



Deelproduct 3, Bijlage geohydrologie

Beschrijving referentie grondwatermodel

31 maart 2020



Verantwoording

Titel	Deelproduct 3, bijlage geohydrologie
Opdrachtgever	
Projectleider	Martine Brinkhuis
Auteur(s)	Margrietha Bor, Hendrik Kok
Tweede lezer	Marc Steenvoorden, Jacco Hoogewoud
Uitvoering meet- en inspectiewerk	
Projectnummer	1269294
Aantal pagina's	57
Datum	31 maart 2020
Handtekening	

Colofon

Tauw bv
Australiëlaan 5
Postbus 3015
3502 GA Utrecht
T +31 30 28 24 82 4
E info.utrecht@tauw.com



Inhoud

1	Inleiding	5
2	Lagenmodel	6
2.1	Koppeling GRAM en MORIA	6
2.2	Deklaag	9
2.2.1	Brongegevens	9
2.2.2	Onderzijde deklaag	10
2.2.3	Parameterisering deklaag	15
2.2.4	kengetallen weerstanden en doorlatendheden	16
2.2.5	Methodiek	17
2.2.6	Interpolatie	19
2.2.7	Aanbevelingen:	21
2.3	Eerste watervoerend pakket	21
2.4	Anisotropie	23
2.5	Berging	23
2.6	Breuken	24
2.7	Randvoorwaarden	24
2.8	Onttrekkingen	25
3	Waterlopen/ontwateringsmiddelen	25
3.1	Maas en Waal	25
3.1.1	MHW-golf	25
3.1.2	Insijding en intredeweerstanden	26
3.2	Overige watergangen	29
3.2.1	Leggerwatergangen	29
3.2.2	Detailwatergangen	30
3.3	Buisdrainage	31
3.4	Overlandflow	31
4	Overig	34
4.1	Runfile	34
4.1.1	Tijdstappen	34
4.1.2	sluitingscriteria	34

4.1.3	HCLOSE op 0,001 m en QCLOSE op 1 m3 gezet. Er is een berekening gedaan met kleinere sluitingscriteria, maar dit had geen significant effect op berekende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Startstijghoogten	34
5	Effecten van de modelaanpassingen	35
5.1	Effect individuele wijzigingen	35
5.1.1	Aanpassen van de eerste stressperiode	35
5.1.2	Aanpassen van de kD van het eerste watervoerende pakket	36
5.1.3	Aanpassen van de deklaagweerstand	36
5.1.4	Aanpassingen aan de detailwaterlopen	37
5.1.5	Aanpassen van de gespannen bergingscoëfficiënt	38
5.1.6	Aanpassen van Peelrandbreuk en minimale weerstand weerstandslagen	39
5.2	Effect van de gecombineerde aanpassingen	40
5.3	Effect van stationariteit	41
6	Output referentiemodel	43
6.1	Berekende stijghoogten	43
6.2	Berekende riverfluxen	46
7	Gevoeligheidsanalyse	49
Bijlage 1	Kaarten inputbestanden kD, C, TOP, BOT en STO	50
Bijlage 2	Inputbestanden watergangen	51
Bijlage 3	Berekende stijghoogten modellaag 1 en 4	52
Bijlage 4	Berekende riverfluxen	53
Bijlage 5	Berekende drainagefluxen	54
Bijlage 6	Berekende kwel/infiltratiefluxen	55
Bijlage 7	Berekende storagefluxen	56
Bijlage 8	Kaarten gevoeligheidsanalyse	57



1 Inleiding

Dit document geeft een beschrijving van de uitgevoerde aanpassingen van het grondwatermodel (GRAM2.0) , versie begin februari, voor innovatieproject aanpak pipingopgave Meanderende Maas. Het doel van de aanpassingen is het maken van een 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. De tot nu toe uitgevoerde modelverbeteringen richten zich daarom in eerste instantie vooral op deze aspecten. Tijdens het aanpassen en analyseren van de modelresultaten zijn ook andere aspecten naar voren gekomen die nog aangepast moeten worden in de volgende fase van het project. Deze zijn in het document als aanbevelingen opgenomen.

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 en MORIA4.3 gekoppeld langs de waterschapsgrens van Aa en Maas en Rivierland. Tabel 2.1 t/m 2.4 tonen de koppelingstabellen voor het grondwatermodel.

Benoemen dat de deklaag wordt gevormd door lagen 1 t/m 3. Omdat de deklaag van groot belang is voor het onderzoek, is deze in het onderzoeksgebied opnieuw geparameteriseerd.

Tabel 2.1 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 2.2 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	

GRAM 2.0		MORIA4.3	Opmerkingen
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	
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 2.3 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	



GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
top18.IDF	top18.idf	
top19.IDF	top19.idf	

Tabel 2.4 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	BOT17.idf	
BOT15.IDF	BOT17.idf	
BOT16.IDF	BOT17.idf	
BOT17.IDF	BOT17.idf	
BOT18.IDF	BOT18.idf	
BOT19.IDF	BOT19.idf	

Bijlage 1 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.

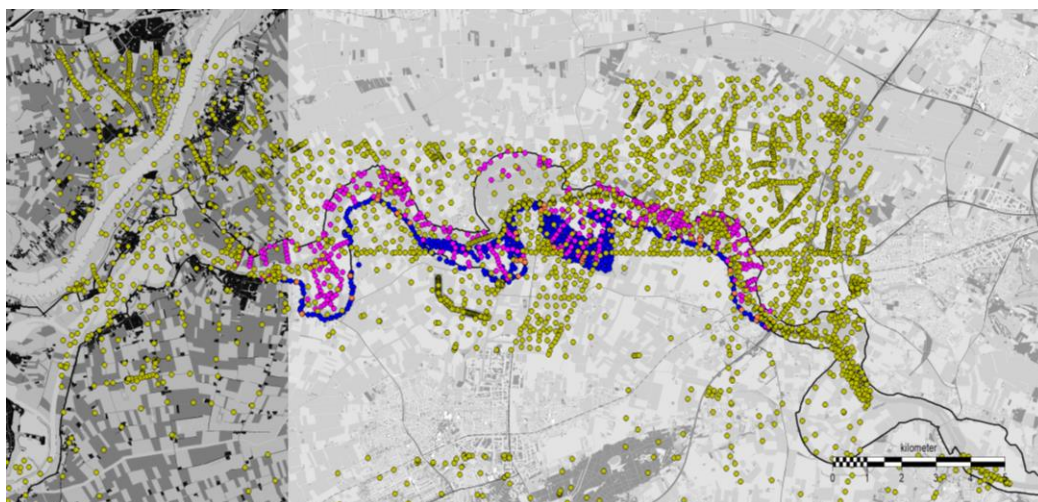
2.2.1 Brongegevens

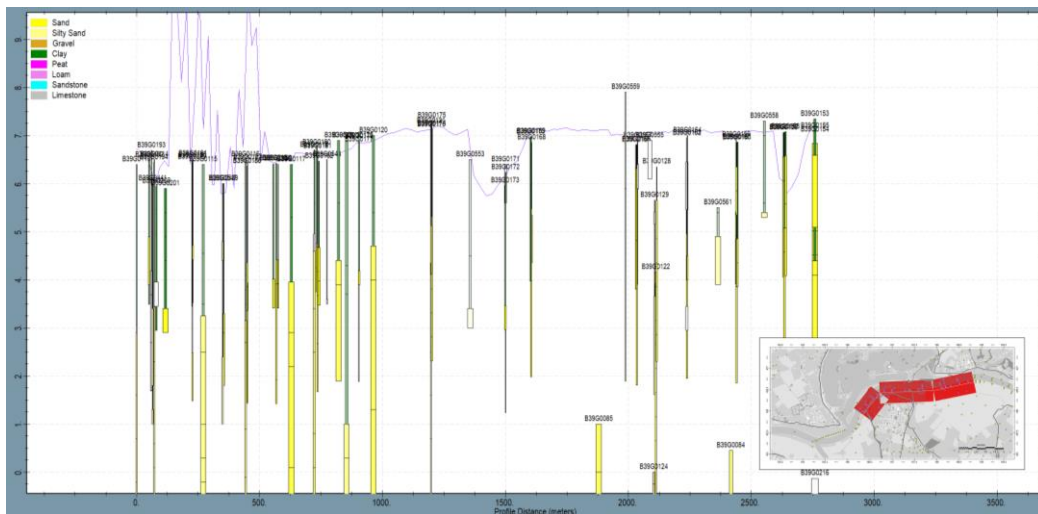
Voor het opnieuw afleiden van de deklaag is een groot aantal boringen gebruikt van verschillende bronnen:

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

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 zou kosten en het aantal boringen beperkt was.

Alle boorgegevens die niet afkomstig waren van DINO 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 2.1 Boven: de gebruikte boorgegevens voor het opnieuw afleiden van de deklaag. In bruineel de DINO boringen, in paars de boringen van de Universiteit Utrecht, in blauw de boringen van Tauw en in oranje de boringen van Wiertsema. Onder: Een voorbeeld van een profiel dat is gegenereerd in iMOD.

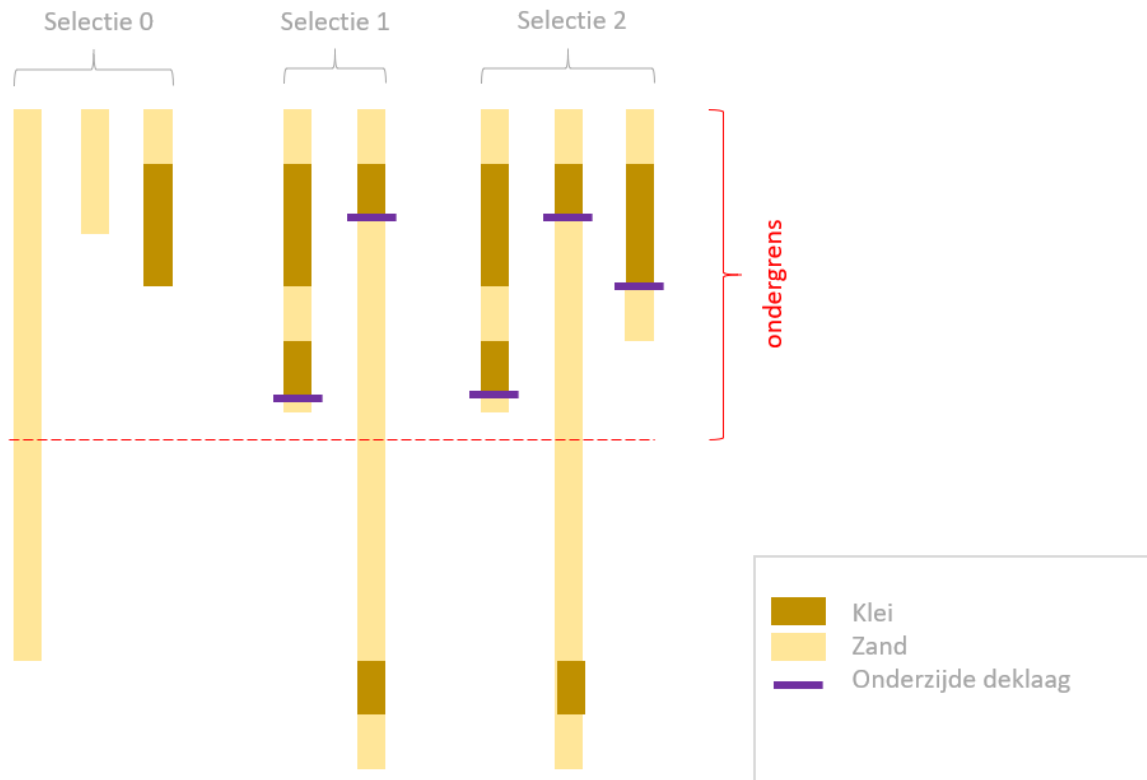
2.2.2 Onderzijde deklaag

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. Per boring is het daarom relatief simpel om de onderzijde van de deklaag vast te stellen. Voor deze analyse zijn de ondiepe boringen (<6m-mv) verwijderd als deze eindigen in de klei. Bij deze boringen is het immers niet duidelijk of de onderzijde van de deklaag al bereikt is. Vervolgens is op basis hiervan een tweetal selecties gemaakt:

- 1- Diepe boringen (>6 m-mv) en ondiepe boringen met een tussenzandlaag en die eindigen in zand.
- 2- Dezelfde boringen als in selectie 1 met aanvullend ook alle ondiepe boringen (< 6 m -mv) die eindigen in zand.

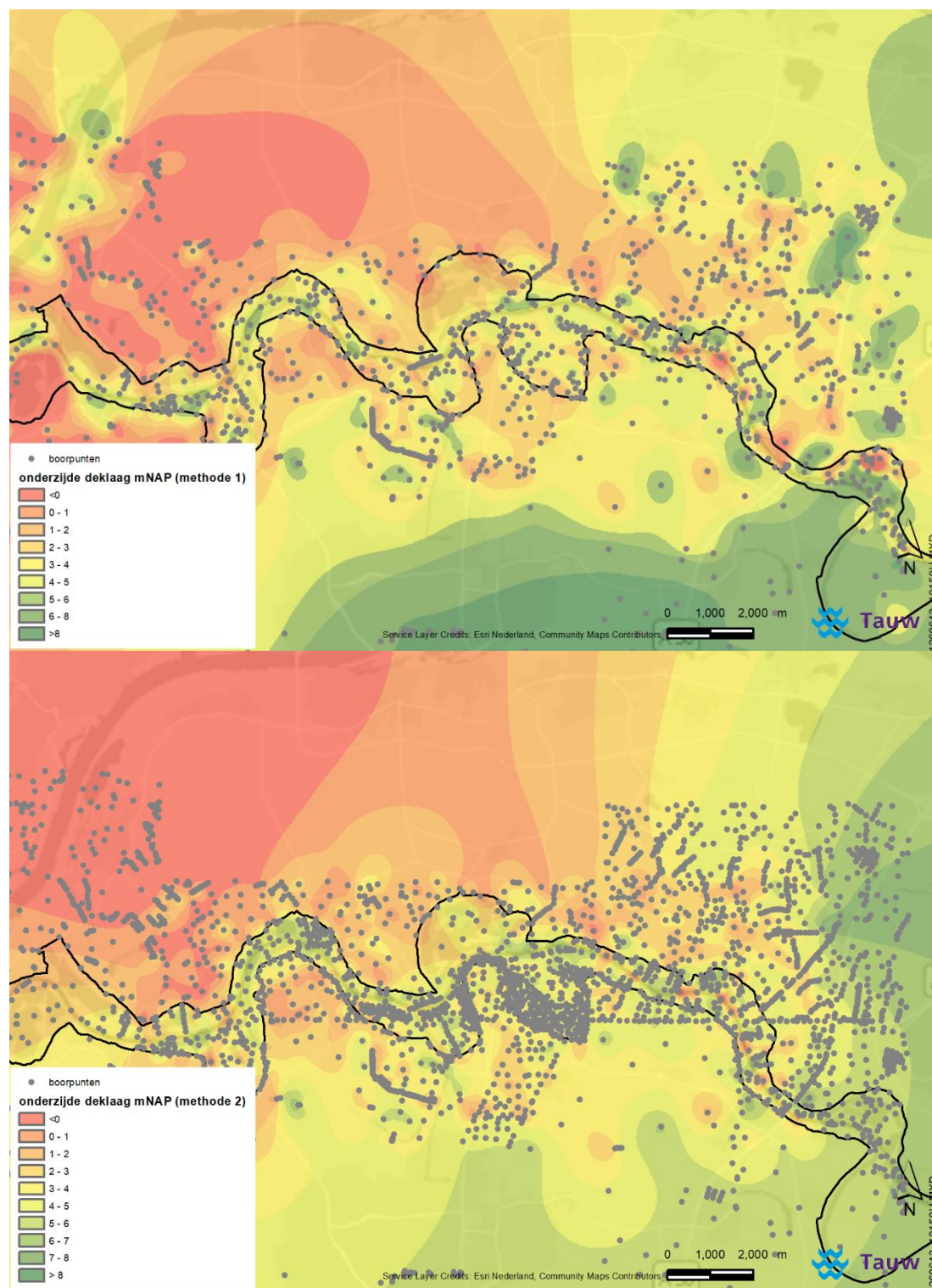
Selectie 1 betreft de meest betrouwbare dataset. De onderzijde van de kleiafzettingen (< 6 m-mv) die wordt gevonden is hoogst waarschijnlijk ook de onderzijde van de deklaag. Voor de diepe boringen is dit zeker. Voor de ondiepe boringen met een tussenzandlaag is het ook nog mogelijk dat er een tweede tussenzandlaag aanwezig is, en dus niet de onderzijde van deklaag is gevonden.

