Bijlage A2.1 Hydrologische analyse en variantenstudie

Hydrologische analyse en variantenstudie

Ploegam, Bouwteam Berkel, Lochem-Almen

3 oktober 2023

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Verantwoording

Titel	Hydrologische analyse en variantenstudie
Opdrachtgever	Ploegam B.V.
Projectleider	Gustav Egbring
Auteur(s)	Robert Lubben, Ellen Norde, Tim van Dam
Tweede lezer	Linda van der Toorn
Projectnummer	1284689
Aantal pagina's	104
Datum	3 oktober 2023
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking.
	Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

1 Inleiding 6
1.1 Aanleiding 6
2 Modellen en validatie 7
2.1 Oppervlaktewatermodel 7
2.1.1 Ontwerpuitgangspunten 7
2.1.2 Modelgebied en randvoorwaarden 8
2.1.3 Model validatie 13
2.1.4 Conclusie 14
2.2 Grondwatermodel 14
2.2.1 Ontwerpuitgangspunten 14
2.2.2 Modelopbouw 15
2.2.3 Model validatie 21
2.2.4 Conclusie 25
3 Huidige situatie 26
3.1 Oppervlaktewatermodel 26
3.1.1 Debieten 26
3.1.2 Waterstanden 28
3.1.3 Stroomsnelheden 31
3.1.4 Inundatie 32
3.2 Grondwatermodel 34
3.2.1 GxG 34
4 Resultaten VO-modellering 39
4.1 Oppervlaktewater 39
4.1.1 Modelaanpassingen SOBEK 39
4.1.2 Debieten 44
4.1.3 Waterstanden 47
4.1.4 Stroomsnelheden 55
4.1.5 Inundatie 56
4.2 Grondwater 61
4.2.1 Uitgangspunten modellering 61

4.2.2 GxG 62
4.2.3 Natuur 64
4.2.4 Landbouw 64
5 Resultaten DO-modellering 66
5.1 Oppervlaktewater 66
5.1.1 Modelaanpassingen SOBEK 66
5.1.2 Dood hout 73
5.1.3 Debieten 73
5.1.4 Waterstanden 76
5.1.5 Stroomsnelheden 84
5.1.6 Inundatie 85
5.2 Grondwater 91
5.2.1 Uitgangspunten modellering 91
5.2.2 GxG 92
5.2.3 Bebouwing 95
5.2.4 Natuur 97
5.2.5 Landbouw (WWL) 97
6 Conclusies en aanbevelingen 100
6.1 Conclusies VO++ 100
6.2 Aandachtspunten voor DO / aanbevelingen 101
6.3 Conclusies DO 102
6.4 Aandachtspunten voor vervolg 104

Bijlage 1 Lagenindeling AMIGO
Bijlage 2 Tijdreeksen
Bijlage 3 Resultaten GxG
Bijlage 3a VO++
Bijlage 3b DO
Bijlage 4 Verschilplots oppervlaktewatersysteem
Bijlage 4a VO++
Bijlage 4b DO
Bijlage 5 Landbouw-effecten

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Bijlage 5a	VO++ (Waterwijzer webversie)
Bijlage 5b	DO (Waterwijzer Regionaal)
Bijlage 6	Dimensionering stuwen

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Berkel tussen Lochem en Almen wordt heringericht. Hiervoor is een hydrologische analyse nodig om de mogelijke gevolgen van de maatregelen in en rond de Berkel op de omgeving in beeld te brengen. Voor het onderzoeken van de hydrologische effecten zijn door het waterschap twee modellen aangeleverd:

- Een oppervlaktewatermodel (ISG_BKv8.lit) van de gehele Berkel inclusief bekende debieten van de NBW-toetsingen
- Een regionaal grondwatermodel (AMIGO V3.1) dat het beheergebied omvat van waterschap Rijn en IJssel

De rapportage bevat twee delen. Deel één is een technisch deel met modeluitgangspunten, aanpassingen en validatie en is beschreven in hoofdstuk 2. Deel twee zijn de resultaten van de analyse voor de referentie of huidige situatie, hoofdstuk 3, het voorlopig ontwerp (VO++)[1], hoofdstuk 4, en het definitief ontwerp (DO), hoofdstuk 5.

[1] In de rapportage wordt zowel VO+ als VO++ geschreven. Beide betreffen het voorlopig ontwerp VO++.

2 Modellen en validatie

2.1 Oppervlaktewatermodel

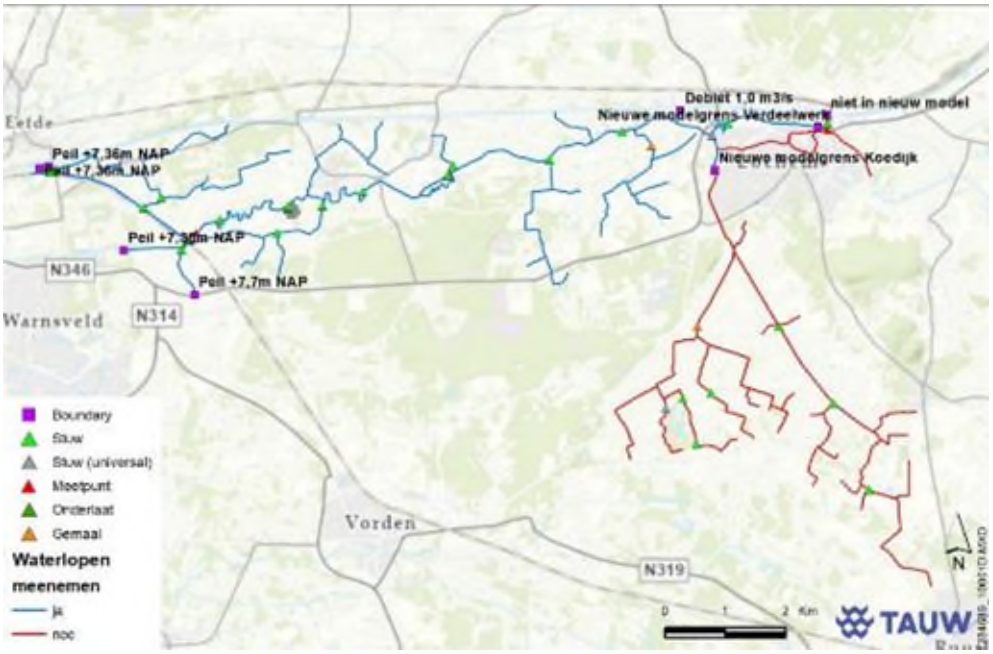
2.1.1 Ontwerpuitgangspunten

We hanteren de volgende ontwerpuitgangspunten voor het oppervlaktewatermodel. Belangrijkste is het uitvoeren van een indicatieve toets op de inundatienormen vanuit het NBW voor de huidige situatie, het voorlopig ontwerp (VO++) en het definitieve ontwerp (DO). Hierbij wordt gebruikgemaakt van een stationaire berekening en wordt uitgegaan van de volgende normen:

- Natuur heeft geen inundatienorm vanuit het NBW. Daarom wordt hier niet op getoetst
- Landbouw en overig gebied, toetsen op T=10.Voor grasland geldt een 5 % criterium, voor akkerbouw en hoogwaardige landbouw 1 % (onduidelijk of dit in het hele gebied of op perceelniveau geldt). Echter, vooralsnog is het uitgangspunt dat er geen normopvulling mag plaatsvinden en de criteria daarmee niet relevant zijn. Daarom zal alleen een verandering in inundatie in beeld worden gebracht
- Stedelijk gebied toetsen op T=100. Naast de kernen toetsen we ook woningen (op basis van de BGT). Omdat stationair gerekend gaat worden, wordt inundatie mogelijk wat overschat
- Klimaat: toetsen op T=10+10 % extra afvoer. Het klimaateffect van de Berkel wordt al gecompenseerd bij Borculo en hoeft daarom niet meegenomen te worden (randvoorwaarde bovenstrooms blijft hetzelfde). Voor de overige gebieden wordt wel gerekend met T=10+10 %
- Voor de gemiddelde zomer- en wintersituatie worden de waterstanden bij een 1/20Q en 1/4Q afvoer stationair berekend. Deze peilen worden als input gebruikt voor het grondwatermodel
- Het berekenen van het gemiddelde zomer- en winterpeil tussen Almen en stuw Warken om de schematisatie van het oppervlaktewater in het grondwatermodel te verbeteren. Daarmee kan de eerder uitgevoerde herinrichting van dit deel van de beneden Berkel mee worden genomen in het grondwatermodel
- Toetsen of de benodigde doorvaardiepte van 1 m voor de Berkelzomp in het ontwerp gehaald wordt en knelpunten hierin beschrijven. De Berkelzomp vaart tot Velhorst. Tot aan de uitstroom van de nevengeul dient de 1 m geborgd te worden
- Bovenstrooms van Velhorst wordt qua waterdiepte getoetst op 0,6 m (nodig voor B&O). De minimale breedte van 2,5 m wordt geborgd vanuit het ontwerpteam
- Toetsen of de doorvaarthoogte onder bruggen minimaal 1 m bedraagt en eventuele knelpunten constateren
- Toetsen of afvoer van de Berkel richting het Twentekanaal niet toeneemt
- Toetsen of voldaan wordt aan de minimale stroomsnelheid van 0,1 m/s en eventuele knelpunten hierin beschrijven
- De aantakking van de Velhorsterlaak op de afwatering van Westerholt en afwatering van Oldeweerd wordt meegenomen in het VO. Hiermee wordt naar verwachting het NWB knelpunt opgelost (deze aansluiting wordt opgenomen in het model conform rapportage Rapport ‘Aansluiting afwatering Klein Dochteren op de Velhorst’)

2.1.2 Modelgebied en randvoorwaarden

Het oppervlaktewatermodel is opgeknipt zodat alleen de nodige waterlopen, benodigd voor het doorrekenen van de ontwerpen, inclusief maatregelen ter plaatse van de Velhorsterlaak, in het model aanwezig blijven. Op de plaatsen waar het model is afgeknipt, zijn nieuwe modelranden bepaald in afstemming met het waterschap. Het nieuwe modelgebied is weergegeven in figuur 2.1. De rode waterlopen worden niet in het model meegenomen.



Figuur 2.1 Modelgrenzen en selectie van waterlopen voor het SOBEK-model

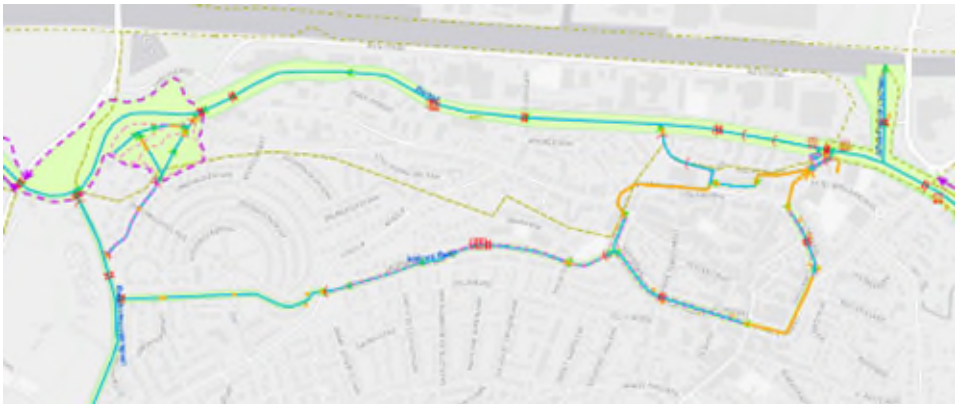
Modelgrens stroomafwaarts van Almen

Door het model op deze locaties af te knippen moeten nieuwe randvoorwaarden bepaald worden. Om ook het grondwatermodel goed te kunnen voeden, is het model benedenstrooms van Almen niet afgeknipt en blijven de Berkel tot Warnsveld en het Afleidingskanaal richting het Twentekanaal bij Eefde in het model. De volgende peilen zijn, conform de legger van het waterschap, in het model opgelegd voor alle afvoerscenario's:

- Twee modelgrenzen ten westen van sluis Eefde (uitstroom Afwateringskanaal in Twentekanaal): +7,36 m NAP
- Modelgrens Berkel benedenstrooms bij Warnsveld: +7,35 m NAP
- Modelgrens Onderlaatse Laak bij de Lochemse Weg: +7,70 m NAP

Verdeelwerk Lochem

Als bovenstroomse modelgrens is Verdeelwerk Lochem aangehouden (zie figuur 2.2 voor detailweergave). Het aanvoerdebiet van deze locatie is bekend en als stationair debiet op de modelgrens opgelegd. Hierbij is de aanname gedaan dat de stuw van verdeelwerk Lochem tijdens de gemiddelde zomer- en wintersituatie volkomen is, en eventuele opstuwingen benedenstrooms van de stuw geen gevolgen hebben op de waterstand bovenstrooms van de stuw.
Dit maakt ook de koppeling tussen het grondwatermodel en het oppervlaktewatermodel makkelijk omdat bovenstrooms van de stuw de bekende waterpeilen in het grondwatermodel gehanteerd kunnen worden en alleen het deel benedenstrooms van Lochem aangepast dient te worden.



Figuur 2.2 Locatie voor bovenstroomse modelgrens bij Verdeelwerk Lochem

Afvoeren modelgrenzen Verdeelwerk en Barchemse Veengoot

De Barchemse Veengoot wordt niet in het model meegenomen omdat deze waterloop geen effect heeft op het plangebied behalve extra afvoer richting de beneden Berkel. Daarom wordt gemaal Koedijk als modelrand gebruikt waarvoor een stationair debiet is opgelegd. Dit is gedaan voor verschillende afvoersituaties net zoals voor Verdeelwerk Lochem gedaan is. Deze debieten zijn:

- T100 = 85 m^3/s totaal, hiervan gaat 48 m^3/s naar de beneden Berkel, de Barchemse Veengoot (bij Koedijk) voegt 3,6 m^3/s toe
- T10 = 70 m^3/s totaal, hiervan gaat 36 m^3/s naar de beneden Berkel, de Barchemse Veengoot voegt 2,7 m^3/s toe
- T10+10 % 70 m^3/s totaal, hiervan gaat 36 m^3/s naar de beneden Berkel hiervan 36 m^3/s, de Barchemse Veengoot voegt 2,97 m^3/s toe

Voor Verdeelwerk Lochem wordt de T1-afvoer (9 m^3/s) verschaald om de winter 1/4Q afvoer te bepalen. Voor de Barchemse Veengoot wordt het T1-debiet van 1,5 m^3/s verschaald om de 1/4Q en 1/20Q afvoeren te bepalen. In tabel 2.1 zijn de afvoeren weergegeven voor beide punten.

Tabel 2.1 Afvoeren voor modelranden met debiet

Afvoersituatie	Debiet Verdeelwerk Lochem [m^3/s]	Debiet Barchemse Veengoot (Koedijk) [m^3/s]
1/20Q	0,0	0,075
1/4Q	2,25	0,375
T10	36	2,7
T10 + 10 %	36	2,97
T100	48	3,6

Nieuwe Beek Lochem

De Nieuwe Beek in Lochem kan in hoogwatersituaties afgesloten worden van de Berkel. In de zomersituatie stroomt het water van de Nieuwe Beek richting de Lochemse Berg en komt niet meer in de beneden Berkel terecht. In de wintersituatie watert alleen het stedelijk gebied af op de Nieuwe Beek. Daarom wordt deze waterloop niet meegenomen in het model.

Inlaatwerk Twentekanaal

Het inlaatwerk wordt als instroompunt (SOBEK lateral) toegevoegd met een vast debiet. Hierdoor is het terugstromen van water vanuit de Berkel richting het Twentekanaal niet mogelijk. De volgende debieten worden voor dit inlaatwerk gehanteerd.

Tabel 2.2 Gehanteerde debieten inlaatwerk vanuit het Twentekanaal

Afvoersituatie	Referentiesituatie	Ontwerp
T100	0	0
T10	0	0
T10 + 10 %	0	0
1/4Q (T0,25)	0	0
1/20Q (T0,05)	1,0	1,3

Gebiedsafvoer

Voor het afwaterende gebied binnen het model is de standaardafvoer van gemiddeld 1 l/s/ha of 0,9 l/s/ha (afhankelijk van gebied) verschaald voor de verschillende afvoersituaties. Dit is gedaan door de afvoer van de T1-situatie te verschalen met een vaste factor weergegeven in tabel 2.3. Voor de afvoer van de klimaattoets (T10 + 10 %) is de gebied-specifieke T10-afvoer met 1,10 vermenigvuldigd.

Tabel 2.3 Verschalingsfactoren ten opzichte van de T=1-situatie voor 5 afvoersituaties, en corresponderende neerslag in mm/dag per neerslagstation

Afvoersituatie	Verschalingsfactor ten opzichte van T=1	Afvoer in mm/d per neerslagstation 'ac0.5', 'ac0.6', 'ac0.7', 'ac0.8', 'ac0.9', 'ac1', 'ac1.1', 'ac1.2', 'ac1.3'
T100	2	8.64, 10.368, 12.096, 13.824, 15.552, 17.28, 19.008, 20.736, 22.464
T10 + 10 %	1,65	7.128, 8.554, 9.979, 11.405, 12.830, 14.256, 15.682, 17.107, 18.533
T10	1,5	6.48, 7.776, 9.072, 10.368, 11.664, 12.96, 14.256, 15.552, 16.848
1/4Q (T0,25)	0,25	1.08, 1.296, 1.512, 1.728, 1.944, 2.16, 2.376, 2.592, 2.808
1/20Q (T0,05)	0,05	0.216, 0.2592, 0.3024, 0.3456, 0.3888, 0.432, 0.4752, 0.5184, 0.5616

Stuwen

In het algemeen hebben de stuwen in het model de oorspronkelijke sturing behouden. Voor de zomer is dit de sturing en ingestelde vaste hoogtes van de stuwen en gemalen conform de aangeleverde case ‘BK_ISG_ZOMER_5%Q’, Voor de winter is dit conform de case ‘BK_ISG_WINTER_10%Q’. Bij stuw Besselink, stuw Velhorst en stuw Hoge Weide is het streefpeil ingesteld op respectievelijk 8,34 m+NAP, 9,12 m+NAP en 9,82 m+NAP. Daarnaast is voor deze drie stuwen de ‘dead band’ aangepast van 10 cm naar 1 cm, wat er toe leidt dat het streefpeil strakker wordt gehandhaafd. Dit is in het model opgenomen om een goede vergelijking te kunnen maken met andere scenario’s.

