperiode

Er is een extra stressperiode toegevoegd om de stationaire uitganssituatie te berekenen. Dit betreft een gemiddelde situatie met een gemiddelde grondwateraanvulling. Verder is voor de Waal een stationair peil gebuikt en is in deze periode de OLF teruggebracht in de uiterwaarde. In het referentiemodel werd gebruik gemaakt van stationaire startstijghoogte die waren samengevoegd vanuit beide basismodellen.

In figuur B10.1 is het effect van de aanpassing weergegeven op de berekende maximale stijghoogte tijdens de hoogwatergolf.

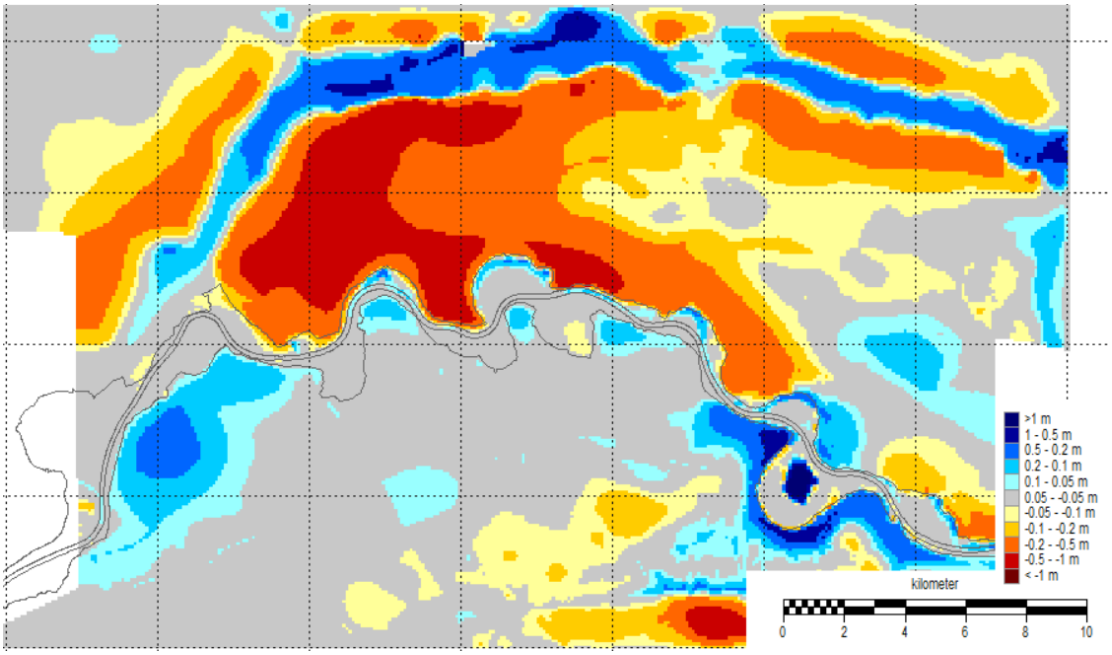


Figuur B10.1 Het effect van het toevoegen van een stationaire inspeelperiode op de startcondities in het eerste watervoerende pakket

Het toevoegen van een inspeelperiode heeft op verschillende plaatsen een zichtbaar effect op de berekende maximale stijghoogte. Het effect ter plaatse van de dijk is in het interessegebied beperkt.

1.1.2 Aanpassen van de kD van het eerste watervoerende pakket

De kD van het watervoerende pakket is teruggebracht naar de originele waarden op basis van REGIS v2.2. Het effect van deze aanpassing is weergegeven in figuur B10.2.