Selectie 2 is minder betrouwbaar omdat de ondiepe boringen die eindigen in zand, kunnen eindigen in een tussenzandlaag. Hierbij is de onderzijde van de kleiafzetting dus niet per definitie de onderzijde van de deklaag. Deze methode kan daarom plaatselijk leiden tot een onderschatting van de totale deklaagdikte. De methodiek is schematisch weergegeven in figuur 2.2.



Figuur 2.2 Een conceptuele weergave van de selectie die is uitgevoerd voor het vaststellen van de onderzijde van de deklaag. Selectie 0 betreft de boringen die niet zijn meegenomen. De selecties 1 en 2 zijn beschreven in de tekst.

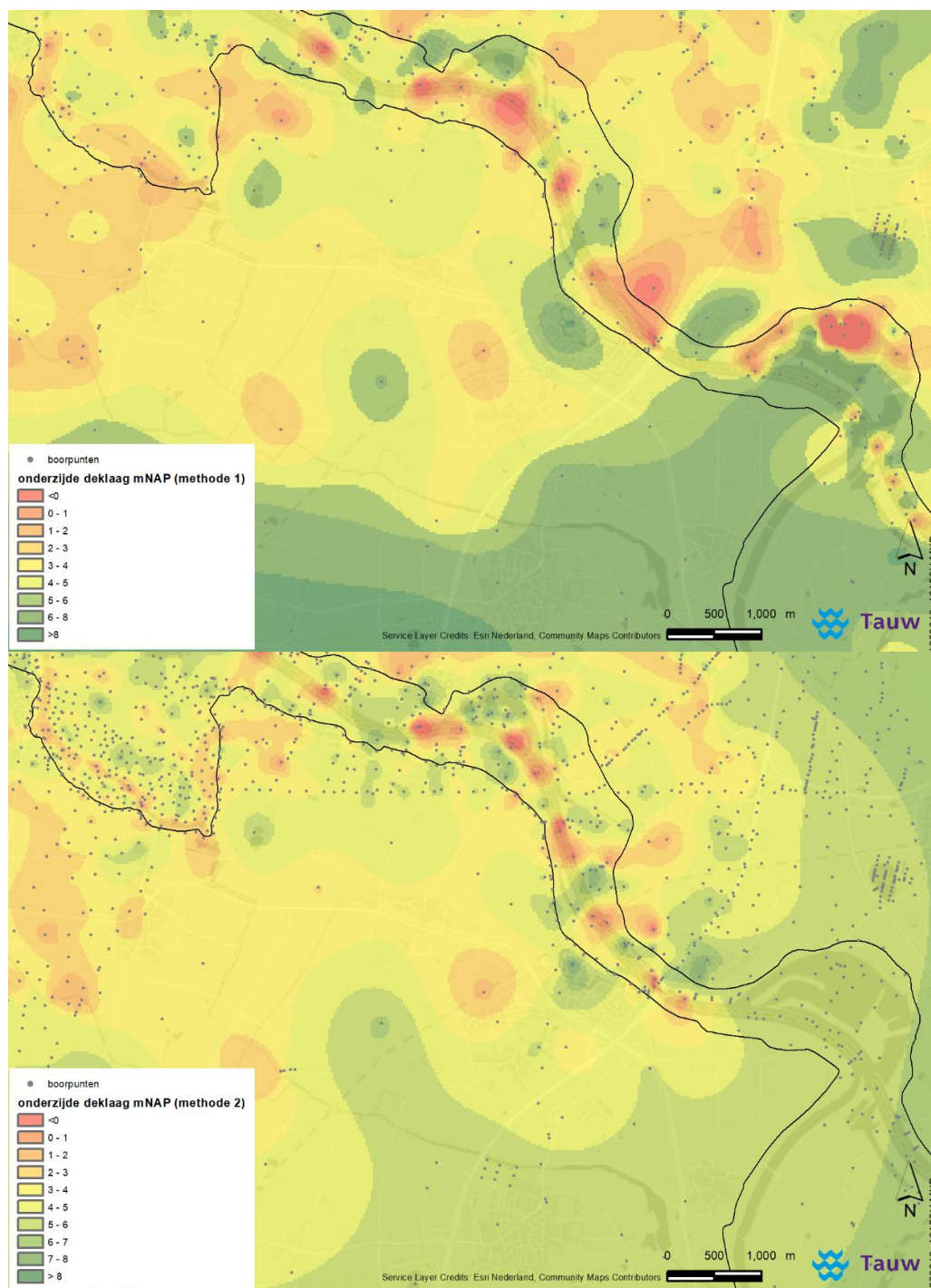
De puntbestanden van de onderzijde van de deklaag zijn vlakdekkend geïnterpoleerd met behulp van de multi kwadratische methode. Op de puntlocaties resulteert dit altijd tot de opgegeven waarde. De resultaten van deze interpolatie zijn weergegeven in figuur 2.3.



Figuur 2.3 De onderzijde deklaag na interpolatie van de puntbestanden voor methode 1 (boven) en methode 2 (onder).



Na een analyse van de interpolatieproducten is gekozen om methode 2 te gebruiken voor het afleiden van de deklaagdikte. Bij methode 1 is het aantal bruikbare punten beperkt. Hierdoor worden punten over een relatief grote afstand met elkaar 'verbonden'. Bij het toevoegen van de extra locaties bij methode 2 is dit logischerwijs minder het geval. In figuur 2.4 is een voorbeeld opgenomen om het verschil tussen beide interpolatieproducten weer te geven.

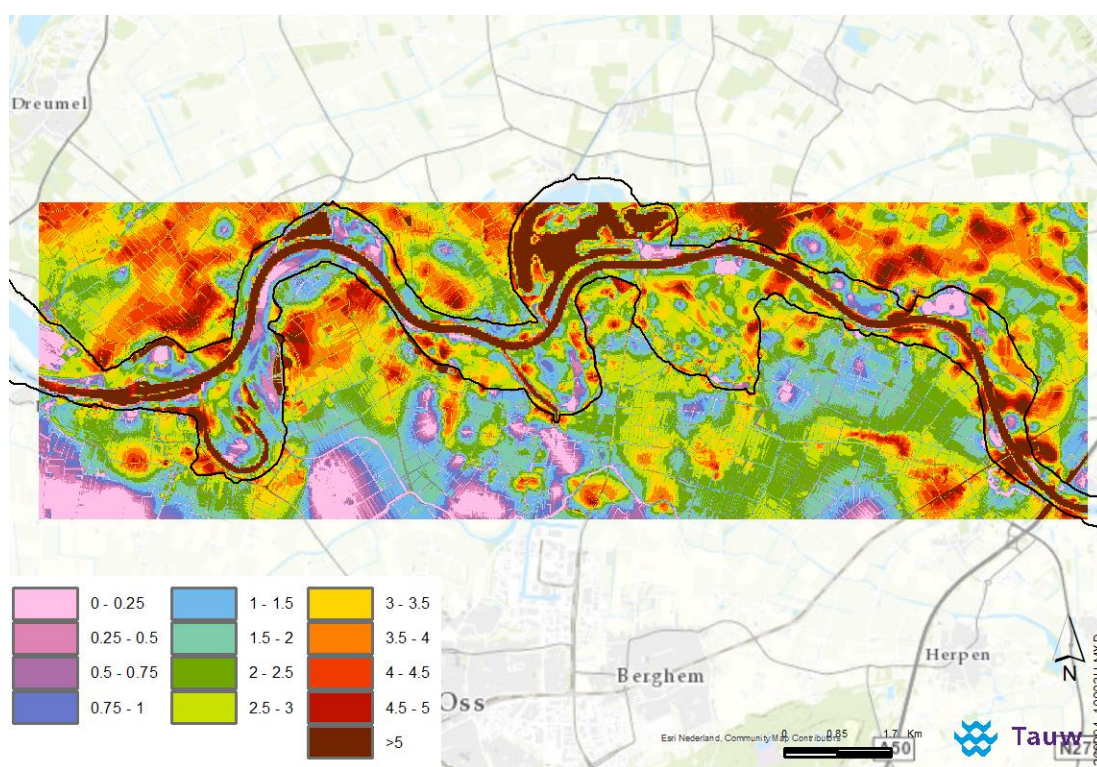


Figuur 2.4 De onderzijde deklaag na interpolatie van de puntbestanden voor methode 1 (boven) en methode 2 (onder).

Het 'globale beeld' is tussen beide methodes vergelijkbaar. Lokaal gezien treden er flinke verschillen op. Bij methode 2 treedt meer variatie op en blijven lokale afwijkingen meer beperkt tot deze locaties. Door het toevoegen van extra boorlocaties worden minder grote aaneengesloten

vlakken berekend. Het is lastig om te beoordelen welke methode beter of realistischer is. Voor dit project is er vanuit gegaan dat methode 2 de meest conservatieve optie is omdat de onderzijde van de deklaag mogelijk te ondiep wordt berekend. De berekende weerstanden zijn daardoor te laag, met als consequentie dat de berekende stijghoogte t.p.v. de dijk mogelijk iets wordt overschat.

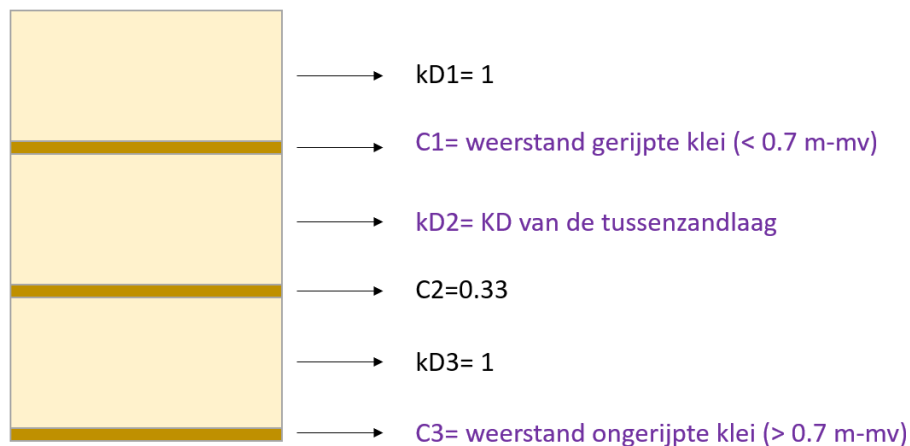
De deklaagdikte is berekend door de onderzijde van de deklaag van het maaiveldbestand (AHN3) af te trekken. Deze is weergegeven in figuur 2.5.



Figuur 2.5 Berekende dikte (m) deklaag met methode 2

2.2.3 Parameterisering deklaag

In het bestaande model was de deklaag geschematiseerd over 3 modellen. Deze verdeling is ook aangehouden bij de nieuwe schematisatie. De onderverdeling die hierbij is aangehouden is weergegeven in figuur 2.6.



Figuur 2.6 De schematische onderverdeling van de deklaag over de bovenste drie modellagen.

Kleilagen die zich boven de gemiddelde grondwaterstand bevinden staan onder invloed van bodembewerking, bodemleven en beworteling van gewassen (bouwvoor). Hierdoor ontstaat veelal een bodemstructuur met iets betere doorlatendheid en wordt gesproken van gerijpte klei. In dit stadium is er vanuit gegaan dat gerijpte klei in de bovenste 70 cm van de bodem voorkomt.

In de C1 is de weerstand van de gerijpte klei opgenomen. Deze weerstand is berekend met kerngetallen die gehalveerd zijn. In de kD2 is de kD van de tussenzandlaag opgenomen. In de C3 is de weerstand van de ongerijpte klei opgenomen.

De kD1 en kD3 zijn op een minimale waarde van 1 m²/dag gezet zodat hier alleen verticale stroming zal optreden. De C2 is ook op een minimale waarde van 0,33 dagen gezet omdat de ongerijpte weerstand volledig is toegekend aan de C3.

2.2.4 kengetallen weerstanden en doorlatendheden

Voor het toekennen van weerstanden en doorlatendheden zijn kerngetallen gehanteerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in gerijpte en ongerijpte weerstand voor klei. De gerijpte klei bevindt zich boven de grondwaterstand. Hier zijn door bodemvormingsprocessen (fysische, chemisch en biologisch) micro en macro poriën ontstaan, waardoor de doorlatendheid verbeterd. Er is uitgegaan van een halvering van de weerstand ten opzichte van de ongerijpte klei.

In tabel 2.5 zijn de gebruikte weerstanden per bodemtype weergegeven. Hierbij zijn de weerstandswaarden gevarieerd per hoofdklasse en op basis van de bijmenging, klei, silt, zand en grind.

Tabel 2.5 Gehanteerde weerstanden per bodemtype in d/m

Bijmenging	Geen	Klei	Silt	Zand	Grind
Klei (gerijpt)	200	200	150	75	50
Klei (ongerijpt)	400	400	300	150	100
Leem	150	300	200	100	50

Bijmenging	Geen	Klei	Silt	Zand	Grind
Veen	300	350	250	125	70

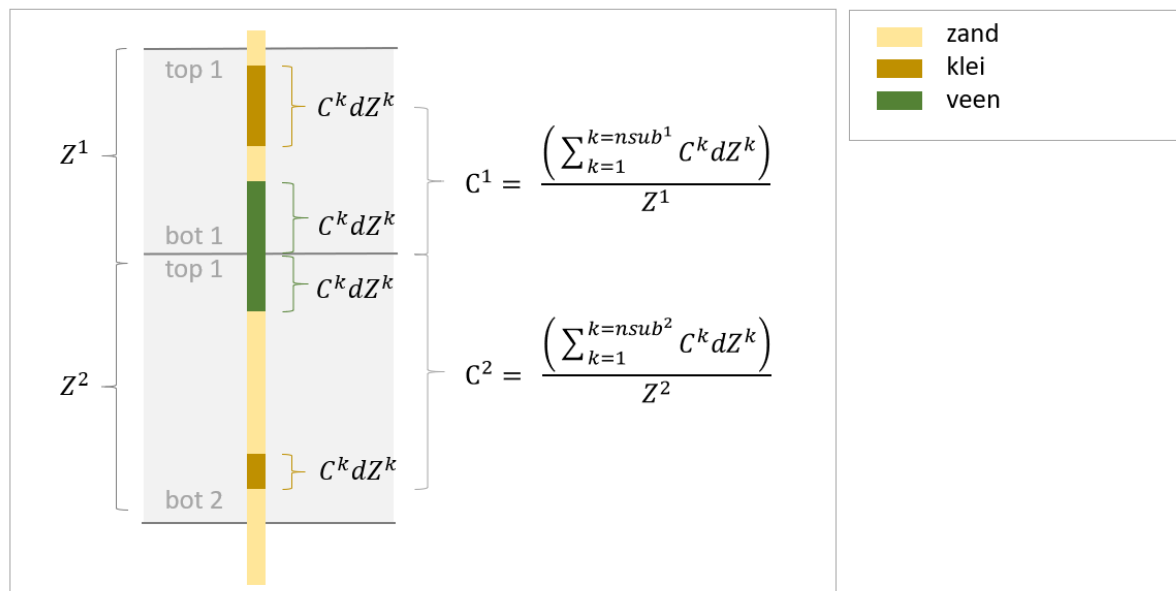
Voor de doorlatendheden van de tussenzandlaag zijn ook kengetallen gehanteerd. Deze zijn weergegeven in tabel 2.6. De gehanteerde doorlatendheden en weerstanden zijn gekozen op basis van ervaring en expert judgement. In de literatuur worden waarden gevonden die zowel hoger als lager liggen dan de waarden die hier worden gehanteerd.

