

Notitie

Aan: Waterschap Brabantse Delta
Van: Ivar Lokhorst & Anouk Horn (Royal HaskoningDHV)
Datum: 14 april 2023
Kopie: -
Ons kenmerk: BG9342-MI-ME-230414-1549
Classificatie: Projectgerelateerd
Gecontroleerd door: Chris van Doveren, Jasper van de Ven (Royal HaskoningDHV)

Onderwerp: Hydrologische toetsing herinrichting Markdal

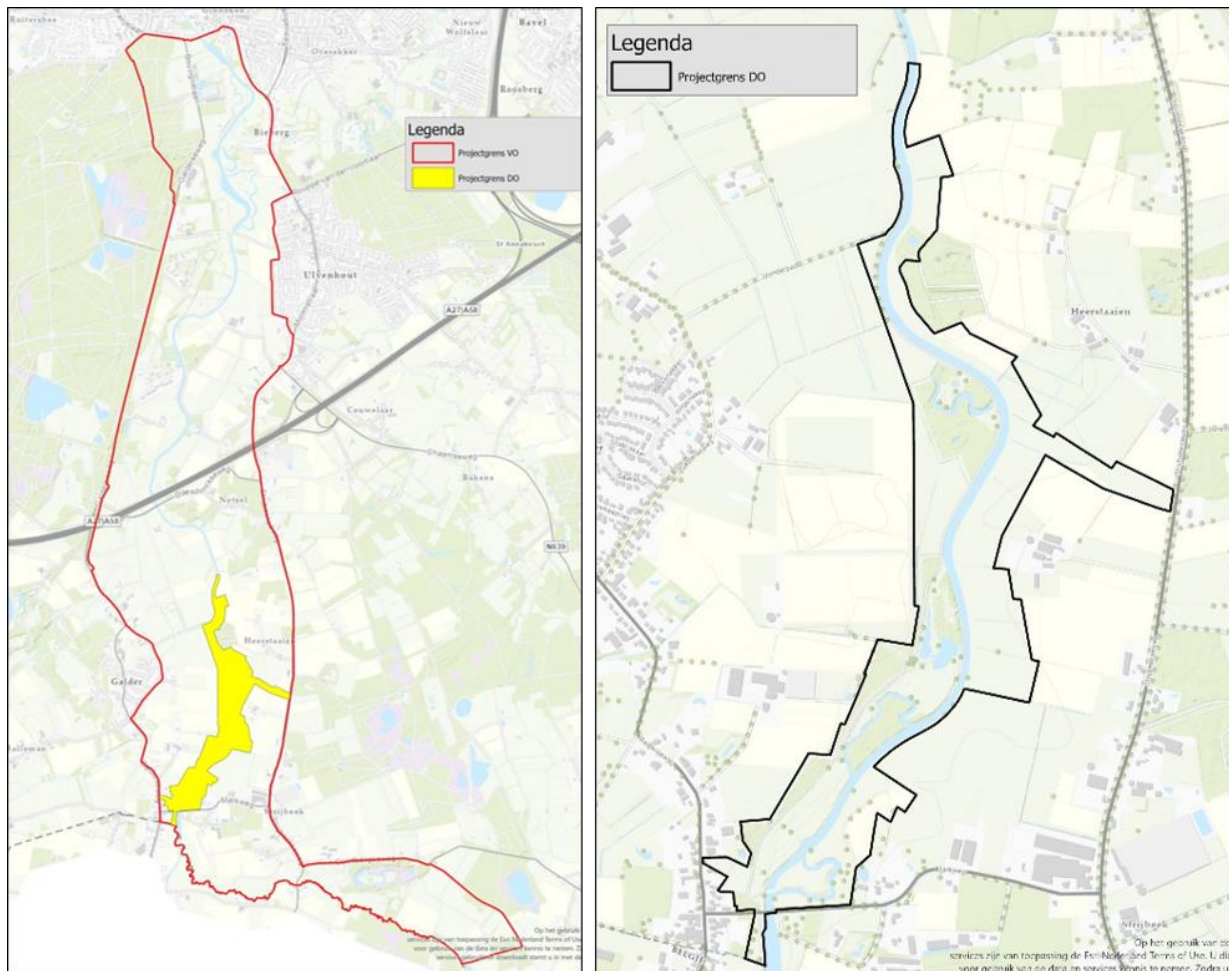
1 Inleiding

In november 2020 is onder aansturing van de Vereniging Markdal een voorlopig ontwerp (VO) opgesteld voor het Markdal van de Belgische grens tot aan Breda (RHDHV, Voorlopig Ontwerp Markdal, BG9342_T&P_RP_2011201656). In het VO is het voorkeursalternatief voor de inrichting van het Markdal 'doorgerekend' op effecten op het grond- en oppervlaktewater, behalen van de natuurambities, hoogwater en droogte en is gekeken naar de ruimtelijke inpassing en wensen uit de omgeving. Het VO is het resultaat van veel werk dat is verzet door de Vereniging en partijen en belanghebbenden in het gebied. Ook zijn de bestemmingsplannen ten behoeve van realisatie van het ontwerp vastgesteld.

In het zuidelijk deel van het Markdal (van de Belgische grens tot aan de stuw Galder, hierna Markdal-Zuid) zijn inmiddels gronden beschikbaar om een deel van de inrichtingsplannen uit te voeren. Waterschap Brabantse Delta heeft het trekkerschap voor de verdere uitwerking en realisatie van dit deelplan op zich genomen. Daarbij is geconstateerd dat er nog discussie was over het definitieve karakter van het VO; er bleek onvoldoende draagvlak voor de situering van een nieuw aan te leggen meander op de westoever van de Boven Mark bij de betreffende grondeigenaar (Natuurmonumenten). Met dit gegeven heeft RHDHV in samenspraak met het waterschap onderzocht of aanpassing van het VO voor dit deelgebied mogelijk is, waarbij de ligging van de meander wordt gewijzigd.

Daarnaast heeft het Waterschap Brabantse Delta in het voorjaar 2021 extern advies ingewonnen naar de implementatiemogelijkheden van Bouwen met Natuur binnen het DO-gebied van het Markdal. Dit heeft geresulteerd in een adviesrapport met aanbevelingen (Reeze, 2021). Deze aanbevelingen zijn mee in overweging genomen bij de herziening van het VO naar VO+.

Het VO+ is ondertussen uitgewerkt tot het definitief ontwerp (DO) voor Markdal-Zuid. In voorliggende notitie wordt de hydrologische onderbouwing van het DO gegeven. De notitie beschrijft achtereenvolgens: situationele context, modelopbouw (inclusief iteraties en scenario's), oppervlaktewater resultaten (bij reguliere en extreme afvoer), de invloed op grondwaterstanden en daaruit volgend natuurambitietypen en invloed op de landbouw en tot slot de conclusies.



Figuur 1: Het volledige plangebied voor de herinrichting van het Markdal (links) en het plangebied voor de huidige studie voor Markdal-Zuid (rechts)

2 Situatiele context

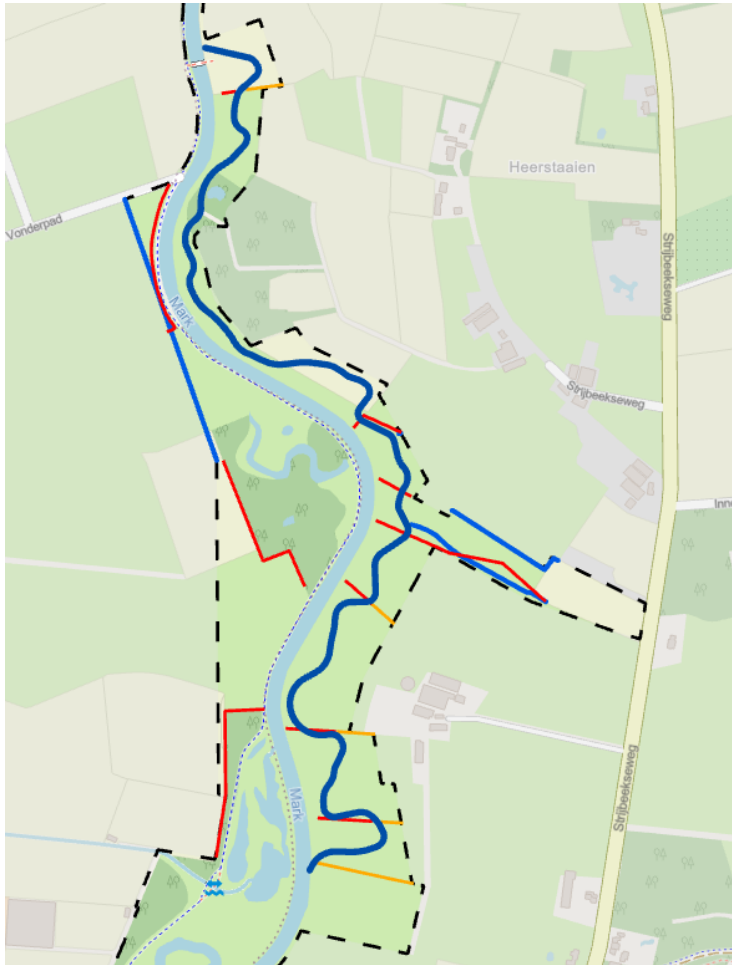
De Boven Mark wordt gevoed vanuit de Belgische Mark en de Strijbeekse beek en stroomt benedenstrooms richting Breda. Binnen het huidige plangebied wordt de Mark gekenmerkt door een breed en diep profiel met twee meanders. De meander Markweg en meander Kerzel zijn in het verleden aan de huidige Boven Mark vastgemaakt. In de Boven Mark zijn vervolgens twee dammen aangelegd (dam Markweg, ookwel dam A en dam Kerzel, ookwel dam B) om, met name bij lagere waterstanden, water door de meanders te voeren in plaats van door de hoofdgeul. De profielen van de meanders zijn dusdanig veel kleiner dan het profiel van de hoofdgeul dat, zonder deze dammen, vrijwel het volledige debiet door de hoofdwatergeul zou worden afgevoerd.

De benedenstroomse rand van het plangebied ligt bij stuw Galder. Stuw Galder is een gestuurde stuw welke momenteel streeft om jaarrond een waterstand van 2,55 meter +NAP ter hoogte van de stuw te realiseren. Concreet houdt dit in dat de stuw in de zomer op 2,55 meter +NAP staat ingesteld en bij toenemende afvoeren gaat zakken. Dit realiseert in een vrij beperkt verloop in waterstanden in het plangebied.

Het plangebied bevindt zich in de Natte Natuurparel (NNP). Zodoende ligt er de wens om natte natuur te realiseren en, waar mogelijk, grondwaterstanden te verhogen. De ontwikkeling van een nieuwe, hoger gelegen, tweede rivierloop kan juist leiden tot extra drainage en uitzakken van de grondwaterstanden. Zodoende is gepoogd een ontwerp te realiseren waarbij aan de volgende doelen wordt voldaan:

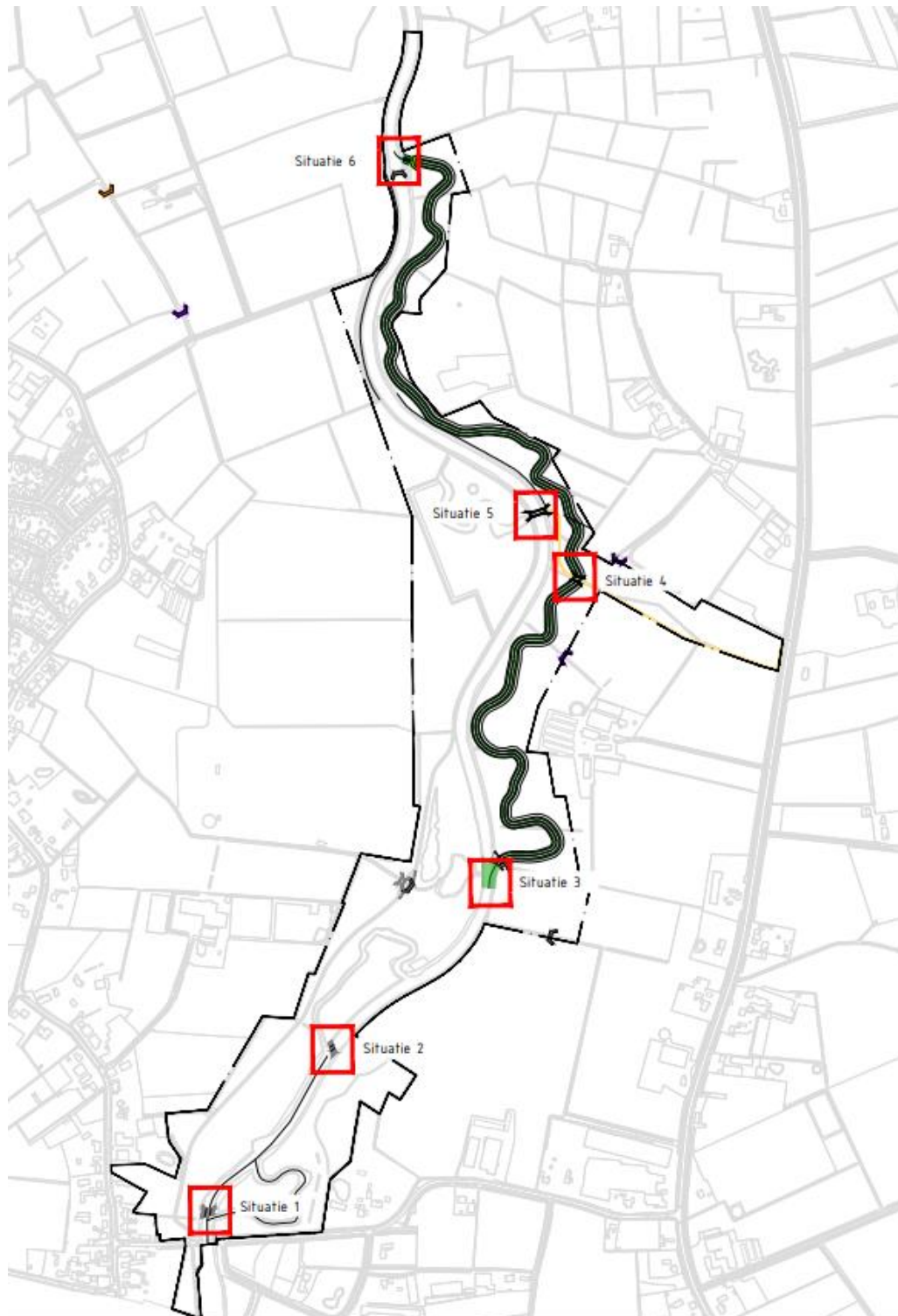
- Stijging grondwaterstanden;
- Geen afname waterdiepte en/of stroomsnelheid in bestaande meanders;
- Stroomsnelheden in de nieuwe loop jaarrond tussen 20 en 40 cm/s;
- Geen waterstandsstijging bij Breda in een T=100 situatie;
- Morfologische activiteit in nieuwe vrijstromende Mark (door stroomsnelheden bij piekafvoeren en instroom van sediment).

In het VO+ is er voor gekozen om de nieuwe loop volledig naar de oostoever van de huidige Boven Mark te verplaatsen (Figuur 2). Door de nieuwe loop volledig op de oostoever te plaatsen wordt het aantal kruisingen met de huidige Boven Mark beperkt. Iedere kruising van de huidige Boven Mark houdt in dat er een mogelijke onbalans in de sediment aan- en afvoer van de nieuwe vrijstromende Mark kan optreden. Dit zien we ook optreden in de huidige meander Kerzel waar de meander zich meerdere meters heeft ingesneden terwijl een morfologisch min-of meer stabiel systeem was beoogd. Daarnaast vereist het doorsnijden van de Boven Mark de aanleg van extra dammen hetgeen nadelige invloed kan hebben op hoogwaterpieken.