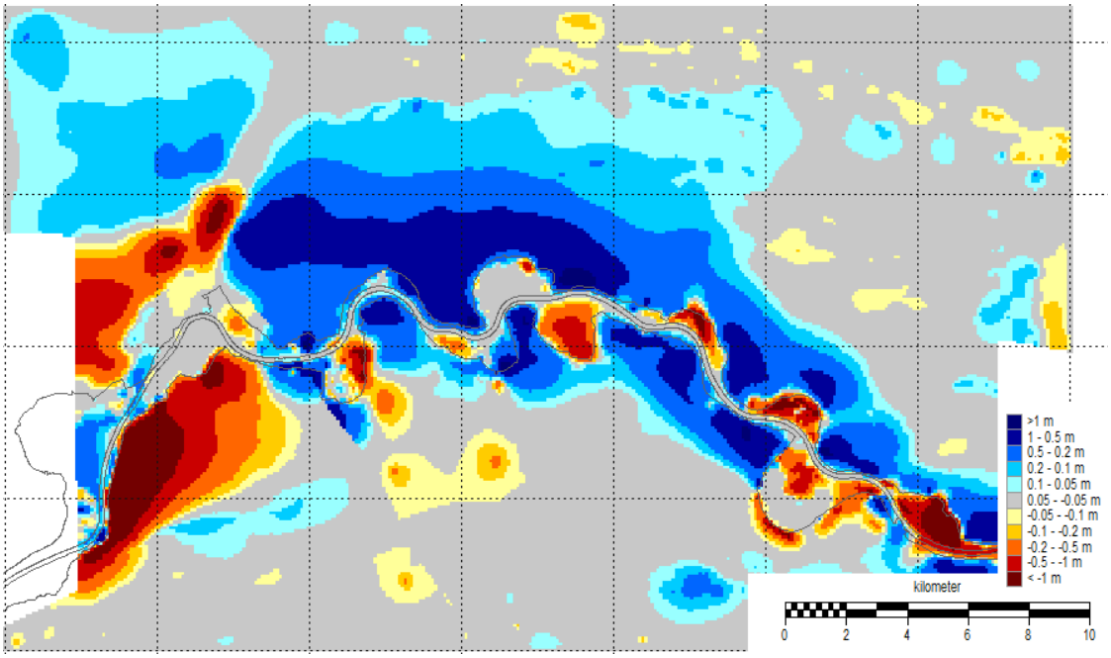


Figuur B10.2 Het effect van de aanpassingen van de kD van het eerste watervoerende pakket op de stijghoogte?

De aanpassing leid met name in het MORIA-deel van het model tot grote verschillen. Dit komt doordat de kD in het referentiemodel hier circa 4 keer groter was. Ook in het zuidoosten van het GRAM-deel van het model treden significante verschillen op. Ook hier verschilt de kD in het referentiemodel sterk met dat van REGIS.

1.1.3 Aanpassen van de deklaagweerstand

De deklaagweerstand is op basis van aanvullende lokale boorgegevens aangepast. Het effect van deze aanpassing is weergegeven in figuur B10.3.



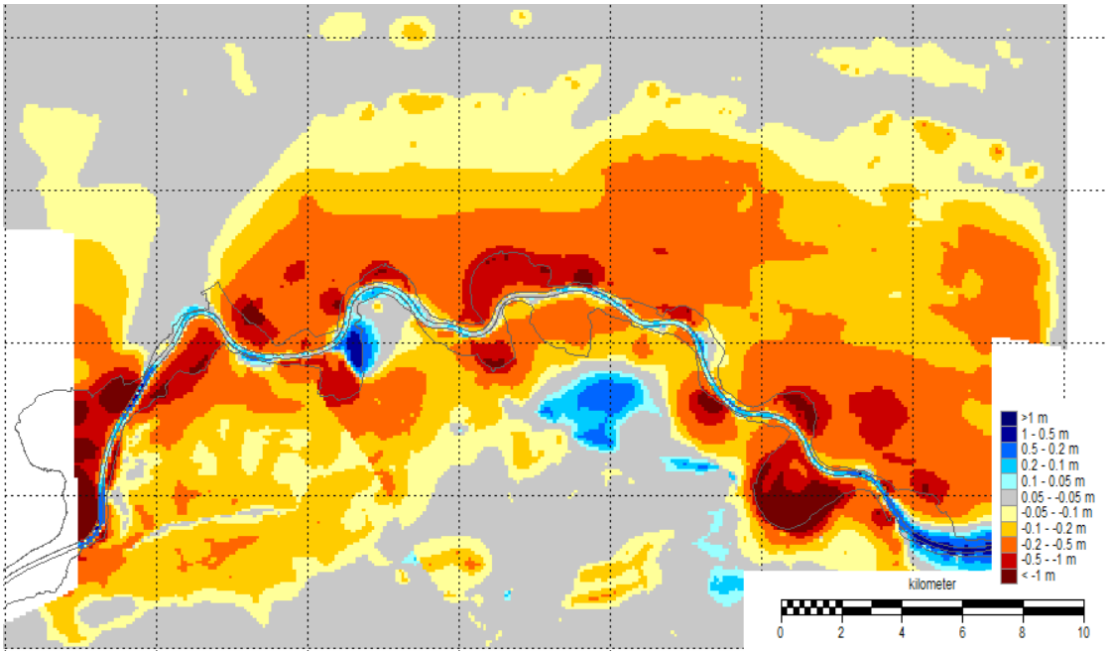
Figuur B10.3 Het effect van het aanpassen van de deklaagweerstand in het eerste watervoerende pakket