Tabel 2.6 Gehanteerde doorlatendheden per bodemtype in m/d.

Bijmenging	Geen	Klei	Silt	Grind
Fijn zand	5	0.5	1	10
Grof zand	20	5	15	40
Zand	10	0.5	1	30

2.2.5 Methodiek

Voor het berekenen van de weerstanden per modellaag is de volgende methode gehanteerd. Per boorpunt worden binnen de modellaag alle weerstanden van de scheidende laagjes gesommeerd. Op basis van de modellaagdikte en de som van de berekende weerstanden, is vervolgens de weerstand van de laag berekend in d/m. Deze methode is schematisch weergegeven in figuur 2.7.



Figuur 2.7 De gebruikte methode om per boorlocatie de weerstand per modellaag te berekenen.

C1: Gerijpte kleiweerstanden

Voor het berekenen van de gerijpte kleiweerstand is als bovengrens het maaiveldbestand gebruikt (AHN3) en als onderzijde 0.7 m-mv. Hierbij zijn de gehalveerde weerstandswaarden gebruikt zoals weergegeven in tabel 2.5.

C3: Ongerijpte kleiweerstand

Voor het berekenen van de ongerijpte kleiweerstand is als bovenzijde 70 cm-mv aangehouden en als onderzijde de bovenzijde van het 1^e watervoerende pakket.

KD2: Doorlatendheden tussenzandlaag in de deklaag

Voor het berekenen van de doorlatendheid van de tussenzandlaag is een aanvullende filtering uitgevoerd. Allereerst is de methode gebruikt zoals weergegeven in figuur 2.7. Hierbij is het maaiveld als bovengrens en de berekende onderzijde van de deklaag (methode 2) als ondergrens gebruikt. Binnen deze modellaag is per boringen gekeken of er sublagen voorkomen. Een sublaag is toegekend als na een weerstandslaag een zandlaag wordt aangetroffen en de weerstand van de bovengelegen weerstandslaag groter is dan 100 dagen. In het geval van een reeks dunne weerstandslagen wordt de weerstand gesommeerd. Wanneer de gesommeerde weerstand boven de 150 dagen uitkomt wordt alsnog een sublaag gedefinieerd. De kD van de tussenzandlaag is gedefinieerd als de som kD (tot onderzijde deklaag) minus de kD van sublaag 1. De kD van sublaag 1 is dus het zand wat aan het maaiveld ligt. De methode is schematisch weergegeven in figuur 2.8.

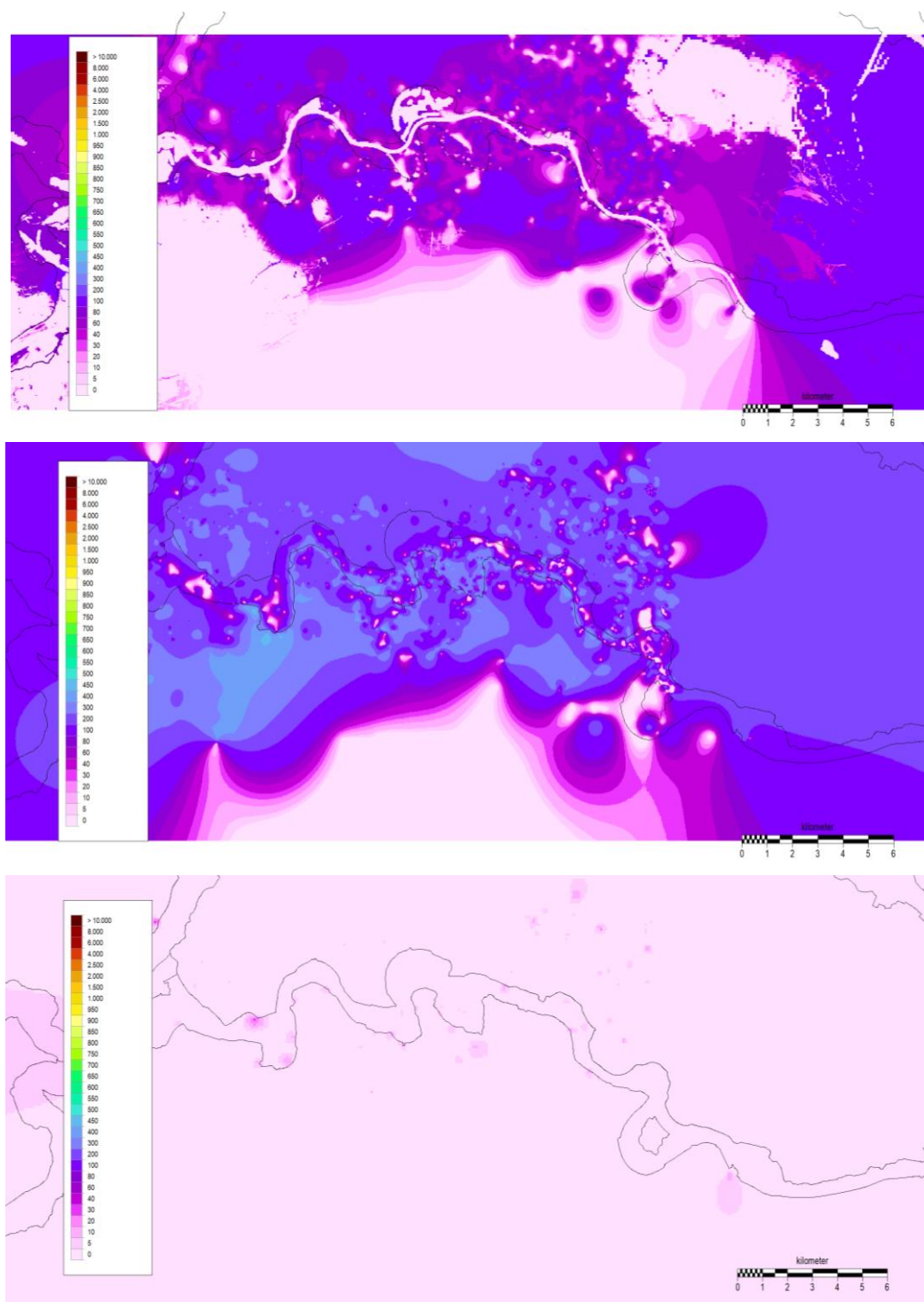


Figuur 2.8 Een schematische weergaven van de gebruikte methode om de kD te berekenen voor de tussenzandlaag in de deklaag. Links zijn twee voorbeelden opgenomen waar op basis van de weerstandsgrenswaardes een sublaag wordt gedefinieerd. Rechts is de weergegeven hoe op basis van sublaag 1 de kD van de tussenzandlaag is berekend. In paars is steeds de onderzijde van de deklaag weergegeven.



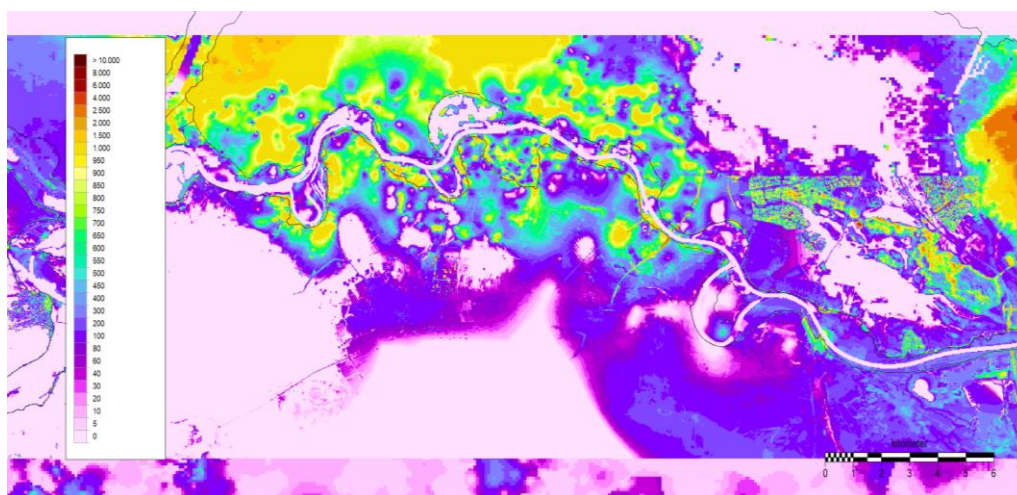
2.2.6 Interpolatie

De C1 en C3 weerstanden en de KD2 doorlatendheden zijn vlakdekkend geïnterpoleerd met behulp van de multi kwadratische methode. Deze zijn weergegeven in figuur 2.9.



Figuur 2.9 De geïnterpoleerde weerstanden en doorlatendheden met van boven naar onderen de weerstanden van de C1 (gerijpte weerstand in dagen) en de C3 (ongerijpte weerstand in d/m) en de KD2 (doorlatendheid tussenzandlaag in m²/d).

Voor de C3 betreft dit dus de weerstand per meter. Dit grid is vermenigvuldigd met de berekende deklaagdikte tot een totale dikte in dagen. Deze is weergegeven in figuur 2.10.



Figuur 2.10 De weerstand voor de deklaag (C3, ongerijpte weerstand) in dagen.

2.2.7 Aanbevelingen:

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor de volgende aanpassingsronden:

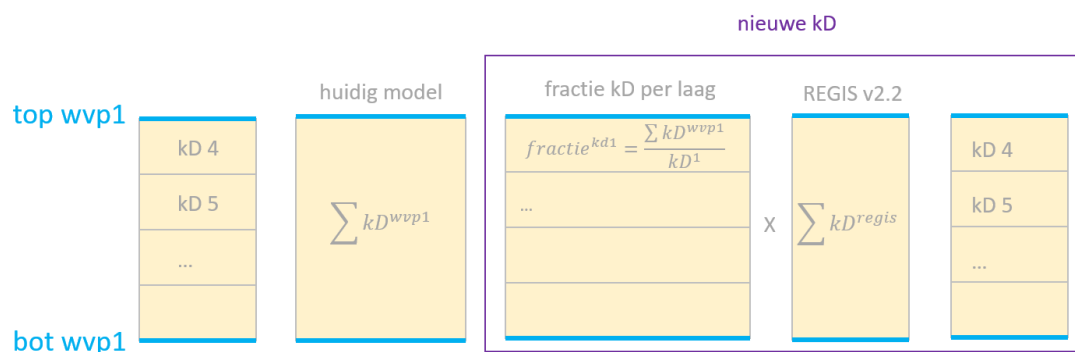
- Leem en veen meenemen bij het bepalen van de onderzijde van de deklaag.
- Volgende gegevens nog meenemen:
 - Gedigitaliseerde boringen nog meenemen. Oude pdf boorprofielen zijn gedigitaliseerd naar dinoformat. Nog om te zetten van xls naar txt
 - Sonderingen en geotechnische lengteprofielen gebruiken om onderzijde deklaag te interpoleren. Deze data is al beschikbaar
 - boringen met kleidiktes (in GIM) gebruiken ?. Alleen shapefile. Te gebruiken voor bepalen c1
- Boringen dieper dan 6 m ook meenemen, omdat bij boringen in de dijken, de onderzijde van de deklaag dieper kan liggen dan 6 m-mv.
- Boringen die in klei/veen/leem eindigen ook meenemen. De onderzijde van de deklaag kan in dit geval niet worden vastgesteld, maar er is wel bekend wat de
- Gestaakte boringen niet meenemen
- Interpoleren met PCG met grote kD om zo dicht mogelijk op lineaire interpolatie te komen
- Laatste versie tauw boringen gebruiken
- Minimale weerstand van 10 dagen gebruiken, met name in zuidelijke richting. Deze weerstand is belangrijk als 'extra' intredeweerstand voor waterlopen die niet in het eerste watervoerende pakket zullen insnijden.

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-

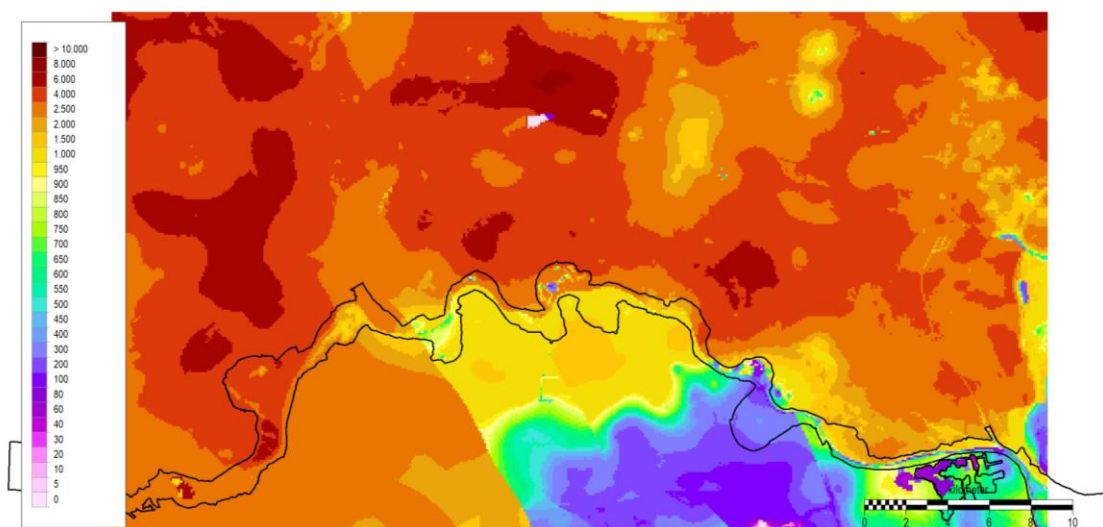
model. Beide modellen zijn gekalibreerd, waarbij ook de doorlatenheden van het watervoerende pakket zijn aangepast.