Figuur 2 Locatie nieuwe vrijstromende Mark (donkerblauw)

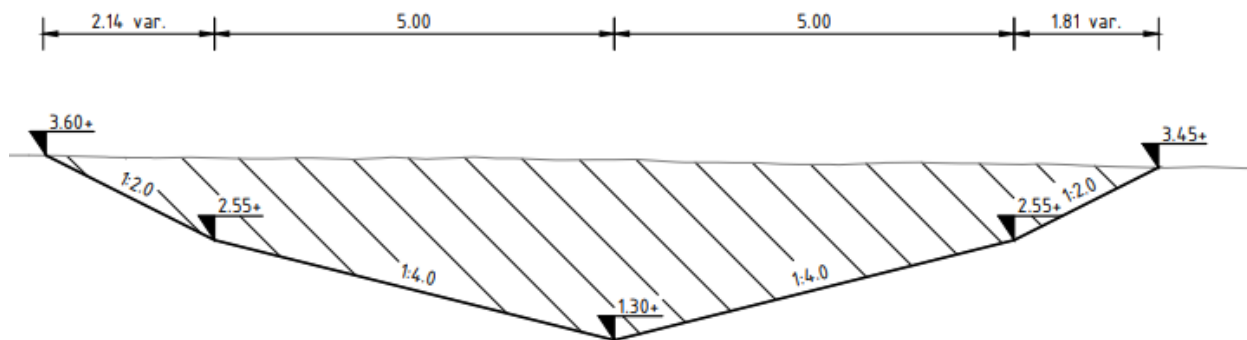
Voor het DO zijn we uitgegaan van een principe-profiel dat is ingepast in de beschikbare ruimte. Daarnaast is een vijftal kunstwerk-ingrepen (aanpassingen damhoogtes, bruggen etc.) ontworpen evenals een aanpassing van de sturing van stuw Galder. Hieronder wordt eerst het profiel en de hoogteligging van de nieuwe vrijstromende Mark besproken en daarna de kunstwerken (Figuur 3).



Figuur 3 Locaties met aanpassingen in de kunstwerken (dammen, bruggen, duikers)

Principe profiel nieuwe vrijstromende Mark

Voor het profiel van de nieuwe vrijstromende Mark is uitgegaan van een zogenaamd talweg-profiel (Figuur 4). Hierbij wordt het onderwaterprofiel vormgegeven met een kleine helling in beide richtingen. Het talweg-profiel heeft als voordeel, ten opzichte van een vlakke bodem, dat bij lage afvoeren een grotere waterdiepte en stroomsnelheid wordt gerealiseerd. We zijn uitgegaan van een profiel met een helling van 1:4 en een "bovenbreedte" van 10 meter. Boven dit profiel wordt overgegaan op een 1:2 helling tot de insteek (huidig maaiveld). Het ontwerp is zo vormgegeven dat in een zomersituatie een waterdiepte van ongeveer 80 centimeter gerealiseerd wordt.



Figuur 4 Het talweg-profiel voor de nieuwe vrijstromende Mark

Over de lengte van de nieuwe vrijstromende Mark is een gemiddeld verhang van 30 cm per kilometer ontworpen. Dit komt neer op een bodemhoogte bij de instroom van 1,85 m +NAP en een bodemhoogte ter hoogte van stuw Galder van 1,30 m +NAP.

Dam meander Markweg (situatie 1)

De dam van de meander Markweg ligt op **2,90 m +NAP**. Deze dam wordt in principe niet gewijzigd.

Dam meander Kerzel (situatie 2)

De dam bij de meander Kerzel is oorspronkelijk ontworpen op 2,70 m +NAP maar is over de jaren verlaagd tot een huidige hoogte van 2,50 m +NAP. Aangezien we in het nieuwe ontwerp willen vernatten en de waterstanden benedenstrooms van de meander Kerzel gaan verhogen wordt deze dam mee opgehoogd om een bepaald verhang over de meander te realiseren. In het nieuwe ontwerp krijgt de dam bij meander Kerzel een kruinhoogte van **2,80 m +NAP**. Wel wordt er een 1 meter brede en 30 cm diepe verlaging in het midden van de dam aangebracht om deze kanopasseerbaar te maken. Deze verlaging wordt opgevuld met borstels om de afvoer te beperken. Deze kano-borstels zijn niet gemodelleerd omdat het veronderstelde debiet door de borstels verwaarloosbaar is.

Dam nieuwe vrijstromende Mark (situatie 3)

Bij de instroom van de nieuwe vrijstromende Mark wordt ook een dam aangelegd met een kruinhoogte van **2,70 m +NAP** en een lokale verlaging in het midden tot 2,50 m +NAP om de dam kanopasseerbaar te maken.

Brug over nieuwe vrijstromende Mark (situatie 4) en huidige Boven Mark (situatie 5)

Over de nieuwe vrijstromende Mark en over de hoogwatergeul (huidige Boven Mark) wordt een brug aangelegd met een onderzijde 0,5 meter boven de T=10 waterlijn. De bruggen zijn zo ontworpen dat de opstuwing zelfs bij een T=100 situatie verwaarloosbaar is.

Tijdelijke V-overlaat en duiker (situatie 6)

Waar de nieuwe vrijstromende Mark bij stuw Galder uitkomt treedt een plotseling hoogteverschil op. De nieuwe vrijstromende Mark heeft een bodemhoogte van 1,30 m +NAP en het vervolg van de loop heeft een bodem op 0,5 m -NAP. Dit verschil wordt niet genivelleerd omdat de hoogte van 1,30 m +NAP in de nieuwe geul noodzakelijk is om afdoende verhang in de toekomstige, benedenstroomse, nieuwe loop van de Mark te realiseren. Tot de realisatie van het project benedenstrooms van stuw Galder wordt in de nieuwe vrijstromende Mark duiker met een V-overlaat gerealiseerd. De V-overlaat dient om extra opstuwung te genereren welke de toekomstige herinrichting van het Markdal benedenstrooms van stuw Galder simuleert. De duiker krijgt een binnenmaten van 4 meter breed en 2 meter hoog. De bodem van de V-overlaat ligt op 1,45 m +NAP en loopt met een 1:1 talud op tot een hoogte van 2,40 m +NAP. Vanaf 2,40 m +NAP loopt de V-overlaat horizontaal tot de breedte van de duiker.

Stuw Galder

De stuw Galder is momenteel zo ingesteld dat deze een constante waterstand van 2,55 m +NAP ter hoogte van de stuw probeert te realiseren. In de toekomstige situatie wordt de stuw bij reguliere afvoeren (zomer t/m winter) vastgezet op een kruinhoogte van 2,60 m +NAP. Bij extremere afvoeren (T=2, T=10 etc.) wordt de stuw gestreken tot een kruinhoogte van 2,00 m +NAP. Bij zeer extreme afvoeren (T=100) wordt de stuw juist opgetrokken tot 3,50 m +NAP. Door de aanleg van de nieuwe vrijstromende Mark ontstaat er enige mate van extra afvoercapaciteit naar de benedenstroomse Boven Mark. Bij een T=100 mag de waterstand in Breda niet toenemen door de planontwikkeling en zodoende wordt de stuw in dergelijke situaties opgetrokken om extra water in het dal van de Boven Mark vast te houden.

3 Modelling

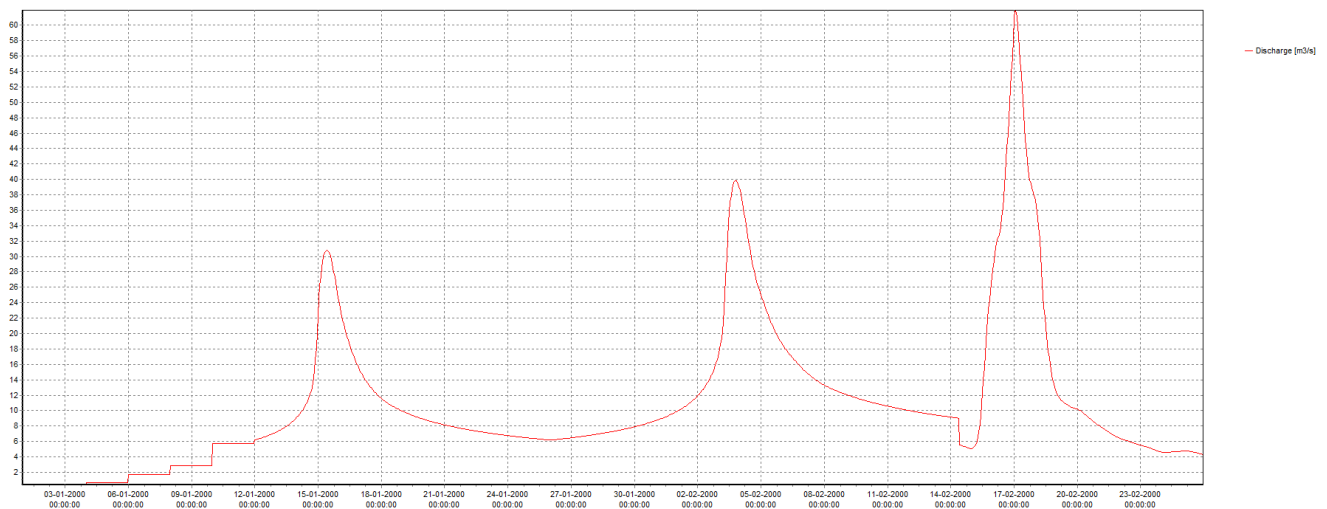
De modellering van het oppervlaktewater is uitgevoerd in SOBEK2.13 en de grondwatermodellering in iMod4.2.1.

3.1 Oppervlaktewatermodellering

Voor de oppervlaktewatermodellering is uitgegaan van het HS2_Markdal_Ks30/20 model aangeleverd op 14/10/2022 vanuit het waterschap. Het gaat om een 1D SOBEK model wat geforceerd wordt met een aangeleverde debieten-reeks als randvoorwaarden op de watergangen. De randvoorwaarden bestaan uit een constante debietreeks welke achtereenvolgens de volgende scenario's bevat:

- Droge zomerweek (03-01-2000 12:00)
- Zomermaand (05-01-2000 12:00)
- Jaargemiddelde afvoer (07-01-2000 12:00)
- Voorjaarsafvoer (09-01-2000 12:00)
- Winterafvoer, 2 tot 3 weken per jaar (11-01-2000 12:00)
- T=2 (15-01-2000 12:00)
- T=10 (04-02-2000 12:00)
- T=100 (17-02-2000 12:00)

Een voorbeeld van een dergelijke debietreeks wordt getoond in *Figuur 5*.



Figuur 5 Voorbeeld debietreeks, hier voor de bovenstroomse Mark

Het model is initieel doorgerekend voor de huidige situatie om als vergelijkingsmateriaal te dienen voor de nieuwe scenario's. Vervolgens is het model geactualiseerd naar de nieuwe (DO) variant. Deze actualisatie heeft iteratief plaatsgevonden waarbij verschillende combinaties zijn getest van:

- Sturing bij stuw Galder,
- Verhang en absolute bodemhoogtes van de nieuwe vrijstromende Mark,
- Damhoogtes,
- Kunstwerken.

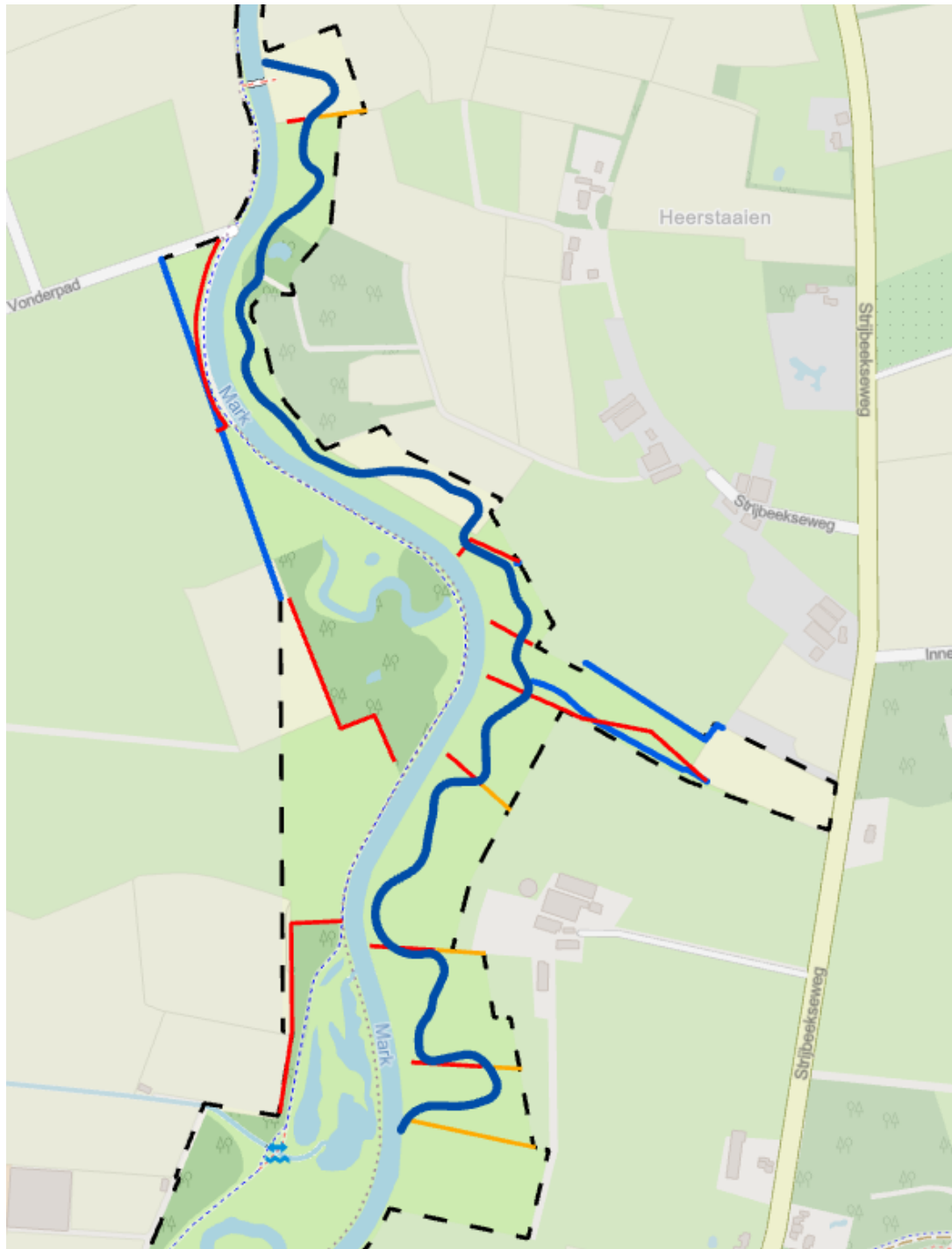
In deze notitie worden alleen de resultaten van de huidige situatie, DO variant en de DO variant, waarin opslibbing van de huidige Boven Mark heeft plaatsgevonden, behandeld. In de variant waarbij opslibbing van de huidige Boven Mark heeft plaatsgevonden zijn we uitgegaan van een variant met maximale opslibbing. Dit houdt in dat de bodemhoogte tussen de dam van meander Kerzel en stuw Galder van 0,3 m +NAP is opgehoogd tot 1,5 m +NAP. Het restant van het profiel is gelijk gehouden aan de huidige situatie (dus niet verbreed en/of versmald).

3.2 Grondwatermodellering

Voor de grondwatermodellering is uitgegaan van het gedetailleerde grondwatermodel opgeleverd door Arcadis in 2016. Dit model is gebruikt als basis voor deze studie. Voor de tijdsafhankelijke berekeningen is uitgegaan van een periode van 2000 tot 2010 op een gridgrootte van 25x 25 meter. Om de effecten van het DO op de grondwaterstanden (en daaruit volgend natuurambitietypen en landbouw) te toetsen is het DO opgenomen in het grondwatermodel.

Om het DO op te nemen in het grondwatermodel zijn de resultaten van het SOBEK model (DO variant) vergrid en opgenomen in de oppervlaktewater schematisatie van iMOD. Bij het doorrekenen wordt een zomer- en winterpeil geschematiseerd, hiervoor zijn respectievelijk 05-01-2000 12:00 en 11-01-2000 12:00 vanuit de oppervlaktewater tijdserie gekozen. De tussenliggende voorjaarssituatie wordt automatisch afgeleid binnen de grondwaterberekening.

Naast het actualiseren van de waterstanden in de huidige Boven Mark en het aanbrengen van de nieuwe vrijstromende Mark (zie hoofdstuk 3.1) zijn nog meerdere, kleinschalige, actualisaties van het grondwatermodel uitgevoerd. Bepaalde kleinere waterlopen en greppels worden in het aangepast scenario gedempt (rode lijnen in figuur 6) of verondiept (oranje lijnen in figuur 6). De blauwe lijnen in Figuur 6 zijn nieuwe waterlopen. Deze lijnstukken hebben een detailniveau die lastig te verwerken is in het grondwatermodel. Enkel de waterlopen die gedempt worden, zijn uit het grondwatermodel verwijderd.