Bodemruwheden

In het model zijn verschillende bodemruwheden aangehouden afhankelijk van de grootte en het soort waterloop. Voor de zomersituatie geldt:

- Berkel: Strickler (K_s) = 20
- Zijwaterlopen (groot): Strickler (K_s) = 9
- Zijwaterlopen (klein): Strickler (K_s) = 4
- Vispassage bij Velhorst: Strickler (K_s) = 4
- Betonnen bypasses en overlaten: Strickler (K_s) = 75

Voor de wintersituatie geldt:

- Berkel: Strickler (K S) = 32
- Zijwaterlopen (groot): Strickler (K S) = 25
- Zijwaterlopen (klein): Strickler (K S) = 16
- Vispassage bij Velhorst: Strickler (K S) = 16
- Betonnen bypasses en overlaten: Strickler (K_s) = 75

De bodemruwheid voor de overige afvoerscenario's (T=10, T=10+10 % en T=100) is gelijk aan de bodemruwheid van het wintermodel.

Initiële condities

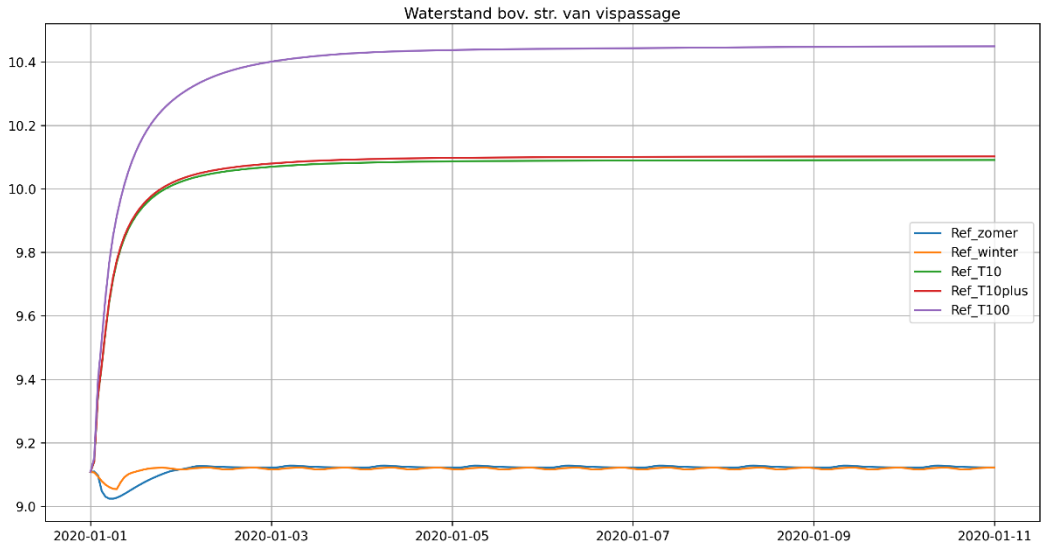
In het oorspronkelijk aangeleverde model was een restart file opgenomen. Omdat het netwerk is veranderd, en tevens omdat er aparte cases zijn gemaakt voor ieder afvoerscenario, kon deze restart file niet worden gebruikt bij de simulaties. Daarbij komt dat de ontwerpen ten opzichte van de referentiesituatie ook een significant ander netwerk hebben, waarbij ook geen restart file vanuit het referentiemodel kan worden gebruikt. Om deze reden is gekozen om een nieuwe restart file te maken op basis van de gemiddelde wintersituatie. Deze restart file is gebruikt in alle afvoerscenario's. Er wordt voor elke simulatie geverifieerd dat er geen vreemde spin-up verschijnselen optreden, en dat alle modelsimulaties een quasi steady-state bereiken[2].

Interpretatie van de modelresultaten

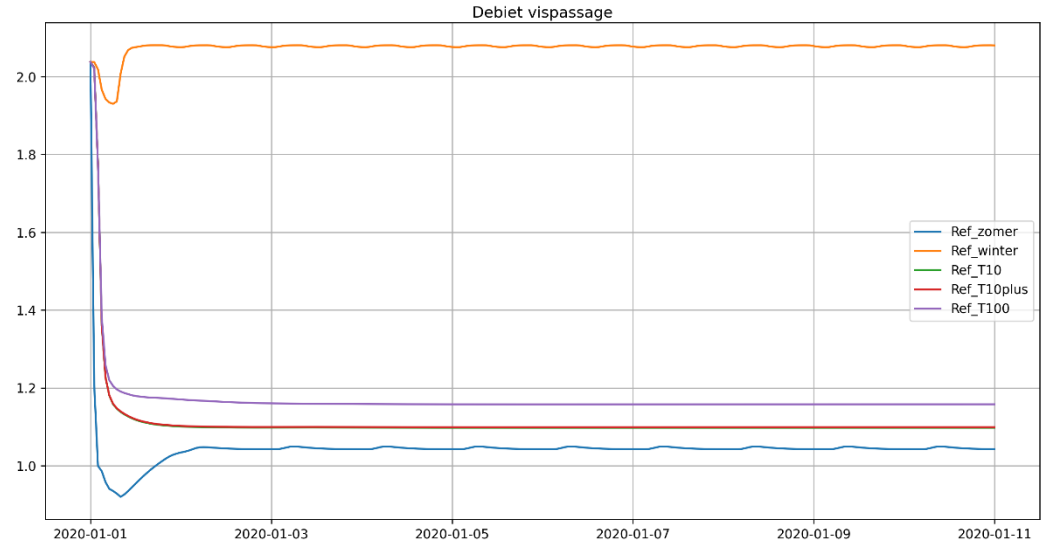
Omdat er sturing in het model is opgenomen, waardoor kleine fluctuaties in het peil optreden (quasi steady state), is gekozen om gemiddelde waarden te gebruiken voor de interpretatie van de modelresultaten. In ieder scenario wordt 10 dagen gesimuleerd, waarbij een stationaire situatie optreedt na een aantal dagen (dit tijdstip verschilt per afvoerscenario). Voor iedere afvoersituatie worden de resultaten (waterstanden, debieten en stroomsnelheden) gemiddeld over de laatste drie dagen van de simulatieperiode, omdat wordt verondersteld dat deze periode representatief is voor een stationaire situatie.

Hier onder is een figuur weergegeven van de waterstanden bovenstrooms van de vispassage (figuur 2.3), en debieten in de vispassage (figuur 2.4), voor alle afvoerscenario's. In figuur 2.5 zijn de locaties op de kaart weergegeven.

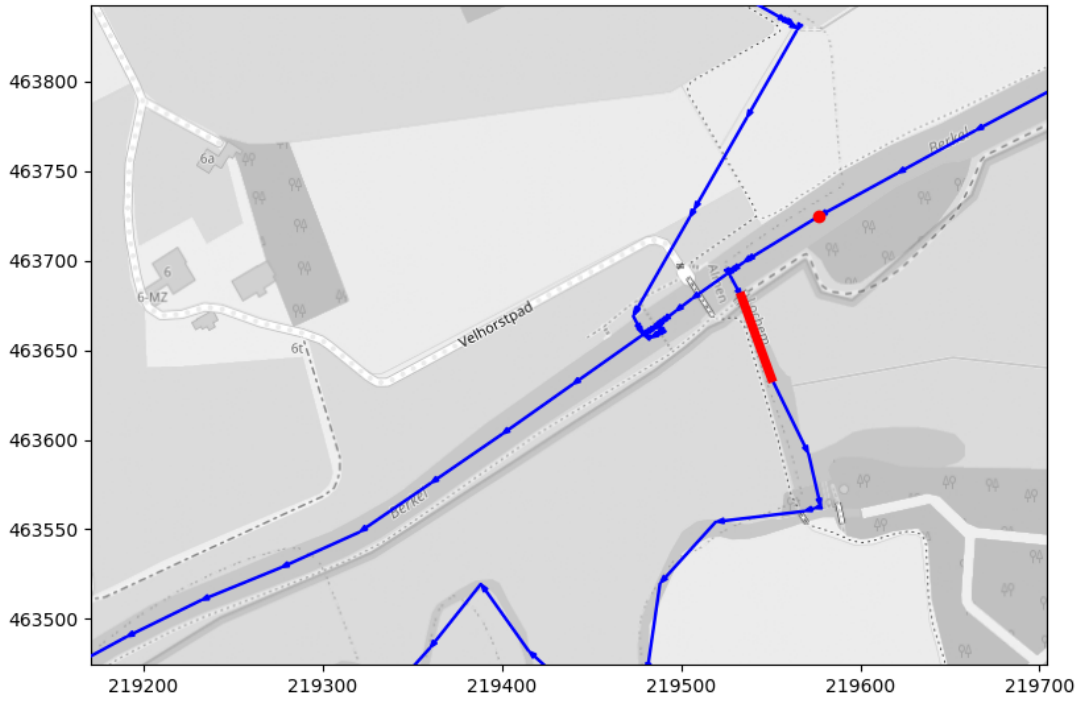
[2] Met quasi steady state wordt bedoeld dat er door de sturing (opgelegd aan stuwen en gemaal Westerholt) fluctuaties optreden rond de streefpeilen.



Figuur 2.3 Waterstand bovenstrooms van de vispassage voor alle afvoerscenario's. Hier is te zien dat er in alle scenario's een (quasi) steady state optreedt



Figuur 2.4 Debieten door de vispassage in alle afvoerscenario's



Figuur 2.5 Locatie van de hier boven gepresenteerde tijdreeksen van de waterstand (rode stip) en debiet (rode lijn), voor alle afvoerscenario's

2.1.3 Model validatie

Het SOBEK-model is gevalideerd op basis van de gemeten peilen. Hierbij is het gemiddelde peil voor de zomer- en wintersituatie per meetlocatie bepaald en vergeleken met de berekende zomer- en winterpeilen. Voor de validatie zijn de gemiddelde waterstanden van de laatste drie (van de tien) dagen van de simulatie gebruikt, om effecten van spin-up verschijnselen kwijt te raken.

Tabel 2.4 Vergelijking van het model met de berekende peilen voor de zomer en wintersituatie

Meetpunt	Gemiddelde zomer			Gemiddelde winter		
	Meting	SOBEK	**Verschil**	Meting	SOBEK	**Verschil**
Verdeelwerk	9,94	9,82	**-0,12**	9,97	9,86	**-0,11**
Rondweg Lochem	9,83	9,82	**-0,01**	9,79	9,83	**0,04**
Hoge Weide bovenstrooms	9,8	9,82	**0,02**	9,77	9,82	**0,05**
Hoge Weide benedenstrooms	9,2	9,13	**-0,07**	9,18	9,16	**-0,02**
Velhorst Bovenstrooms	9,08	9,11	**0,03**	9,09	9,12	**0,03**
Velhorst Benedenstrooms	8,44	8,36	**-0,08**	8,44	8,39	**-0,05**
Meander Almen	8,38	8,35	**-0,03**	8,39	8,36	**-0,03**
Besselink bovenstrooms	8,31	8,34	**0,03**	8,33	8,34	**0,01**
Besselink benedenstrooms	7,98	7,93	**-0,05**	7,98	7,96	**-0,02**
Meander Warken	7,96	7,92	**-0,04**	7,97	7,94	**-0,03**
Stuw Warken	7,91	7,91	**0**	7,92	7,92	**0**
Afwateringskanaal Eefde	7,91	7,91	**0**	7,89	7,91	**0,02**

Bij het verdeelwerk bij Lochem is de gemodelleerde waterstand in zowel de zomer- als wintersituatie onderschat. Dit komt omdat er in werkelijkheid een vispassage ligt die niet in het model is opgenomen, waardoor opstuwing ontstaat. Over het algemeen presteert het model goed, met afwijkingen minder dan 10 cm. De resultaten suggereren dat de opgelegde weerstand enigszins onderschat wordt, aangezien de gemodelleerde verhanglijnen over de trajecten flauwer zijn dan uit de metingen volgt. Over het traject Velhorst bovenstrooms – Hoge Weide benedenstrooms is bijvoorbeeld een verhang van 12 cm gemeten, waar SOBEK slechts een verhang van 2 cm berekent.

2.1.4 Conclusie

De afwijking tussen gemeten en berekend is in alle gevallen kleiner dan 10 cm en in de meeste gevallen kleiner dan 5 cm. Het model presteert goed genoeg voor de vraag. Een aandachtspunt is dat de berekende peilen bij de stuwen Velhorst en Hoge Weide enkele centimeters hoger zijn dan in Projectplan Waterwet is vastgelegd, dit is geen punt van aandacht voor deze rapportage en wordt dan ook niet verder in beschouwing genomen.

2.2 Grondwatermodel

2.2.1 Ontwerpuitgangspunten

De doelstellingen van de geohydrologische toetsing van het herinrichtingsgebied van de Berkel zijn:

- In beeld brengen van de huidige situatie (referentie) voor een zomersituatie en voor een wintersituatie
- Effecten op de grondwaterstand berekenen op basis van de verandering van de waterloop voor een zomersituatie en voor een wintersituatie
- Natschade in beeld brengen

De uitgangspunten en toetsingscriteria voor de geohydrologische analyse zijn als volgt:

- Geen verslechtering voor landbouw:
  - Eerste ontwerp steekproefsgewijs toetsen met tabellen (als verandering GxG op landbouwpercelen), als schades reëel zijn mogelijk DO nog toetsen met maatwerk waterwijzer
  - Omdat de validatie resultaten van het grondwatermodel niet helemaal voldoen aan de eisen (zie paragraaf 2.2.3 en 2.2.4), kan natschade niet betrouwbaar in beeld gebracht worden. In het VO wordt een globale inschatting gemaakt op basis van de waterwijzer tabellen (als verandering GXG op landbouwpercelen). In overleg met het waterschap wordt gekeken hoe natschade voor het DO in beeld gebracht wordt
  - Volgens beleid mag je natschade en droogteschade tegen elkaar wegstrepen. In de praktijk wordt wel gekeken naar natschade en vindt eventueel ophoging plaats. Op basis van de resultaten wordt nader ingevuld hoe hiermee wordt omgegaan
- Geen verslechtering van natuur:
  - Aandachtspunt is Kienveen (ter plaatse van Landgoed Velhorst), zie figuur 2.6. De eigenschappen van dit gebied zijn besproken met een ecoloog en puntsgewijs beschreven in het kader onder de figuur. De effecten worden kwalitatief beschreven op basis van aanwezige natuurwaarden (randvoorwaarden check op basis van database Runhaar, eventueel ecologische input vanuit TAUW meenemen)

- Toets op bebouwing, zowel kernen als losse bebouwing (top10 of BGT). Uitgangspunt is GHG 0,8 m-mv (richtlijn 0,7 +10 cm modelonzekerheid)

Figuur 2.6 Begrenzing Kienveen (blauw)

Eigenschappen en ecologie Kienveen:

- Dekzandruggetjes op Velhorst
- Kienveen is een kom, met hogere flanken
- Was ooit dichtgegroeid met bos, tot eind jaren ‘90 vorige eeuw
- Er is grondwaterafhankelijke natuur ontstaan
- Het laagste deel is nat schraalland met greppels en poelen
- Vermoedelijk leem in de bodem. Lokale kwelstromen.
- Hoog in landschap ten opzichte van ruimere omgeving
- Dichterbij de Berkel liggen ook een aantal schraallandjes, beekdal hooilandjes. Die zijn waarschijnlijk gevoeliger voor grondwaterstandsverandering als gevolg van herinrichting Berkel dan Kienveen

2.2.2 Modelopbouw

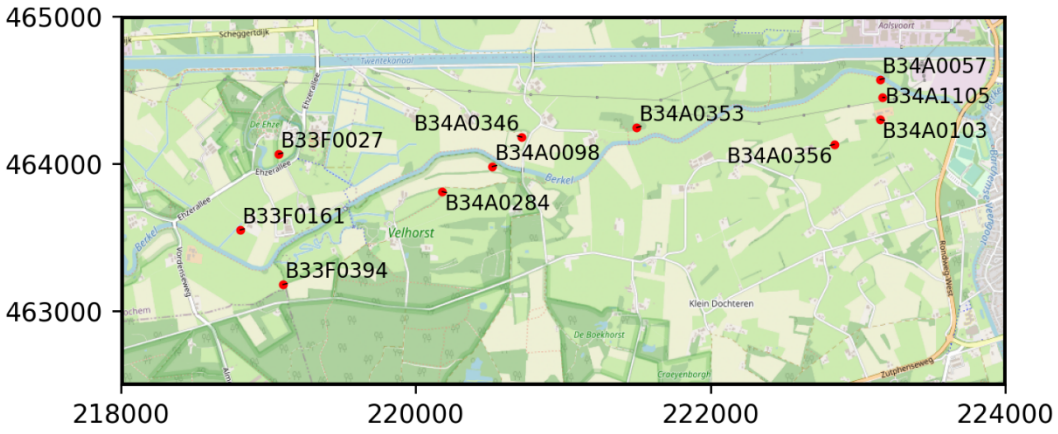
2.2.2.1 AMIGO v3.1

Voor het uitvoeren van de grondwaterberekeningen wordt gebruik gemaakt van het regionale grondwatermodel AMIGO, versie 3.1. AMIGO omvat het hele beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel. AMIGO versie 3.1 maakt gebruik van iMODFLOW versie 5.0 en rekent over de periode 1 april 2004 tot en met 31 maart 2020. Er kan gerekend worden met een ruimtelijke resolutie van 25x25m en 250x250 m.

2.2.2.2 Lagenmodel en parameters

AMIGO is opgebouwd uit 15 modellagen die vertaald zijn uit REGIS II v2.2, zie bijlage 1.
In de bijlage zijn ook de lengteprofielen uit de diepere ondergrond tot -50m+NAP gebaseerd op REGIS2.2 weergegeven en vergeleken met de profielen zoals die zijn opgenomen in AMIGO. De beide lagenmodellen komen goed overeen.

Het doorlaatvermogen (kD) en de weerstand (c) opgenomen in AMIGO voor de bovenste lagen in het herinrichtingsgebied van de Berkel zijn vergeleken met een aantal boringen, zie figuur 2.7 en tabel 2.5. De afwijkingen (in rood) zijn te verklaren. Voor boring B33F0161 is genoeg van de laag doorboord (80 %) om een weerstandwaarde af te leiden uit de boring, maar kwam de boring niet diep genoeg om tot de kleilaag KRTWk1 te reiken. In boring B33F0027 is in laag 2 een veenlaagje van 15 cm waargenomen op circa 2,5 m onder het maaiveld. Omliggende boringen laten deze laag niet zien, wat doet vermoeden dat het om een lokale laag gaat die we in het model kunnen verwaarlozen. Voor de vergeleken boringen zijn de kD- en c-waardes in het model in dezelfde ordegrootte als de boringen en is de trend over de modellagen nagenoeg gelijk.