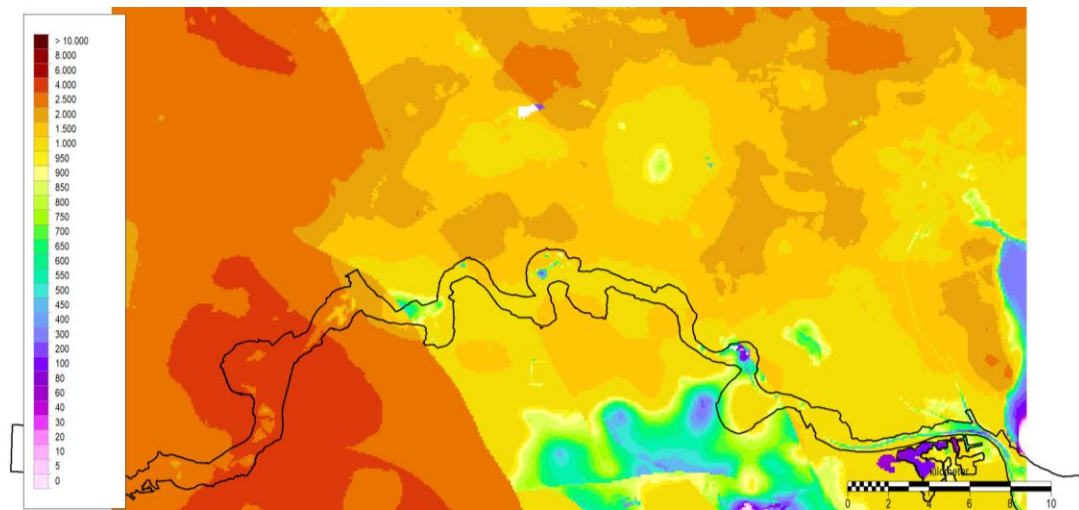
Binnen dit project is ervoor gekozen om de originele REGIS v2.2 doorlatenheden te gebruiken als uitgangspunt voor het nieuwe referentiemodel. Deze doorlatendheden kunnen in een latere fase worden aangepast bij een kalibratie van dit referentiemodel. De gehanteerde methode is weergegeven in figuur 2.11. 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 t.o.v. 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).

2.4 Anisotropie

In de omgeving van het onderzoeksgebied komt geen anisotropie voor. Omdat imodflow deze inputbestanden regionaal wel nodig heeft, zijn de bestanden van GRAM en MORIA wel gekoppeld.

GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
ANI_FACTOR.IDF	ANI_FACTOR.IDF	
ANI_HOEK.IDF	ANI_HOEK.IDF	

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 $1E-5 \text{ (m}^{-1}\text{)}$. Deze is vervolgens vermenigvuldigd met de diverse laagdiktes.

In bijlage 1 is per laag de berekende bergingscoëfficiënt weergegeven.

Aanbevelingen:

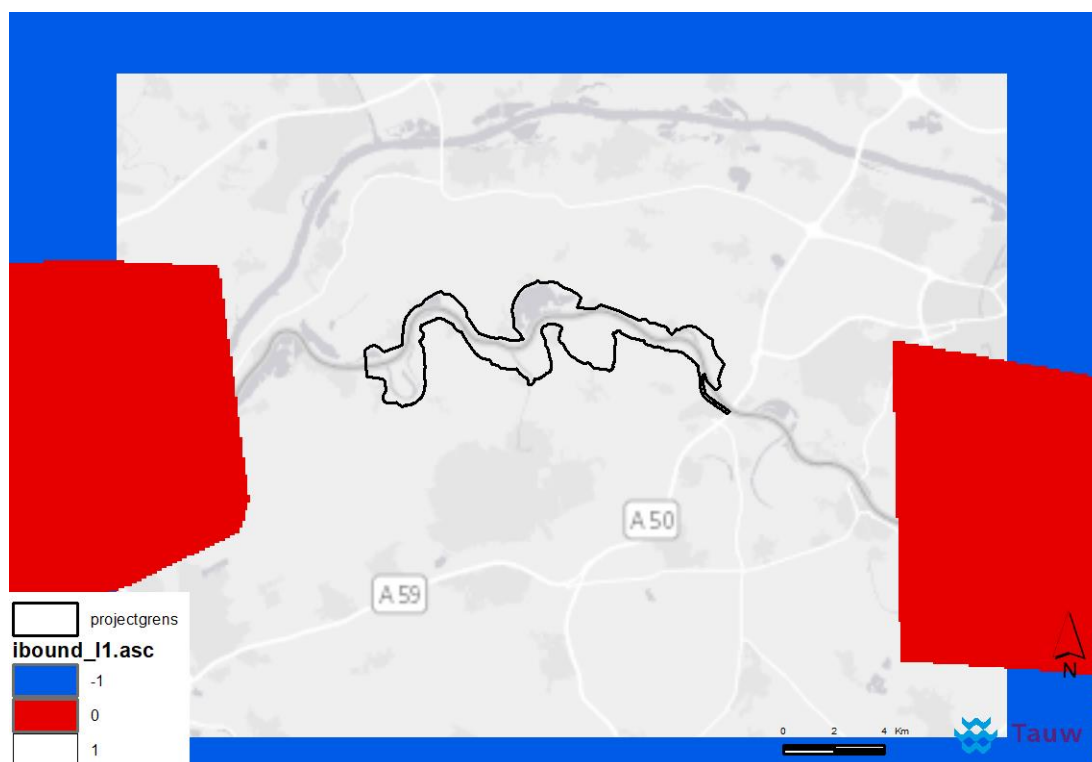
- Voor laag 2 en 3 zijn de originele storage coëfficiënten gebruikt. Hierin is een scherpe overgang zichtbaar tussen GRAM en MORIA. Deze dienen te worden teruggezet tot een vlakdekkende minimale waarde die representatief is voor een deklaag.
- De dummy modellagen 13 t/m 17 in het MORIA-deel van het model, hebben een dikte gekregen van enkele meters. Bij het berekenen van de bergingscoëfficiënt hebben deze lagen dus een iets te hoge bergingscoëfficiënt gekregen. Deze dienen te worden aangepast.

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 versmeerd is, 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.



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.

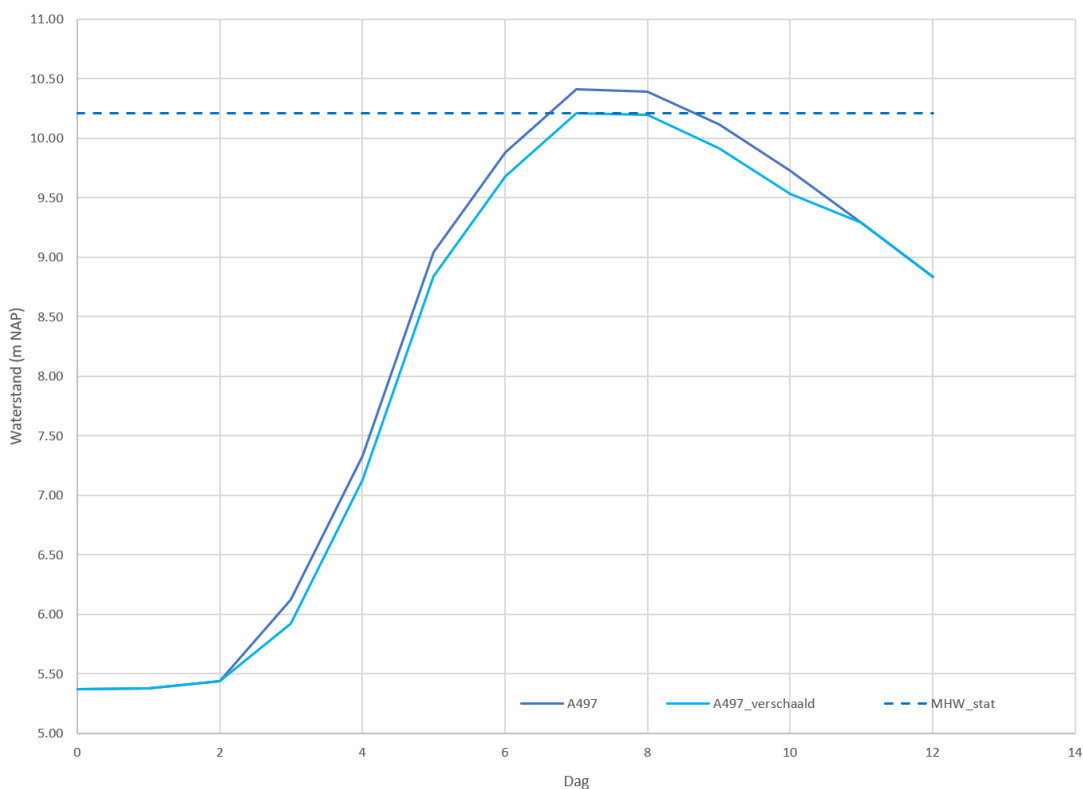
3 Waterlopen/ontwateringsmiddellen

3.1 Maas en Waal

3.1.1 MHW-golf

In het model is een MHW-golf toegevoegd. Dit betreft een 12 daagse hoogwatergolf berekend met WAQUA bij een debiet van 5500 m³/s bij Lobith. De golf is verschaald naar een golf van 5000 m³/s door de waterstanden tussen tijdstappen 5 t/m 12 te verlagen met 20 cm. De uitvoer van het WAQUA model (puntdata) is geïnterpoleerd met de methode 'TopotoRaster', binnen de uiterwaarden. Hierbij is steeds gekeken of het peil boven het maaiveld uitkomt.

In onderstaande grafiek is de golf voor dijkpaal A497 halverwege het traject weergegeven bij een afvoer van 5500 m³/s/. De stippellijnen tonen de bijbehorende stationaire waterstand bij 5000 m³/s. De peilen zijn opgenomen in bijlage 5.



Figuur 3.1: De MHW-golf bij 5500 m³/s en de verschaalde golf bij 5000 m³/s ter plaatse van dijkpaal A497.

In de waal is een stationair hoogwater ingebracht. Dit betreft een gekozen hoogwaterpeil op 6 januari 2003.

Aanbevelingen:

- Een betere MHW golf inbrengen
- De golf die nu is gebruikt eindigt op een stuk hoger niveau dan waarop gestart is. Dit betekent dat niet de gehele golf is meegenomen. Omdat we echter alleen geïnteresseerd zijn in de maximale stijghoogte dicht bij de dijk, zal het toevoegen van de 'staart' van de golf geen effect hebben.

3.1.2 Insnijding en intredeweerstand

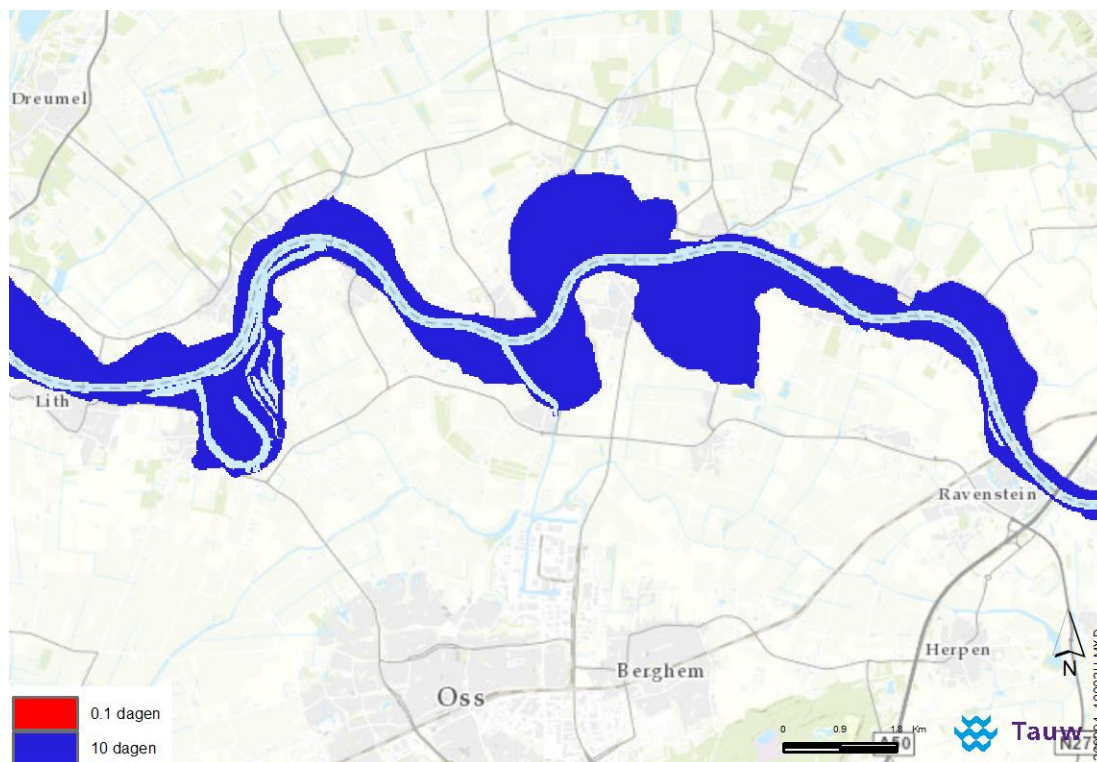
Het zomerbed en de nevengeulen van de Maas snijden in tot en met laag 4, zie figuur 3.2. De intredeweerstand in het zomerbed is 0.1 dag en die van de nevengeulen 10 dagen. Dit onderscheid is gemaakt omdat de doorstroming in de nevengeulen minimaal is (in de drogere periodes), en zich hier dus een sliblaag 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_mkno15_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. Hieronder bevindt zich op de meeste plaatsen dan ook nog de deklaagweerstand.

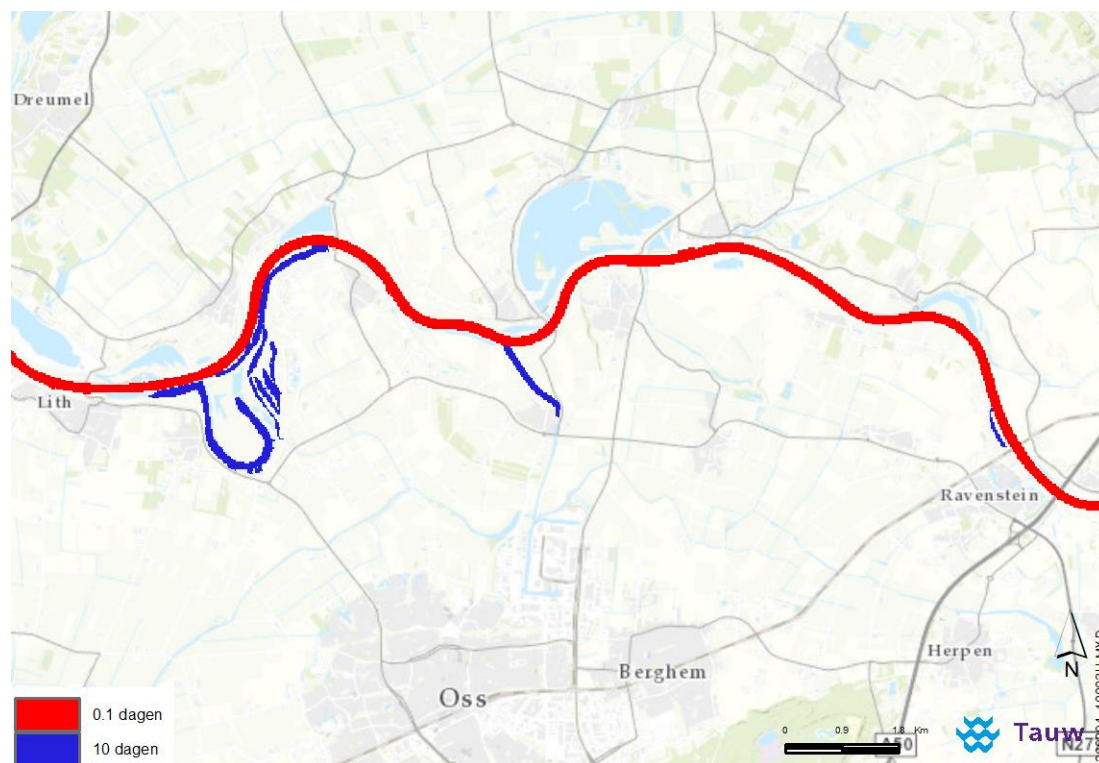
De infiltratie factor voor de gehele Maas is 1. Dit betekent dat de intredeweerstand gelijk is aan de uittredeweerstand.