De aanpassing heeft een duidelijk effect op de stijghoogtes in het eerste watervoerende pakket. Langs de dijk leid de aanpassing tot zowel verhogingen als tot verlagingen van de stijghoogtes.

Een deel van het effect wordt veroorzaakt door een nu foutieve schematisatie van de detailwaterlopen. Soms worden deze bijvoorbeeld alleen in laag 2 geplaatst, wat eigenlijk een dummielaag is met minimale kD en een significante weerstand aan de boven en onderzijde. Dit is opgelost in de volgende stap

1.1.4 Aanpassingen aan de detailwaterlopen

In de uiterwaarde zijn de waterlopen naar de DRN-module verplaatst. Zodoende worden deze nu uitgeschakeld als de uiterwaarde inunderen. Ook is de autoplaatsing van de detailwaterlopen uitgeschakeld. De waterlopen zijn handmatig verdeeld over de modellagen 1 t/m 3 waarbij de conductance evenredig is verdeeld met een factor van 0.33. De doorsnijding van de waterlopen in het eerste watervoerende pakket is berekenend op basis van de nieuw afgeleide onderzijde deklaag. De waterlopen in het watervoerende pakket hebben de halve conductance gekregen. Het effect van deze aanpassing is weergegeven in figuur B10.4.

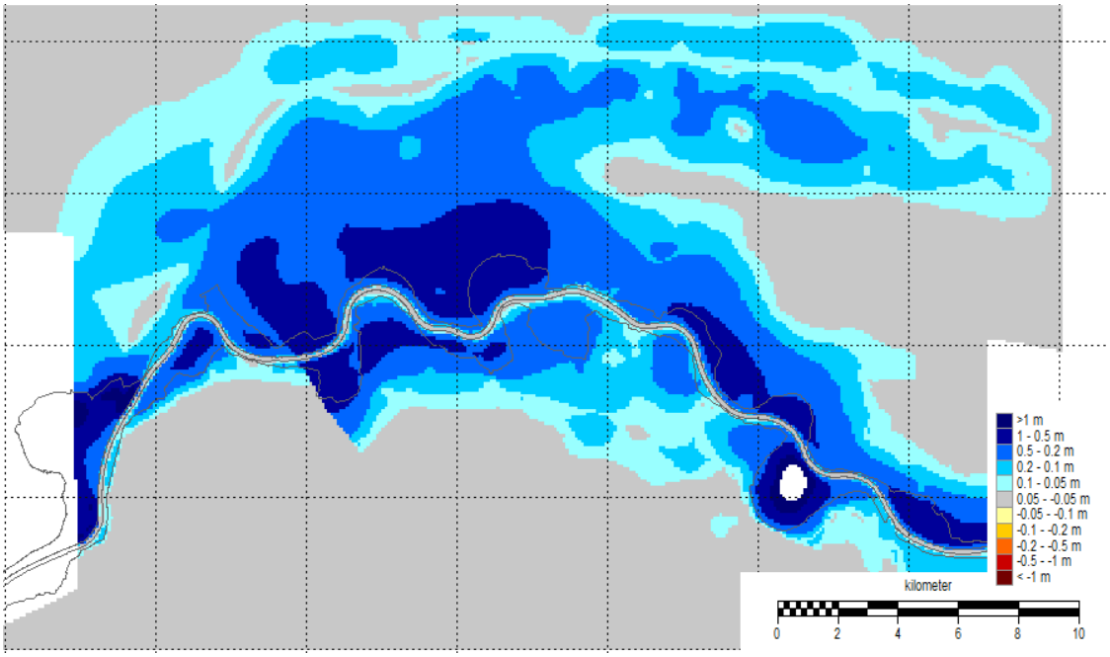


Figuur B10.4 Het effect van de nieuwe schematisatie van de detailwaterlopen

De aanpassingen van de schematisatie van de detailwaterlopen leidt met name tot een significante verlaging van de stijghoogte. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat in de vorige stap de nieuwe deklaagschematisatie is ingebracht. Dit leidde tot door de autoplaatsing van waterlopen tot ingesloten waterlopen in de deklaag. Ook werd de insnijding in het watervoerende pakket niet goed berekend.

1.1.5 Aanpassen van de gespannen bergingscoëfficiënt

De bergingscoëfficiënt is aangepast op basis van een specifieke berging van 0.00001 en de dikte van de watervoerende pakketten. De aanpassing leid tot bergingscoëfficiënt die circa 100 keer kleiner is. Het effect van deze aanpassing is weergegeven in figuur B10.5.

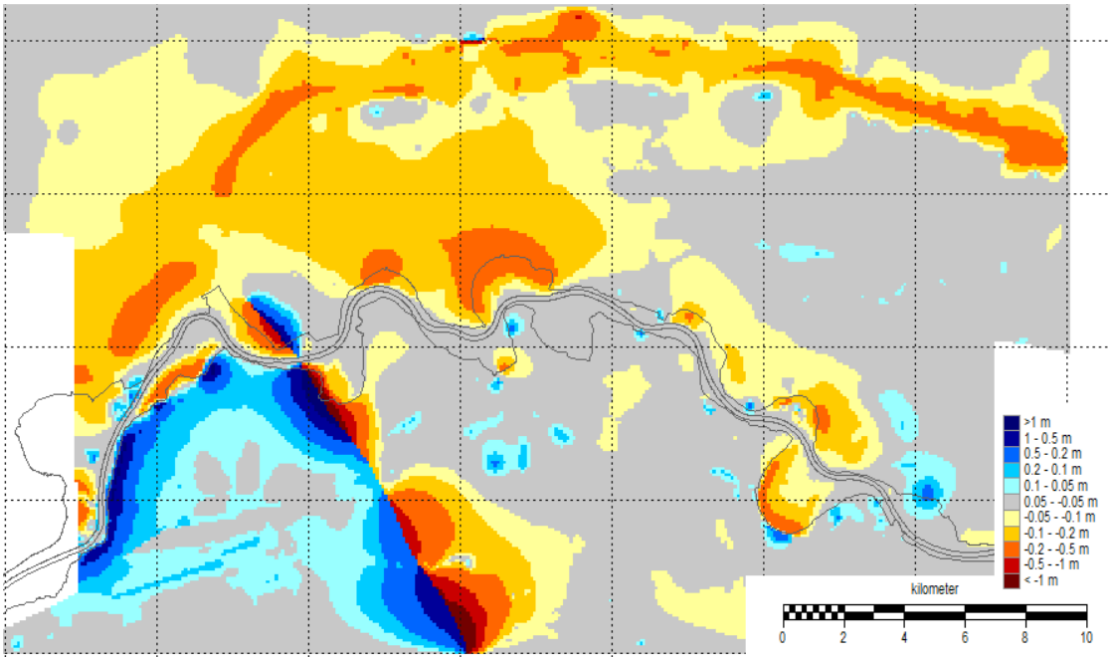


Figuur B10.5 Het effect van de aanpassing in de gespannen bergingscoëfficiënt

De aanpassing leid tot een significante verhoging van de stijghoogte in het watervoerende pakket. Dit komt omdat nu een veel kleiner deel van de dynamiek wordt gedempt door de berging.