Figuur 2.7 Locaties vergeleken boringen

Tabel 2.5 Doorlaatvermogen en weerstand, boring en model, voor eerste 7 lagen

	B33F0161		B33F0027		B33F0394		B34A0284		B34A0098		B34A0346		B34A0353		B34A0356		B34A0103		B34A0057		B34A1105	
laag	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod	kD_bor	kD_mod
1	47.0	5.9	8.9	5.3	7.8	1.5	13.3	10.4	29.9	6.6	9.7	12.0	13.9	7.3	3.7	7.3	20.5	0.1	40.2	14.2	1.2	11.5
2	2.4	0.1	8.5	11.4	36.0	8.3	11.9	6.6	9.0	3.0		4.6		1.5	21.1	10.8	64.4	14.2	12.4	4.9		10.6
3	243.6	790.0	718.3	822.0	28.7	736.7		778.9	594.0	802.1		782.0		740.5		526.7	326.0	470.3	188.3	361.8		401.5
4	507.0	1478.0	893.1	1345.9		1602.0		1470.3	1027.2	1480.1		1350.5		1132.5		900.3	563.0	839.5	167.1	641.0		709.3
5		20.0		2.7		48.1		0.1	0.4	0.1		0.1		0.1		0.1	2.5	0.1	11.4	25.7		27.9
6		0.1		0.1		0.1		0.1	0.8	0.1		0.1		0.1		123.8	9.4	82.4	132.9	238.3		174.9
7		0.1		0.1		0.1		0.1	0.8	0.1		0.1		0.1		0.1	0.1	0.1	0.8	0.1		0.1
	B33F0161		B33F0027		B33F0394		B34A0284		B34A0098		B34A0346		B34A0353		B34A0356		B34A0103		B34A0057		B34A1105	
laag	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod	c_bor	c_mod
1	0.0	23.9	0.0	8.4	0.0	5.9	14.0	28.5	62.5	20.8	62.5	38.3	0.0	26.4	0.0	12.5	0.0	0.1	177.5	49.3	142.5	27.5
2	0.0	0.1	22.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1		0.1		0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1		0.1
3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1		0.1		0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1		0.1
4	0.0	5171.5		2859.4		1816.3		0.1	0.0	0.1		0.1		0.1		0.1	0.0	0.1	0.0	0.1		0.1
5		0.1		828.0		736.0		0.1	0.0	0.1		0.1		0.1		10.8	132.8	692.0	0.0	0.1		82.3
6		0.1		0.1		0.1		0.1	0.0	0.1		0.1		0.1		0.1	7.2	0.1	0.0	0.1		0.1
7		0.1		0.1		0.1		0.1	0.0	0.1		0.1		0.1		0.1	0.0	0.1	0.0	0.1		0.1

2.2.2.3 Modelgrenzen

AMIGO hanteert de volgende begrenzing:

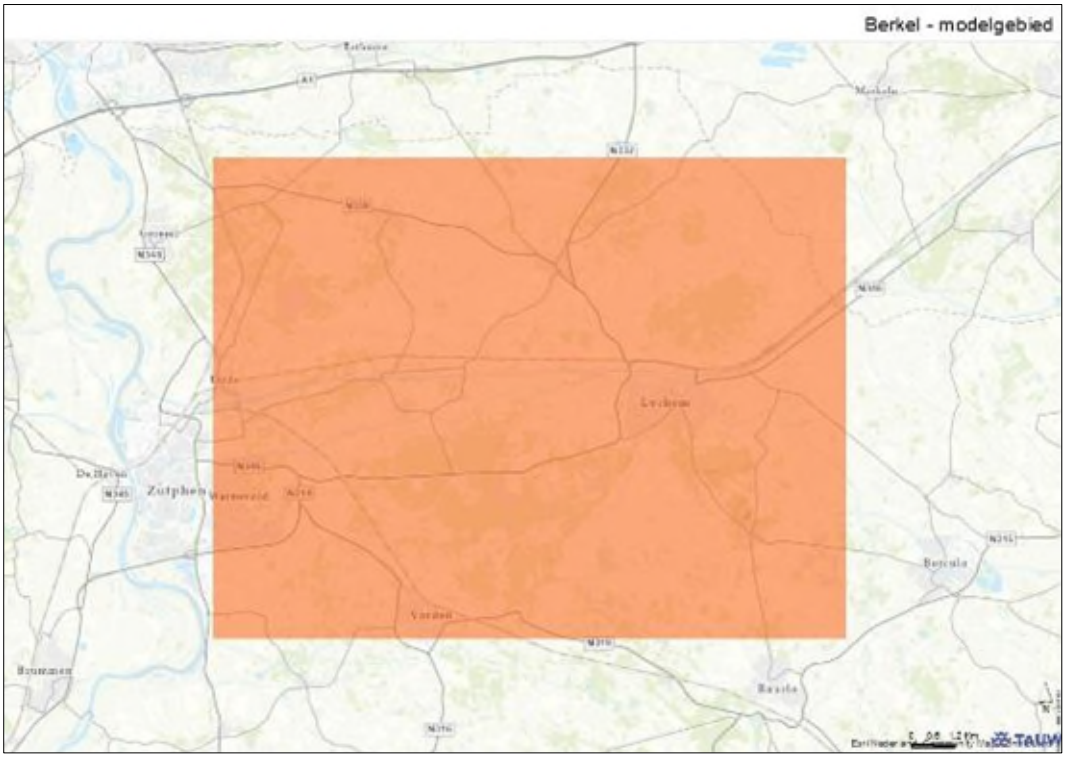
- Zuidzijde: y-coördinaat: 422000 m
- Westzijde: x-coördinaat 178000 m
- Noordzijde: y-coördinaat 484000 m
- Oostzijde: x-coördinaat 260000 m

Voor het modelgebied van de Berkel is een modelrand gekozen zodat de effecten van maatregelen in het watersysteem de rand niet zullen bereiken. Dit is doorgaans op drie- tot vijfmaal de spreidingslengte. De spreidingslengte voor het eerste watervoerende pakket (lagen BXz2, BXz3, BXz4, KRz3, KRz4, OOz1) in het gebied rondom de Berkel is in de ordegrootte van 2 km. De modelgrenzen van het grondwatermodel worden daarom op circa 6 km (drie spreidingslengtes) afstand van de Berkel gelegd. Voor de westzijde betekent dit dat de instroom van de Berkel in de IJssel (sluis bij Eefde) in het gebied is opgenomen.

De begrenzing van het modelgebied wordt daarmee:

- Zuidzijde: y-coördinaat 457250 m
- Westzijde: x-coördinaat 212250 m
- Noordzijde: y-coördinaat 470750 m
- Oostzijde: x-coördinaat 230000 m

De modelgrenzen zijn weergegeven in figuur 2.8.



Figuur 2.8 Modelgrenzen grondwatermodel (in oranje)

2.2.2.4 Watergangen

De meandering van de Berkel tussen het traject Zutphen – Almen (reeds uitgevoerd) is nog niet opgenomen in de river-package van de aangeleverde versie van AMIGO. Naast het ontwerptraject zal ook dit traject opgenomen worden in AMIGO aan de hand van het SOBEK-model.

Bodemweerstand

De conductance van de watergangen wordt berekend op basis van de bodemweerstand en het natte oppervlak van de watergang. In AMIGO wordt een variabele drainageweerstand aangehouden van 2,5 tot 30 dagen, afhankelijk van het type watersysteem en bodemtype. In tabel 2.6 zijn de gehanteerde drainageweerstanden gegeven voor de legger- en TOP10-watergangen. De weerstanden voor de TOP10-watergangen zijn hoger omdat verondersteld wordt dat deze watergangen minder goed worden onderhouden (meer slib en begroeiing).

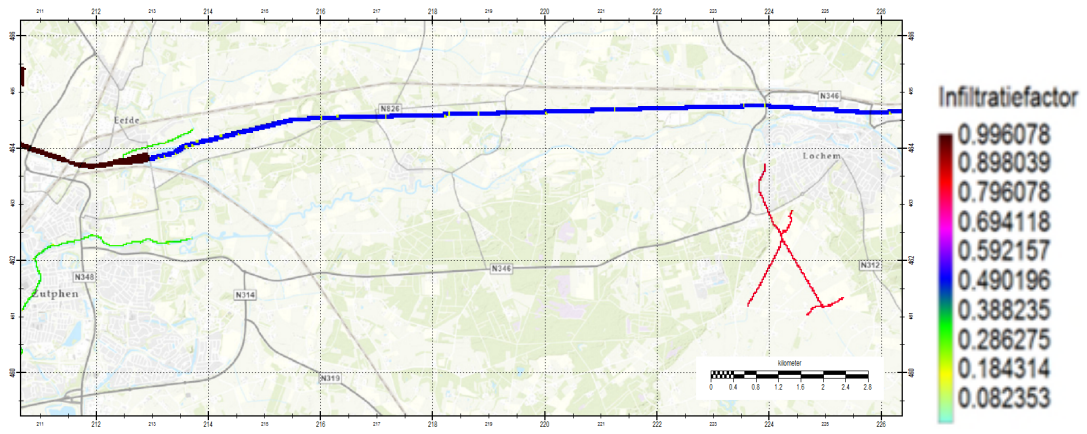
Tabel 2.6 Drainageweerstand legger- en TOP10-watergangen[3]

Bodemtype	Weerstand legger		Weerstand TOP10	
Grof zand	1,51	dagen	2,01	dagen
Fijn zand	1,52	dagen	2,02	dagen
Veen	2	dagen	2,5	dagen
Klei	7	dagen	7,5	dagen

Binnen het modelgebied vormt het Twentekanaal een uitzondering op de leggerwatergangen. Voor dit kanaal is een drainageweerstand van 50 dagen gehanteerd.
In AMIGO wordt de conductance opgelegd aan de eerste modellaag, oftewel van alle waterlopen wordt verondersteld dat ze alleen deze eerste laag doorsnijden.

2.2.2.5 Infiltratiefactor

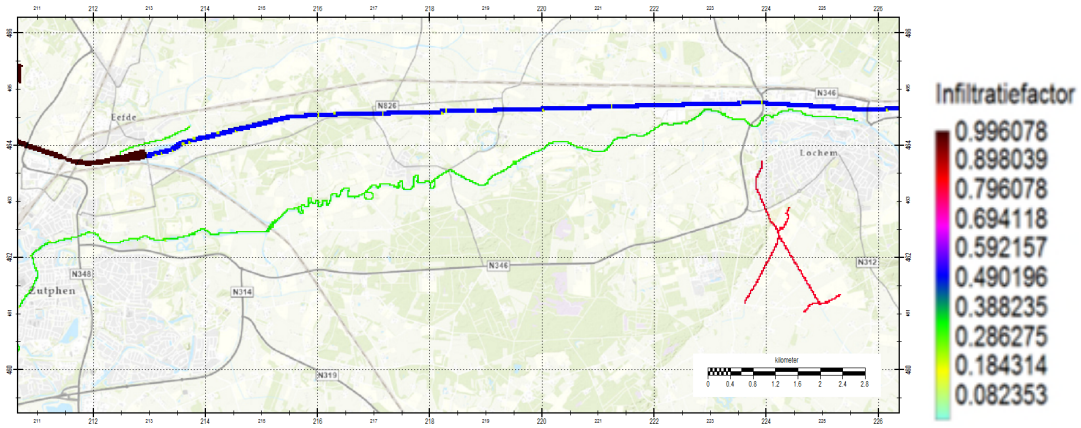
De infiltratiefactor is gelijk aan 0 voor het grootste deel van de waterlopen in het gebied van de Berkel tussen Lochem en Almen met als gevolg dat deze waterlopen alleen kunnen draineren. De waterlopen waarvoor dit niet geldt zijn uitgelicht in figuur 2.9 voor het gebied tussen Lochem en Zutphen. Voor het Twentekanaal is een infiltratiefactor van 0,5 gehanteerd. De IJssel en een stuk van het Twentekanaal nabij de IJssel hebben een infiltratiefactor van 1. De legger heeft in de winter een infiltratiefactor van 0,3 voor de aansluiting van de Eefse Beek en de Berkel op het Twentekanaal. Voor aansluiting van de Barchemse en de Wildenborchse Veengoot nabij de winning Lochem geldt een infiltratiefactor van 0,8. Doordat de veengoten een delen van het jaar draineren en met periodes ook infiltreren is een hogere infiltratiefactor dan elders gehanteerd.



Figuur 2.9 Infiltratiefactor >0 voor gebied Berkel tussen Lochem en Zutphen

[3] Arcadis, 'Vernieuwen grondwatermodel AMIGO, Waterschap Rijn en IJssel', 28 mei 2019

Vanuit een studie van WRIJ (Zutphen stroomt) wordt verwacht dat de Berkel circa 0,3 m^3/s kwijtraakt op het traject vanaf de inlaat van het Twentekanaal naar stuw Warken bij Zutphen.[4] Vanuit dit gegeven is het niet realistisch om de infiltratiefactor op 0 te houden voor de Berkel, maar om hem aan te passen naar 0,3 (conform vergelijkbare watergangen). In figuur 2.9 zijn de infiltratiefactoren voor het oorspronkelijke model weergegeven. In figuur 2.10 zijn de infiltratiefactoren voor het aangepaste model weergegeven.



Figuur 2.10 Aangepaste Infiltratiefactor voor de Berkel tussen Lochem en Zutphen

2.2.2.6 Overlandflow en drainage

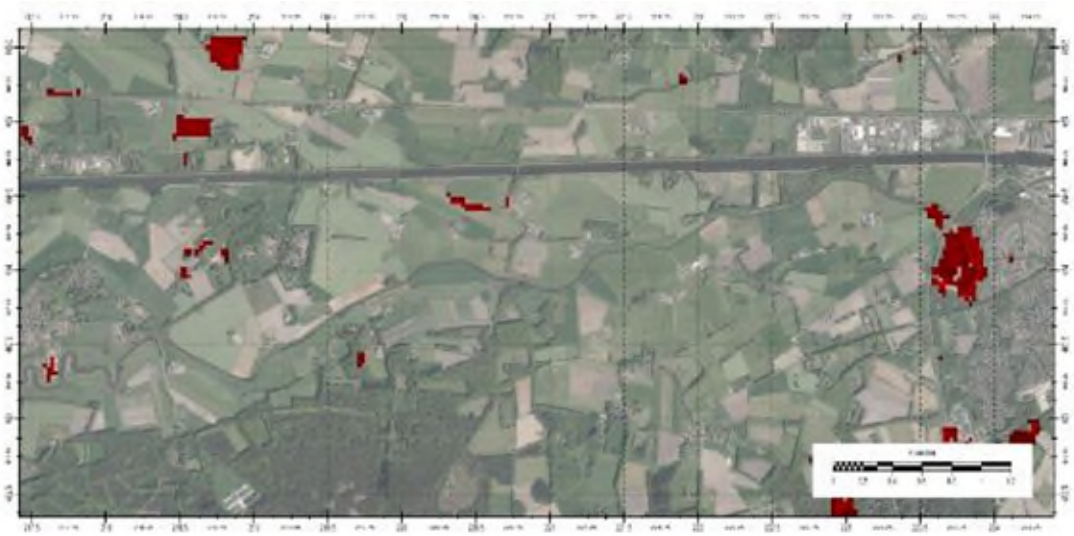
Overlandflow kan worden gezien als een ontwatering op / boven maaiveldniveau. In het maaiveldhoogtebestand in AMIGO zijn alle lokale laagtes en waterpartijen opgevuld of uit het bestand gehaald en vindt overland flow plaats vanaf een hoogte van 5 cm boven dit gecorrigeerde maaiveld.[5] Dit betekent dat een aanpassing in het model niet nodig is voor het doorrekenen van het ontwerp.

De buisdrainagediepte per landgebruiksklasse is gebaseerd op de WUR buisdrainagekaart en de buisdrainageweerstand is 70 dagen voor alle landgebruiksfuncties. De volgende aanvullende aanpassingen zijn gedaan:

- Drainage in stedelijk gebied en onder infrastructuur is uitgeschakeld
- Daar waar het drainageniveau lager is dan het streefpeil, is het drainageniveau aangepast naar het streefpeil van de legger

De resulterende drainagekaart is weergegeven in figuur 2.11.

[4] Email WRIJ/D. Bol, 'Herinrichting de Berkel (met Ploegam)/AMIGO3.1 infiltratiefactor', 7 juli 2022
[5] Arcadis, 'Vernieuwen grondwatermodel AMIGO, Waterschap Rijn en IJssel', 28 mei 2019



Figuur 2.11 Drainagekaart

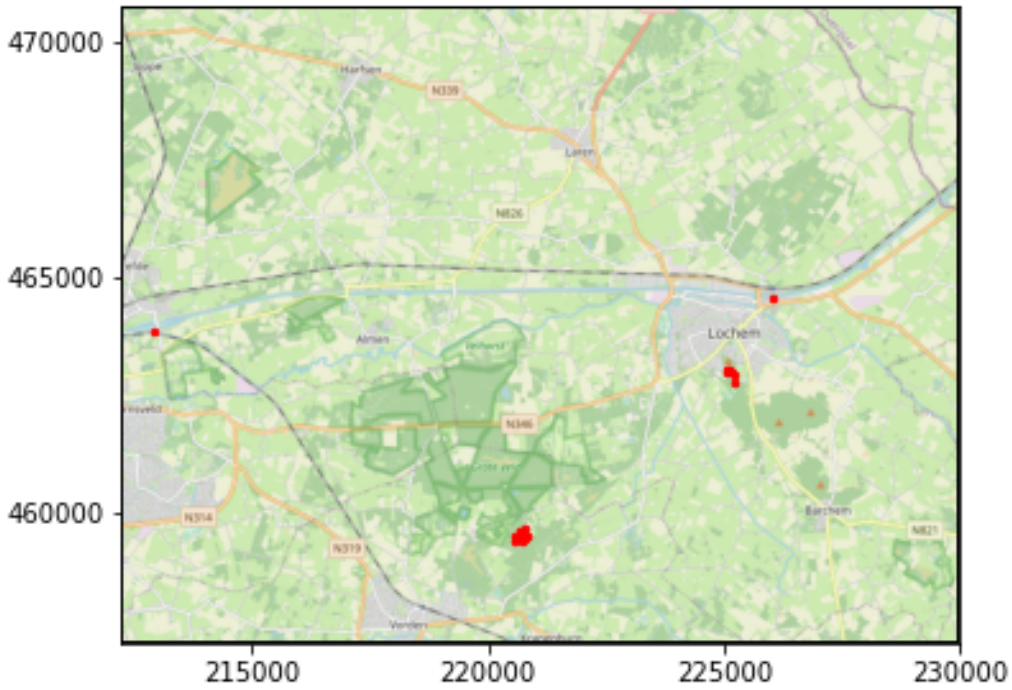
Binnen het project van de Berkel is een grove inventarisatie gedaan van de werkelijke drainage in het gebied. Ongeveer 70 % van de boeren is gesproken, deze geven allen aan geen drainage te hebben.