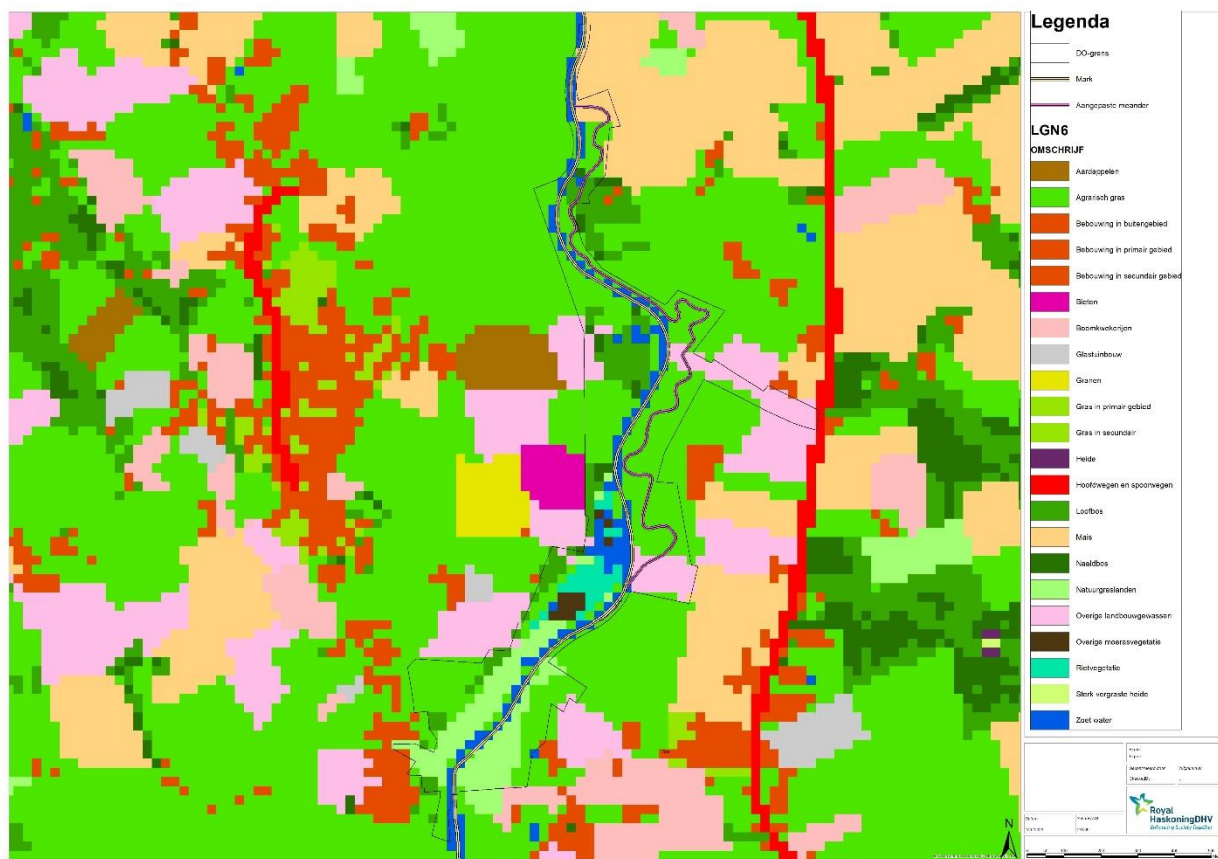


Figuur 6 Maatregelen aangepast scenario; dempen van de waterlopen (rode lijnen) is meegenomen in de modelberekening, oranje (verdiepen) en blauwe (nieuwe waterlopen) zijn niet opgenomen in het aangepaste model.

3.3 Waterwijzer Landbouw & Natuur

Voor het berekenen van de eventuele droogteschade of natschade in de huidige situatie en binnen het DO, wordt gebruik gemaakt van het instrumentarium **Waterwijzer Landbouw** (WWL). De Waterwijzer Landbouw is een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in hydrologische condities op gewasopbrengsten. De WWL geeft een reproduceerbare inschatting van het effect van eventuele verdroging of vernatting op de landbouw.

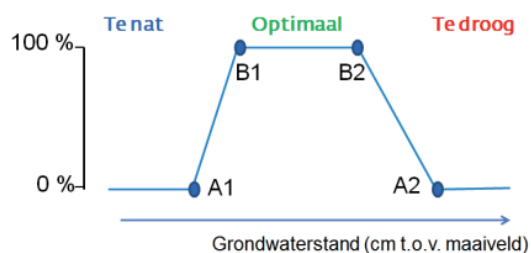
Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van de Bodem Fysische Eenheden Kaart (BOFEK) en de landgebruikskaart (LGN6) (Figuur 7). De bodemkaart en landgebruikskaart komen overeen met de invoergegevens van het grondwatermodel. Voor correctheid zijn dit dezelfde invoergegevens die zijn gebruikt bij het opstellen van het grondwatermodel. De Waterwijzer Landbouw is vervolgens doorgerekend voor de huidige situatie en de DO situatie. Deze twee uitkomsten zijn vergeleken om de invloed van het DO op de landbouw te kwantificeren.



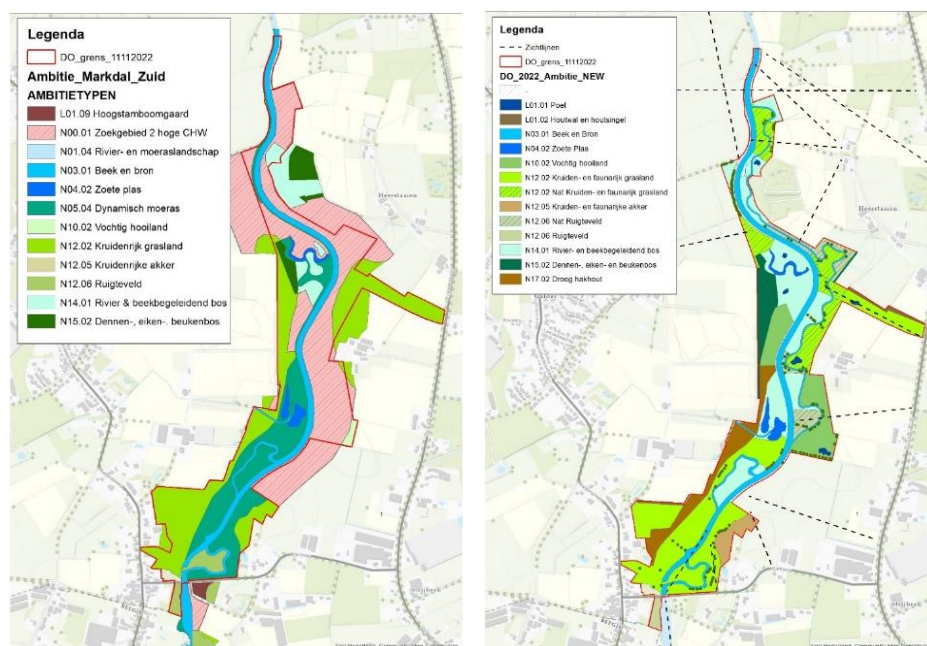
Figuur 7 Landgebruikskaart LGN6.

Markdal-Zuid ligt in de Natte Natuurparel waarbinnen er gestreefd wordt naar zoveel mogelijk landnatuur die gedijdt bij vochtige omstandigheden. Typische ambitietypen zijn vochtig hooiland en kruidenrijk grasland. Voor alle ambitietypen geldt dat het realiseren zowel afhankelijk is van grondwaterstanden, welke direct worden beïnvloed door het ontwerp van de nieuwe vrijstromende Mark, maar tevens van de bodemchemische toestand en aanwezige nutriënten. Binnen het DO gebied is, na overleg met Natuurmonumenten en de Vereniging een doeltypenkaart opgesteld met de te realiseren ambitietypen (Figuur 9). Voor alle soorten geldt dat ze een optimale grondwaterstand hebben, te hoge grondwaterstanden resulteren in stress, maar te lage grondwaterstanden ook (Figuur 8).

Voor het berekenen van de haalbaarheid van de beheertypes en ambitietypes rondom de Mark wordt gebruikgemaakt van het instrumentarium **Waterwijzer Natuur**. De beheertypes en ambitietypes zijn overgenomen uit de database op de Data Portal van Provincie Brabant.



Figuur 8 Effect van grondwaterstand op kansrijkheid van doeltypen. Zowel te hoge- als te lage grondwaterstanden kunnen resulteren in het niet voorkomen van een voorkeurstype.



Figuur 9 Natuurbeheerplan voor het Markdal-Zuid: Ambitie (links) & beheertypen (rechts)

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van achtereenvolgens de oppervlakte- en grondwater modellering behandeld.

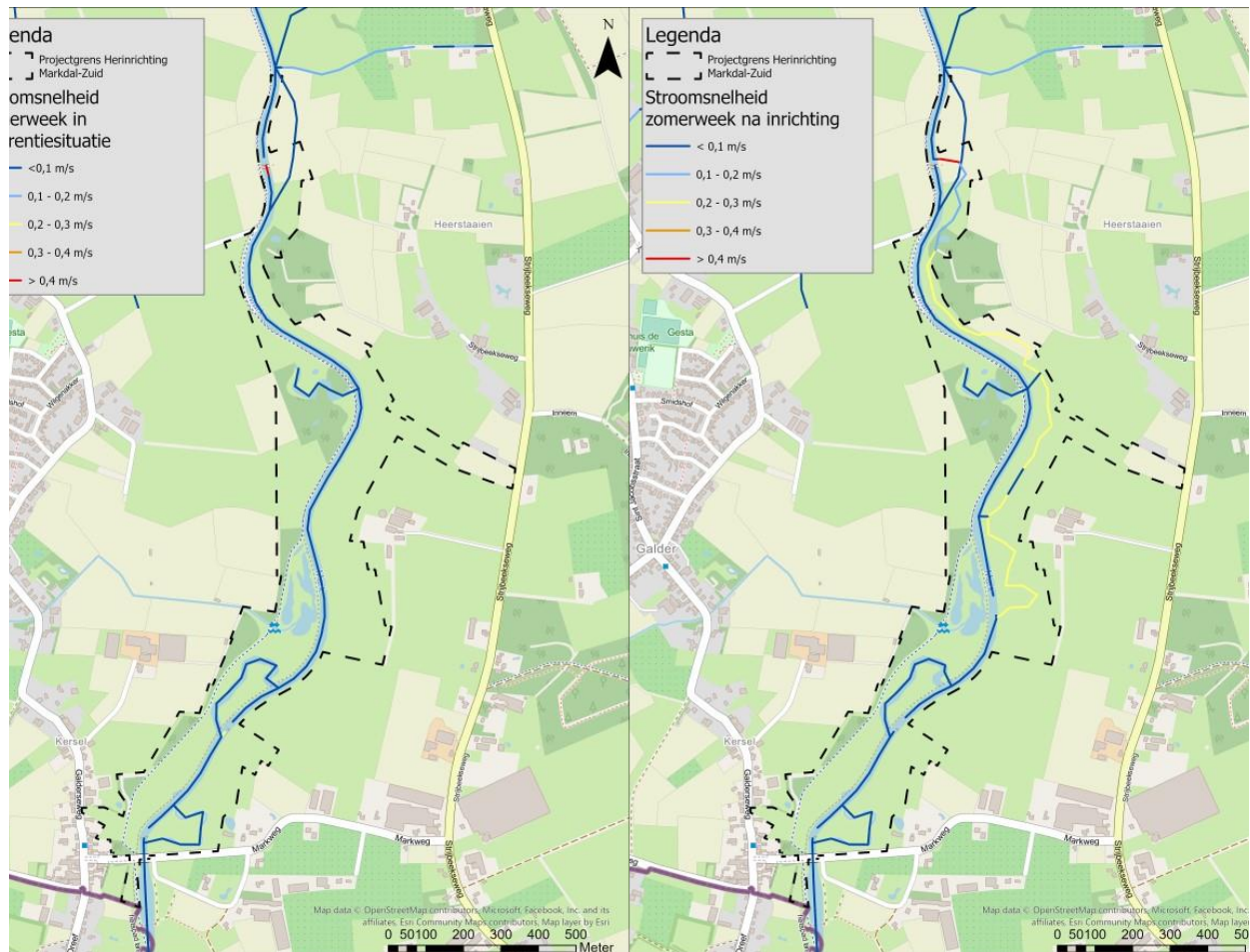
4.1 Oppervlaktewater

Het oppervlaktewatersysteem is bij typische, jaarlijkse, afvoeren getoetst op waterstanden, opstuwing en stroomsnelheden in de huidige meanders en nieuwe loop van de Mark. Vervolgens is voor de T=2, T=10 en T=100 extreme scenario's in kaart gebracht in hoeverre deze leiden tot een toe- of afname van de inundatie.

4.1.1 Stroomsnelheden bij reguliere afvoeren

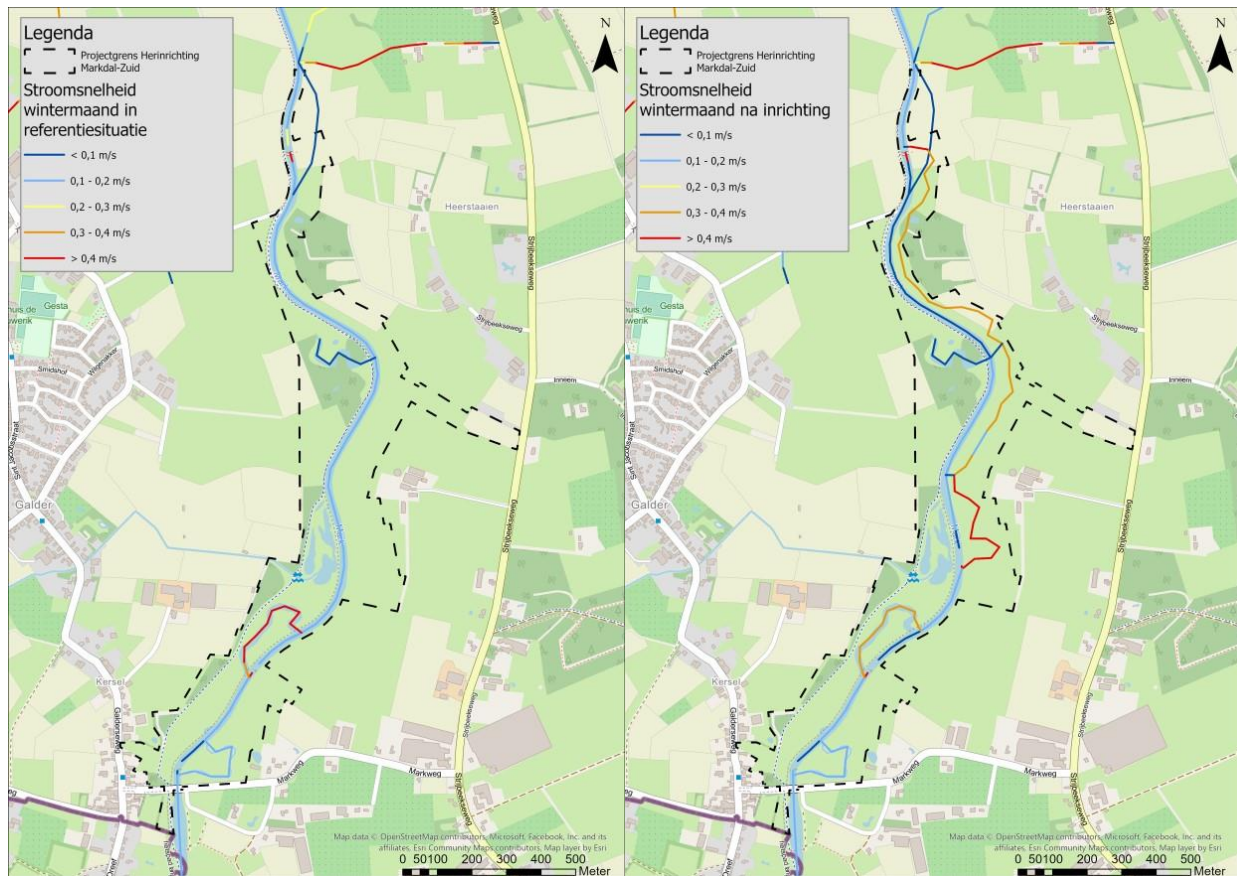
Vanuit de Kaderrichtlijn Water wordt er naar gestreefd dat de stroomsnelheden in de zomersituatie ten minste 18 cm/s bedragen. In de winter wordt er daarentegen naar gestreefd dat de stroomsnelheden niet te veel oplopen (en de 50 cm/s niet overschrijden). In de huidige situatie zijn de stroomsnelheden in zowel de Boven Mark als de bestaande meanders (Kerzel, Markweg) in een droge zomerweek minder dan 10 cm/s. Dit wordt veroorzaakt door de grote afvoercapaciteit van de Boven Mark, gecombineerd met stuw Galder welke enigszins is opgezet. De waterstand is in vrijwel het gehele tracé van de landsgrens tot stuw Galder hetzelfde waardoor de stroomsnelheden verwaarloosbaar zijn.