1.1.6 Aanpassen van Peelrandbreuk en minimale weerstand weerstandslagen

De Peelrandbreuk is verwijdert uit het eerste watervoerende pakket. Ook is de minimale weerstand van de scheidende lagen verhoogt tot 5 dagen. Het effect van deze aanpassingen is weergegeven in figuur B10.6

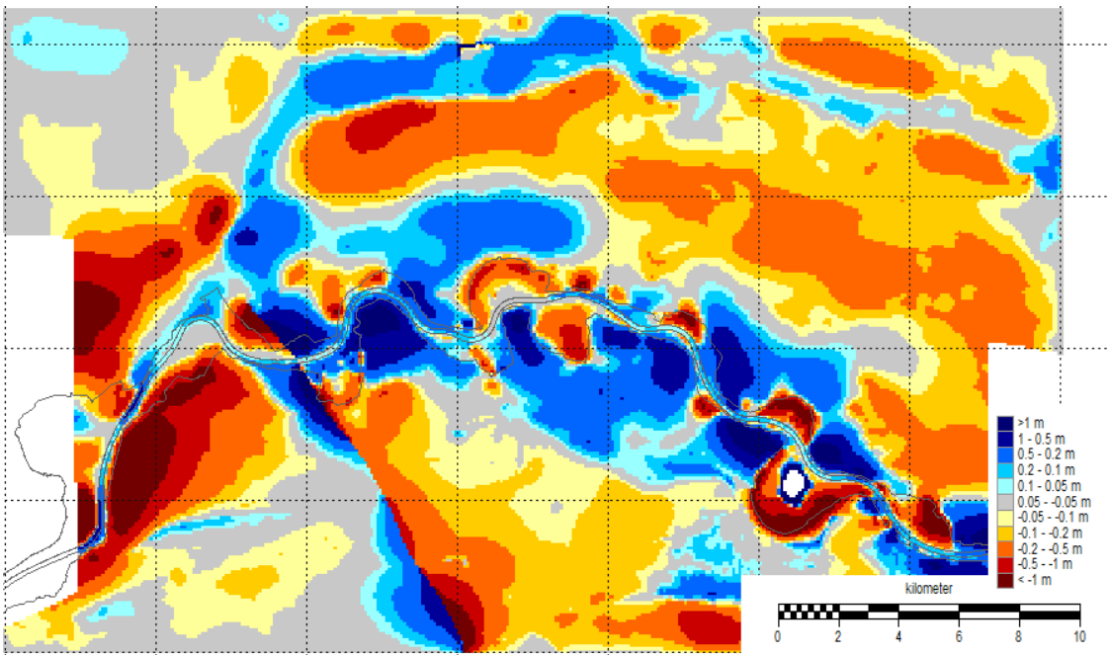


Figuur B10.6 Het effect van het verwijderen van de Peelrandbreuk en het aanhouden van een minimale weerstand voor de scheidende laag

De aanpassingen hebben een duidelijke effect op de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Het effect langs de dijk in het interessegebied is echter beperkt.

1.2 Effect van de gecombineerde aanpassingen

Het effect van de gecombineerde aanpassingen zoals beschreven in de voorgaande paragraaf is weergegeven in figuur B10.7