2.2.2.7 Onttrekkingen

De onttrekkingen in AMIGO zijn afkomstig van het onttrekkingenbestand van Waterschap Rijn en IJssel (versie 2 aug 2018). De maanddebieten zijn opgenomen over de periode 1989-2016 en vervolgens verlengd tot en met januari 2020. In het modelgebied Berkel bevinden zich een aantal grondwateronttrekkingen:

- Een bemaling nabij de sluis van Eefde toegekend aan laag 3 met een mediaan debiet van -244,1 m^3/maand
- Drinkwaterwinning Dennewater nabij Vorden toegekend aan laag 4 en verspreid over 9 putten met een totaal mediaan debiet van -7.143,3 m^3/maand
- Drinkwaterwinning Lochemse Berg toegekend aan lagen 6 en 9 en verspreid over 6 putten met een totaal mediaan debiet van -4.603,2 m^3/maand
- Een onttrekking (overig) ten noordoosten van Lochem toegekend aan laag 14 met een mediaan debiet van -1.367,3 m^3/maand

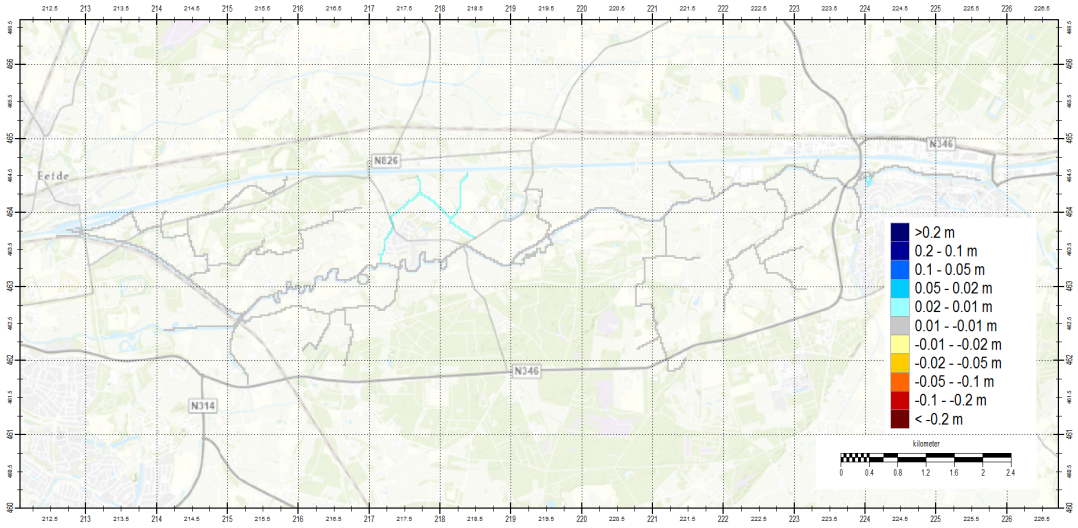
De onttrekkingen zijn weergegeven in figuur 2.12. Gezien de geplande werkzaamheden rondom de Berkel zullen geen significante verschillen ten aanzien van de winningen plaatsvinden.



Figuur 2.12 Grondwateronttrekkingen in modelgebied Berkel (blauw)

2.2.3 Model validatie

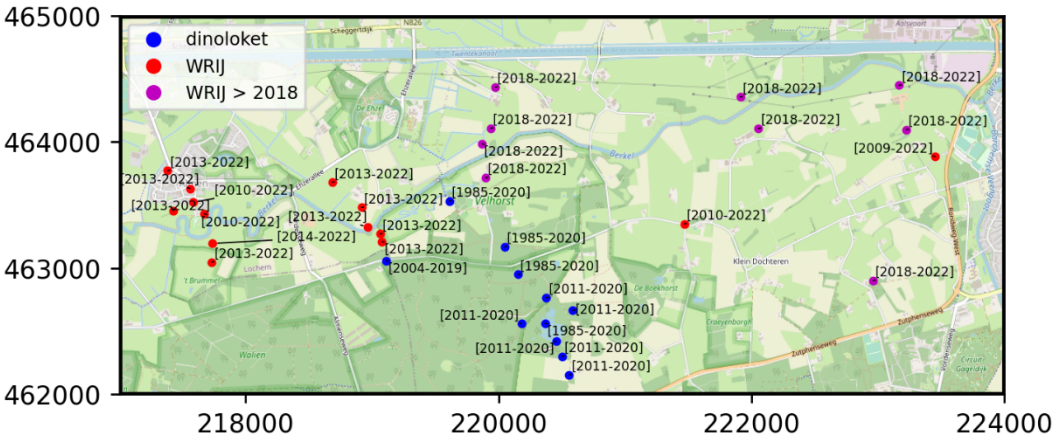
Voor de berekeningen met het grondwatermodel zijn de gemiddelde winter- en zomersituatie voor de referentiesituatie overgenomen uit het SOBEK-model (naam cases: Ref_zomer en Ref_winter). De data is geëxporteerd op dag 20200110 en omgezet naar een run voor het grondwatermodel: referentie. In de run zijn de gegevens voor de wintersituatie ingevoerd over de periode oktober tot en met maart en de gegevens voor de zomersituatie over de periode april tot en met september. Deze export verschilt van de export van het oppervlaktewatermodel omdat daar het resultaat is weergegeven van het gemiddelde over de laatste drie dagen van de simulatieperiode (paragraaf 2.1.2). Ten opzichte van de export van één dag treedt een peilverschil op van enkele millimeters in de zomersituatie tot maximaal 1,2 cm in de wintersituatie, zie figuur 2.13. Bovendien is voor de referentiesituatie de infiltratiefactor van de Berkel aangepast van 0 naar 0,3, zie paragraaf 2.2.2.5.



Figuur 2.13 Verschilplot peil wintersituatie export op 20200110 minus export van het gemiddelde over periode 20200108 tot en met 20200110

2.2.3.1 GXG

Voor de validatie van het grondwatermodel is gekozen voor een set peilbuizen uit DINOloket rondom de Berkel met meetgegevens in de periode 2011 – 2019. Deze meetgegevens zijn aangevuld met WRIJ-data voor het gebied met vergelijkbare meetperiode. Ook zijn er een aantal peilbuizen met WRIJ-data geselecteerd met een meetperiode vanaf 2018. De locaties de peilbuizen zijn weergegeven in figuur 2.14.

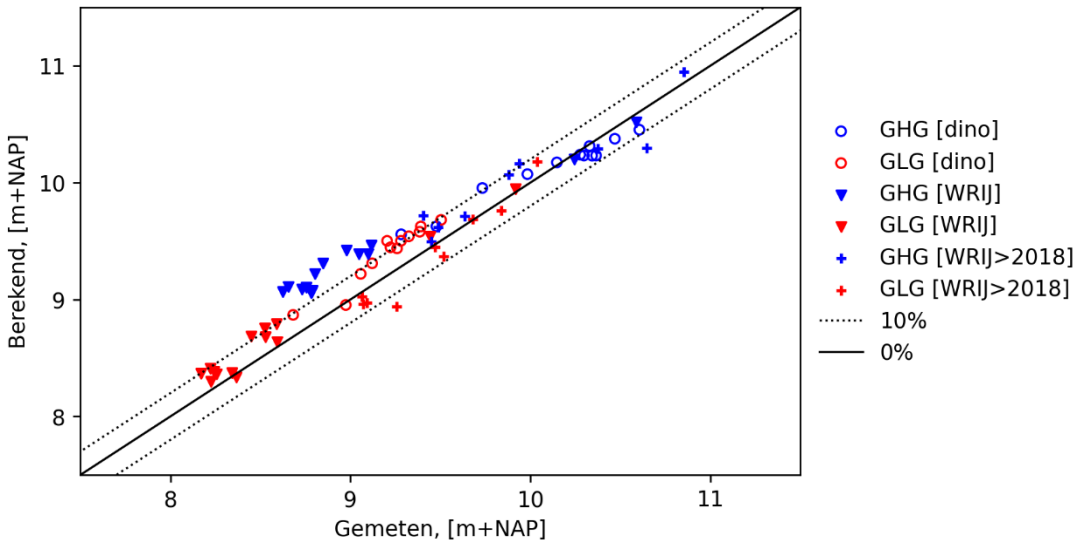


Figuur 2.14 Peilbuislocaties validatieset met meetperiode

In figuur 2.15 zijn de gemeten en berekende GHG en GLG tegen elkaar uitgezet met referentielijnen die een afwijking van 10 % en 0 % aangeven van het grondwaterstandsverloop. In het gebied van de Berkel tussen Almen en Lochem is dit ongeveer 2 m, zodat de 10 %-lijn ±0,2 m afwijking weergeeft. In figuur 2.16 en figuur 2.17 zijn de GHG en GLG van deze peilbuizen nogmaals weergegeven op de kaart gelabeld met het verschil van meting en de berekening. In tabel 2.7 zijn ook de verschillen en dynamiek van de gemeten en berekende grondwaterstanden weergegeven. Voor het bepalen van de GxG is het criterium aangehouden dat een jaar wordt meegenomen wanneer er minimaal 20 metingen van dat jaar beschikbaar zijn.

Uit de resultaten blijkt dat de afwijking van de berekende GxG's ten opzichte van de gemeten GxG's maximaal 46 cm is voor de GHG en 31 cm voor de GLG. Voor het merendeel ligt de gemeten waarde hierbij onder de berekende waarde en laat het model een resultaat zien dat te nat is. De afwijkingen zijn het grootst voor de WRIJ metingen, en dan met name de GHG, in de buurt van Almen. Verder naar het westen (Lochem) worden de afwijkingen kleiner. In bijlage 2 zijn een aantal tijdreeksen opgenomen die dit beeld bevestigen. In de bodemopbouw neemt de zandlaag van Kreftenheye (KRz2 en KRz3) toe in dikte van west naar oost, zie ook bijlage 1. Juist in dit dikkere deel worden de grondwaterstanden te hoog (nat) gemodelleerd. Als we kijken naar tijdreeksen wordt dit beeld bevestigd; de berekende GHG's zijn een stuk hoger dan de WRIJ-metingen.

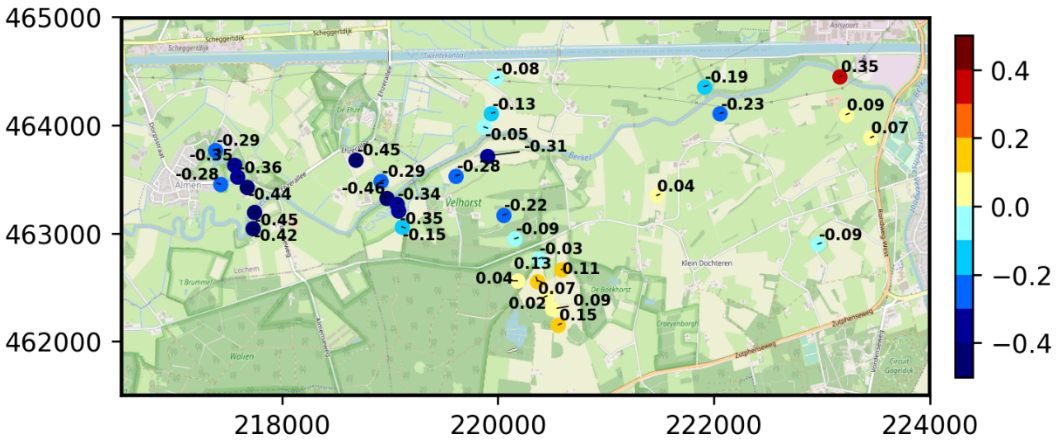
Wat opvalt is dat de GHG-verschillen tussen meting en berekening benedenstrooms groter zijn dan bovenstrooms en dat het model benedenstrooms natter modelleert. Voor de GLG verschillen is het model bovenstrooms te droog en benedenstrooms te nat. Uit de validatie van het oppervlaktewatermodel (paragraaf 2.1.3) bleek al dat het verhang over traject Velhorst bovenstrooms – Hoge Weide benedenstrooms door het model onderschat wordt met 10 cm (12 cm gemeten, 2 cm berekend). Het gemiddelde peil komt dus overeen, maar over de stuwpanden van de Berkel zit je bovenstrooms te droog en benedenstrooms te nat. Deze gevoeligheid voor het peil is vermoedelijk ook terug te zien in de validatie van het grondwatermodel voor de zomersituatie. In dit geval zijn de resultaten bovenstrooms van het stuwpand te droog en benedenstrooms te nat. In de wintersituatie zijn de resultaten voornamelijk te nat en is de afwijking benedenstrooms groter dan bovenstrooms. In werkelijkheid zou de afwijking in de wintersituatie bovenstrooms dus groter moeten zijn (=natter) en benedenstrooms kleiner (=droger, maar nog steeds te nat in vergelijking met de metingen).



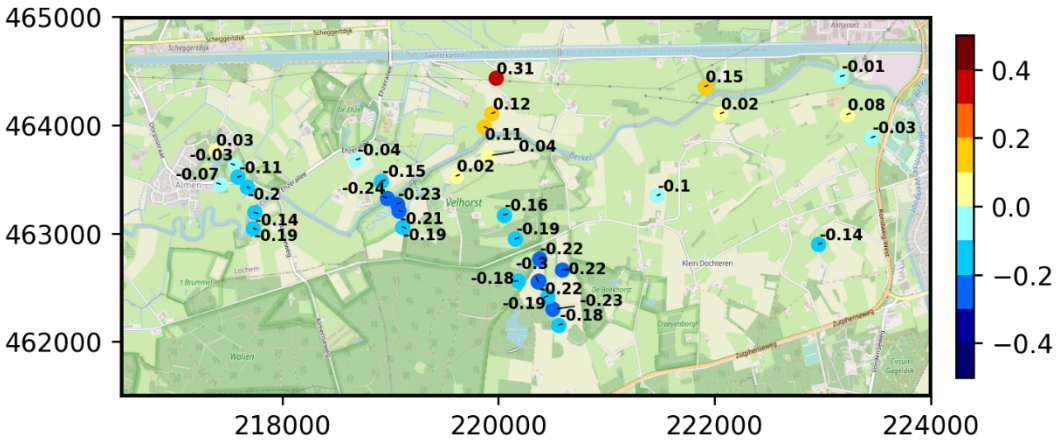
Figuur 2.15 Verschil tussen gemeten en berekende GLG en GHG

Tabel 2.7 Verschillen en dynamiek van berekende en gemeten grondwaterstanden

	Berekend		Gemeten		Afwijking	
	min (m)	max (m)	min (m)	max (m)	gemiddeld (m)	Absoluut (m)
GHG	9,06	10,95	8,62	10,85	-0,14	0,21
GLG	8,30	10,18	8,17	10,04	-0,09	0,14
Dynamiek	0,52	0,81	0,31	1,16	-0,06	0,24



Figuur 2.16 Verschil GHG (gemeten – berekend) in meters



Figuur 2.17 Verschil GLG (gemeten – berekend) in meters

2.2.3.2 Infiltratiefactor

De aanpassing van de infiltratiefactor van de Berkel van 0 naar 0,3 heeft gevolgen voor de hoeveelheid water die infiltreert. De riverflux is geanalyseerd om het effect van het ophogen van de infiltratiefactor te bepalen. Voor het stroomgebied van de Berkel van Lochem tot Velhorst wordt voor de referentiesituatie in de winter gemiddeld 0,2 m^3/s geïnfiltreerd (flux in) en in de zomer gemiddeld 0,4 m^3/s. Dat komt grofweg overeen met de 0,3 m^3/s die de Berkel kwijt zou raken tussen de inlaat bij het Twentekanaal en Warken.

De afvoer (flux out) naar de Berkel bedraag in de winter gemiddeld 6,0 m^3/s en in de zomer gemiddeld 1,4 m^3/s. In vergelijking met de SOBEK-resultaten (paragraaf 3.1.1) draineert het grondwatermodel meer. Opvallend is hierbij dat het resultaat van het grondwatermodel voor het Berkeltraject alsnog te nat is, zoals in paragraaf 2.2.3 is geconstateerd.

2.2.4 Conclusie

Uit de validatie kan geconcludeerd worden dat de prestatie van het grondwatermodel niet zo goed is. Het traject tussen Lochem en Almen wordt te nat gemodelleerd, met name in de omgeving van Almen en Velhorst. De grondwaterstanden zijn daar significant hoger dan de metingen, voornamelijk afkomstig van WRIJ-peilbuizen. Het grondwatermodel is gekalibreerd met andere peilbuizen die ook beschikbaar zijn in DINOloket en presteert op basis daarvan wel goed. Dit komt ook naar voren uit de validatie.

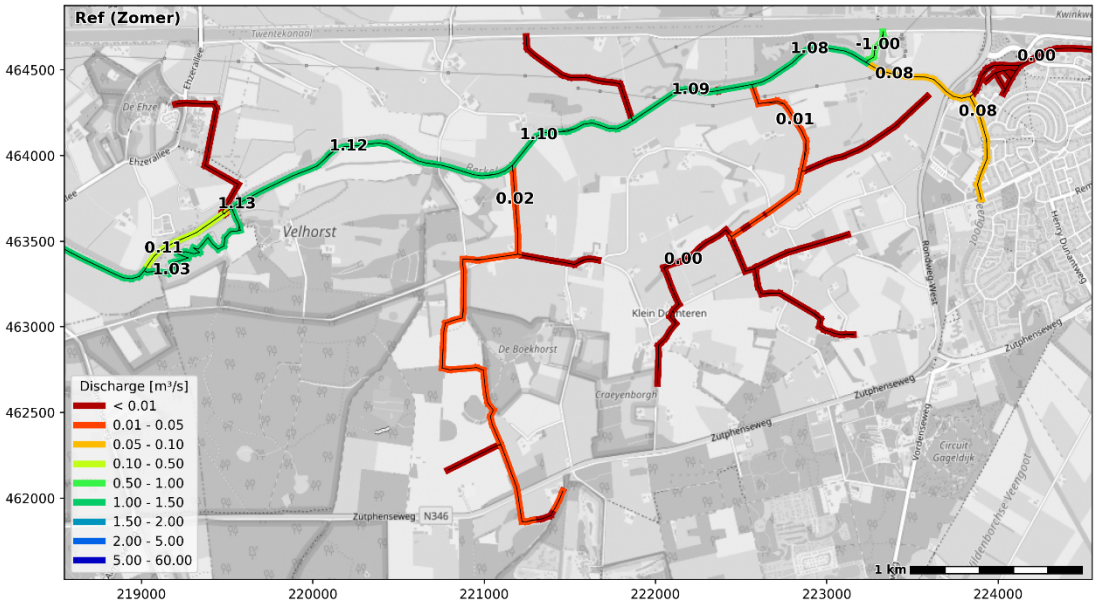
Er zijn een aantal aanpassingen aan het grondwatermodel te bedenken die het gedrag van het model zouden kunnen verbeteren. De meest voor de hand liggende aanpassing zou zijn om de weerstand van de Berkel te verlagen. De Berkel gaat dan meer draineren en de GHG's worden dan afgevlakt. Uit de validatie blijkt echter dat de Berkel al teveel draineert in vergelijking met de SOBEK-debieten. Verhogen van de weerstand is daarmee geen optie om tot een realistischer model te komen. Uit de analyse is ook naar voren gekomen dat het watervoerend pakket vrij homogeen lijkt in het gebied en dat er geen duidelijke storende lagen aanwezig kunnen zijn. Hier valt gericht een aanpassing in te doen en een nieuwe kalibratie van de doorlaatvermogens (kD's) zou een aanzienlijke inspanning en doorlooptijd vragen. Deze mate van inspanning staat niet in verhouding tot de verwachte kleinschalige effecten op de grondwaterstanden van de voorziene aanpassingen aan de Berkel. Op basis hiervan is ervoor gekozen om het model te laten zoals het is. Door nadruk te leggen op de verschillen valt de afwijking van het ontwerp grotendeels weg ten opzichte van de afwijking van de referentie. Bovendien kan bij de interpretatie van het ontwerp de afwijking in gedachten worden gehouden. Het effect op landbouw en landbouwschade wordt geanalyseerd op basis van absolute grondwaterstanden. In dat geval kan worden gewerkt met superpositie van de berekende effecten op de bestaande metingen van de peilbuizen om een inschatting te kunnen doen van mogelijke landbouwschade. In het VO++ is nog indicatief gekeken naar schade op basis van de modelresultaten. Hierbij is gewerkt met superpositie van de verschillen op basis van beschikbare meetgegevens. Voor het DO moet nader worden afgestemd hoe de effecten berekend met Waterwijzer op basis van absolute waarden juist kunnen worden weergegeven en/of geïnterpreteerd.