Aanbevelingen:

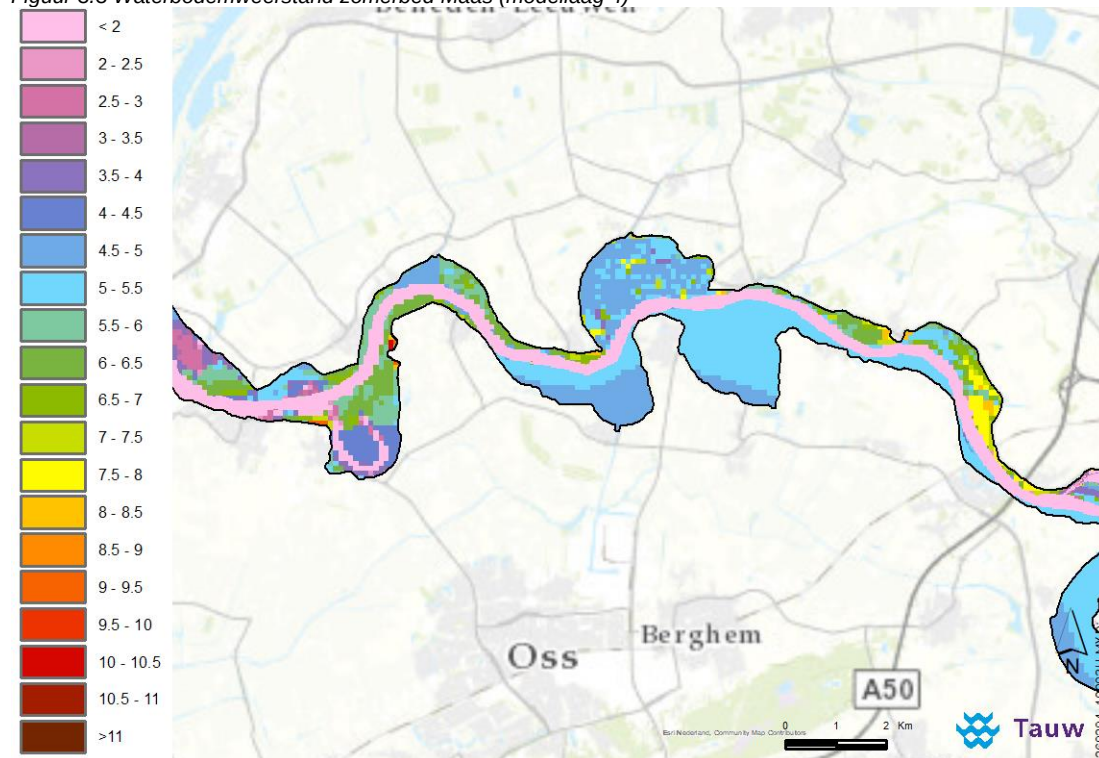
- Winterbed infiltratiefactor van 0,33 maken
- Bodemhoogte Maas aanpassen obv gegevens
- Een betere golf voor de Maas in het model zetten



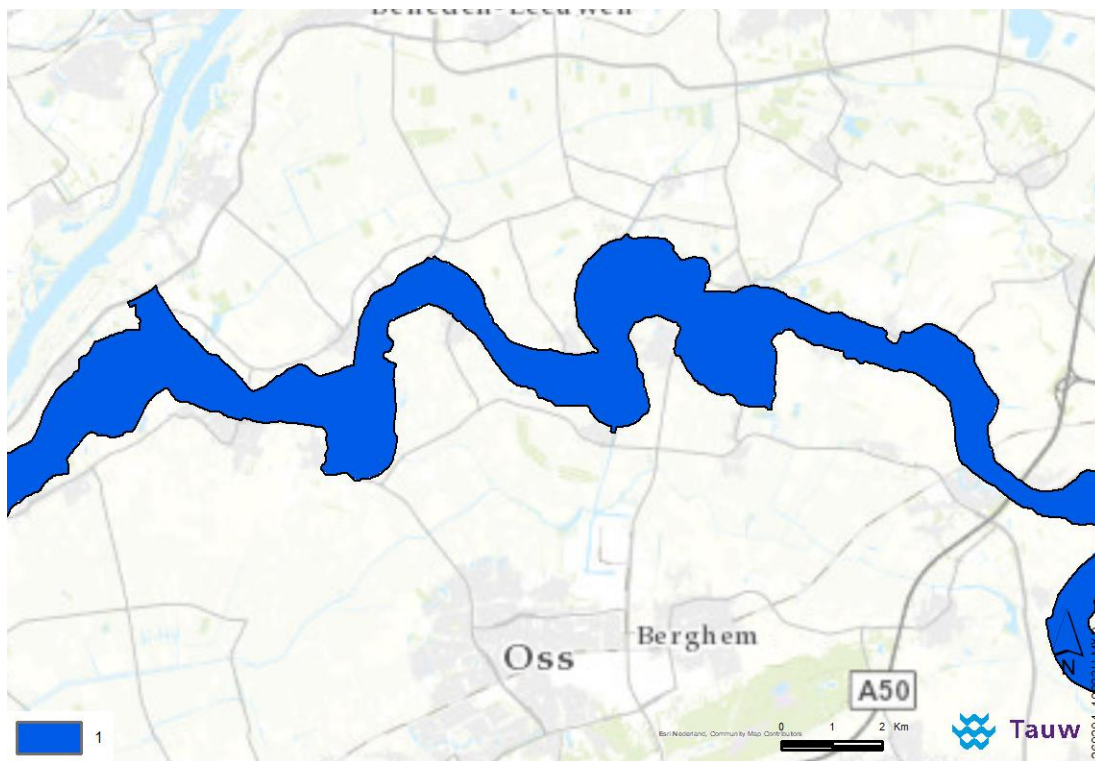
Figuur 3.2 Waterbodemweerstand winterbed Maas (modellaag 1)



Figuur 3.3 Waterbodemweerstand zomerbed Maas (modellaag 4)



Figuur 3.4 Bodemhoogte (m NAP)



Figuur 3.5 Infiltratiefactor Maas

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. Voor waterlopen die slechts deels insnijden in de deklaag, is de deklaagweerstand niet gereduceerd. Dit is mogelijk nog wel goed om te doen in een volgende fase. De intredeweerstand van de legger en detailwatergangen zijn erg bepalend voor de reikwijdte van het effect van de hoogwatergolf.

Figuur 3.5 toont welke waterlopen (Maas, legger- en detailwatergangen) insnijden in het watervoerende pakket. De conductance is gelijkelijk verdeeld over de modellagen 1 t/m 3. Wanneer de waterlopen insnijden in het watervoerende pakket krijgen deze een extra conductance van 50%.

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

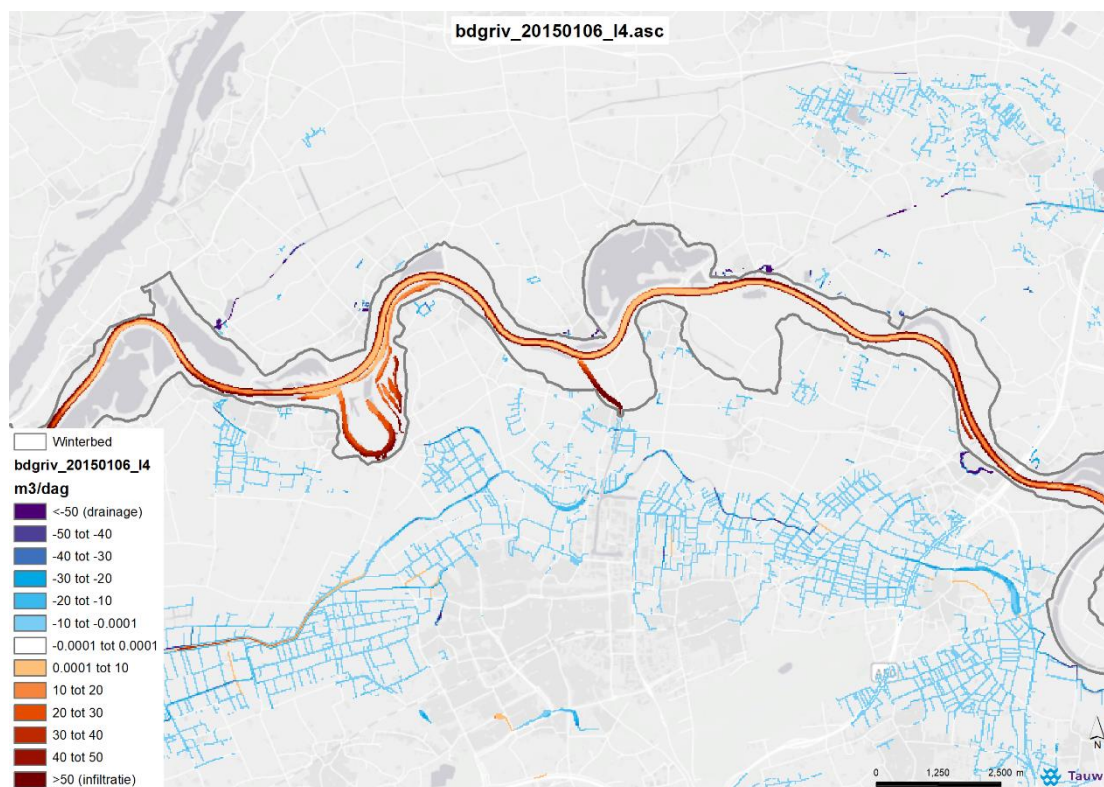
In bijlage 2 zijn de volgende kaarten weergegeven:

- Bodemhoogte
- Totale conductance
- Infiltratiefactor

- Winterpeil
- Zomerpeil

Aanbevelingen:

- Kanaal naar Oss ontbreekt. Deze moet nog toegevoegd worden.
- Leggerwatergangen: Insnijding in eerste watervoerend pakket beter bepalen. Figuur 3.5 toont de watergangen die op dit moment insnijden. Er zijn een aantal watergangen dichtbij de dijk die insnijden. Er moet goed uitgezocht worden of dit daadwerkelijk zo is.
- Ook moet worden gekeken of de deklaagweerstand onder waterlopen moet worden gereduceerd wanneer deze voor een deel insnijden.



Figuur 3.6 Berekende riverfluxen op dag 6 van het MHW-golf (legger, maas en detailwatergangen) in modellaag 4

3.2.2 Detailwatergangen

De detailwatergangen van GRAM2.0 en MORIA3.4samen gevoegd 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 is bepaald of ze zich ook in laag 4 bevinden. 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

Aanbevelingen:

- Detail watergangen: Insnijding in eerste watervoerend pakket beter bepalen. Figuur 3.6 toont de watergangen die op dit moment insnijden. Er zijn een aantal watergangen dichtbij de dijk die insnijden. Er moet goed uitgezocht worden of dit daadwerkelijk zo is.

3.3 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 2 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

3.4 Overlandflow

Overlandflow zorgt er voor dat grondwaterstanden niet boven maaiveld kunnen stijgen. Bij de toekenning van overlandflow is onderscheid gemaakt tussen de stationaire aanloopperiode (tijdstep 1 van het model) en de simulatie van de hoogwatergolf.

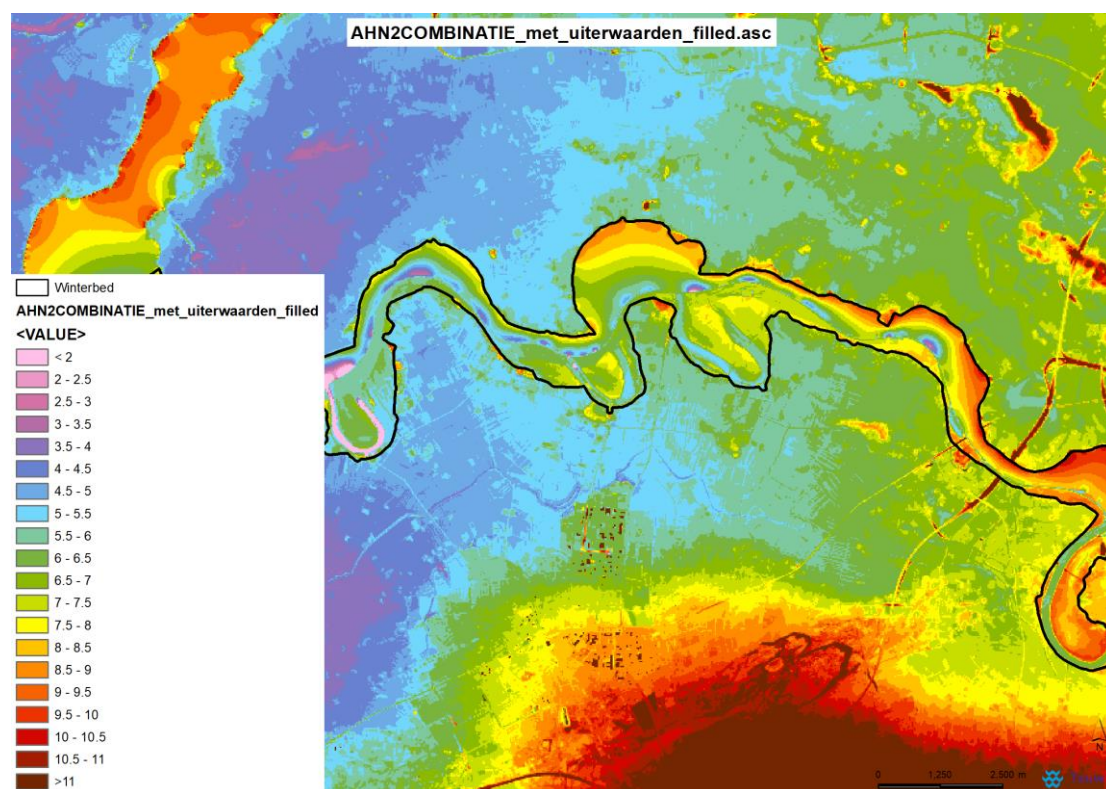
In tijdstep 1 is wel een OLF-niveau ingebracht in de uiterwaarden. Dit is gedaan om te voorkomen dat het grondwatervniveau ongelimiteerd kan stijgen in deze 'inspeelperiode' van 10 jaar. Het OLF-niveau in de uiterwaarde is geïnterpoleerd, wat soms resulteert in vreemde patronen. Dit dient in de volgende fase te worden aangepast. De OLF is bij de start van de hoogwatergolf (tijdstep 2) verwijderd binnen de uiterwaarden om te zorgen dat de grondwaterstand hier met het rivierpeil kan meestijgen.