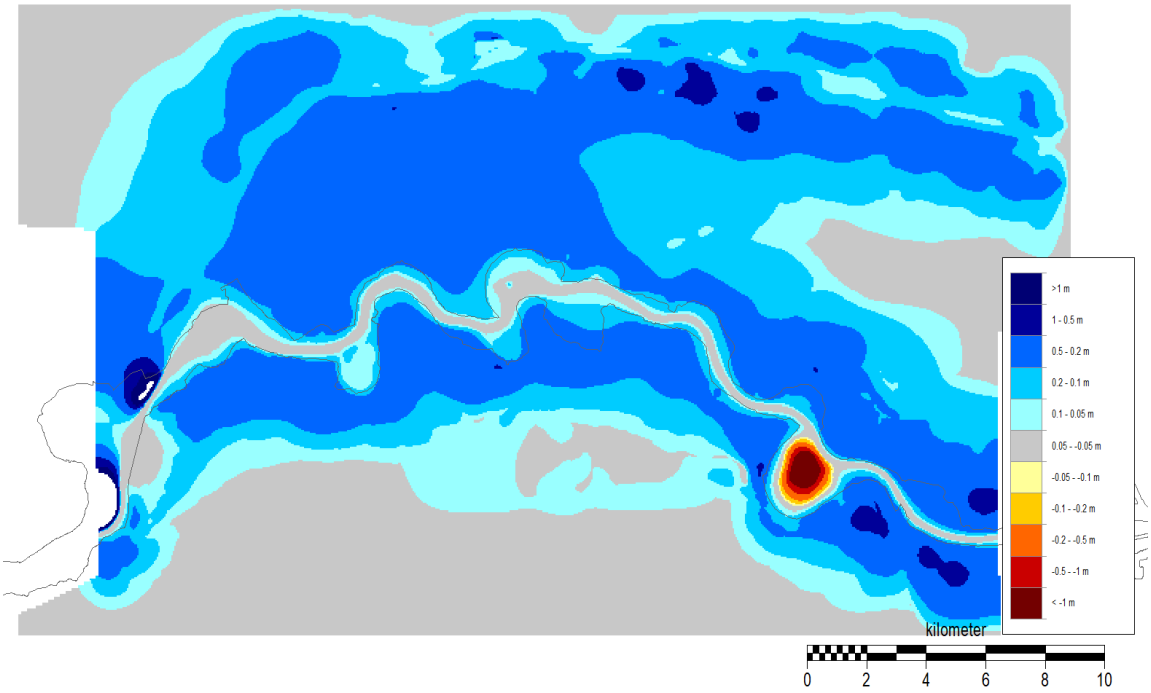


Figuur B10.7 Het effect van de gecombineerde aanpassingen zoals beschreven in voorgaande paragraaf

De effecten van de gecombineerde aanpassingen zijn groot en divers. De grootste effecten worden berekend door de aanpassing van de deklaagweerstand, het aanpassen van de waterloopschematisatie en het aanpassen van de gespannen bergingscoëfficiënt.

1.3 Effect van stationariteit

Op basis van het aangepaste referentiemodel is een stationair model gemaakt. Omdat dit model een stationaire grondwateraanvulling gebruikt is er ook een instationaire run gemaakt met een gemiddelde grondwateraanvulling tijdens de golf (normaal 4 mm/dag). Bij het stationaire model is het maximale peil van de hoogwatergolf gebruikt. Het verschil tussen beide modelversies is weergegeven in figuur B10.8.



Figuur B10.8 Het verschil tussen het stationair en niet-stationair doorrekenen van de hoogwatergolf. Een positief effect betekend dat de stationaire resultaten hoger liggen

Door de afwezigheid van het bergingscomponent wordt het effect van de hoogwaters op de Waal en Maas veel minder gebufferd waardoor deze veel verder landinwaarts rijken.