3 Huidige situatie

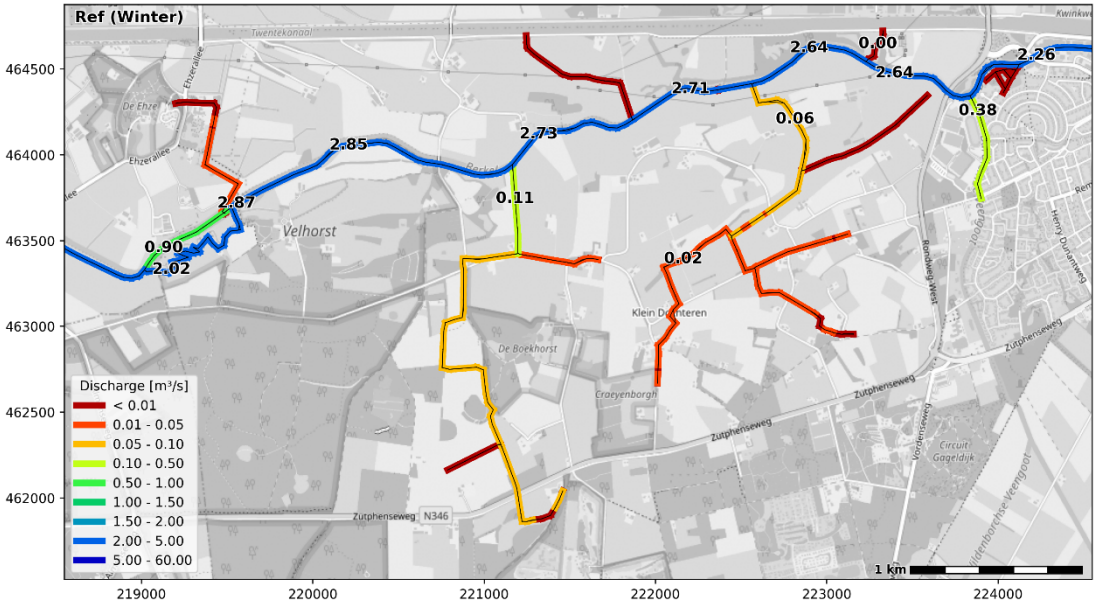
3.1 Oppervlaktewatermodel

3.1.1 Debieten

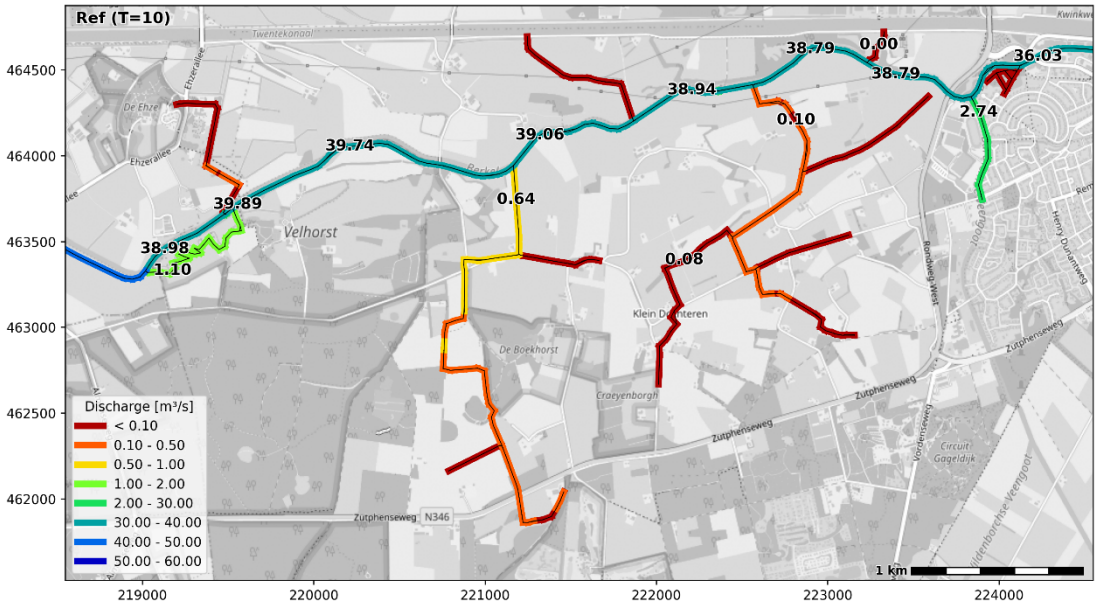
In onderstaande figuren zijn de gemodelleerde debieten weergegeven voor de gemiddelde zomer en wintersituatie en de extremere situaties (T10, T10+10 % en T=100). In de gemiddelde zomersituatie gaat vrijwel alle afvoer (circa 90 %) over de nevengeul bij Velhorst. In de winter bedraagt dit circa 70 %. In de extreme afvoersituaties gaat vrijwel alles over de stuw, en neemt het debiet over de nevengeul juist weer af.



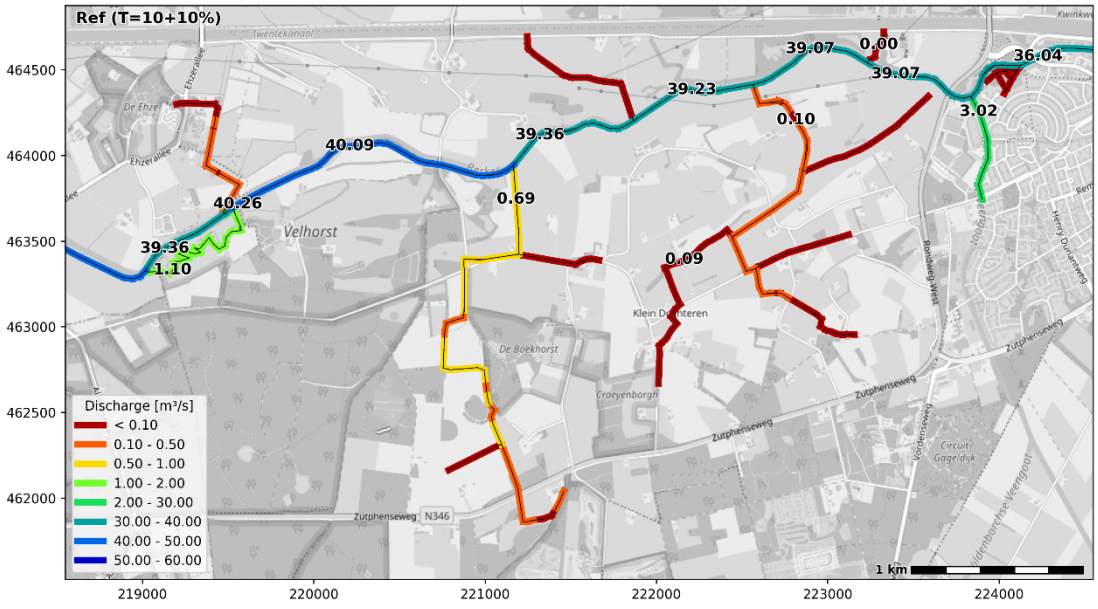
Figuur 3.1 Gemodelleerde debieten in de huidige situatie (gemiddelde zomersituatie)



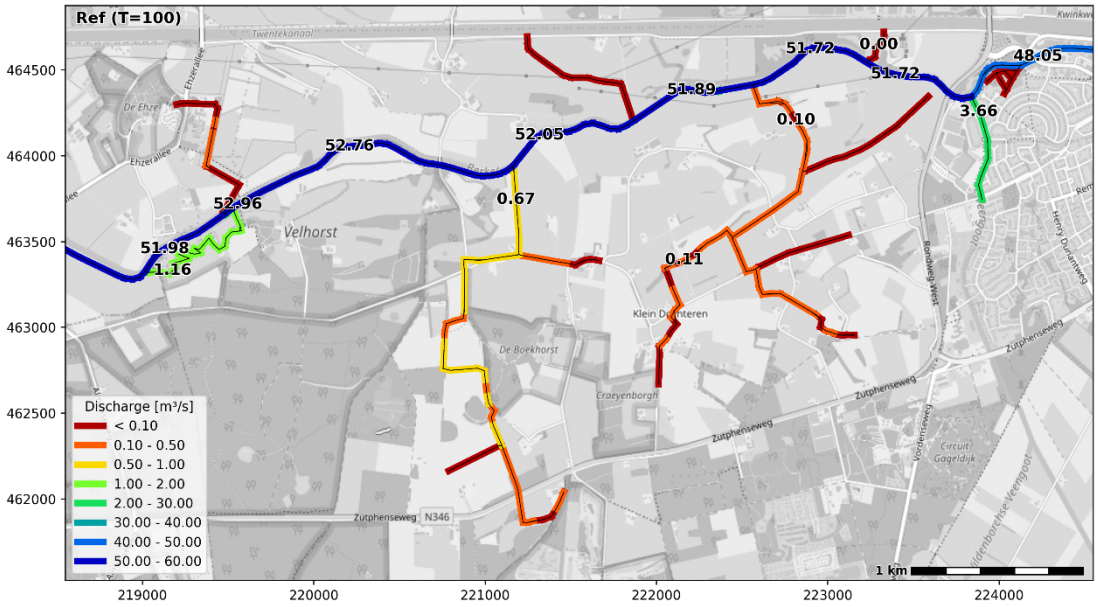
Figuur 3.2 Gemodelleerde debieten in de huidige situatie (gemiddelde wintersituatie)



Figuur 3.3 Gemodelleerde debieten in de huidige situatie (T=10-situatie)



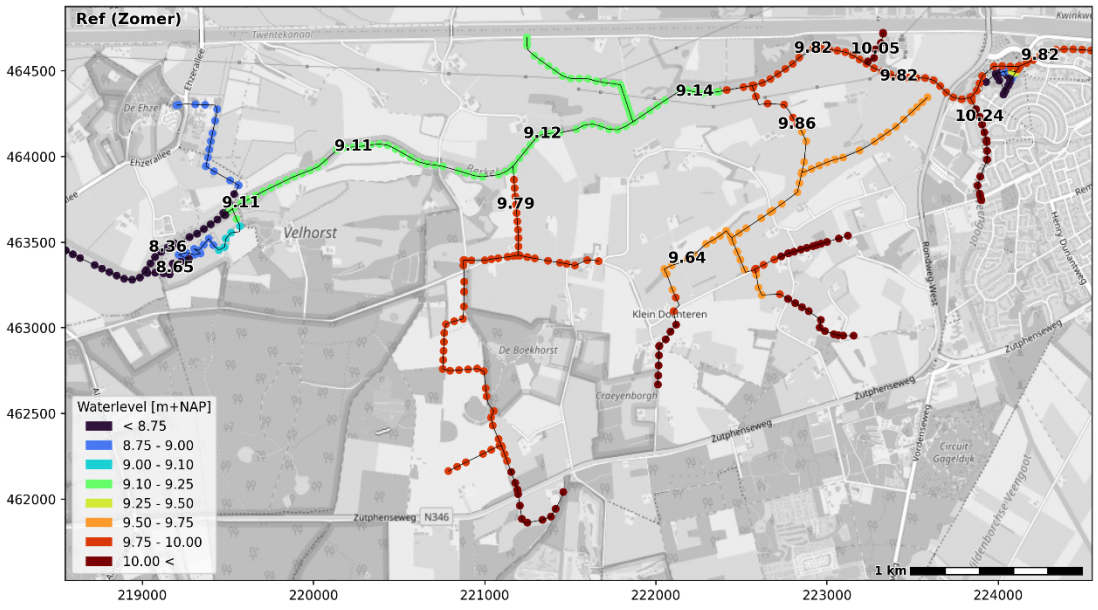
Figuur 3.4 Gemodelleerde debieten in de huidige situatie (T=10+10 %-situatie)



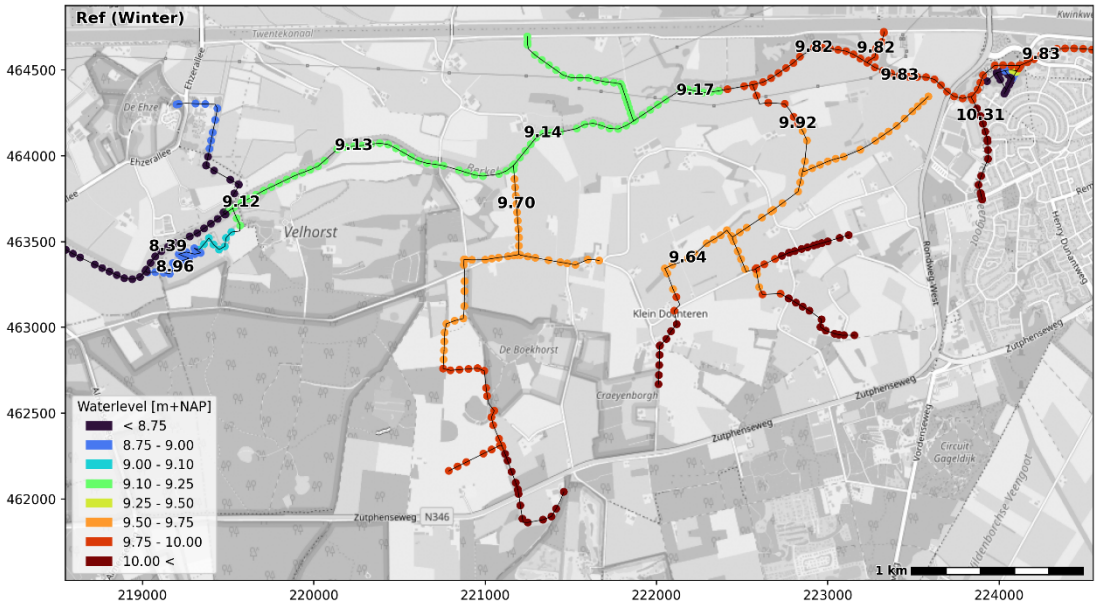
Figuur 3.5 Gemodelleerde debieten in de huidige situatie (T=100-situatie)

3.1.2 Waterstanden

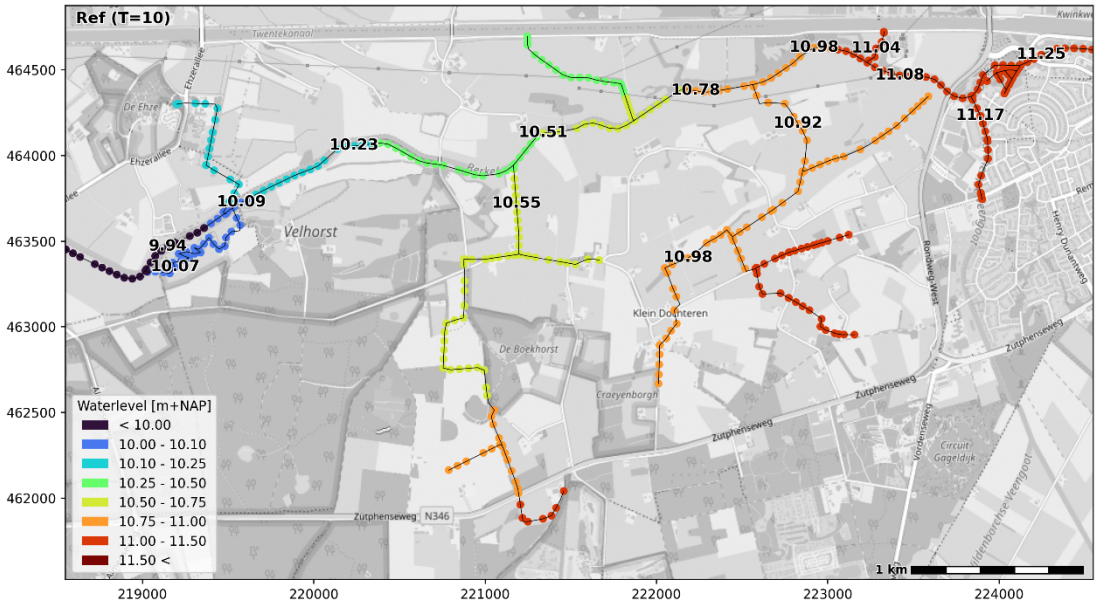
In onderstaande figuren zijn de waterstanden ten opzichte van NAP weergeven voor de verschillende gemodelleerde situaties. Daarnaast is de waterdiepte getoetst, deze voldoet aan de uitgangspunten voor de huidige situatie. Ook ten aanzien van de doorvaarthoogte bij bruggen zijn er geen knelpunten in de gemiddelde zomer- en wintersituatie.