In de DO situatie zijn de stroomsnelheden in de bestaande meanders en de huidige Boven Mark vergelijkbaar met de stroomsnelheden in de huidige situatie. De stroomsnelheden in de nieuwe vrijstromende Mark liggen substantieel hoger dan de waterstanden in de huidige Boven Mark. Vlak voor de V-overlaat lopen de stroomsnelheden terug tot ongeveer 18 cm/s. Dit geeft aan dat de KRW doelstelling ten aanzien van stroomsnelheid hooguit 1 week per jaar niet gehaald wordt. De hoge stroomsnelheid wordt mede gerealiseerd door het talweg-profiel. De meestromende beddingbreedte is bij de zomerwaterstand maar 5 meter breed, waardoor de weerstand relatief beperkt is. Het DO heeft ook een positief effect op de stroomsnelheid door meander Kerzel in een zomersituatie (zomermaand, niet droogste zomerweek). De stroomsnelheid neemt hier toe van 7 naar 12 cm/s doordat er meer variatie in waterstanden (en daardoor meer verhang) optreedt binnen het dal van de Mark. De stroomsnelheid in de meander Markweg blijft laag doordat deze is ingesneden en zo een zeer groot doorstromend oppervlak heeft gecreëerd.



Figuur 10 Stroomsnelheid gedurende een zomerweek in de huidige situatie (links) en DO situatie (rechts). De afwijkende stroomsnelheden ter hoogte van de brug en duiker in de DO situatie worden veroorzaakt door hoe SOBEK dit verwerkt.

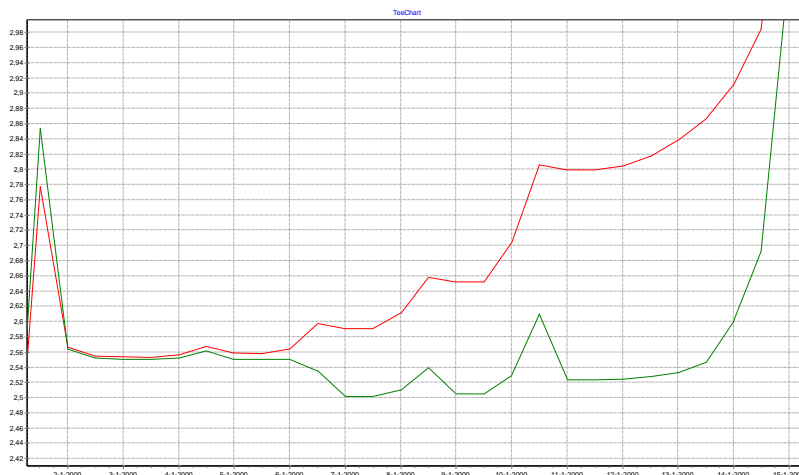
In de wintersituatie wordt beoogd dat de stroomsnelheden niet boven de 50 cm/s uitkomen. Dergelijke stroomsnelheden maken het lastig voor vissen om in de nieuwe vrijstromende Mark tegen de stroming in te zwemmen. Uit de vergelijking tussen de huidige en toekomstige situatie blijkt dat de stroomsnelheid in de meander Kerzel enigszins (orde 5 cm/s) afneemt. Ook neemt de stroomsnelheid tussen de dam C en stuw Galder af. Dit laatste wordt veroorzaakt doordat een deel van de afvoer nu via de nieuwe vrijstromende Mark loopt en doordat stuw Galder in de DO variant op 2,60 m +NAP blijft staan terwijl deze in de huidige situatie gaat zakken om de waterstand van 2,55 m +NAP vast te blijven houden (met een groter verhang tot gevolg). In de nieuwe vrijstromende Mark liggen de stroomsnelheden grotendeels tussen de 30 en 40 cm/s. Alleen rond de instroom van de nieuwe vrijstromende Mark komen de stroomsnelheden precies boven de 40 cm/s uit.



Figuur 11 Stroomsnelheid in een wintermaand in de huidige situatie (links) en DO situatie (rechts). Het rode deel van de nieuwe vrijstromende Mark ligt net boven de 40cm/s. De afname in stroomsnelheid in de meander Kerzel is ongeveer 7 cm.

4.1.2 Waterstandsverloop gedurende het jaar

De waterstanden in de Boven Mark worden in de huidige situatie grotendeels bepaald door de sturing van stuw Galder. In de huidige situatie probeert stuw Galder een constante waterstand van 2.55 m +NAP te realiseren. Door de grote afvoercapaciteit van de huidige Boven Mark resulteert dit in een praktisch constante waterstand tussen de dam bij meander Kerzel en stuw Galder van 2,55 m +NAP. Figuur 12 toont het waterstandsverloop boven- en benedenstrooms van de dam Kerzel. Bij zomerafvoeren ligt de waterstand boven- en benedenstrooms van de dam gelijk. Bij hogere afvoeren (50% van het jaar overschreden) treedt een verschil op waarbij de waterstanden bovenstrooms van de dam oplopen omdat afvoer door de meanders met beperkte afvoercapaciteit loopt. Bovenstrooms van de dam bij meander Kerzel is een getrapte toename van waterstanden corresponderend met de toename in afvoer zichtbaar (Figuur 12).



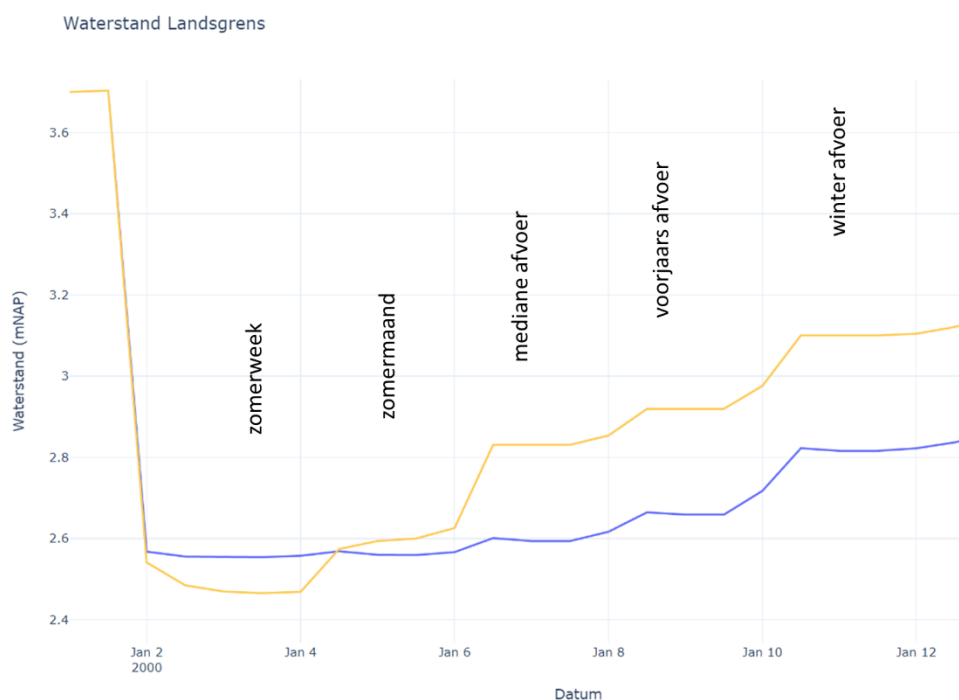
Figuur 12 waterstandsverloop bovenstrooms (groen) en benedenstrooms (rood) van dam Kerzel

In het DO stuurt Galder niet meer op een constante waterstand. In plaats daarvan wordt de kruinhoogte bij reguliere afvoeren vastgezet op 2,60 m +NAP. Het vastzetten van de kruinhoogte leidt tot een toename in waterstandsvariatie gedurende het jaar. Het verloop in waterstanden is uiteengezet voor de vier punten weergegeven in Figuur 13.



Figuur 13 Waterstandsvergelijgingslocaties

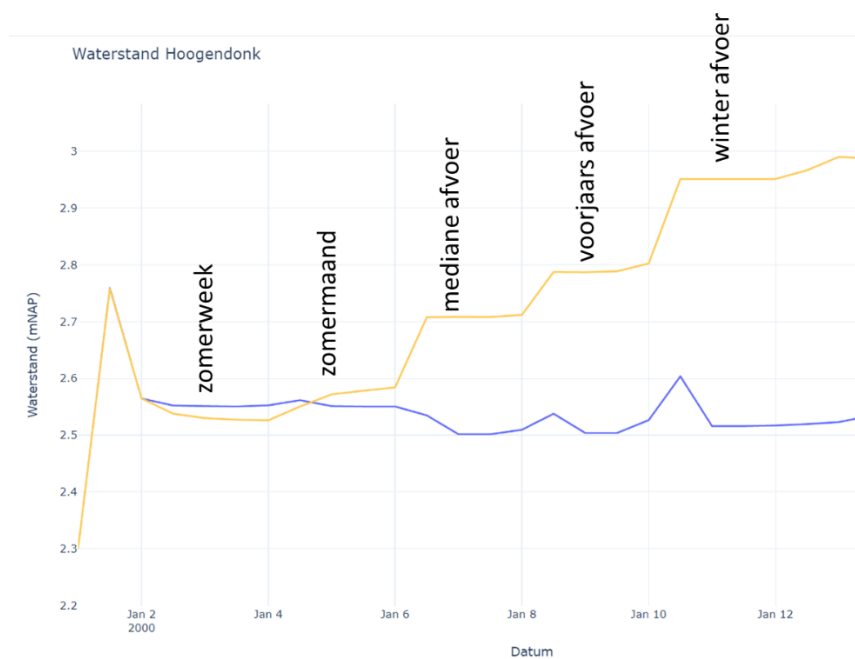
Kijkend naar de waterstanden valt op dat deze in de droogste zomerweek in het DO altijd enigszins uitzakken (Figuur 14). Dit wordt veroorzaakt doordat er een vrijstromende Mark is gerealiseerd terwijl in eerste instantie een meer peilgebied-achtig systeem optrad door de hoge stuwstand van stuw Galder. In het DO kan het water altijd afvoeren via de nieuwe loop (mits de waterstand boven de 1,85 m +NAP uitkomt) met als gevolg dat de waterstanden enigszins uitzakken. Bij hogere afvoeren dan de droogste zomerweek, keert deze trend om. De waterstanden in het DO liggen hoger dan in de huidige situatie. Dit wordt met name veroorzaakt door de extra dam met kruinhoogte 2,70 m +NAP bij de instroom van de nieuwe vrijstromende Mark en de relatief kleinere afvoercapaciteit van de nieuwe loop ten opzichte van de huidige Boven Mark.



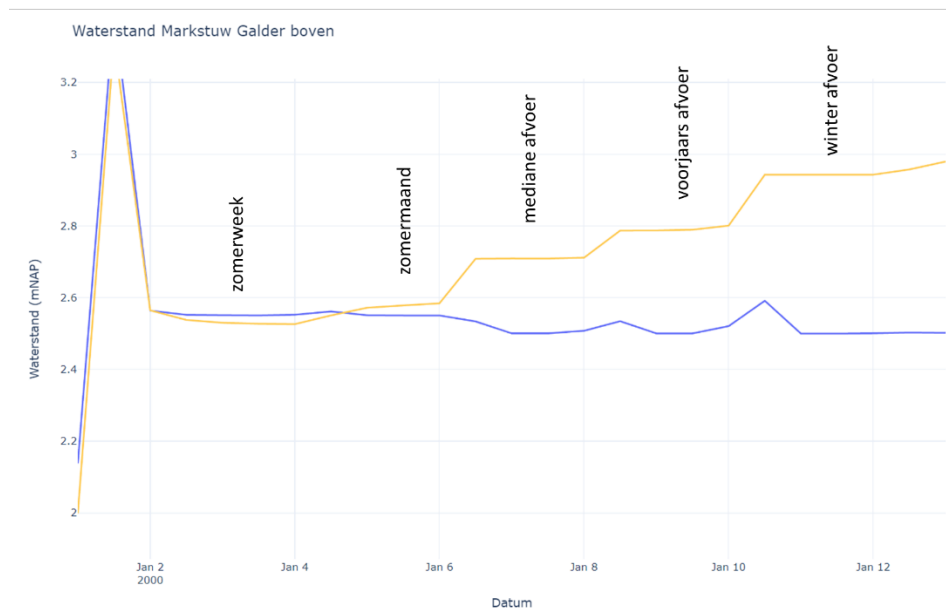
Figuur 14 Waterstandsverloop op de landsgrens voor de huidige situatie (blauw) en het DO (geel)



Figuur 15 Waterstandsverloop bij de Markweg voor de huidige situatie (blauw) en het DO (geel)

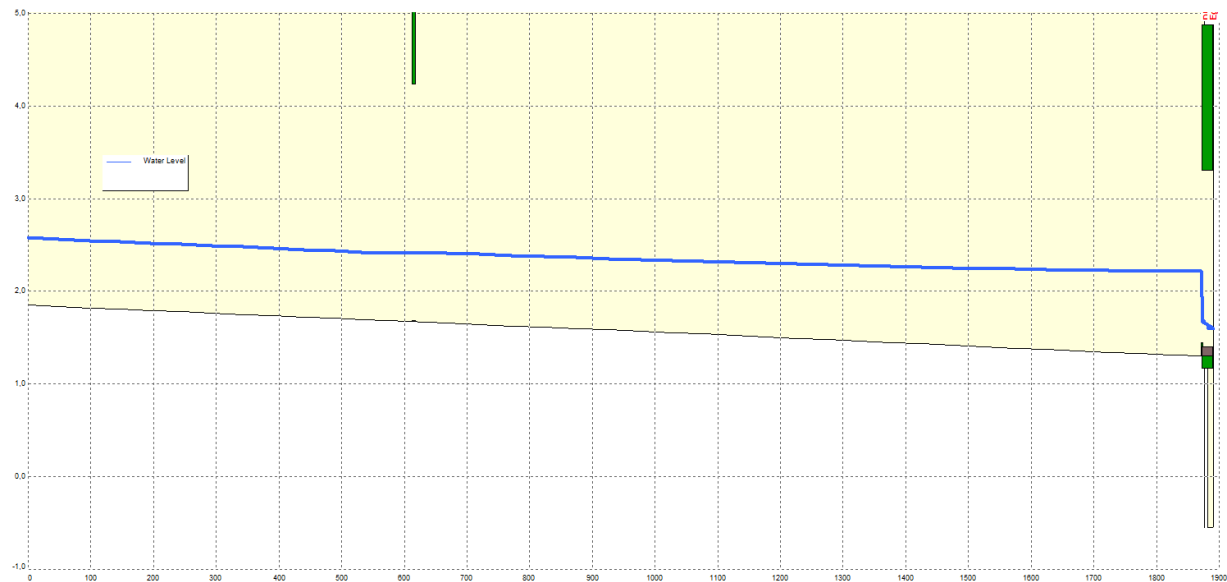


Figuur 16 Waterstand ter hoogte van Hoogendonk met de referentiesituatie (blauw) en DO-variant (geel)



Figuur 17 Waterstandsverloop ter hoogte van de stuw Galder in de huidige situatie (blauw) en het DO (geel)

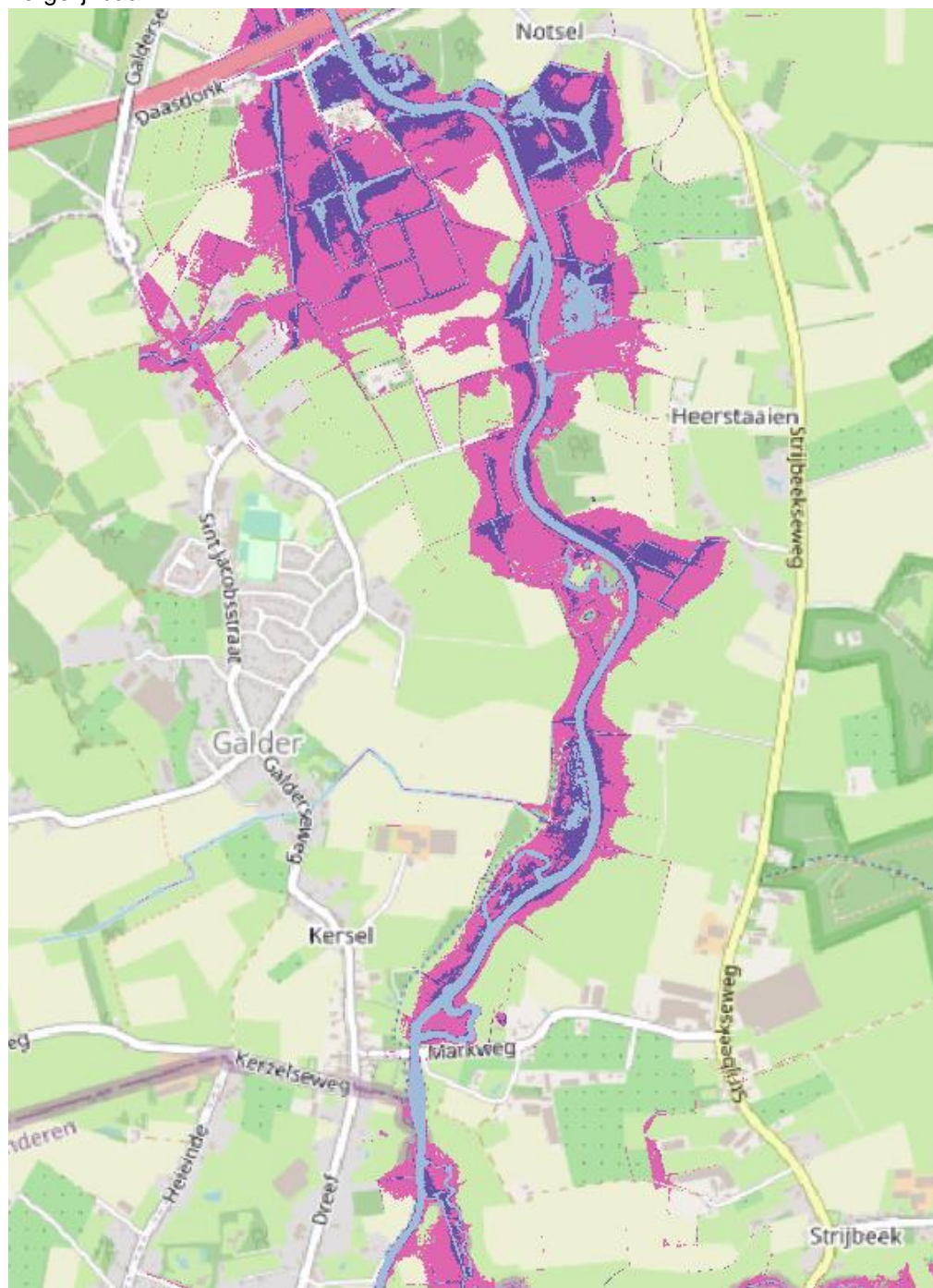
De waterstanden nemen in het merendeel van het systeem, behalve in een droge zomerweek, dus toe. De waterstanden in de nieuwe vrijstromende Mark lopen min of meer gelijkmatig af richting stuw Galder met alleen extra opstuwing ter hoogte van de duiker met V-overlaat. Dit is echter ook het doel van de V-overlaat constructie om opstuwing van de toekomstige ontwikkelingen te simuleren. De waterdiepte ligt in de zomer rond de 80 cm en loopt in de winter op tot ongeveer 1,20 m.