2 Validatie aanpassingen fase 3

2.1 Effect individuele wijzigingen

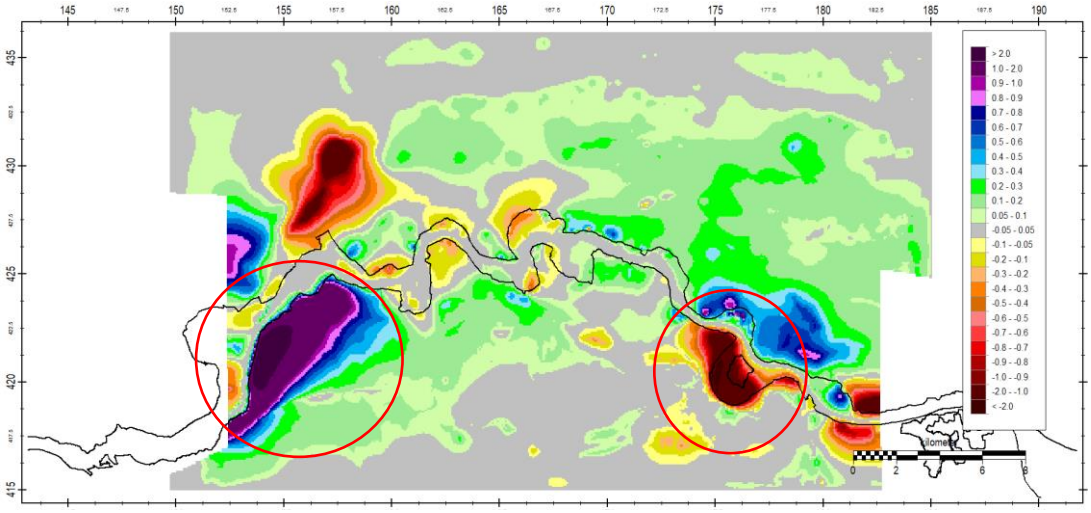
Bij het evalueren van de effecten van de aanpassingen is steeds alleen gekeken naar het effect van de individuele aanpassing. De aanpassingen zijn steeds cumulatief toegevoegd aan het model uit fase 2 van het project. De volgorde van het inbrengen van de aanpassingen in het model is gelijk aan de volgorde die hier zal worden beschreven. Het effect is steeds weergegeven ten opzichten van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

2.1.1 Aanpassen van de deklaagweerstand

De deklaagweerstand is op basis van aanvullende analyse opnieuw aangepast ten opzichte van fase 2. De belangrijkste aanpassingen waren hierbij:

1. Meenemen van leem en veen voor het afleiden van de onderzijde van de deklaag
2. Nieuwe methode voor het afleiden van de onderzijde deklaag, waarbij veel meer ondiepe boringen zijn meegenomen als ‘minimale diepte’
3. Nieuwe interpolatiemethode met de pcg-solver
4. Interpolatie is los binnen en buitendijks uitgevoerd. Langs de dijk resulteert dit in abrupte overgangen.

Samenvattend leiden deze aanpassingen vaak tot een diepere deklaag. Het effect van deze aanpassing is weergegeven in figuur B10.9.



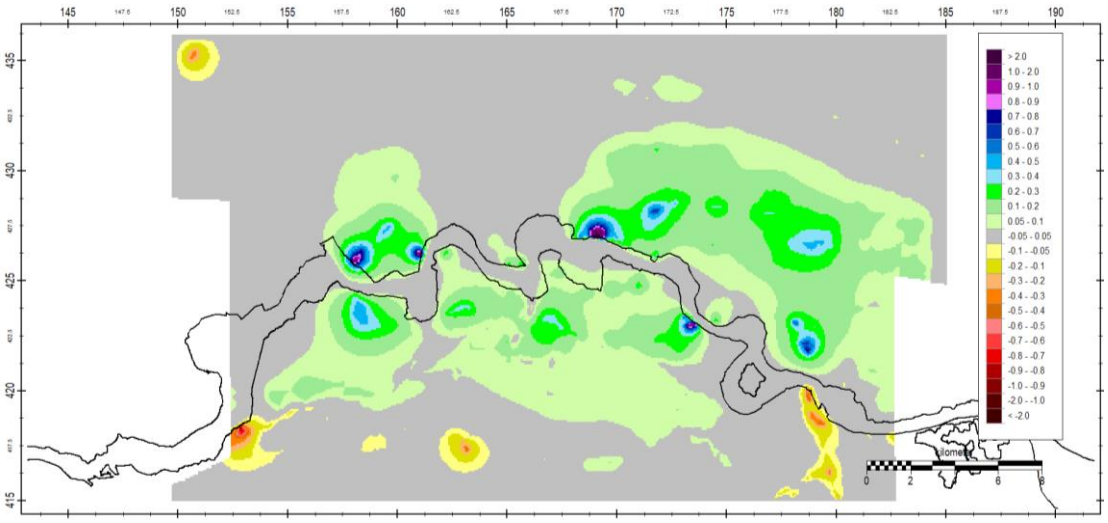
Figuur B10.9 Het effect van de nieuwe deklaagweerstand in m