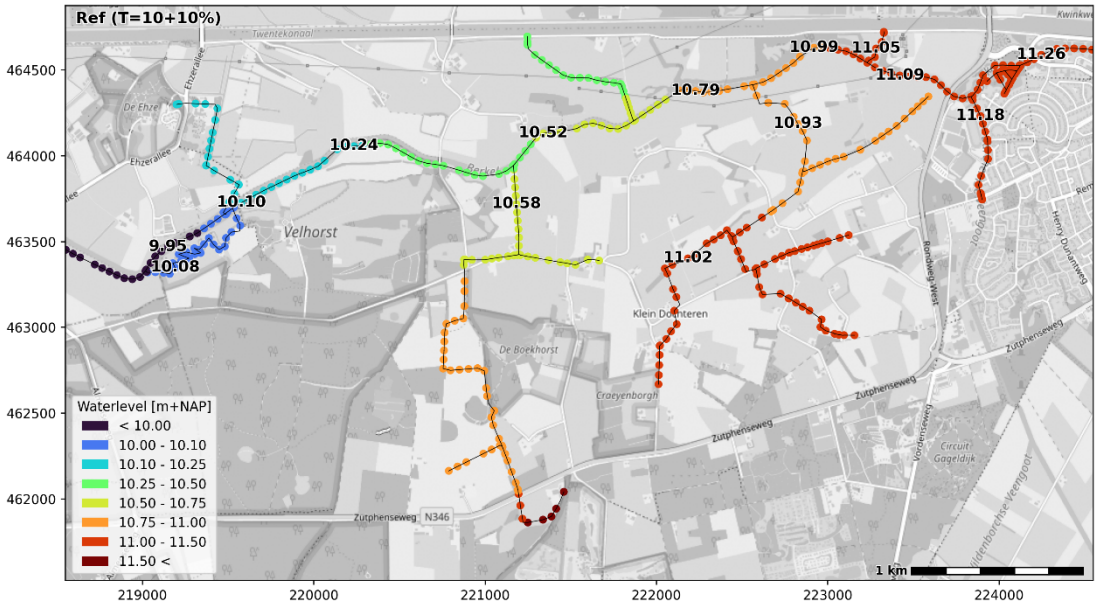
Figuur 3.6 Gemodelleerde waterstanden (m + NAP) in de huidige situatie (gemiddelde zomersituatie)



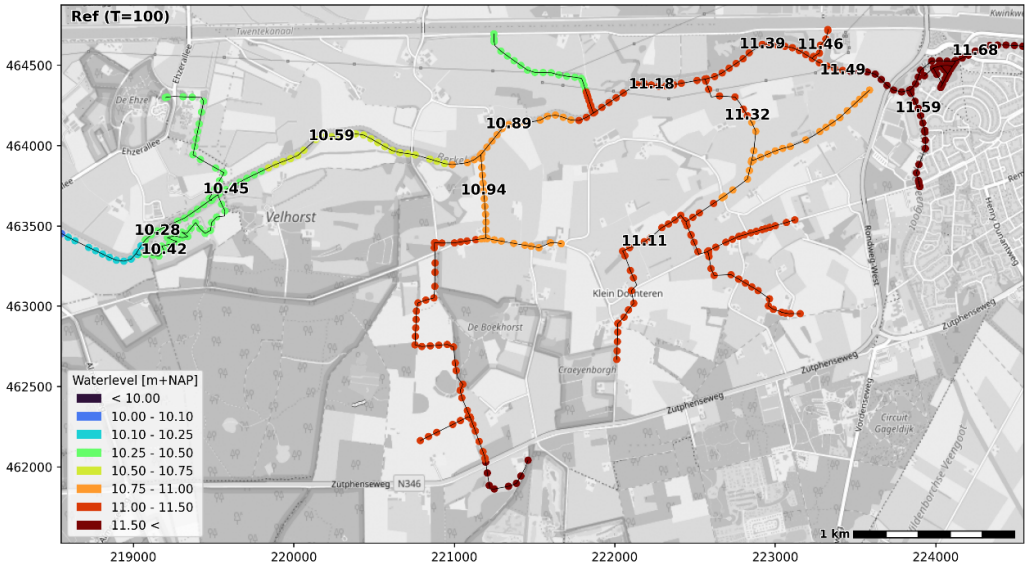
Figuur 3.7 Gemodelleerde waterstanden (m + NAP) in de huidige situatie (gemiddelde wintersituatie)



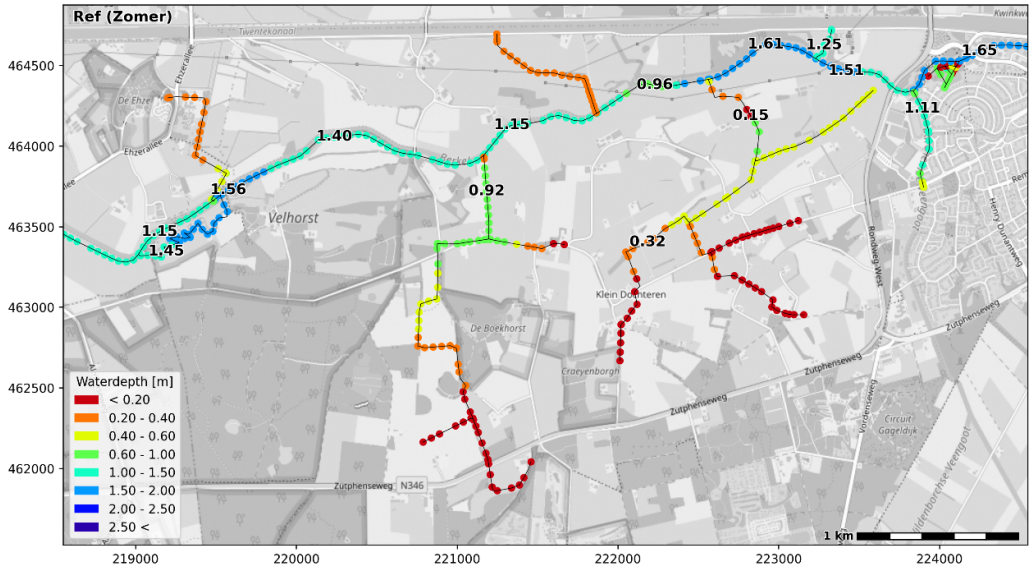
Figuur 3.8 Gemodelleerde waterstanden (m + NAP) in de huidige situatie (T=10-situatie)



Figuur 3.9 Gemodelleerde waterstanden (m + NAP) in de huidige situatie (T=10+10 %-situatie)



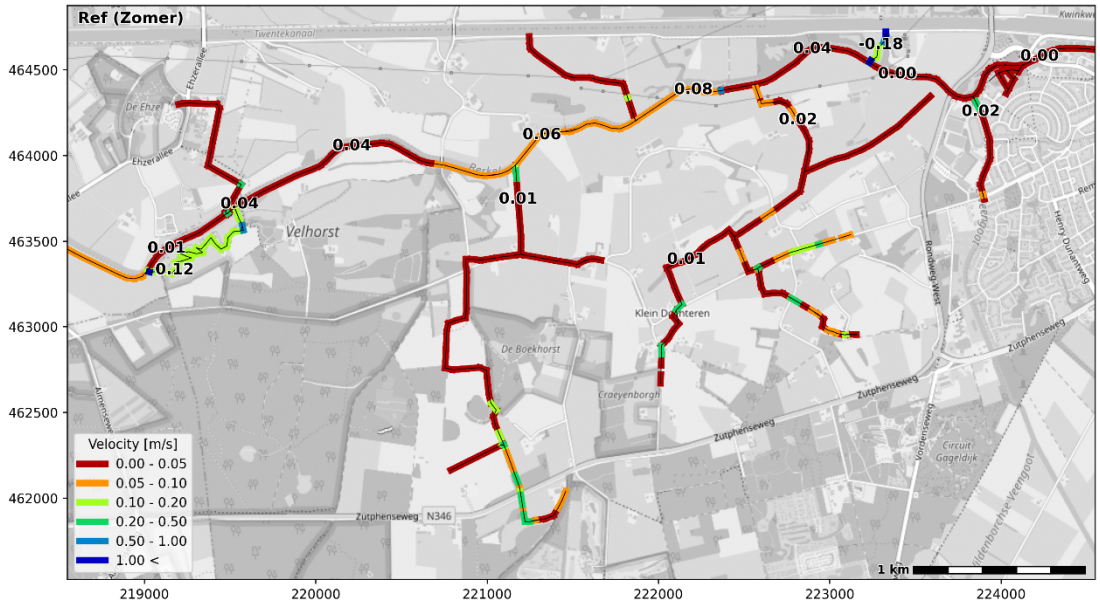
Figuur 3.10 Gemodelleerde waterstanden (m + NAP) in de huidige situatie (T=100-situatie)



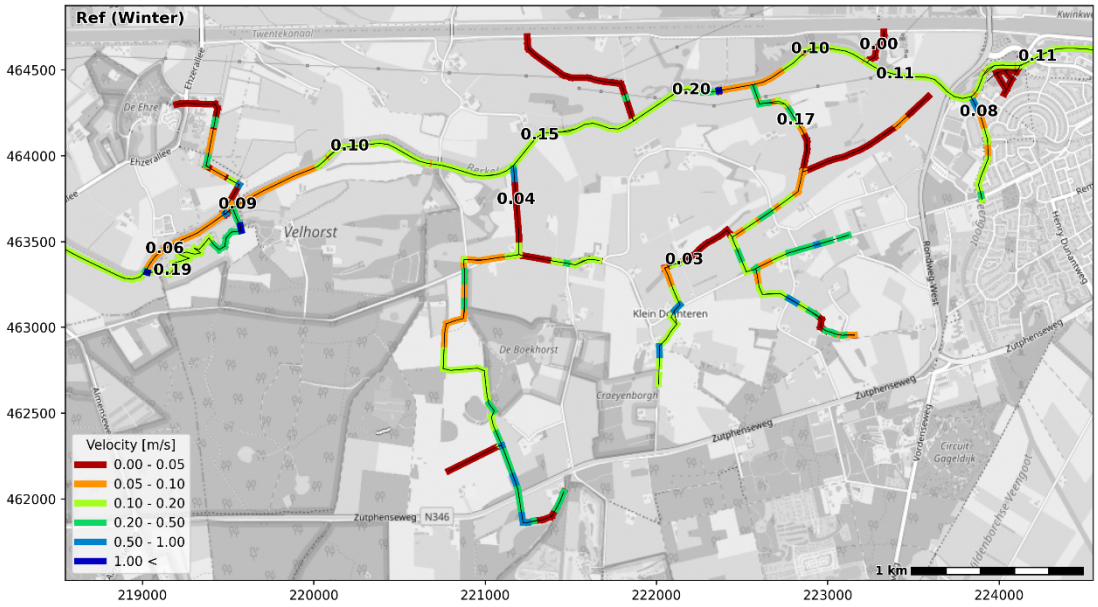
Figuur 3.11 Berekende waterdiepte in de huidige situatie in meters (gemiddelde zomersituatie)

3.1.3 Stroomsnelheden

In onderstaande figuren zijn de stroomsnelheden voor de gemiddelde zomer en wintersituatie weergegeven. In de gemiddelde zomersituatie voldoet de hoofdloop niet aan de minimale stroomsnelheid van 10 cm/s, met uitzondering van de nevengeul. Bovenstrooms van de inlaat van het Twentekanaal is er helemaal geen stroming, en benedenstrooms van stuw Velhorst, parallel aan de nevengeul is er in de hoofdloop nagenoeg geen stroming, omdat vrijwel alles door de nevengeul stroomt. In de gemiddelde wintersituatie voldoet de Berkel bijna overal. Enkele uitzonderingen zijn bovenstrooms van de stuwen Velhorst en Hoge Weide, en benedenstrooms van stuw Velhorst (parallel aan de nevengeul).



Figuur 3.12 Gemodelleerde stroomsnelheden in de huidige situatie in m/s (gemiddelde zomersituatie)

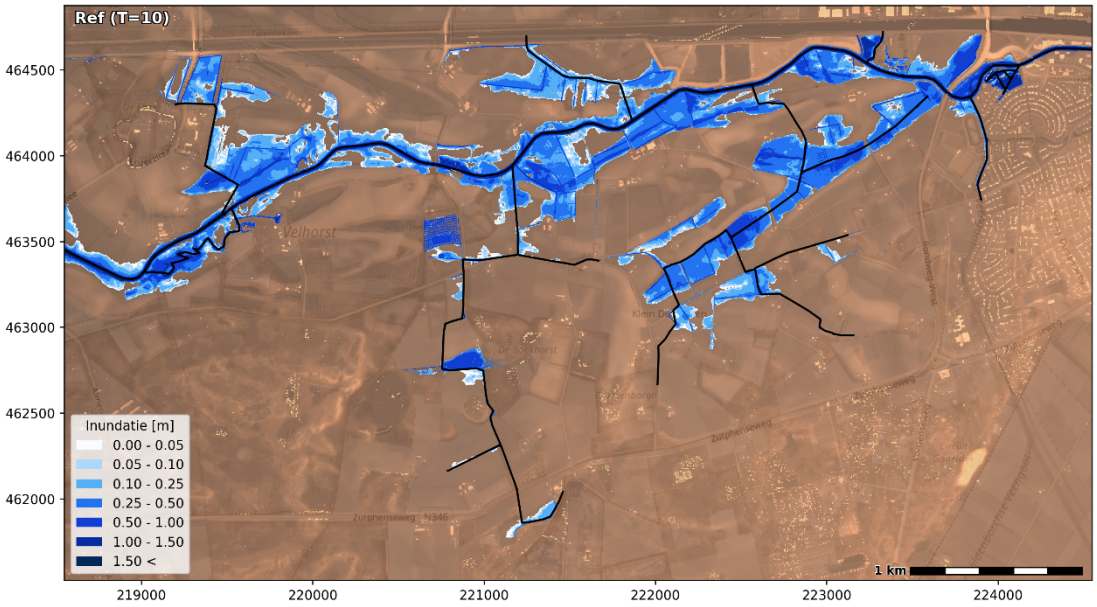


Figuur 3.13 Gemodelleerde stroomsnelheden in de huidige situatie in m/s (gemiddelde wintersituatie)

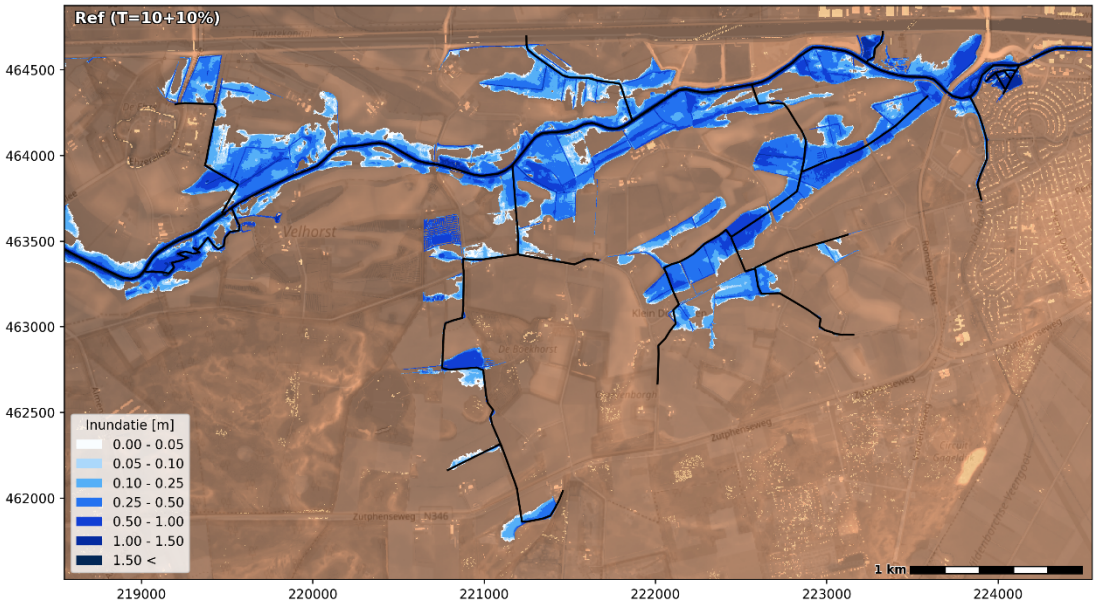
3.1.4 Inundatie

Voor de drie extreme afvoerscenario's is een inundatieanalyse uitgevoerd. De waterstanden (gemiddeld over de laatste drie dagen van de simulatieperiode) zijn geïnterpoleerd naar een 2D-raster met een resolutie van 1x1 m middels IDW-interpolatie (met een p-waarde van 3). Er is een hoogtebestand, een Digital Elevation Model (DEM) gemaakt met dezelfde resolutie (1x1 m). Het 2D-grid van de waterstanden is vergeleken met het DEM, en middels een flooding algoritme is bepaald waar, en in welke mate, de inundatie optreedt. Een belangrijke kanttekening bij de inundatie analyse is dat er een stationair SOBEK-model is gebruikt, waarbij de gemodelleerde waterstanden lokaal boven de insteekhoogte uit komen, wat praktisch gezien niet mogelijk is. Het gevolg van deze vereenvoudigde aanpak is dat de waterstanden, en daarmee ook de berekende inundatie, plaatselijk iets worden overschat, wat betekent dat de kaarten een conservatieve indicatie geven van de inundatierisico's (een worst-case benadering).

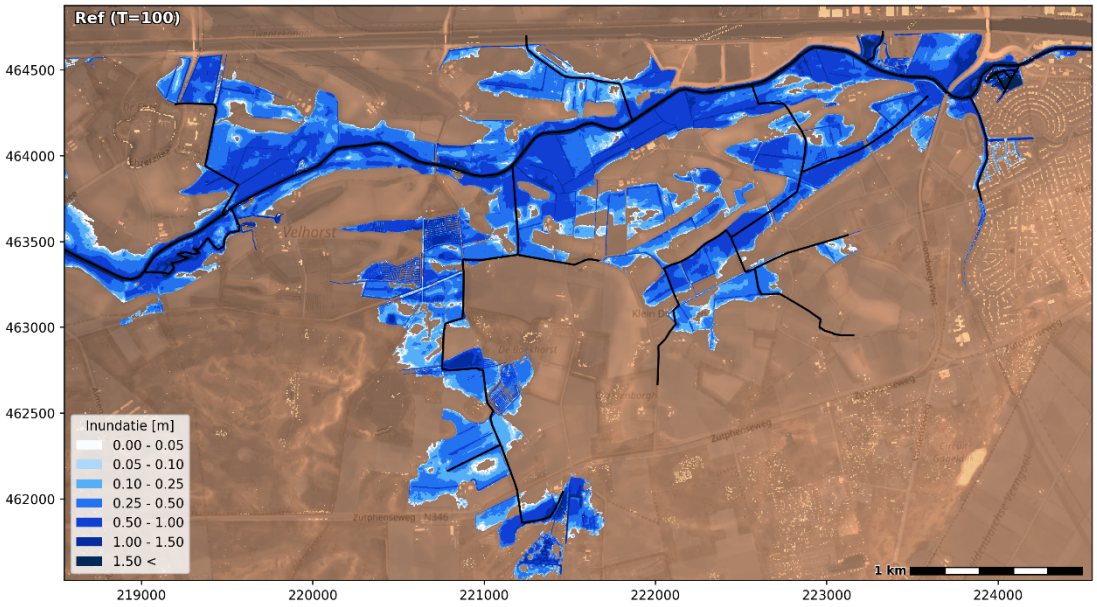
In alle drie de extreme afvoersituaties treedt inundatie voornamelijk op rondom de Berkel zelf, en bij Klein Dochteren. In de Berkel treedt het water buiten de oevers, en in Klein Dochteren kan het water moeizaam weg. Het gemaal Westerholt heeft een pompcapaciteit die niet voldoende is om alle aanvoer richting de Berkel te Pompen, en de aantakking aan de Berkel bij de Lage Weg heeft door de mate van opstuwing in de Berkel onvoldoende capaciteit om het water af te voeren. Dit komt overeen met de eerdere observatie van het waterschap dat er rondom de Berkel inundaties worden berekend. Deze berekende inundatie worden niet altijd herkend in het veld, het is goed om dit bij het interpreteren van de resultaten in gedachten te houden.