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

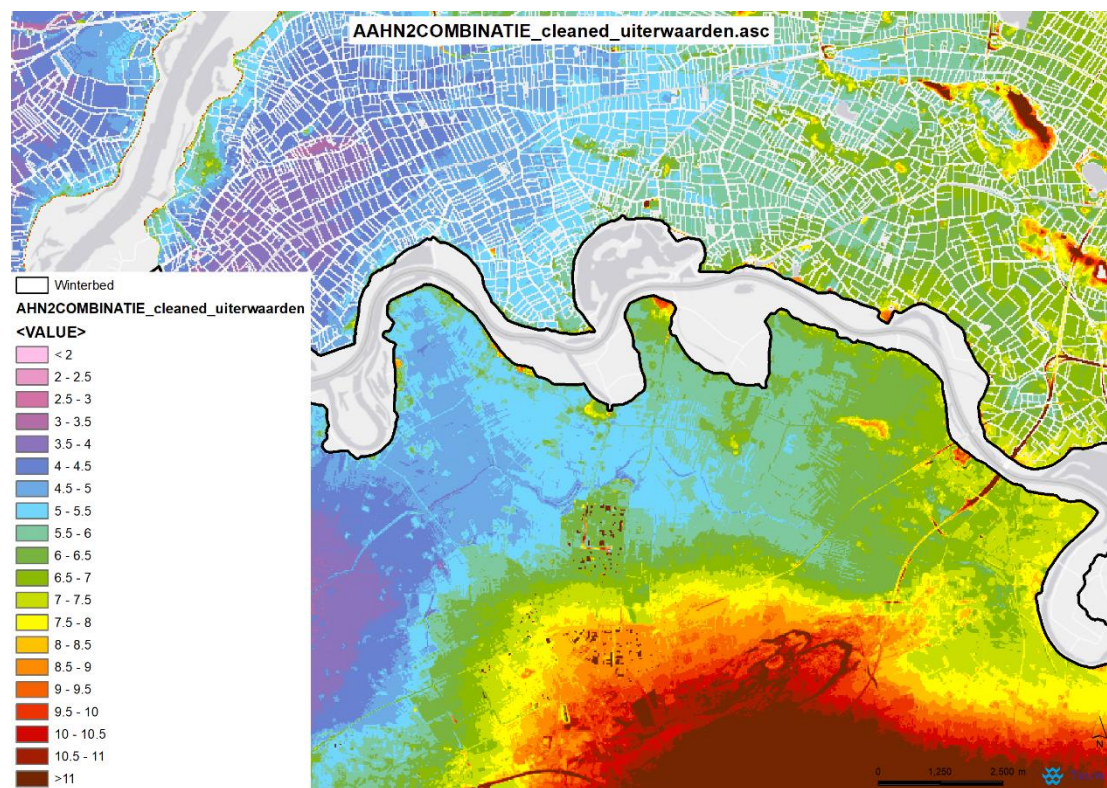
GRAM 2.0	MORIA4.3	Opmerkingen
AHN2COMBINATIE.IDF	OVERLANDFLOW.IDF	OLF verwijderd binnen uiterwaarden zodat deze kunnen overstromen

Aanbevelingen:

- Tijdstap 1 OLF in uiterwaarden: nog verbeteren door het gebruik van AHN3 + opvullen van de no-data gebieden.



Figuur 3.7 Niveau (m NAP) overlandflow voor tijdstap 1 (moet aangepast worden)



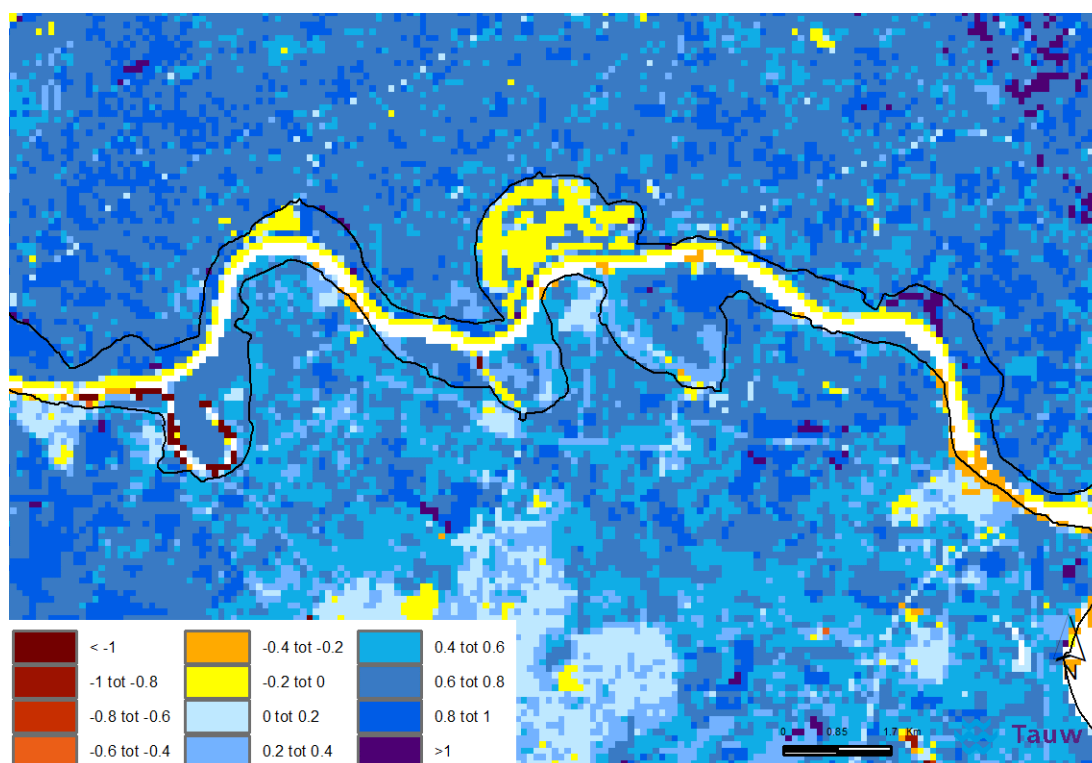
Figuur 3.8 Niveau (m NAP) overlandflow

4 Overig

4.1 Runfile

4.1.1 Tijdstappen

De stationaire aanlooperperiode (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 13 bedragen steeds 1 dag waarbij een grondwateraanvulling van 4 mm/dag is aangehouden.

4.1.2 sluitingscriteria

4.1.3 HCLOSE op 0,001 m en QCLOSE op 1 m3 gezet. Er is een berekening gedaan met kleinere sluitingscriteria, maar dit had geen significant effect op berekende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Startstijghoogten

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

5 Effecten van de modelaanpassingen

In dit hoofdstuk zullen de effecten van de individuele aanpassingen worden toegelicht. Het gaat hierbij om een vergelijking ten opzichte van het referentiemodel uit april 2019. Met dit model is in het voorjaar van 2019 de QuickScan uitgevoerd. De effecten van alle aanpassingen die hierna zijn doorgevoerd worden hier toegelicht.

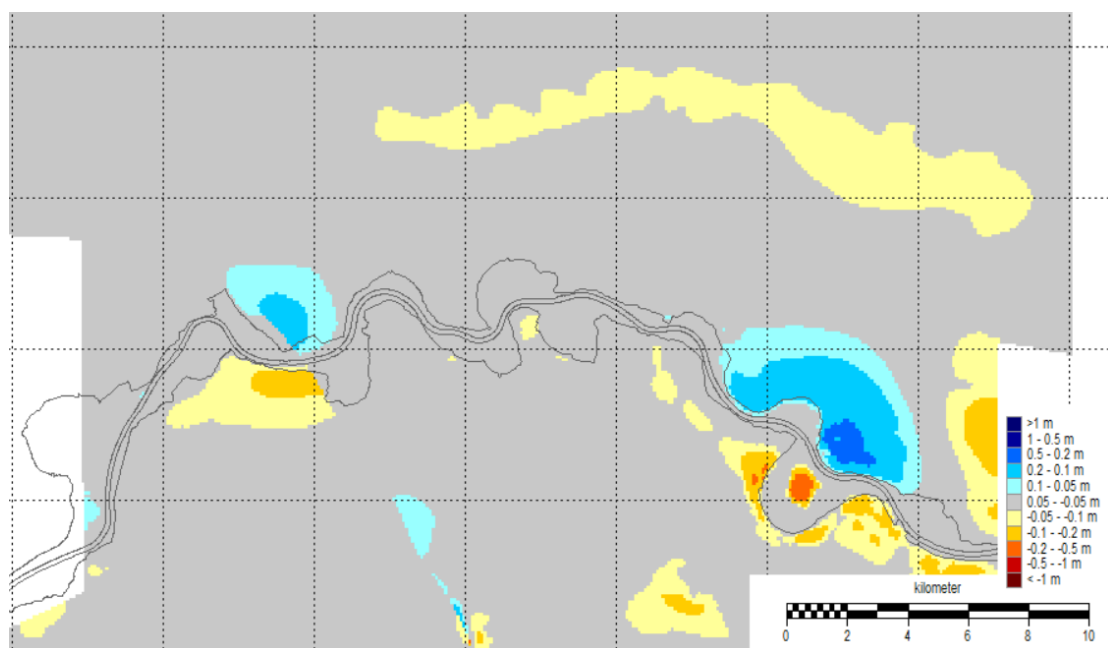
5.1 Effect individuele wijzigingen

Bij het evalueren van de effecten van de aanpassingen is steeds alleen gekeken naar het effect van de individuele aanpassing. De aanpassingen zijn we 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 opzichten van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

5.1.1 Aanpassen van de eerste stressperiode

Er is een extra stressperiode toegevoegd om de stationaire uitgangssituatie 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 5.1 is het effect van de aanpassing weergegeven op de berekende maximale stijghoogte tijdens de hoogwatergolf.

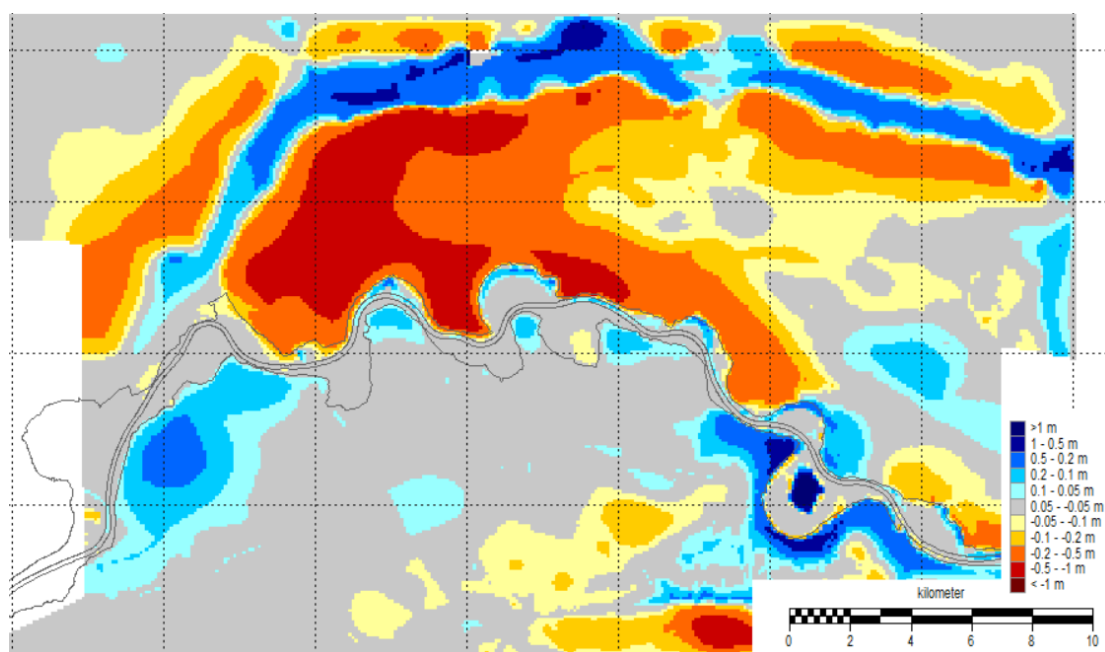


Figuur 5.1 Het effect van het toevoegen van een stationaire inspeelperiode op de startcondities in het eerste watervoerende pakket.

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.

5.1.2 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 5.2.

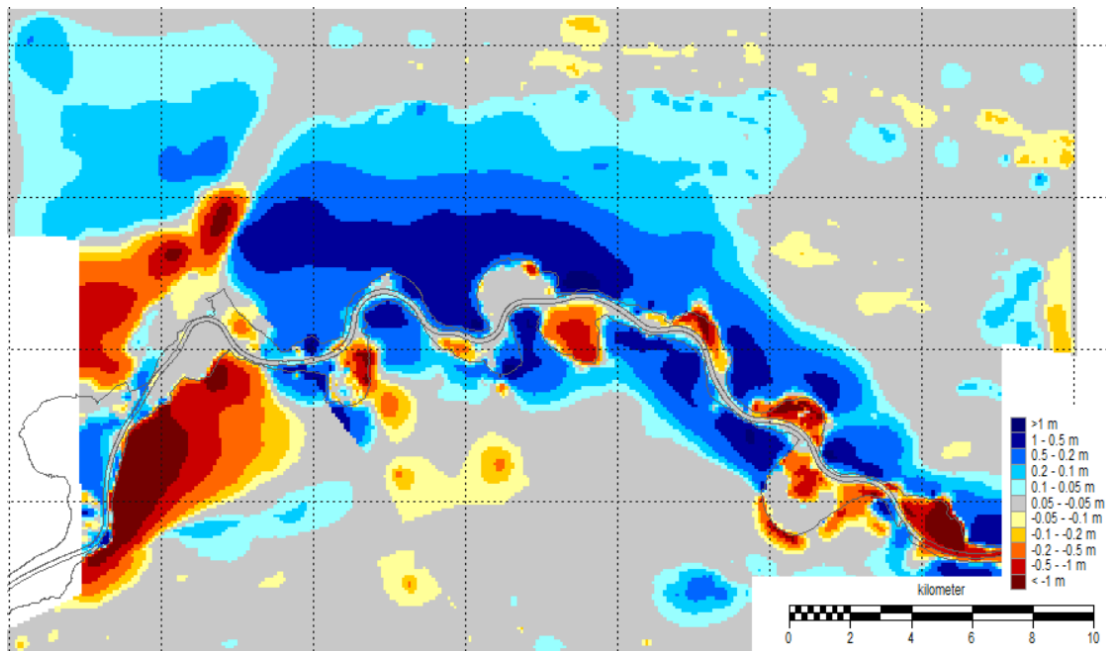


Figuur 5.2 Het effect van de aanpassingen van de kD van het eerste watervoerende pakket.

De aanpassing leidt 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.

5.1.3 Aanpassen van de deklaagweerstand

De deklaagweerstand is op basis van aanvullende lokale boorgegevens aangepast. Het effect van deze aanpassing is weergegeven in figuur 5.3.