Ten westen van het interessegebied is met een rode cirkel de zone weergegeven waar, door het extra meenemen van leem en veen, de deklaagdikte en -weerstand is toegenomen. Dit resulteert logischerwijs in grotere stijghoogtes. Ten oosten van het interessegebied is een zone weergegeven waar het binnen en buitendijks los van elkaar interpoleren resulteerde in minder

weerstand in het achterland. Hierdoor nemen de stijghoogtes hier af. In het interessegebied is het effect beperkt tot enkele decimeters. Dit kan zowel natter als droger zijn t.o.v. het model uit fase 2.

2.1.2 Aanpassen van doorsnijding watergangen

In fase 3 is opnieuw bekeken of ontwateringssloten (legger+detail) insnijden in het 1e watervoerende pakket. Doordat de onderzijde van de deklaag op veel plaatse dieper is komen te liggen, en omdat bij het berekenen van de doorsnijding een conservatiever uitgangspunt is gehanteerd (waterlopen snijden minder snel in), snijden praktisch gezien geen waterlopen meer in. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur B10.10



Figuur B10.10 Het effect van het niet meer insnijden van de ontwateringsmiddelen in het 1e watervoerende pakket.

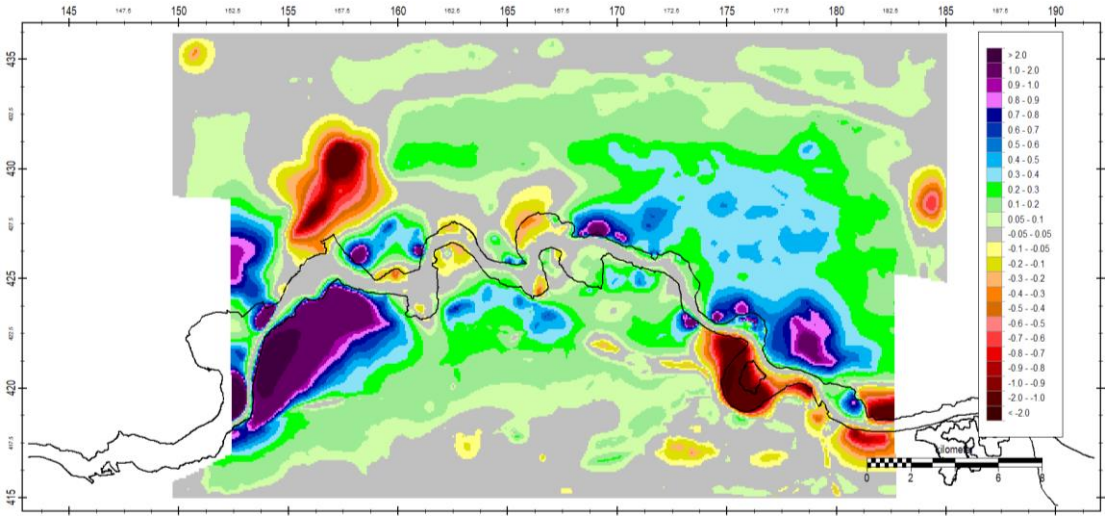
Logischerwijs resulteert het niet meer insnijden van de waterlopen tot een grotere stijghoogte.

2.1.3 Aanpassen van de berging en olf-niveau

Verder zijn ook de bergingscoëfficiënten van modellagen 2 t/m 3 en het olf-niveau in de uiterwaarde tijdens de stationaire inspeelperiode aangepast. Dit betreft kleine aanpassingen die eigenlijk een minimaal effect hebben.

2.2 Effect van de gecombineerde aanpassingen

Het gecombineerde effect van alle aanpassingen is weergegeven in figuur B10.11.



Figuur B10.11 Het gecombineerde effect van alle aanpassingen uit fase 3

Het gecombineerde effect is rondom de dijk binnen het interessegebied beperkt tot enkele decimeters. Dit betreft zowel verhogingen als verlagingen.