Figuur 3.14 Inundatiediepte in de T=10-situatie in meters ten opzichte van maaiveld. De kleurschaal is representatief voor de berekende inundatiediepte (zie legenda)



Figuur 3.15 Inundatiediepte in de T=10+10 %-situatie in meters ten opzichte van maaiveld

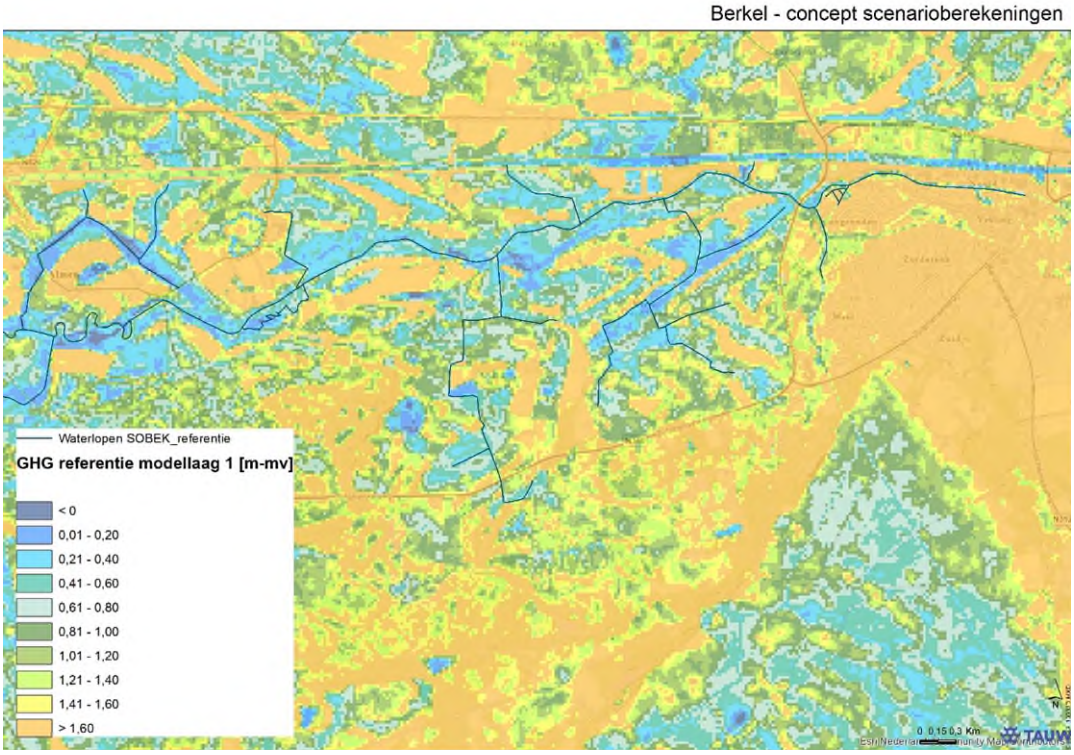


Figuur 3.16 Inundatiediepte in de T=100-situatie in meters ten opzichte van maaiveld

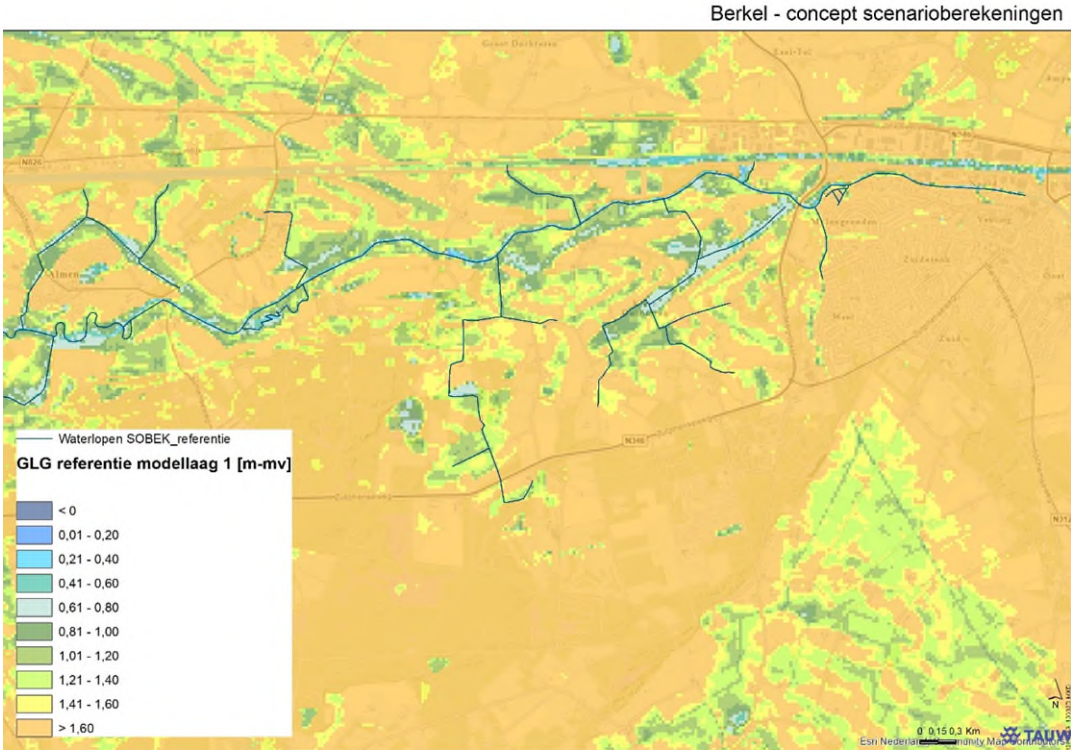
3.2 Grondwatermodel

3.2.1 GxG

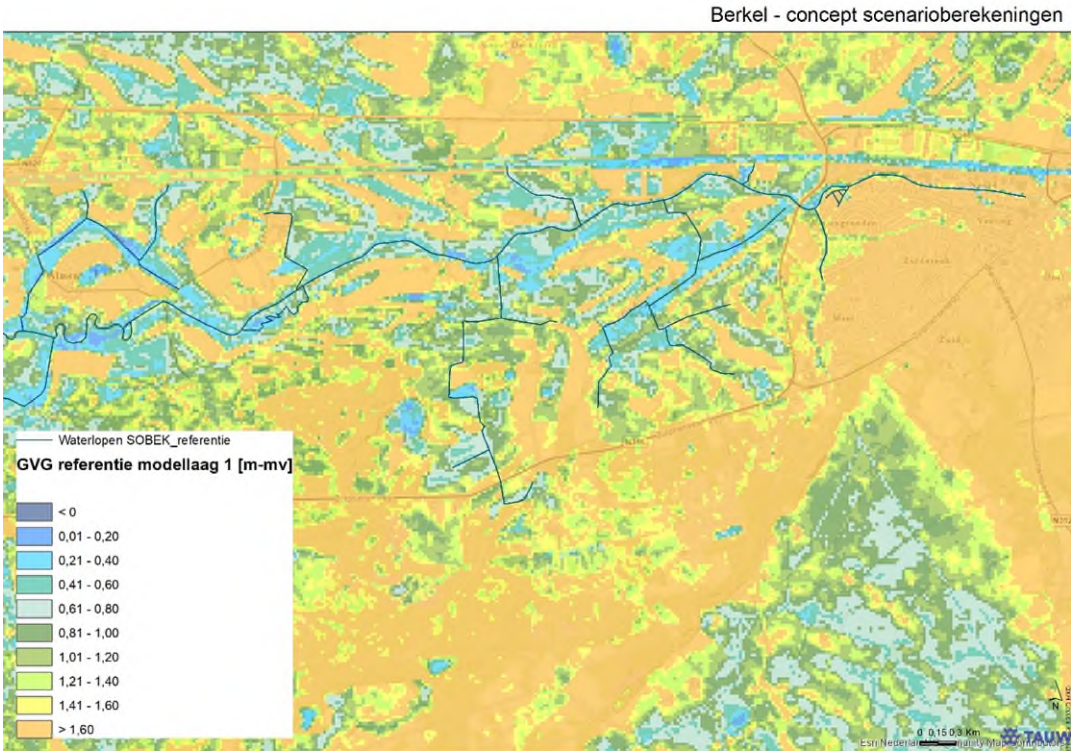
De GxG-resultaten zijn weergegeven ten opzichte van maaiveld in figuur 3.17, figuur 3.18 en figuur 3.19 en ten opzichte van NAP in figuur 3.20, figuur 3.21 en figuur 3.22. Nabij de Berkel bevindt de GHG zich voor het merendeel 20-40 cm onder het maaiveld en de GLG 60-100 cm. Het isohypsenpatroon toont een grondwaterstroming van (zuid)-oost naar (noord)-west. Het verschil tussen de oostkant van het bovenstroomse deel en de westkant van het benedenstroomse deel van de Berkel bedraagt circa 2 m in de wintersituatie (GHG) en circa 1,5 m in de zomersituatie (GHG). De effecten van het Twentekanaal en de drinkwaterwinning Lochemse Berg zijn duidelijk terug te zien het isohypsenpatroon.



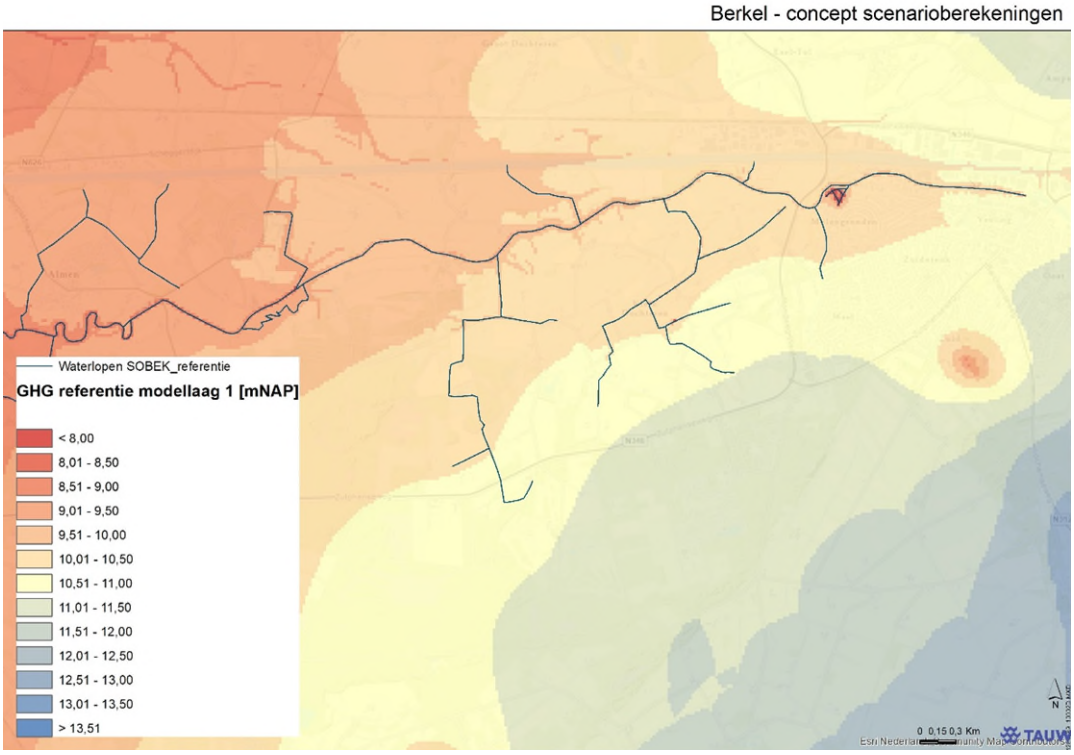
Figuur 3.17 GHG (m-mv) referentiesituatie



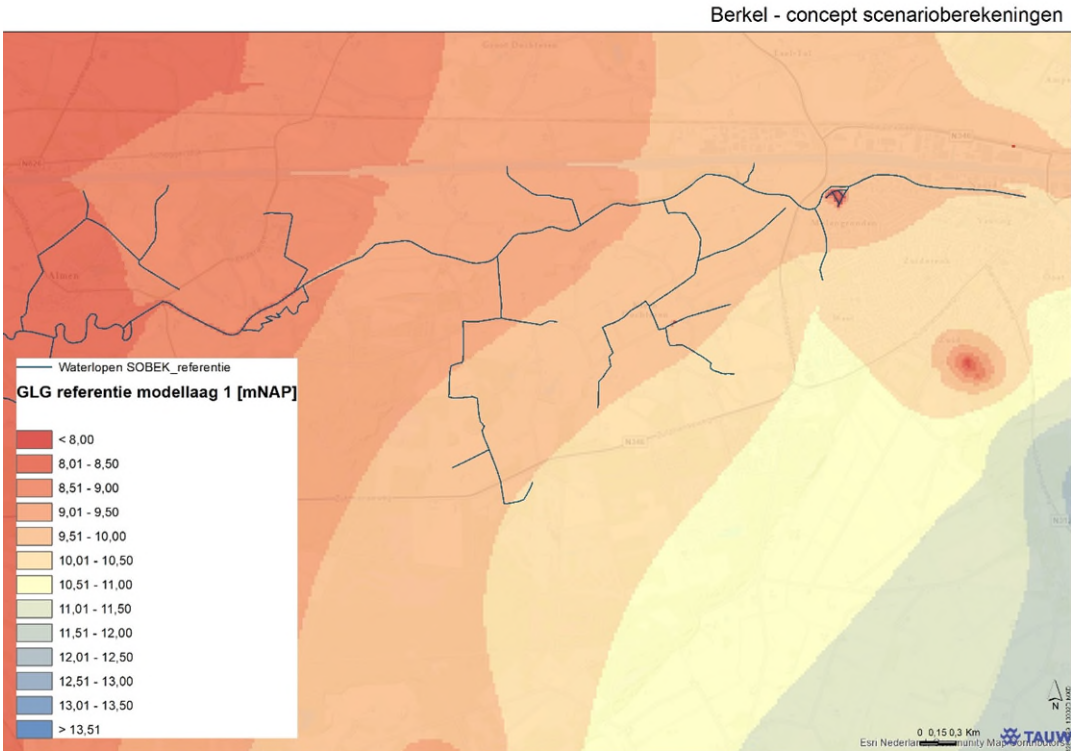
Figuur 3.18 GLG (m-mv) referentiesituatie



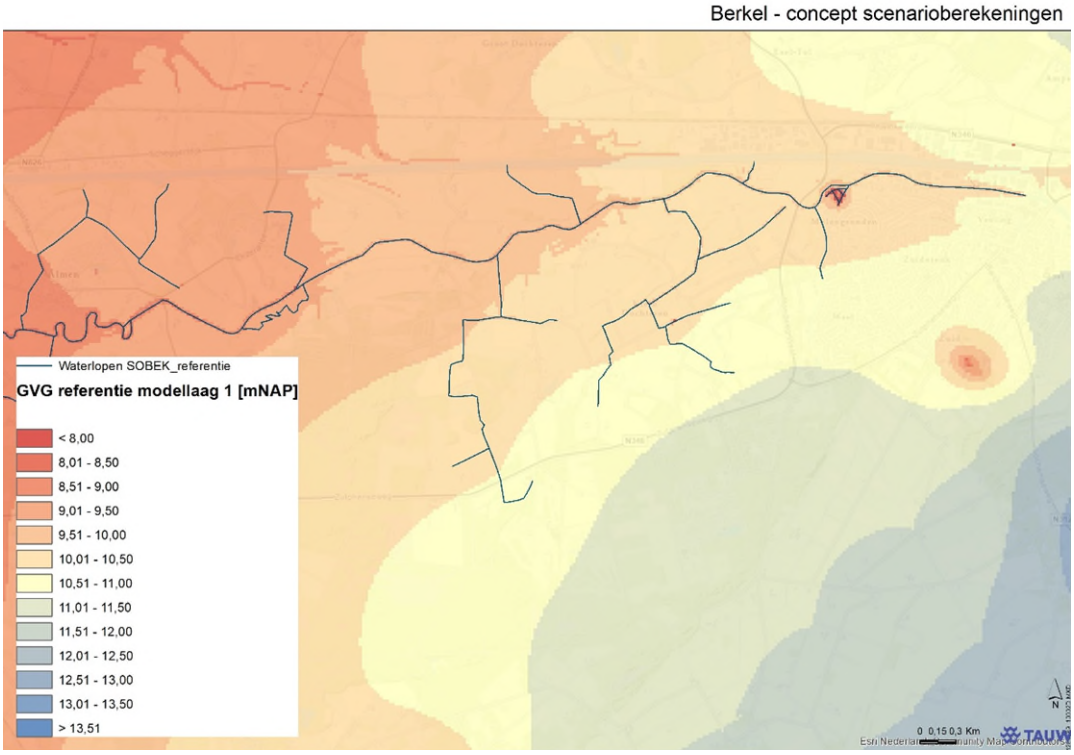
Figuur 3.19 GVG (m-mv) referentiesituatie



Figuur 3.20 GHG (mNAP) referentiesituatie



Figuur 3.21 GLG (mNAP) referentiesituatie



Figuur 3.22 GVG (mNAP) referentiesituatie

4 Resultaten VO-modellering

In dit hoofdstuk worden de modelresultaten besproken van de oppervlaktewater- en grondwatermodellering van het VO. In paragraaf 3.1 worden eerst de resultaten van het oppervlaktewatermodel beschreven. In paragraaf 3.2 vervolgens de resultaten van het grondwatermodel.