Figuur 18 waterstand door de nieuwe vrijstromende Mark (links is instroom, rechts is duiker met V-overlaat) in een typische zomermaand. De waterdiepte ligt rond de 80 cm

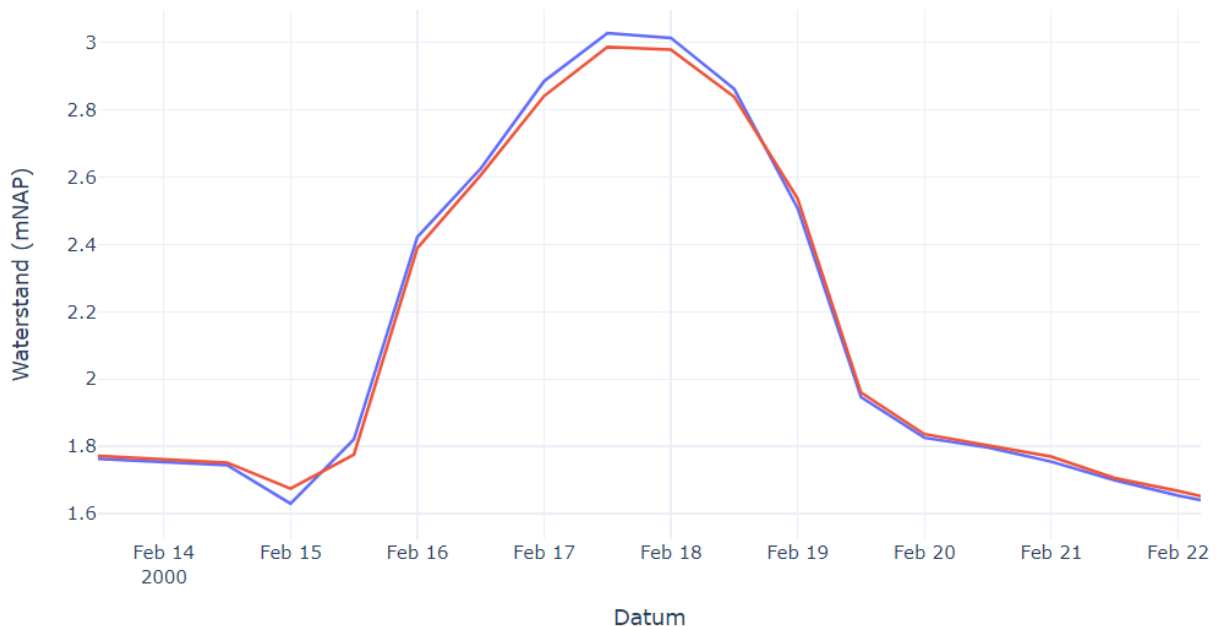
4.1.3 Inundatiebeelden bij extreme gebeurtenissen

Er zijn drie verschillende extreme gebeurtenissen doorgerekend, een T=2, T=10 en T=100 scenario. Op hoofdlijnen zijn de inundatiebeelden bij alle drie de gebeurtenissen vergelijkbaar tussen de huidige en DO situatie. Bij de T=10 en T=100 treden er echter subtiele verschillen op. Bij de T=10 situatie neemt de waterstand in het bovenstroomse deel van het plangebied (van de landsgrens tot de instroom van de nieuwe vrijstromende Mark) toe met maximaal 15 cm. Dit zorgt ervoor dat de Boven Mark lokaal iets verder uit zijn oevers treedt in de DO variant (Figuur 19 & Figuur 21). Daar staat tegenover dat de waterstanden tussen de instroom van de nieuwe vrijstromende Mark en de stuw Galder met ongeveer 10-15 cm afnemen. Benedenstrooms van stuw Galder zijn de waterstanden in de huidige en DO situatie vergelijkbaar.

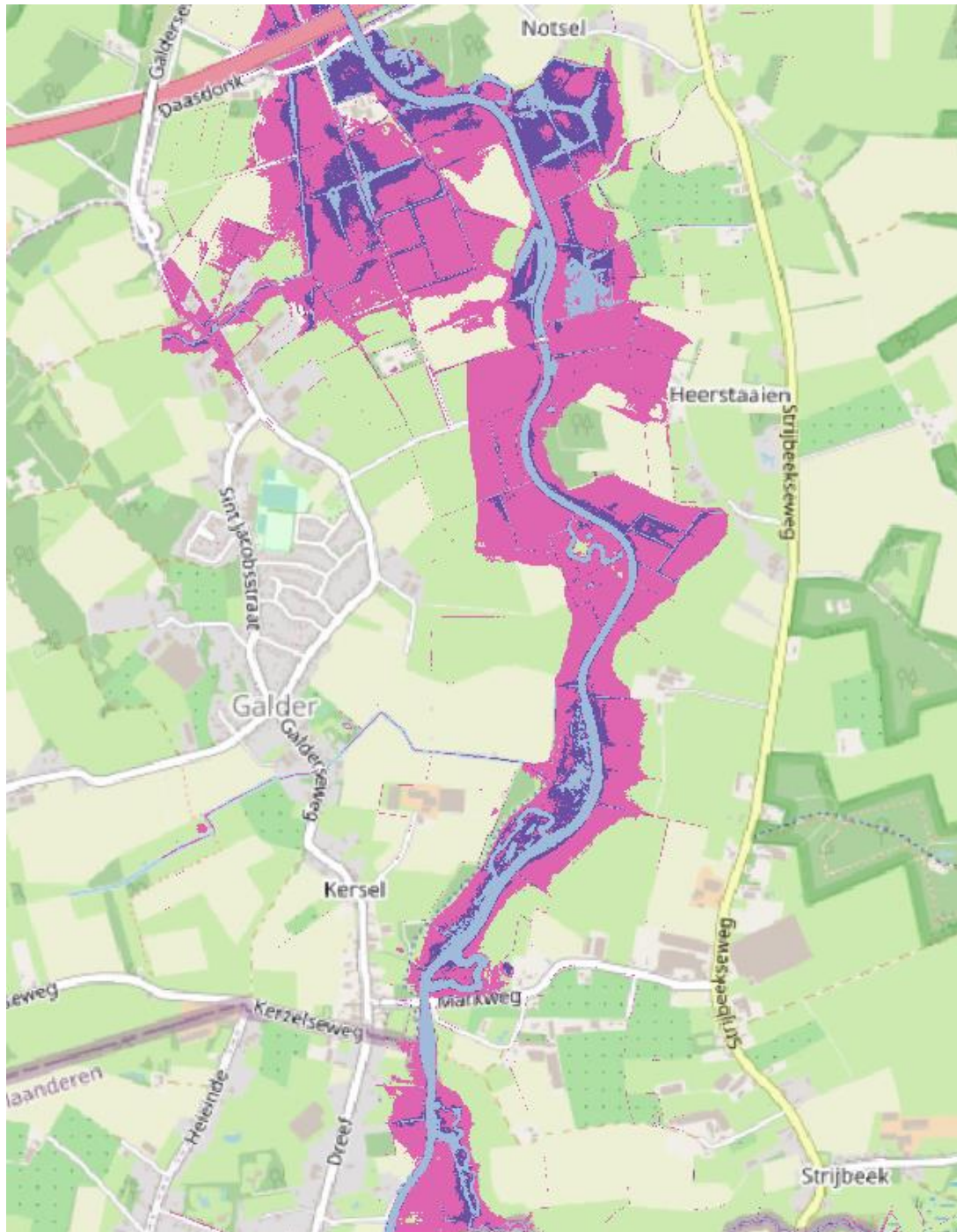


Figuur 19 T=2 (grijs), T=10 (paars) en T=100 (roze) inundatiebeeld in de referentie situatie.

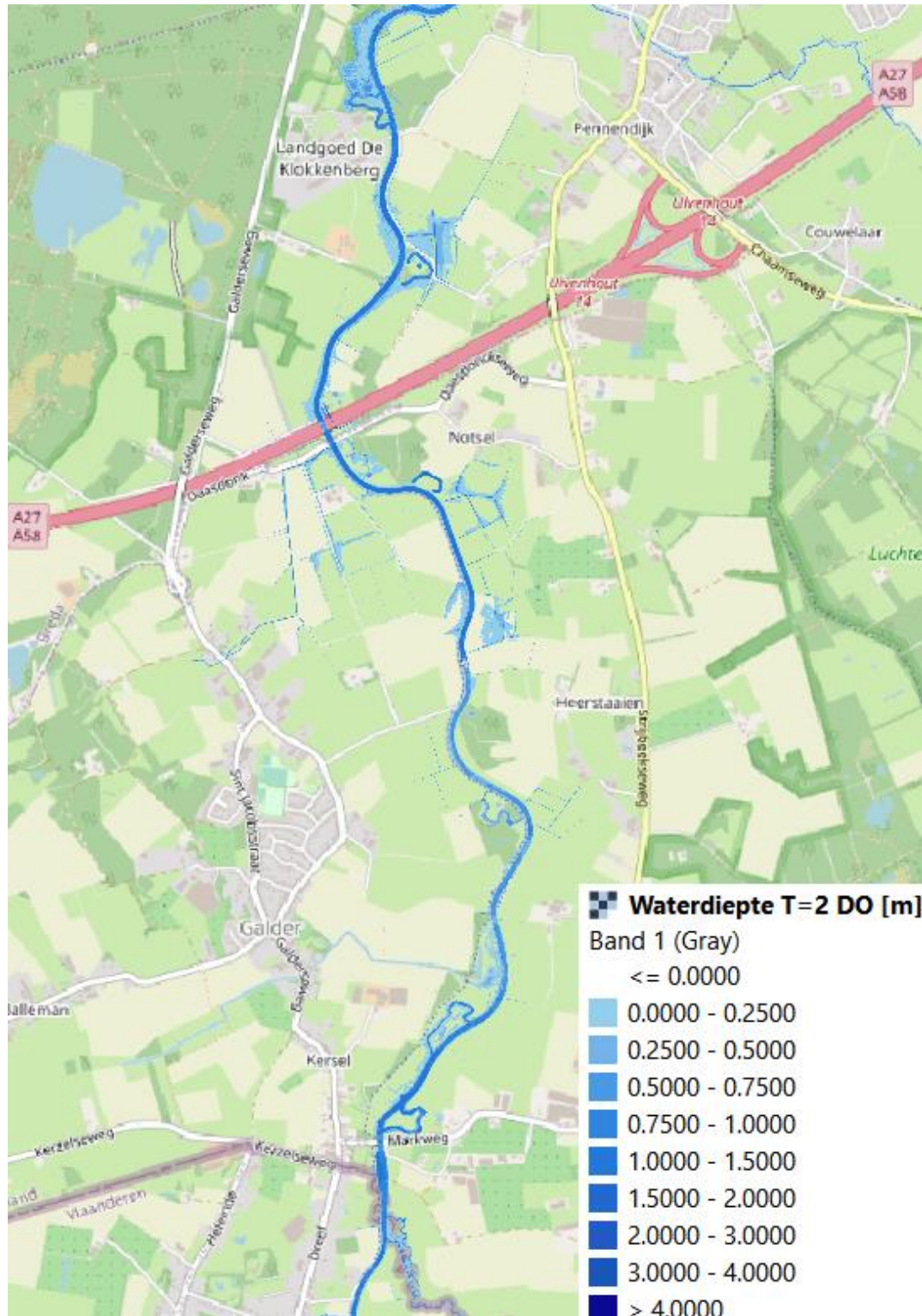
In de T=100 situatie wordt stuw Galder in het DO opgetrokken tot een kruinhoogte van 3,50 m +NAP. Dit zorgt ervoor dat er extra water in het plangebied wordt vastgehouden, zodat waterstanden ter hoogte van Breda niet toenemen. De waterstanden benedenstrooms van stuw Galder nemen af met 2 cm en richting stuw Blauwe Kamer neemt de afname in waterstanden toe tot 4 cm (Figuur 20). Benedenstrooms van stuw Blauwe Kamer is het effect verwaarloosbaar. Bovenstrooms van stuw Galder nemen de waterstanden toe met orde grootte 40 cm. Dit zorgt er ook voor dat de Mark in de DO situatie hier verder buiten zijn oevers treedt dan in de huidige situatie (Figuur 19 & Figuur 21). Dit effect werkt door tot een klein stukje in Vlaanderen. Met name rond het samenkomen van de Strijbeekse beek en de Boven Mark neemt de inundatie in België enigszins toe. Het extra inunderend gebied betreft groen en akkerbouw. Zo'n 500 meter verder bovenstrooms in de Strijbeekse beek is de toename in waterstand afgenomen tot slechts 2 cm. In de Boven Mark zijn de effecten bovenstrooms van stuw Markweg in België verdwenen.