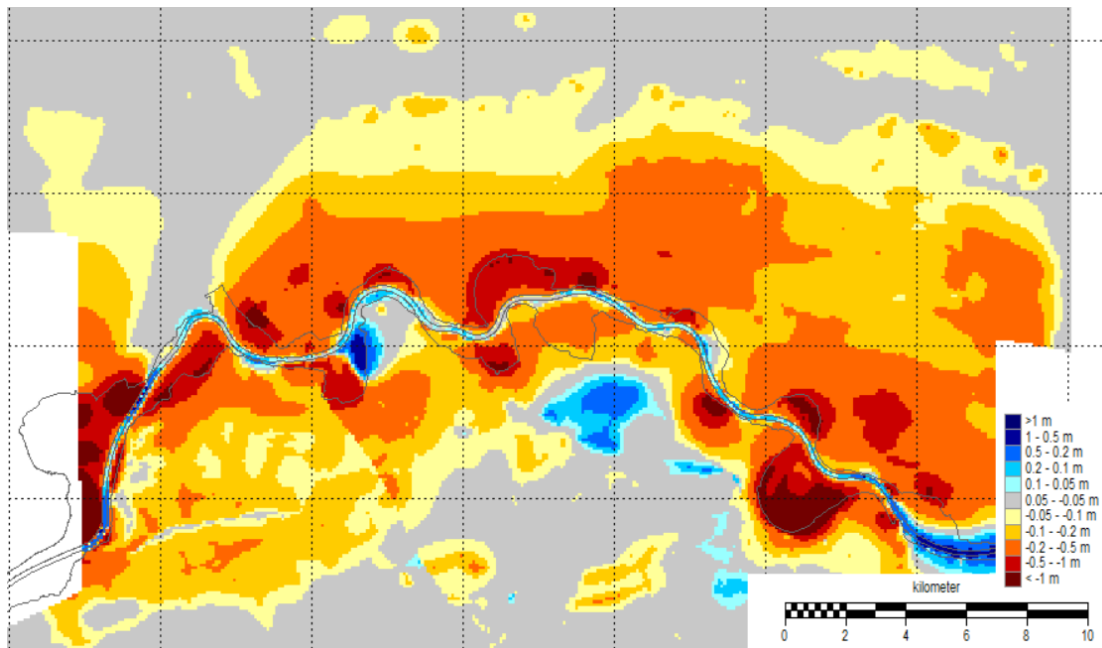
Figuur 5.3 Het effect van het aanpassen van de deklaagweerstand in het eerste watervoerende pakket

De aanpassing heeft een duidelijk effect op de stijghoogtes in het eerste watervoerende pakket. Langs de dijk leidt 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

5.1.4 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 berekend 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 5.4.

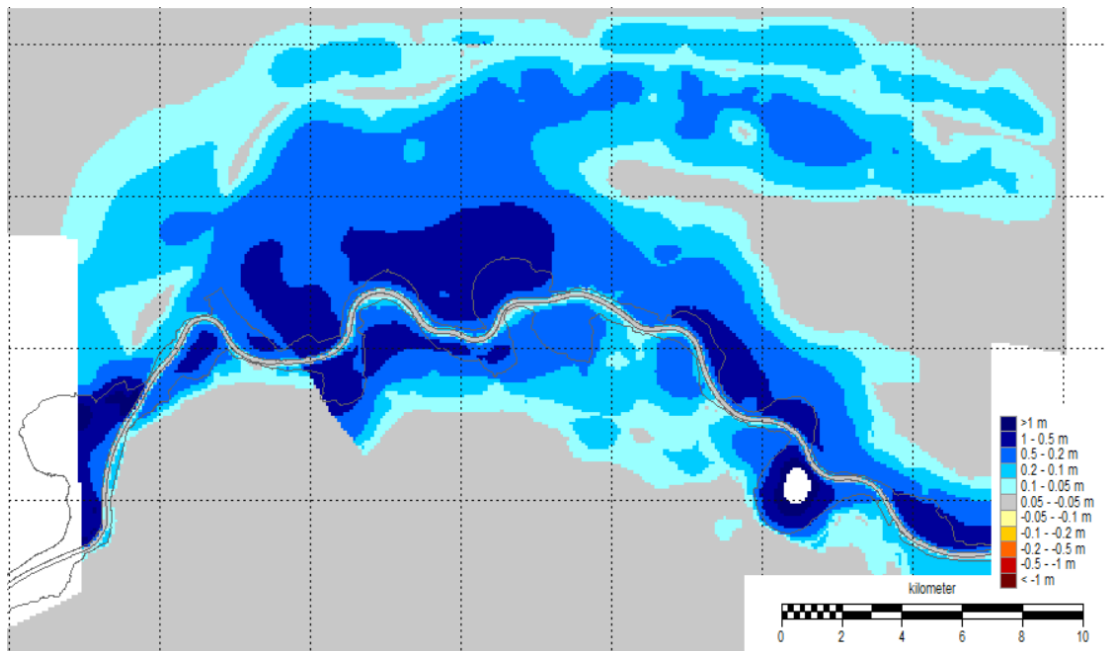


Figuur 5.4 Het effect van de nieuwe schematisatie van de detailwaterlopen.

De aanpassingen van de schematisatie van de detailwaterlopen leid 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.

5.1.5 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 5.5.

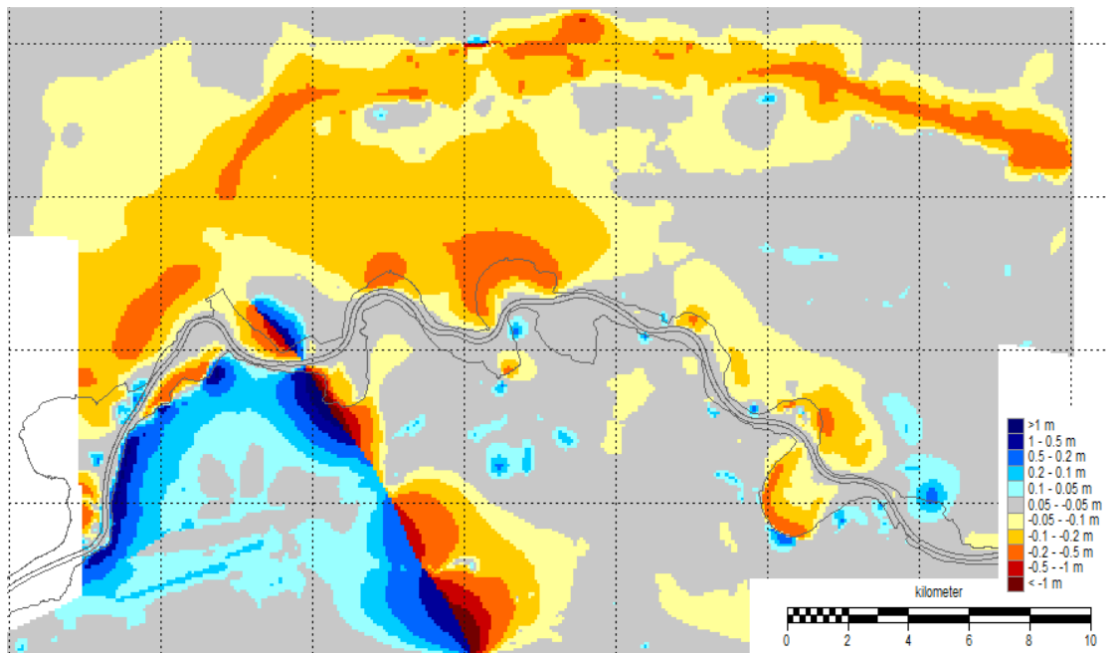


Figuur 5.5 Het effect van de aanpassing in de gespannen bergingscoëfficiënt

De aanpassing leidt 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.

5.1.6 Aanpassen van Peelrandbreuk en minimale weerstand weerstandslagen

De Peelrandbreuk is verwijderd 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 5.6

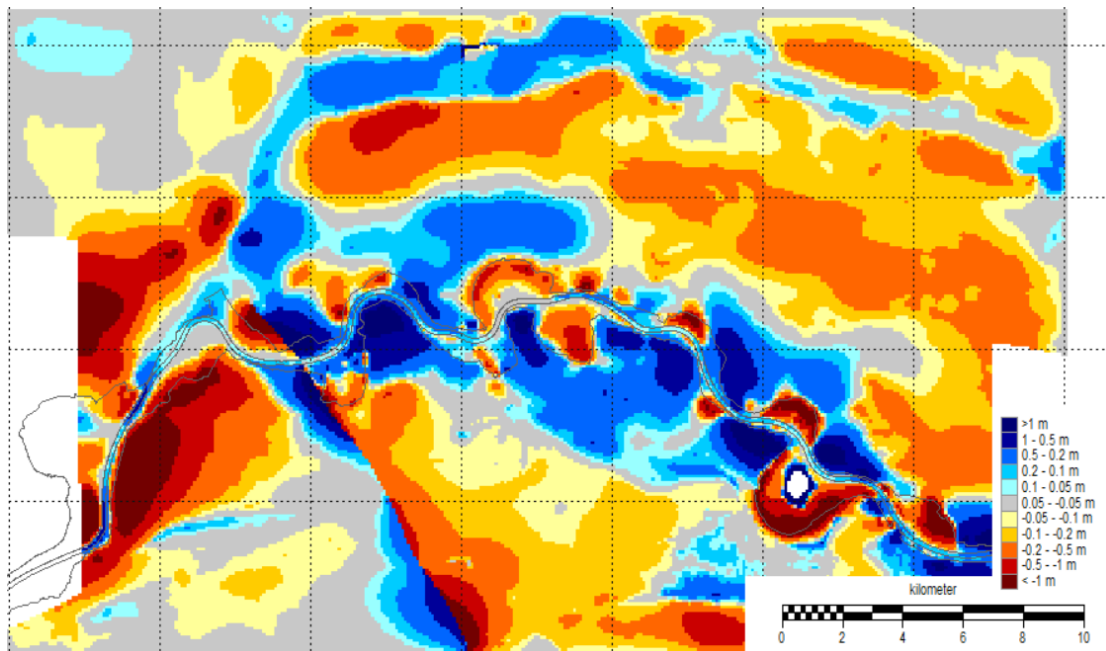


Figuur 5.6 Het effect van het verwijderen van de Peelrandbreuk en het aanhouden van een minimale weerstand voor de sdI.

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.

5.2 Effect van de gecombineerde aanpassingen

Het effect van de gecombineerde aanpassingen zoals beschreven in de voorgaande paragraaf is weergegeven in figuur 5.7

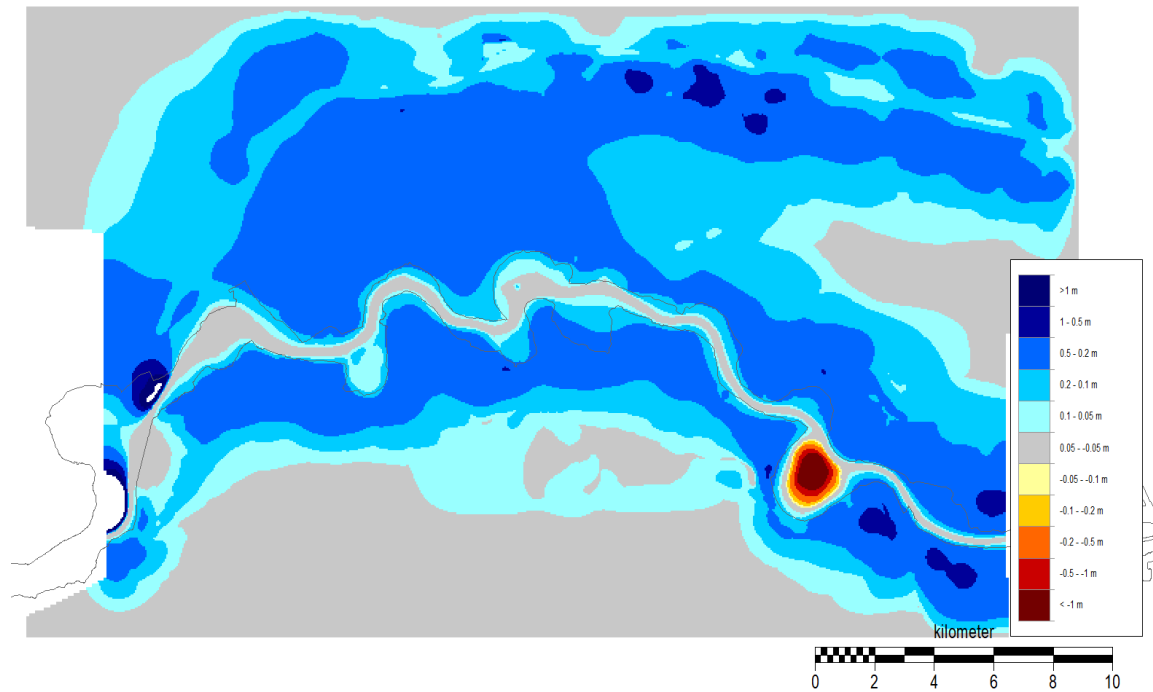


Figuur 5.7 Het effect van de gecombineerde aanpassingen zoals beschreven in voorgaande paragraaf

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.

5.3 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 5.8.



Figuur 5.8 Het verschil tussen het stationair en niet-stationair doorrekenen van de hoogwatergolf. Een positief effect betekent 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 landinwaards rijden.

6 Output referentiemodel

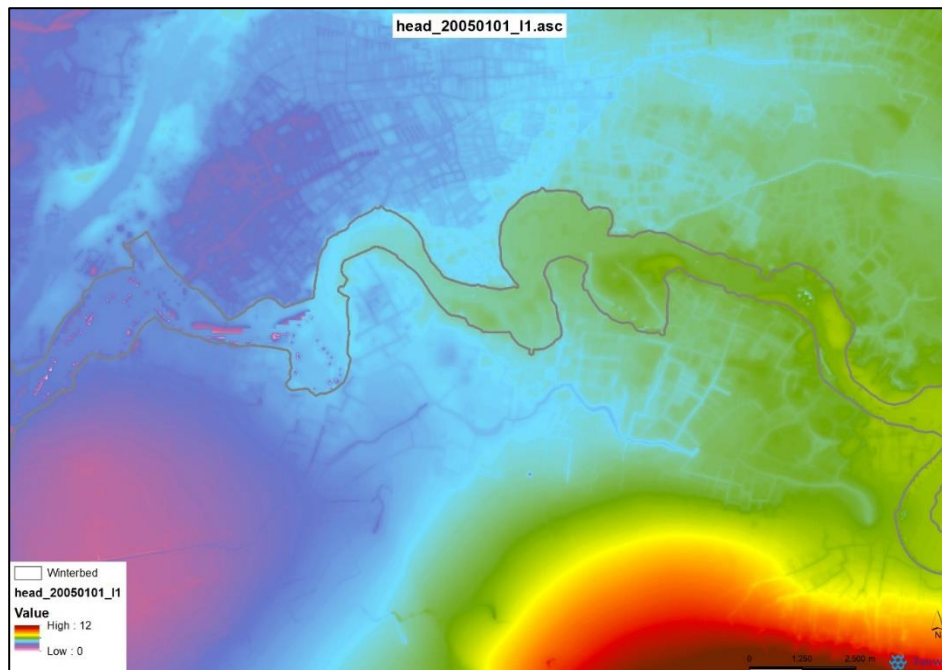
De volgende kaarten zijn opgenomen in de bijlagen:

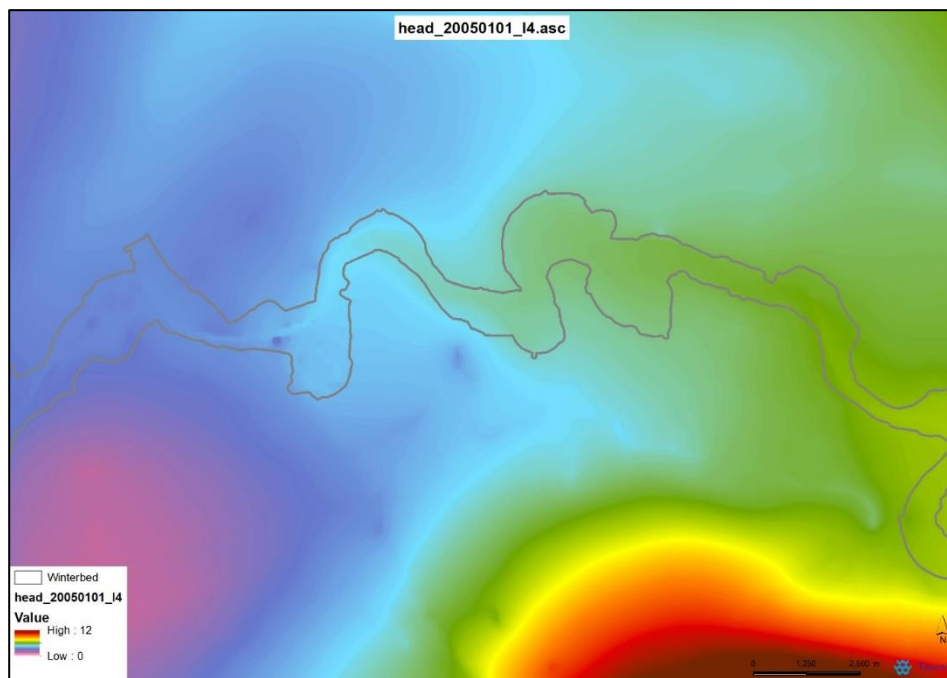
- Berekende stijghoogten modellaag 1 en 4 (bijlage 3)
- Berekende riverfluxen modellagen 1, 3 en 4 (bijlage 4)
- Berekende drainfluxen modellaag 1 (bijlage 5)
- Berekende kwel/infiltratiefluxen 1, 3 en 4 (bijlage 6)
- Berekende storagefluxen modellagen 1, 3 en 4 (bijlage 7)

:

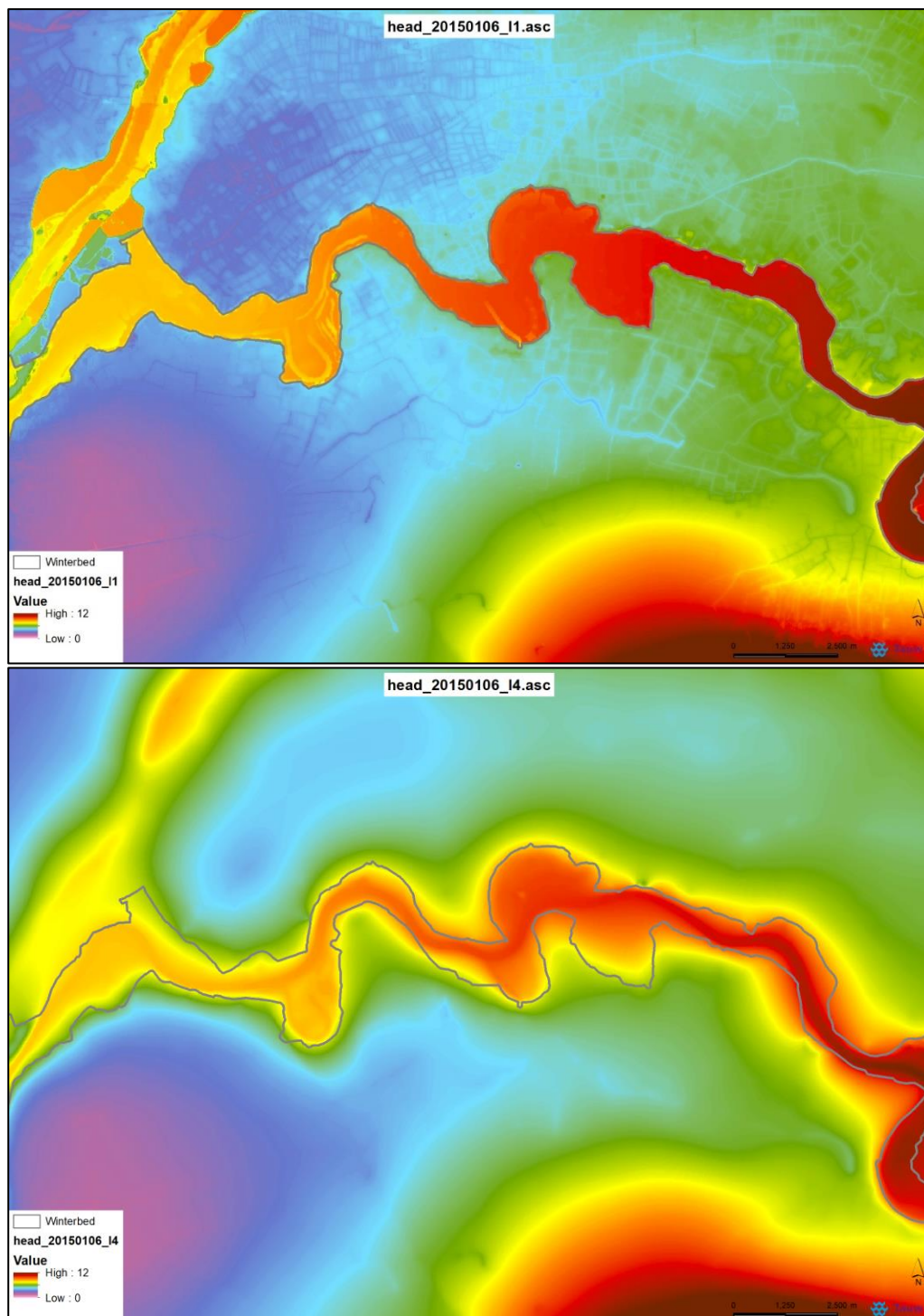
6.1 Berekende stijghoogten

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.





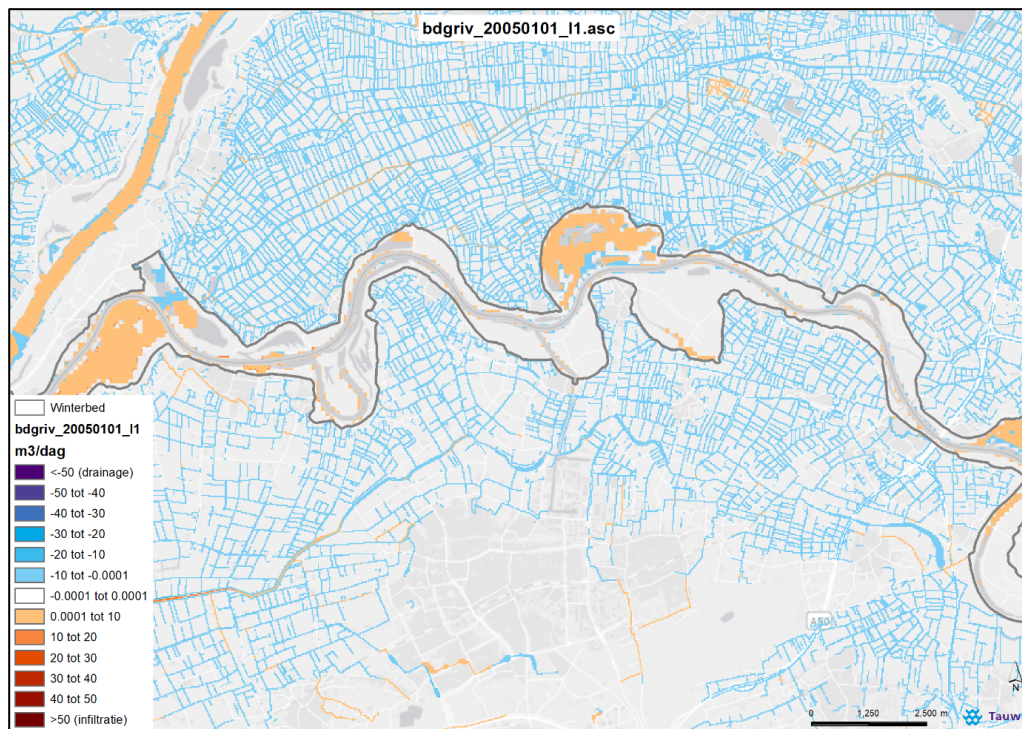
Figuur 6.1 Berekende grondwaterstand freatisch pakket en stijghoogte eerste watervoerend pakket voor de start van de hoogwatergolf.

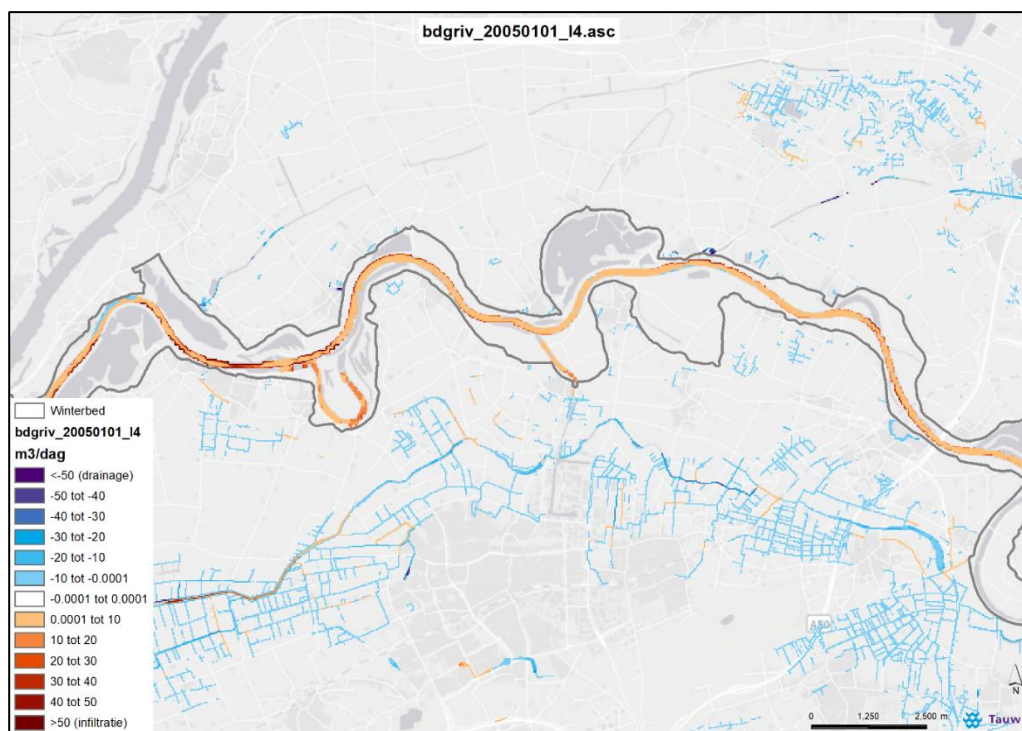


Figuur 6.2 Berekende grondwaterstand freatisch pakket en stijghoogte eerste watervoerend pakket op het hoogste punt van de hoogwatergolf

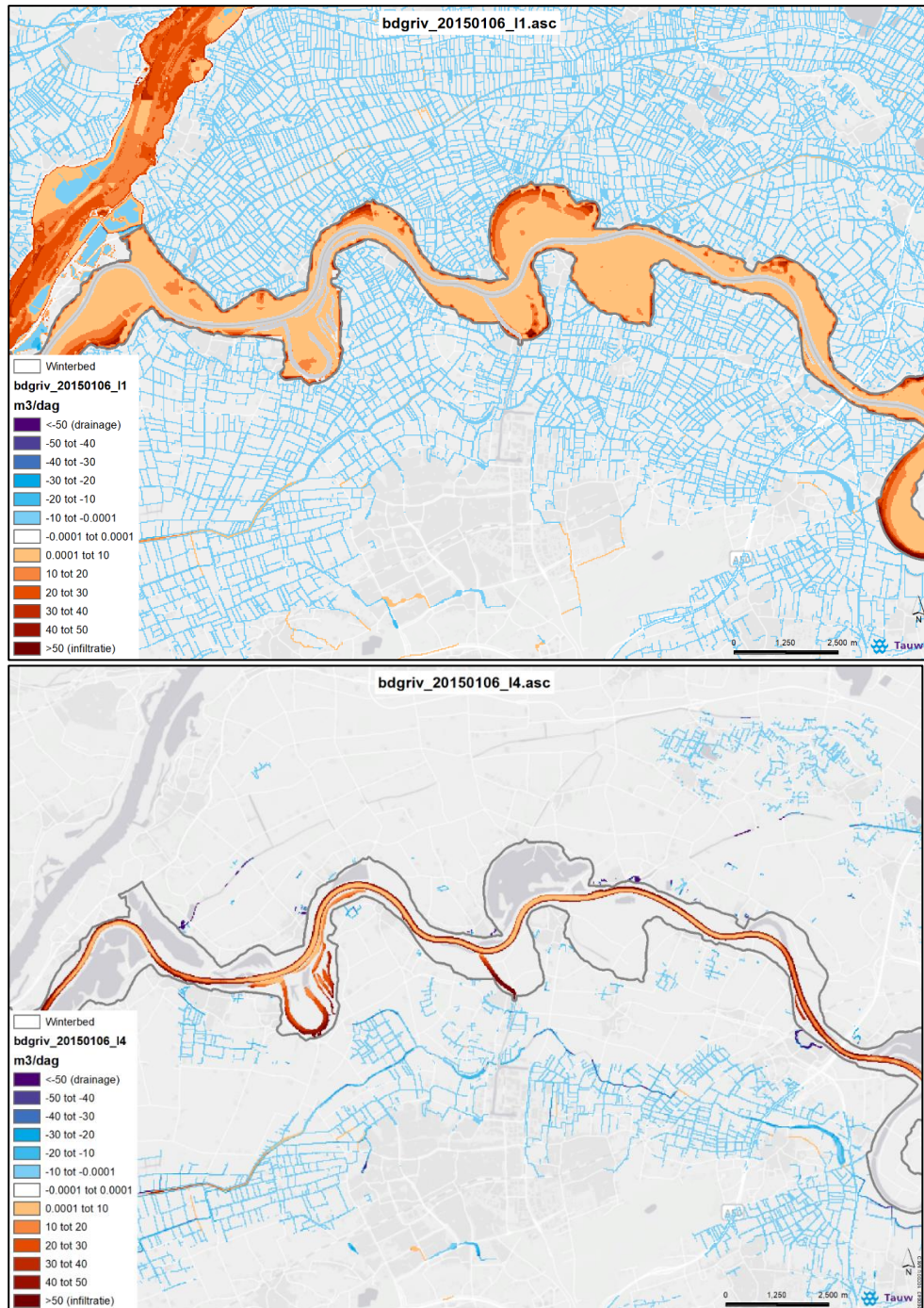
6.2 Berekende riverfluxen

De berekende riverfluxen zijn weergegeven in bijlage 4. 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 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 $0.00001 \cdot \text{Dikte laag}$ berekend. In bijlage 9 zijn de verschilkaarten opgenomen.

De volgende parameters zijn gevoelig:

- Parameters die bijdragen aan de deklaagweerstand, 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



Bijlage 1

Kaarten inputbestanden kD, C, TOP, BOT en STO



Bijlage 2

Inputbestanden watergangen



Bijlage 3

Berekende stijghoogten modellaag 1 en 4



Bijlage 4

Berekende riverfluxen



Bijlage 5

Berekende drainagefluxen



Bijlage 6

Berekende kwel/infiltratiefluxen



Bijlage 7

Berekende storagefluxen



Bijlage 8

Kaarten gevoeliheidsanalyse