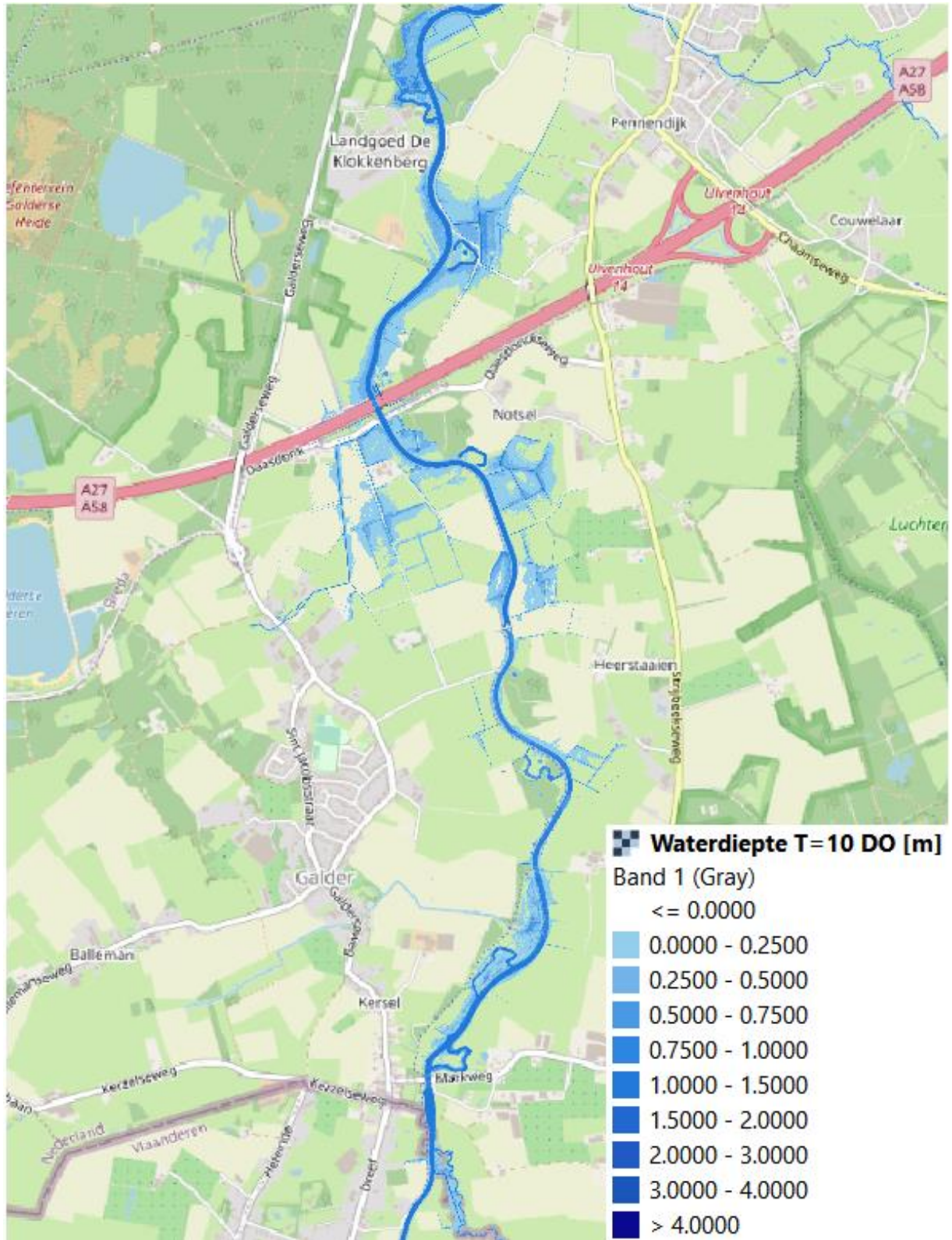
Figuur 20 Waterstandsverloop bij de T=100 afvoergolf bovenstrooms van stuw Blauwe kamer. Aangezien deze stuw in het gebruikte model niet verwijderd is, is Blauwe Kamer als referentie genomen omdat deze de hoogwatergolf in de huidige situatie sterk afremt. Rood toont het waterstandsverloop in de DO situatie en blauw in de huidige.



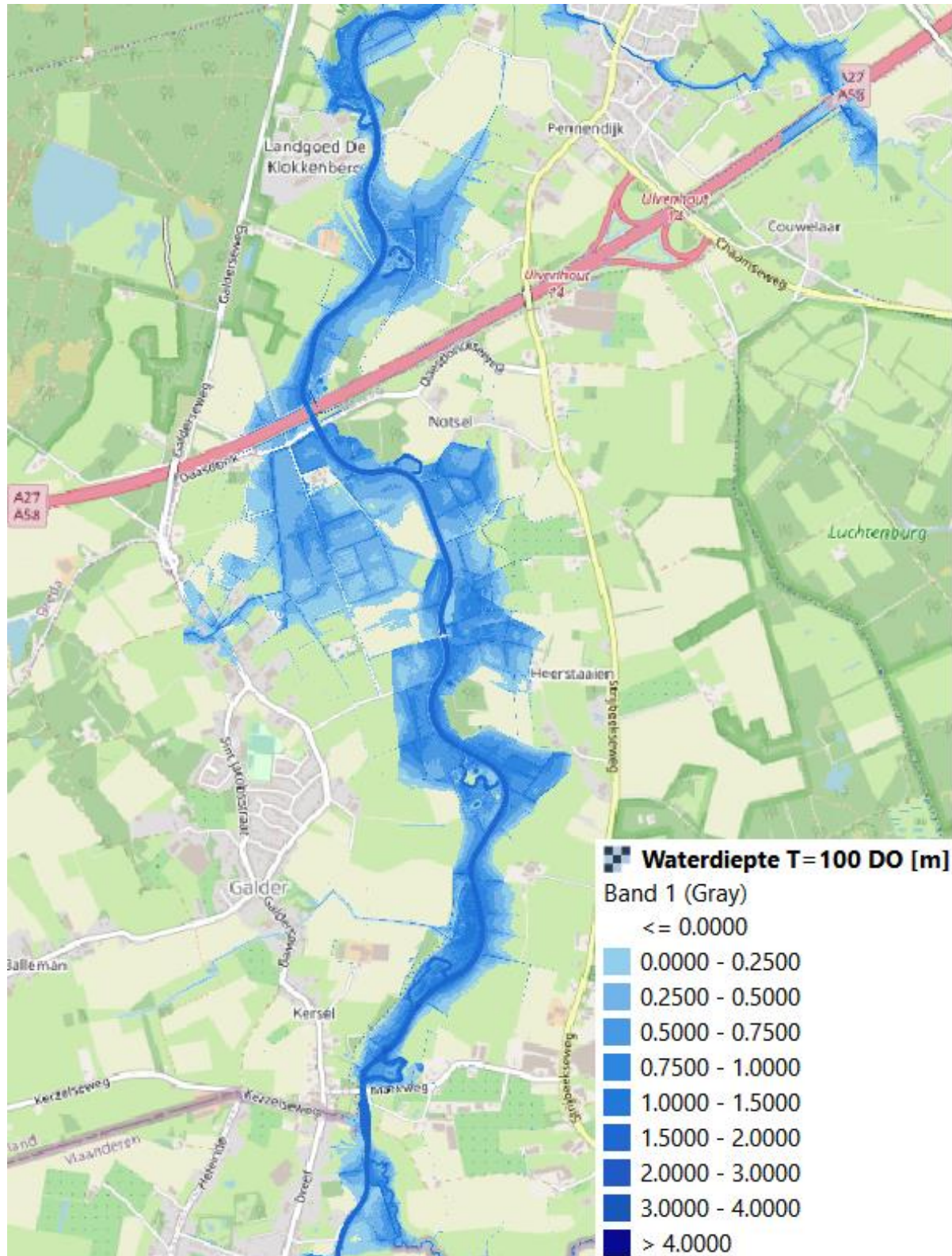
Figuur 21 T=2 (grijs), T=10 (paars) en T=100 (roze) inundatiebeeld in de DO situatie.



Figuur 22 Waterdiepte bij een T=2 gebeurtenis (DO situatie)



Figuur 23 Waterdiepte bij een T=10 gebeurtenis (DO situatie)

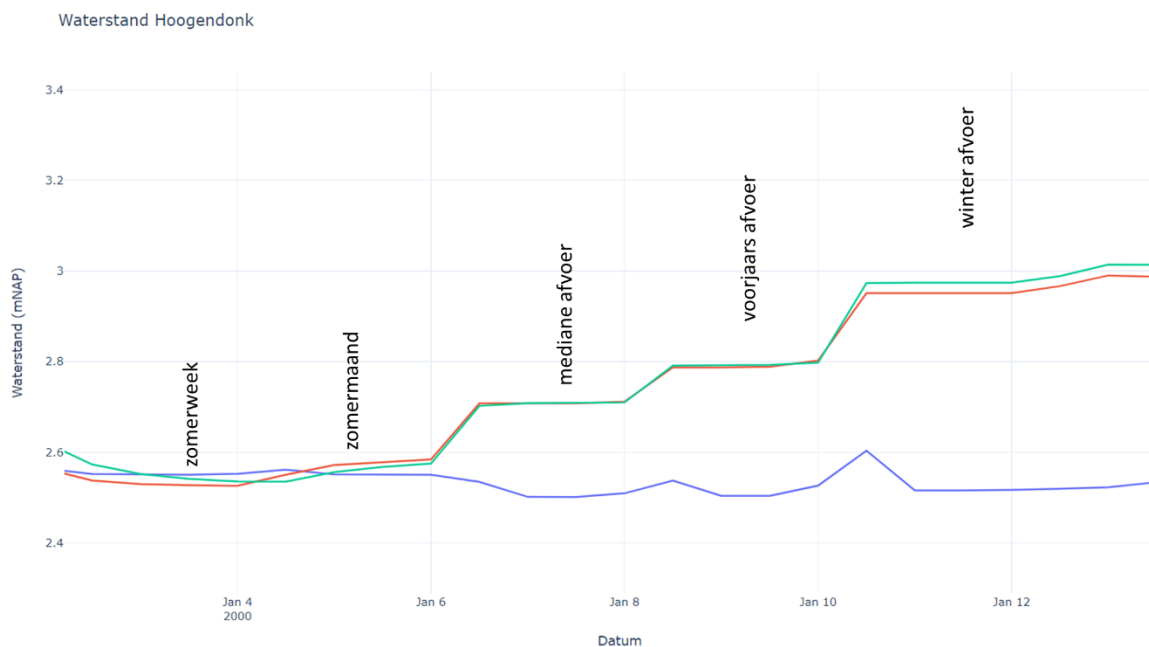


Figuur 24 Waterdiepte bij een T=100 gebeurtenis (DO situatie)

4.1.4 Effecten van aanzanding in de huidige Boven Mark

Het is bekend dat de huidige Boven Mark momenteel is verondiept. Dit wordt met name veroorzaakt doordat het waterschap de zandvang bovenstrooms van de Markweg sinds 2012 niet meer leegt. Zodoende is het voorzien dat de huidige Boven Mark in de toekomst verder zal aanzanden en dat het bodemniveau langzaam zal toenemen van 0,3 m +NAP (legger) tot maximaal 1,50 m +NAP. Het effect van het aanzanden van de Mark is doorgerekend om in kaart te brengen wat de gevolgen zijn in reguliere en extreme afvoersituaties.

In reguliere afvoersituaties is het effect van aanzanden van de Boven Mark zeer beperkt. Waterstanden nemen tot maximaal 2 cm toe tussen de dam bij meander Kerzel en stuw Galder (Figuur 25). Bovenstrooms van de dam bij meander Kerzel zijn de verschillen in waterstand verwaarloosbaar.



Figuur 25 Waterstand bij reguliere afvoeren. In blauw de huidige situatie, in rood de DO variant en in groen de aangezande variant

Voor de T=2 en T=10 afvoergebeurtenis geldt dat de aanzanding wel effect heeft op de waterstand. De waterstand in de T=2 situatie neemt tot ongeveer 25 cm toe en de waterstand in de T=10 situatie tot 20 cm. Met name in de T=10 situatie zorgt dit ook voor verandering in het inundatiebeeld. Dit effect concentreert zich tussen de dam bij de meander Kerzel en stuw Galder. Met name tussen het instroompunt van de nieuwe vrijstromende Mark en de stuw Galder is een toename in inundatie zichtbaar, ook doordat het omliggend maaiveld hier relatief laag ligt (Figuur 27).



Figuur 26 Extra inundatie in T=2 scenario bij aanzanden van de Mark tot 1,50 m +NAP (rood) en DO inundatiebeeld zonder opslibben (grijs)



Figuur 27 Extra inundatie in T=10 scenario bij aanzanden van de Mark tot 1,50 m +NAP (rood) en DO inundatiebeeld zonder opslibben (grijs)

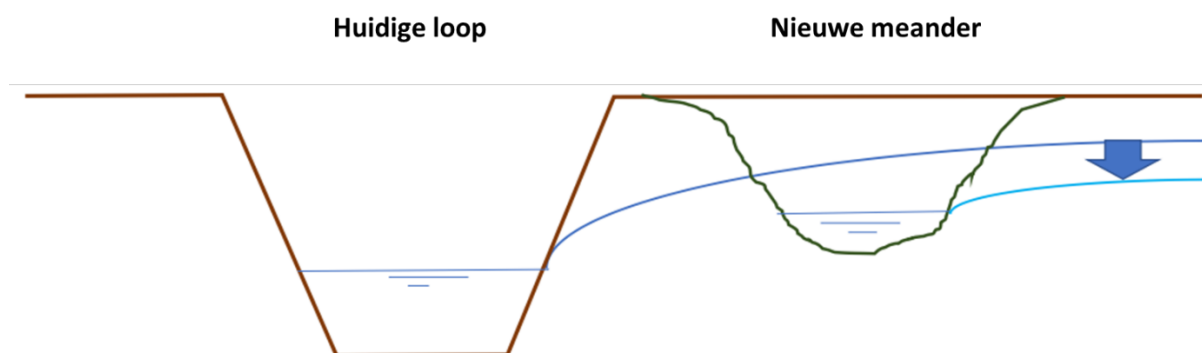
4.2 Grondwater

Het DO resulteert op meerdere plekken in grondwaterstandsveranderingen ten opzichte van de huidige situatie. De veranderingen worden veroorzaakt door:

- Veranderingen in de waterstand van de huidige Boven Mark door nieuwe sturing van stuw Galder.
- Aanleg van nieuwe vrijstromende Mark.
- Lokaal dempen van bestaande drainage.

Het vastzetten van stuw Galder in het DO zorgt, in het merendeel van het jaar, voor oppervlaktewaterstandsverhogingen langs de huidige Boven Mark. Bij lage afvoeren (zomersituatie/GLG¹) is dit effect relatief beperkt en bij hogere afvoeren neemt dit effect toe. Deze veranderingen in de oppervlaktewaterstanden werken door in het grondwaterbeeld.

Het aanleggen van de nieuwe vrijstromende Mark zorgt daarentegen voor een lokale verlaging van de grondwaterstand. In de huidige situatie loopt het grondwater vanaf de insteek van de Mark omhoog. Wanneer er (zoals in het DO) op enige afstand een nieuwe waterloop wordt aangelegd zorgt dit voor een verlaging van de grondwaterstand (Figuur 28). De bestaande loop heeft in deze situatie een bufferende werking waardoor de grondwatereffecten aan de west kant beperkt blijven.



Figuur 28 Verlaging van de grondwaterstand door aanleg van een nieuwe loop

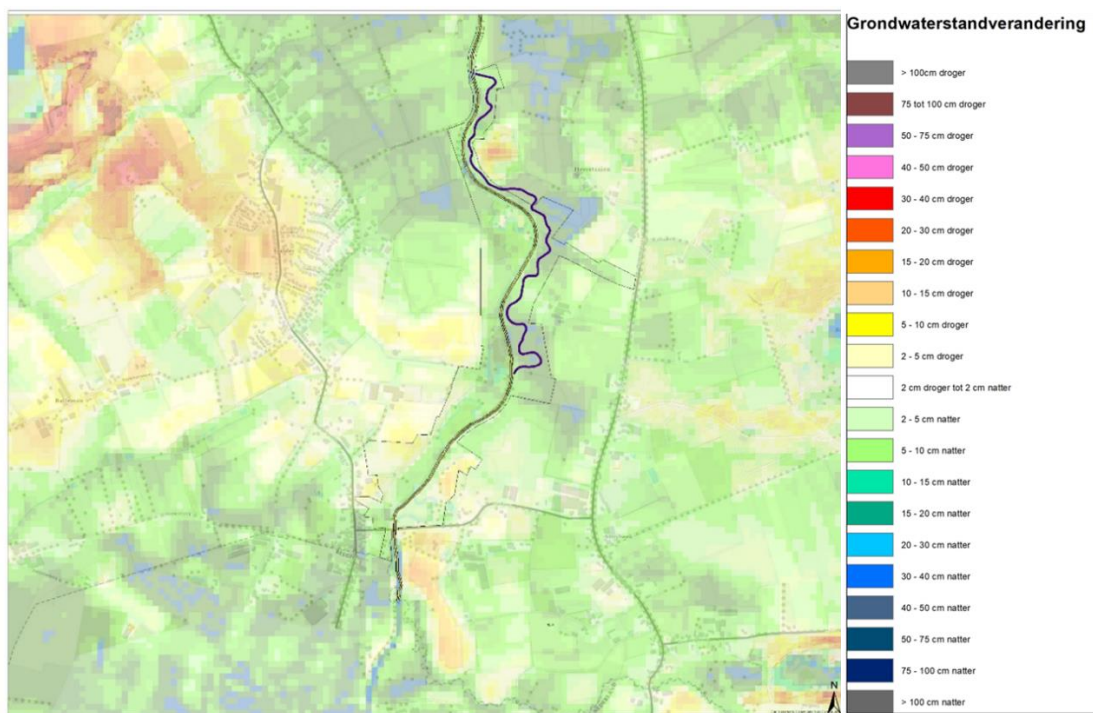
Het dempen van watergangen op verschillende plaatsen in het projectgebied leidt tot een beperking van de afwatering en dus lokale verhoging van de grondwaterstanden. Dit is in het DO op verschillende plaatsen rondom natuurontwikkelingslocaties beoogd.

De figuren 29-32 tonen de grondwaterstanden in de huidige en DO situatie in meters onder maaiveld. Deze kaartbeelden zijn op zichzelf lastig te interpreteren, maar dienen als input voor de Waterwijzer Landbouw en Waterwijzer Natuur. Figuur 33 toont de verandering in Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) tussen de referentiesituatie en de situatie na inrichting. Het grondwaterverschilpatroon komt overeen met de verwachting gebaseerd op de bovenstaand beschreven aanpassingen in het systeem.

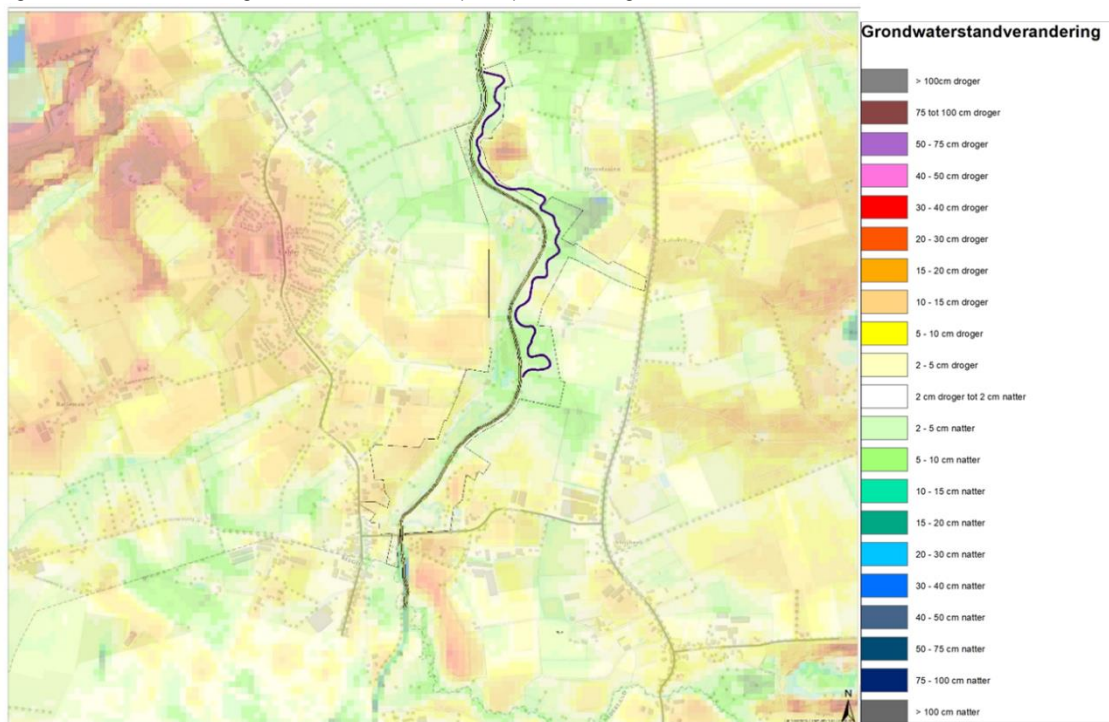
Rondom de nieuwe loop treedt een verlaging van de grondwaterstand op. Het merendeel van de verlaging ligt tussen de 20 en 30 cm met een uitschieter tot 50 cm in de meest zuidelijke meander van de nieuwe vrijstromende Mark. De verlaging van de grondwaterstand neemt geleidelijk af richting het oosten en wordt in het westen begrensd door de huidige Boven Mark. Ten westen van de huidige Boven Mark en ten zuiden van de nieuwe loop, treedt een vernatting (grondwaterstandstijging) van 15 tot 30 cm op. Naarmate de afstand tot de Boven Mark toeneemt wordt het verschil in grondwaterstand kleiner. Op ongeveer 500 meter van de Mark is het grondwaterstandsverschil teruggebracht tot minder dan 2,5 cm.

¹ Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

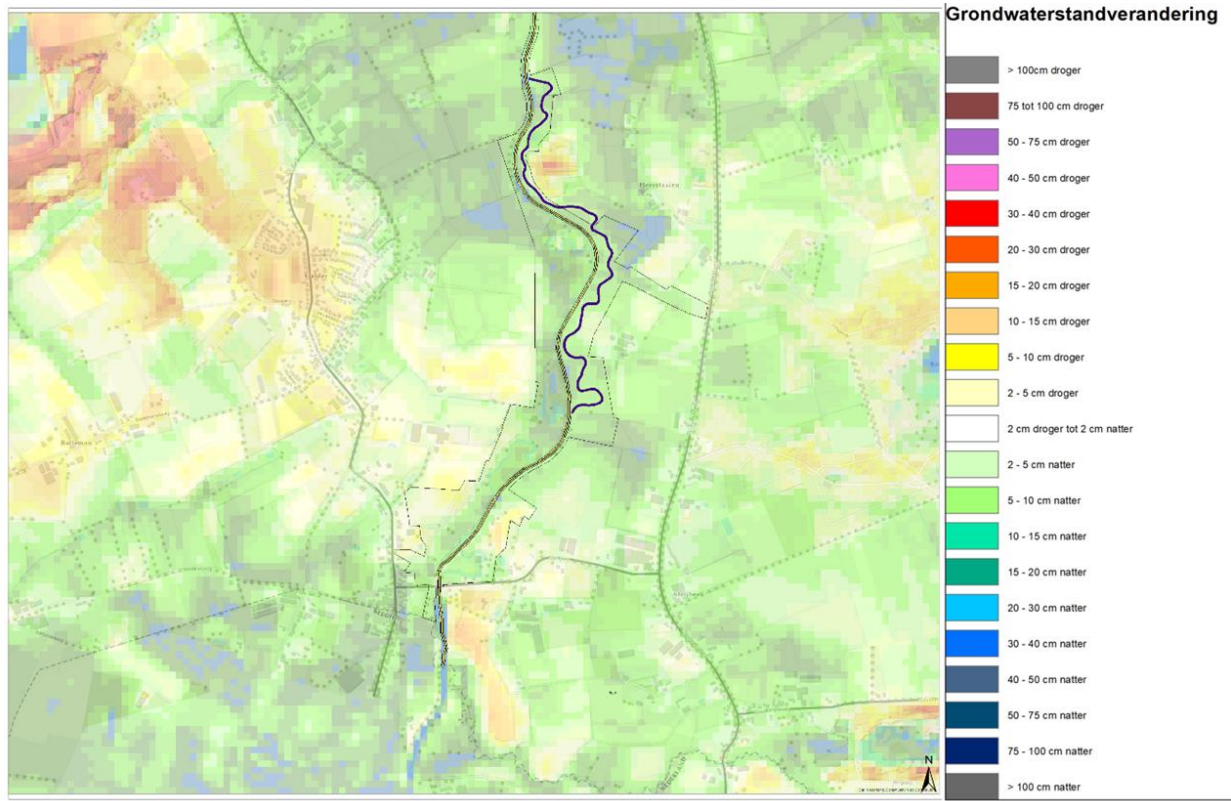
Figuur 34 toont het verschil in GLG tussen de referentie situatie en de situatie na inrichting. Net als in de GHG-situatie treedt rondom de nieuwe vrijstromende Mark een verdroging op. De verdrogende werking ligt net als bij de GHG situatie in de orde 20 tot 50 cm rondom de nieuwe vrijstromende Mark. De veranderingen rondom de huidige Boven Mark zijn verwaarloosbaar. Dit was ook de verwachting aangezien de oppervlaktewaterstand weinig verandert. Ter hoogte van het bosje ten westen van de Boven Mark treedt een kleine vernatting op. Dit wordt veroorzaakt door gerealiseerde dempingen.



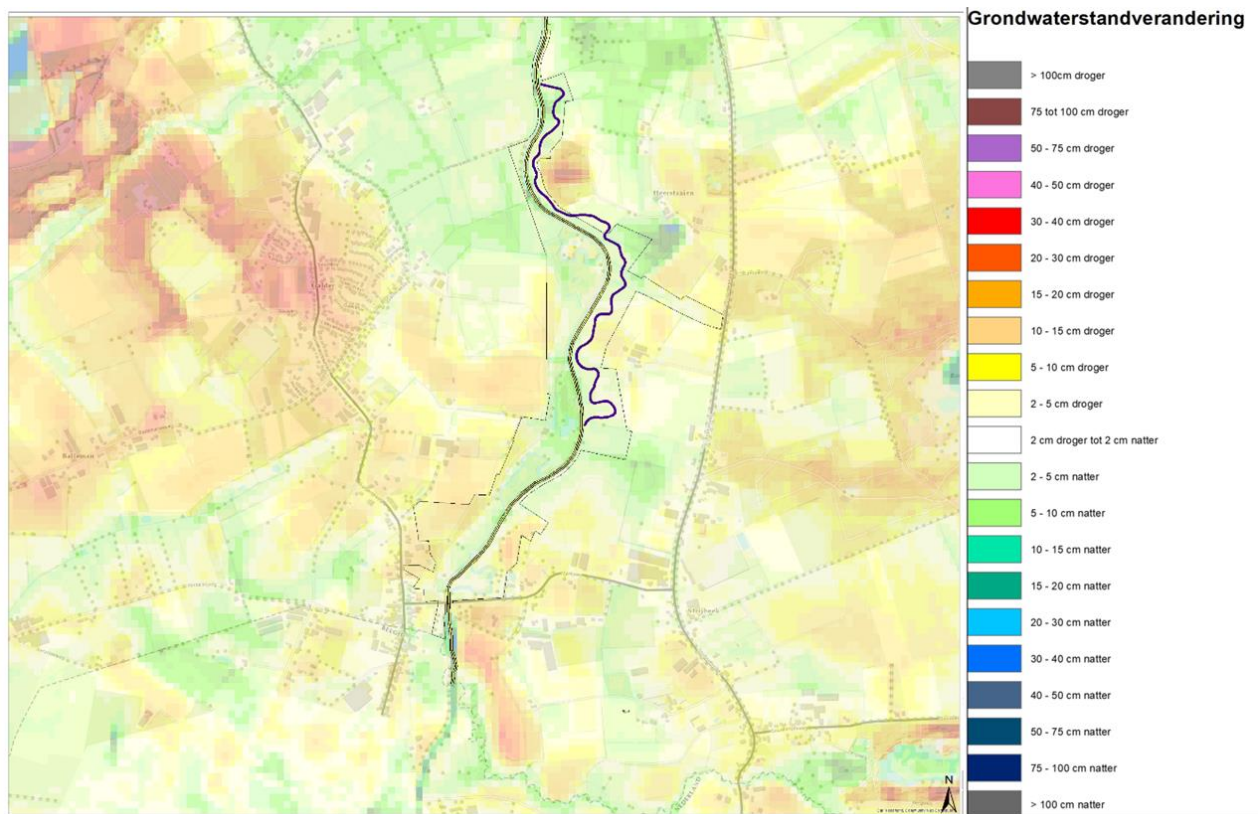
Figuur 29 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in de huidige situatie



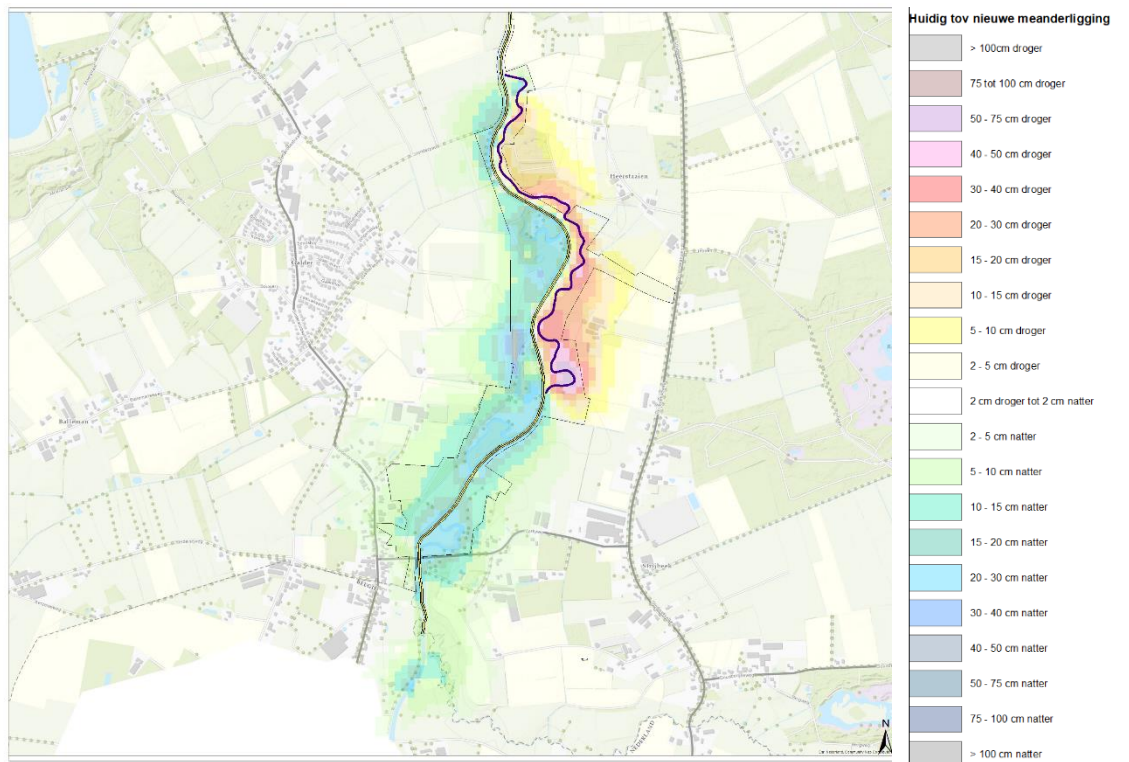
Figuur 30 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in de huidige situatie



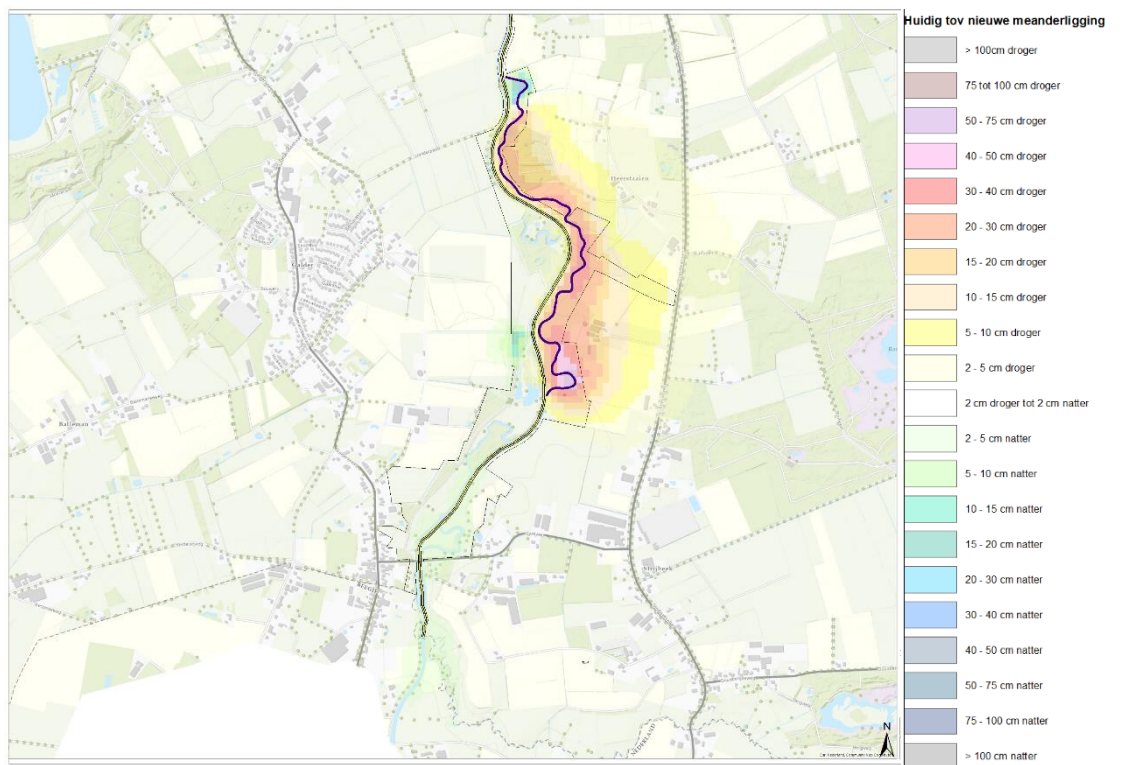
Figuur 31 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in de situatie na inrichting



Figuur 32 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in de situatie na inrichting



Figuur 33 Verschil in de GHG tussen de referentiesituatie en de situatie na inrichting



Figuur 34 Verschil in GLG tussen de referentiesituatie en de situatie na inrichting

4.2.1 Waterwijzer Landbouw & natuur

Om de invloed van de veranderende grondwaterstanden beter te kunnen duiden zijn deze vertaald in potentiële schade voor de landbouw door te droge of te natte omstandigheden. Figuur 35 toont de schade aan landbouwpercelen door te lage grondwaterstanden in procenten. In de directe omgeving van de Boven Mark wordt weinig droogteschade berekend (0-5%). De ontwikkeling van het DO leidt niet tot substantiële verschillen in droogteschade. Alle eventuele verschillen vallen binnen de onzekerheidsmarge van de analyse.

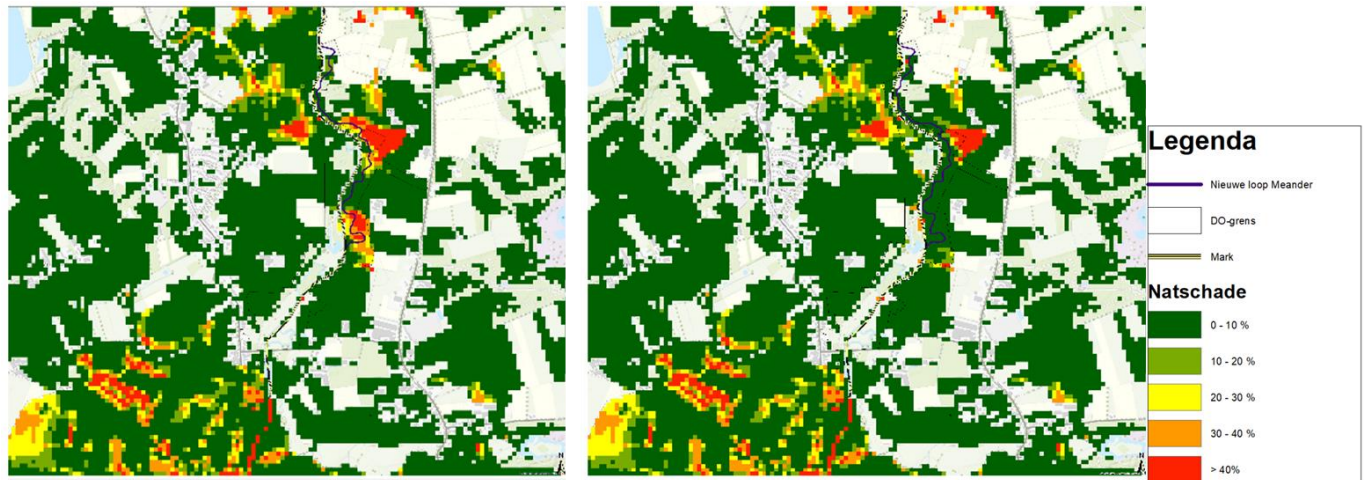


Figuur 35 Droogteschade referentiesituatie (links), droogteschade situatie na inrichting (rechts)

Natschade treedt op door zuurstofstress van gewassen ten gevolge van hoge grondwaterstanden. De natschade is bepaald voor zowel de huidige als DO situatie (Figuur 36). In de huidige situatie treedt de meeste natschade binnen het plangebied op ten oosten van de Boven Mark ter hoogte van de Strijbeekseweg 40. Dit gebied is gevoelig voor natschade doordat het maaiveld hier relatief laag ligt waardoor de grondwaterstand dicht op maaiveld komt. Ook het begin van de nieuwe vrijstromende Mark (ten oosten van de Boven Mark) is momenteel relatief gevoelig voor natschade.

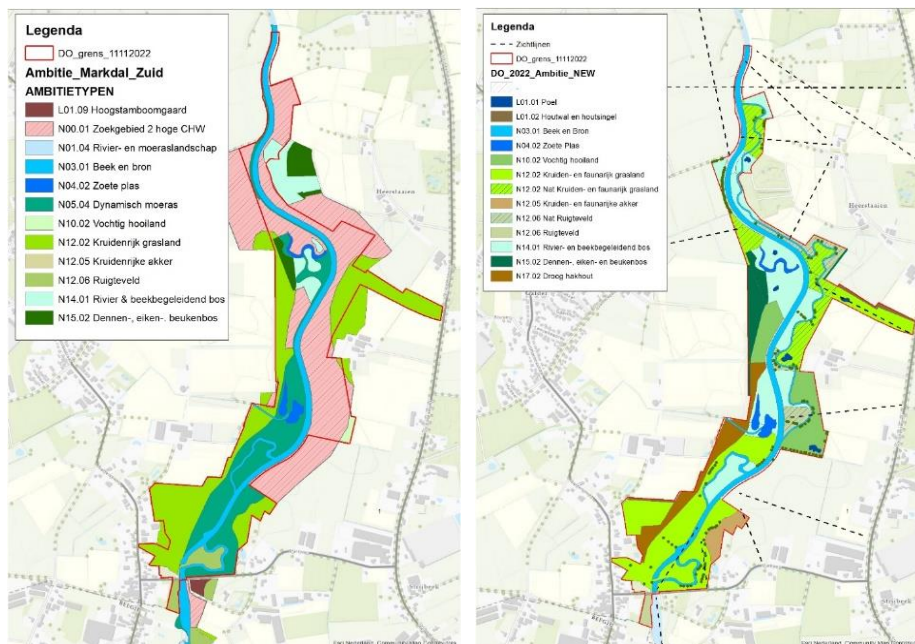
In de situatie na inrichting neemt de kwetsbaarheid voor natschade op de oostoever van de Mark af door de drainerende werking van de nieuwe vrijstromende Mark. De droogteschade neemt bij het instroompunt van de nieuwe loop af van orde 40% tot ongeveer 10%. In de bocht van de Mark ter hoogte van de Strijbeekseweg 40 neemt het kwetsbare gebied voor natschade af in oppervlak hoewel de grootste percentages van toepassing blijven.

In de situatie na inrichting is een kleine toename in natschade op de westoever van de Boven Mark. Ten zuiden van het Vonderpad neemt het gebied dat kwetsbaar is voor natschade enigszins toe. Het gaat met name om een toename in de categorie rond de 10%



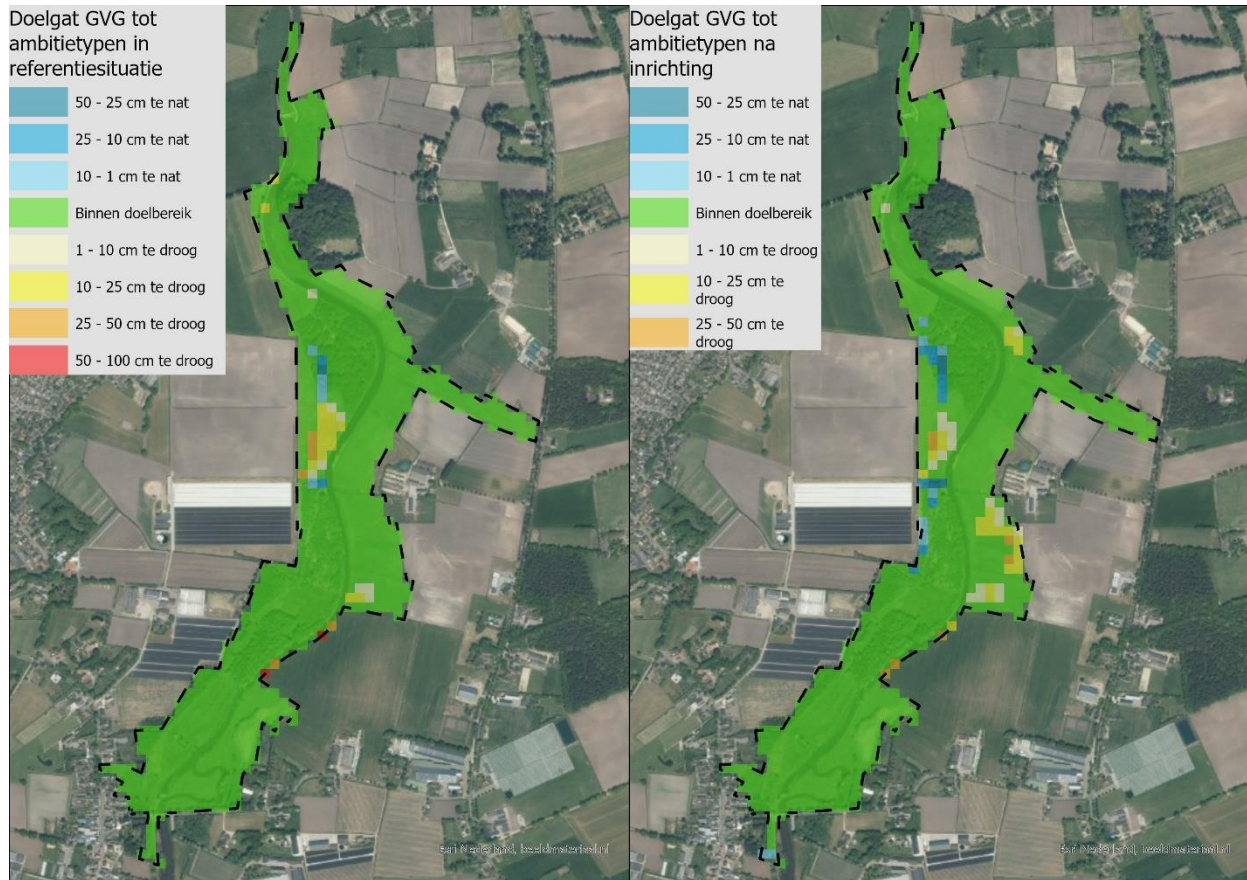
Figuur 36 Natschade in de huidige situatie (links) en in de DO situatie (rechts)

Binnen het plangebied, gelegen in de Natte Natuurparel, wordt gestreefd naar zoveel mogelijk landnatuur die gedijt bij vochtige omstandigheden. Typische ambitietypen zijn vochtig hooiland en kruidenrijk grasland (Figuur 37). Voor alle soorten geldt dat ze een optimum grondwaterstand hebben, te hoge grondwaterstanden resulteren in stress, maar te lage grondwaterstanden ook.



Figuur 37 Natuurambietypen & beheertypen binnen het plangebied

Het verschil tussen de grondwaterstand en de boven/ondergrens voor het betreffende doeltype wordt het doelgat genoemd. Bij een klein doelgat kunnen extra maatregelen mogelijkwijs leiden tot het realiseren van gunstige condities terwijl een groter doelgat betekent dat een doeltype niet gerealiseerd kan worden. De Waterwijzer Natuur is gebruikt om de kansrijkheid van de ambitietypen te toetsen voor Markdal-Zuid. Voor de ambitietypen in Markdal-Zuid is met name de voorjaarsgrondwaterstand van belang, de Waterwijzer Natuur is daarom uitgevoerd met de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG). De uitkomsten zijn weergegeven in Figuur 38.



Figuur 38 Doelgat GVG tot ambiotypen. Links toont de referentiesituatie en rechts de DO situatie

Uit de Waterwijzer Natuur blijkt dat, in de situatie na inrichting, het merendeel van de ambiotypen gerealiseerd kan worden. Er zijn twee locaties waar het ambiotype niet gerealiseerd kan worden zonder extra maatregelen. De voornaamste locatie waar het ambiotype niet gerealiseerd kan worden is het Vochtig hooiland ten zuidoosten van de nieuwe vrijstromende Mark. Hier treedt een doelgat van ongeveer 20 cm op (oftewel grondwaterstand is 20 cm te laag). Ook op de westoever van de Mark is een gebied met Vochtig hooiland als ambiotype. Dit gebied wordt wel geschikter in de situatie na inrichting, maar kent nog steeds een doelgat van ongeveer 20 cm.

5 Conclusies

In het nieuwe ontwerp (DO) is er gekozen voor een nieuwe vrijstromende Mark welke volledig op de oostoever wordt aangelegd. De verplaatsing naar de oostoever voorkomt extra kruisingen met de huidige Boven Mark en leidt zodoende tot minder opstuwing in hoogwater situaties en een kleinere kans op onbalans in de sediment aan- en afvoer.

De nieuwe loop van de Mark krijgt een talweg profiel en een verhang van ongeveer 30 cm/km, waarmee de KRW doelen voor stroomsnelheid precies gehaald worden en het profiel inpasbaar is in de beschikbare ruimte. De stroomsnelheden die gerealiseerd worden leiden tot een, in de winter, morfologisch actief systeem. Het is de verwachting dat het systeem morfologisch min of meer in evenwicht zal zijn, met name wanneer de sedimentaanvoer bij het bovenstroomse instroompunt geborgd is door de dam, en het realiseren van een oplopende bodem in de Mark zodat sediment goed in de nieuwe loop naar binnen kan stromen. Dit zal gemonitord en eventueel bijgestuurd worden. In het verleden hebben de meanders Markweg en Kerzel zich versneld ingesneden, mogelijk ook door het gebrek aan bovenstroomse sedimentaanvoer. Nu er bovenstrooms geen sediment meer wordt afgevangen is de verwachting dat er een meer evenwicht situatie ontstaat.

Vooruitkijkend naar de toekomstige doorontwikkeling van het Markdal is een V-overlaat geplaatst op het eind van het plangebied. Door een V-overlaat te plaatsen aan het eind van het tracé, ter hoogte van stuw Galder, wordt een realistische opstuwing gerealiseerd als ware het benedenstroomse deel van de Mark ook heringericht. Daarnaast is er met de benedenstroomse bodemhoogte van de nieuwe vrijstromende Mark (1,30 m +NAP) nog mogelijkheid om verhang in de toekomstige benedenstroomse herinrichting van het Markdal te realiseren.

Het nieuwe ontwerp leidt, met name bij hogere afvoeren, tot een toename van de waterstanden en dus een vernatting in het bovenstroomse deel van de Mark en de westoever. Bij relatief extreme afvoersituaties (T=2, T=10) leidt het DO niet tot een toename in wateroverlast binnen het plangebied. Bij een T=100 neemt de inundatie vanuit de Boven Mark binnen het plangebied enigszins toe. Dit is een direct gevolg van het optrekken van stuw Galder om afwenteling op Breda te voorkomen.

Het is voorzien dat de huidige Boven Mark in de toekomst zal aanzanden waardoor de bodemhoogte zal toenemen tot maximaal 1,50 m +NAP. Bij verdere aanzanding van het systeem zal er moeten worden ingegrepen door het Waterschap. De effecten van deze aanzanding op de waterstand zijn verwaarloosbaar bij reguliere afvoeren. Bij sterk verhoogde afvoeren (T=2, T=10) neemt de waterstand tot 25 cm toe. In de T=10 situatie leidt dit ook tot een toename in het inunderend oppervlak binnen het plangebied. Het extra inunderend oppervlak bestaat uit natuur en landbouwgronden.

De nieuwe vrijstromende Mark heeft een drainerende werking. Dit zorgt ervoor dat de grondwaterstanden op de oostoever van de Boven Mark, rondom de nieuwe vrijstromende Mark, uitzakken. De Boven Mark resulteert door zijn grote water volume in een abrupt einde van het verdrogende effect van de nieuwe vrijstromende Mark. In de zomersituatie zijn de waterstanden in de huidige Boven Mark in de huidige situatie en de situatie na inrichting vergelijkbaar. Dit zorgt ervoor dat de grondwaterstanden op de westoever en bovenstrooms van de nieuwe vrijstromende Mark weinig veranderen. Alleen waar lokaal drainage wordt gedempt treedt een kleine vernatting op. In de wintersituatie nemen de waterstanden in de huidige Boven Mark in het DO toe doordat stuw Galder het water verder laat oplopen. Dit resulteert in een vernatting van 10 tot 25 cm langs de loop van de huidige Boven Mark. Rondom de nieuwe vrijstromende Mark treedt nog steeds verdroging op door de extra drainerende werking.

De verandering in grondwaterstanden heeft een voornamelijk positief effect op de landbouw. De kans op droogteschade is hetzelfde in de huidige situatie en situatie na inrichting. De kans op natschade, rondom de nieuwe vrijstromende Mark, neemt af in het DO. Alleen op de westoever van de Boven Mark, ten zuiden van het Vonderpad neemt de natschade iets toe doordat de oppervlaktewaterstanden toenemen in de DO situatie.

Het merendeel van de ambitietypen binnen het plangebied kan gerealiseerd worden. Er zijn echter twee uitzonderingslocaties. In de eerste bocht van de nieuwe vrijstromende Mark treedt een doelgat (te lage grondwaterstand) van orde 20 cm op. Het Vochtig hooiland kan hier alleen gerealiseerd worden indien er zou worden afgegraven. Daarnaast is er een gebied op de westoever van de huidige Boven Mark waar een vergelijkbaar doelgat optreedt waardoor de realisatie van vochtig hooiland niet gerealiseerd kan worden.