4.1 Oppervlaktewater

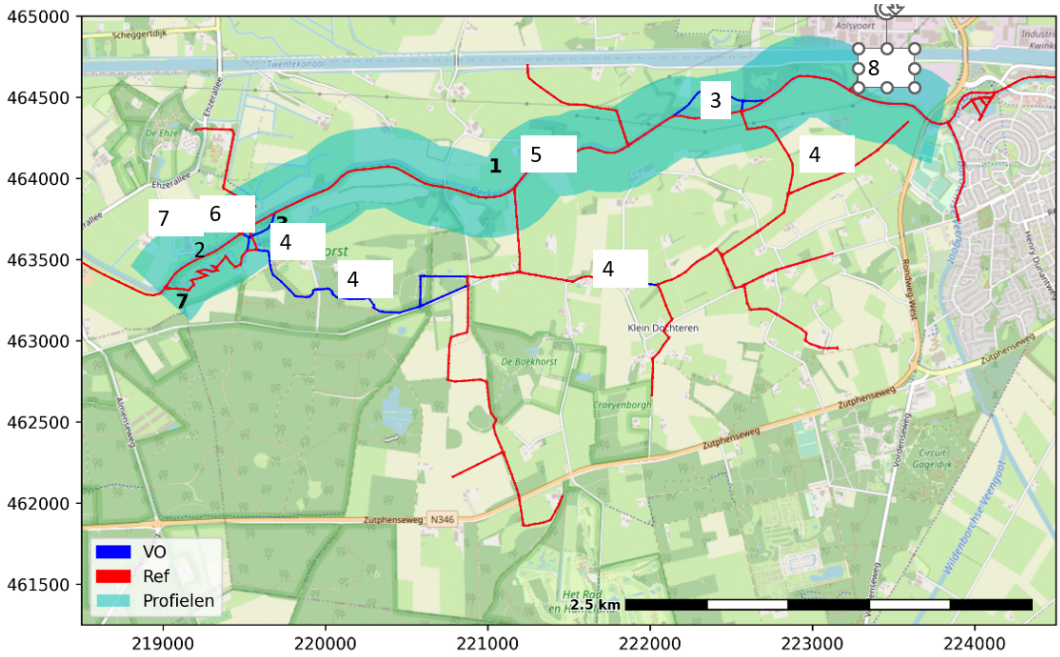
In deze paragraaf wordt ingegaan op de modelaanpassingen die zijn uitgevoerd aan het SOBEK-model. Vervolgens worden de resultaten gepresenteerd, waarbij waterstanden, stroomsnelheden, waterdieptes en inundatierisico's aan bod komen, en worden vergeleken met de referentiesituatie. Een overzicht van de optredende debieten in de verschillende afvoerscenario's is terug te vinden in paragraaf 3.1.1.

4.1.1 Modelaanpassingen SOBEK

Voor de VO+ modellering zijn er verschillende modelaanpassingen gedaan ten opzichte van het referentiemodel van de Berkel. In hoofdlijnen zijn de volgende aanpassingen doorgevoerd:

1. Profielen zijn uitgebreid met plas-draszone principe 1(hoge weerstand: ks = 5 $m^{1/3}/s$)
2. Profielen zijn uitgebreid met plas-draszone principe 2 (hoge weerstand: ks = 5 $m^{1/3}/s$)
3. Loop en stuw verlegd nabij Hoge Weide
4. Velhorsterlaak, afwatering klein dochteren
5. Plas dras nabij Oldeweerd toegevoegd
6. Vervangen stuw en brug hoofdloop Berkel
7. Aanpassen afwatering agrariër
8. Inlaat Twentekanaal verplaatst, en in zomersituatie verhoogd van 1 naar 1.3 m^3/sec

In figuur 4.1 is een overzicht te zien van de locaties van bovenstaande modelaanpassingen. Verderop wordt nog in meer detail ingegaan op de aanpassingen 1 tot en met 8.

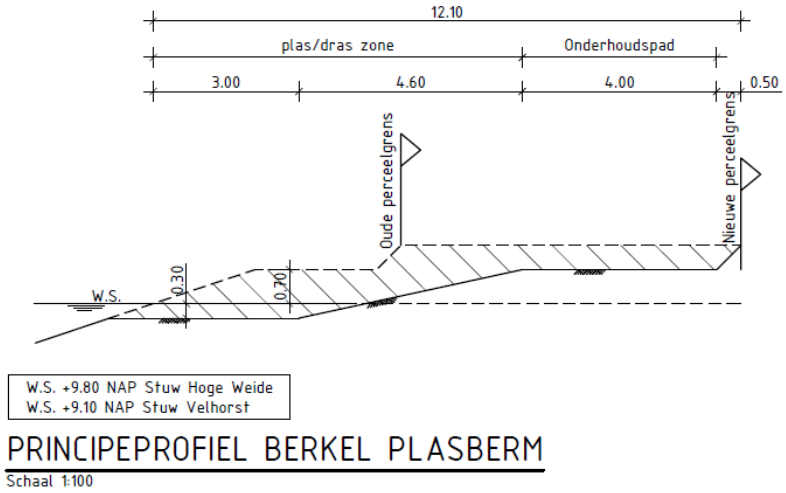


Figuur 4.1 Overzicht van de modelaanpassingen voor de VO-modellering. Zie bovenstaand overzicht voor toelichting op de aanpassingen

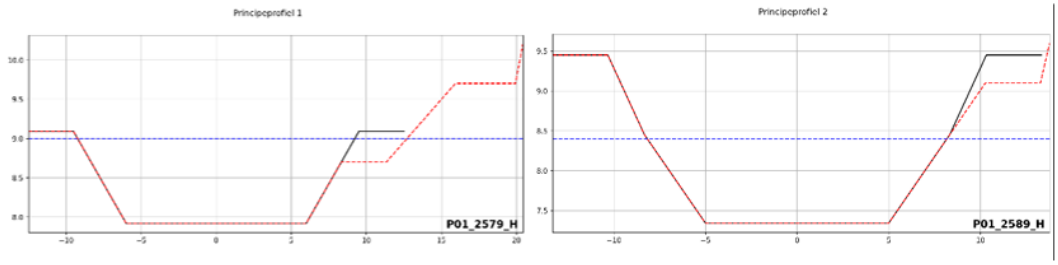
1. De Profielen aan de linkerzijde van de oever over het traject Lochem tot aan de Boevinksbrug worden uitgebreid met een plas-draszone volgens principe 1 ‘plasberm’, over het traject dat met lichtblauw is gearceerd in figuur 4.1. De plas-draszone is zo ontworpen dat er altijd circa 30 cm water in staat. Een voorbeeld profiel (bovenstrooms van stuw Hoge Weide) is weergegeven in figuur 4.3. In figuur 4.3 is de vertaling in het SOBEK-model van dit profiel weergegeven voor 1 voorbeeldprofiel. In deze profielen is ter plaatse van het plas dras deel de weerstand aangepast naar ks = 5 $m^{1/3}/s$. Om de extra berging die ontstaat in de normale situatie maar ook in extremere situaties goed mee te nemen in de berekeningen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Er wordt totaal ongeveer 5,5 m^3 ontgraven:

- Onder de waterlijn wordt ongeveer 1,5 m^3 afgegraven
- Boven de waterlijn wordt ongeveer 4 m^3 afgegraven, dit is feitelijk extra berging die in een extreme situatie ingezet kan worden



Figuur 4.2 Principe profiel natuurvriendelijke oever 'principe 1 Plasberm'



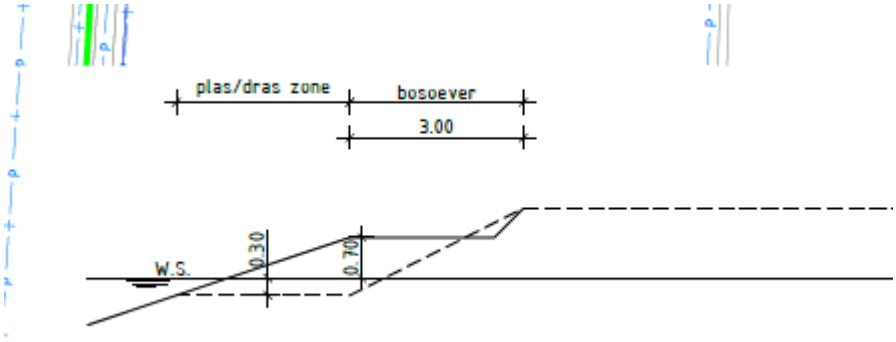
Figuur 4.3 Voorbeeld profielaanpassing modelvertalingen NVO's. Links: principeprofiel 1 (Plasberm), en rechts: principeprofiel 2 (bosoever) zoals deze in het SOBEK-model zijn geschematiseerd

2. Langs de linkeroever van de Berkel (PM verwijzing kaart) ter plaatse van de bestaande nevengeul wordt een plas dras zone aangelegd volgens principe 2 'Bosoever'. De plas-draszone is zo ontworpen dat er altijd circa 30 cm water in staat. Het principe van dit profiel is weergegeven in figuur 4.4. In figuur 4.3 is de vertaling in het SOBEK-model van dit profiel weergegeven voor 1 voorbeeldprofiel. In deze profielen is ter plaatse van het plas dras deel de weerstand aangepast naar ks = 5 $m^{1/3}/s$. Om de extra berging die ontstaat in de normale situatie maar ook in extremere situaties goed mee te nemen in de berekeningen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Er wordt totaal ongeveer 1,5 m^3 ontgraven:

- Onder de waterlijn wordt ongeveer 0,5 m^3 afgegraven
- Boven de waterlijn wordt ongeveer 1,5 m^3 afgegraven, dit is feitelijk extra berging die in een extreme situatie ingezet kan worden

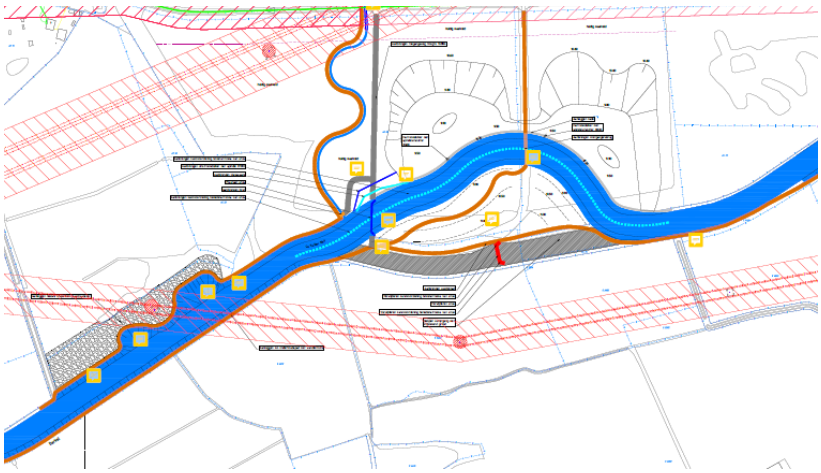
In het VO staan een aantal aanvullende locaties waar deze Bosoever toegepast wordt, ter plaatse van deze locaties wordt geen NVO overgenomen in het model (beide principes niet).



Figuur 4.4 Principe profiel natuurvriendelijke oever 'principe 2 Bosoever'

3. De hoofdloop nabij stuw Hoge Weide, en de stuw zelf worden verlegd. In figuur 4.5 is de nieuwe hoofdloop weergegeven. De oude hoofdloop wordt gedempt. Hierin is ook te zien dat stuw Hoge Weide is verplaatst, en dat de waterloop is verlegd zodat deze aansluit op de nieuwe hoofdloop. De peilen van stuw Hoge weide blijven gehandhaafd. Modelmatig worden de profielen van de Berkel verplaatst en niet aangepast (met uitzondering van het toevoegen van de plas dras zone van punt 1).

De extra lobben / berging / NVO in de Berkel net benedenstrooms van het depot (figuur 4.5) worden niet meegenomen in het model.



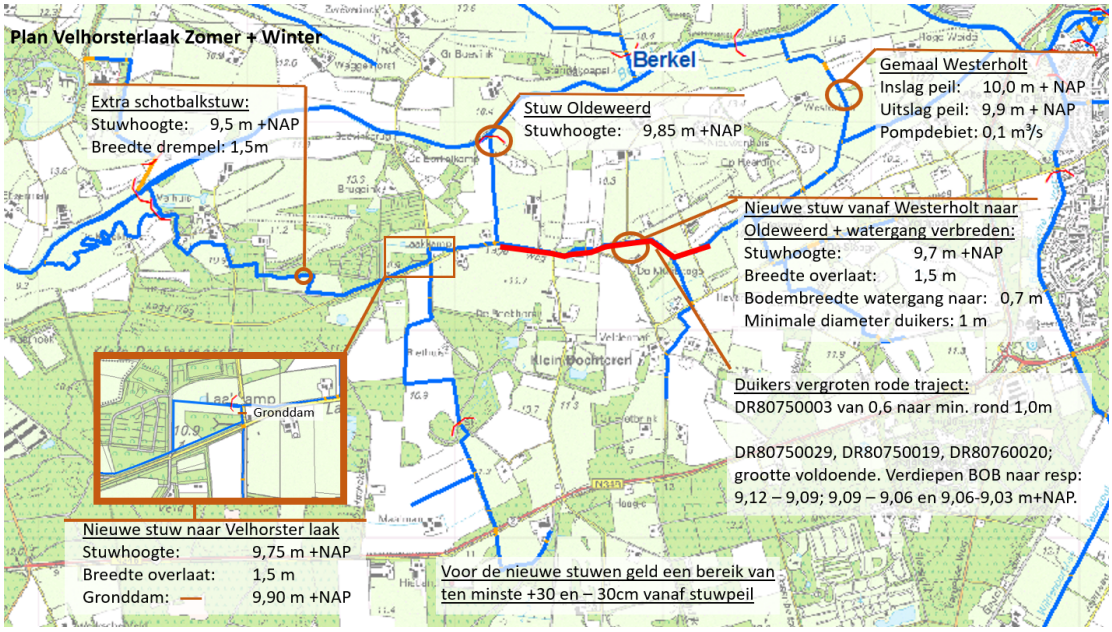
Figuur 4.5 Modelaanpassing #2 Verplaatsen hoofdloop en stuw Hoge Weide

4. In figuur 4.6 zijn alle aanpassingen rondom de Velhorstellaak weergegeven. In principe zijn alle aanpassingen reeds doorgevoerd in het door het waterschap aangeleverde model TBK_NMT.LIT[6] conform onderstaande tekening (zie figuur 4.6). Een aantal verduidelijkingen en aanvulling worden hieronder toegelicht:

- De bestaande nevengeul wordt bovenstrooms opnieuw aangetakt aan de Berkel middels stuw en spindel. Modelmatig wordt dit aangepast door een duiker op te nemen in het model (1,5 m breed bij 1 m hoog)

[6] SOBEK-model, case 5 , aangeleverd door het Waterschap Rijn en IJssel op 7 juli 2022.

- Verwijderen duikers en brug in oude nevengeul, toevoegen voorde. Dit wordt niet aangepast in het model
- Toevoegen schotbalkstuw instroom Velhorsterlaak in nevengeul, jaarrond vast peil op 8,9 +NAP. Breedte stuw 1 m
- De duikers in de Velhorsterlaak in de leggerwatergangen zijn reeds toegevoegd aan in het aangeleverde model. Er worden geen aanpassingen aan duikers uitgevoerd behalve de duiker uit de eerste bullit. Idem voor de stuwen; de stuwen die aangelegd worden ten behoeve van het peilbeheer van de rabattenbossen worden niet overgenomen in het model (alleen stuwen conform figuur 4.6 worden opgenomen)
- Er zit een extra stuw in het model bij de gronddam, deze wordt verwijderd (verondieping van de watergang is reeds modelmatig doorgevoerd)



Figuur 4.6 Modelaanpassing #4. Aantakken Velhorsterlaak. In bruin de locatie van de kunstwerken. In rood de locatie van de te verbreden watergang (niet overgenomen in VO++) en te vergroten duikers (wel meegenomen in VO++)

5. De plas dras locatie bij de Oldeweerd wordt opgenomen in het model conform de uitgangspunten van principeprofiel 1 ‘Berkeloever’. De verbreding van de Berkel wordt niet modelmatig meegenomen.

Figuur 4.7 Plas dras locatie Oldeweerd (punt 5)

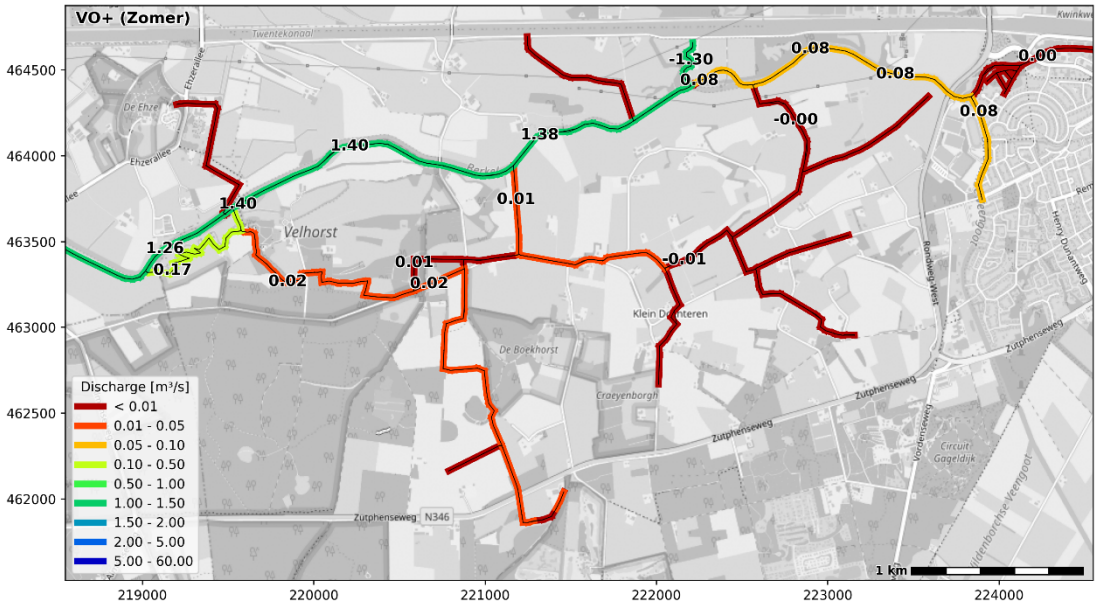
6. De stuw en brug bij Velhorst in de hoofdloop van de Berkel worden vervangen, de uitwerking daarvan is nog niet bekend. Er worden daarom geen aanpassingen gedaan aan het model op dit punt.

7. Mogelijk worden nog aanpassingen doorgevoerd bij de agrariër ten noorden van stuw Velhorst. Ook hier is niet bekend hoe dat er precies uit ziet, er zijn daarom geen aanpassingen gedaan aan het model.

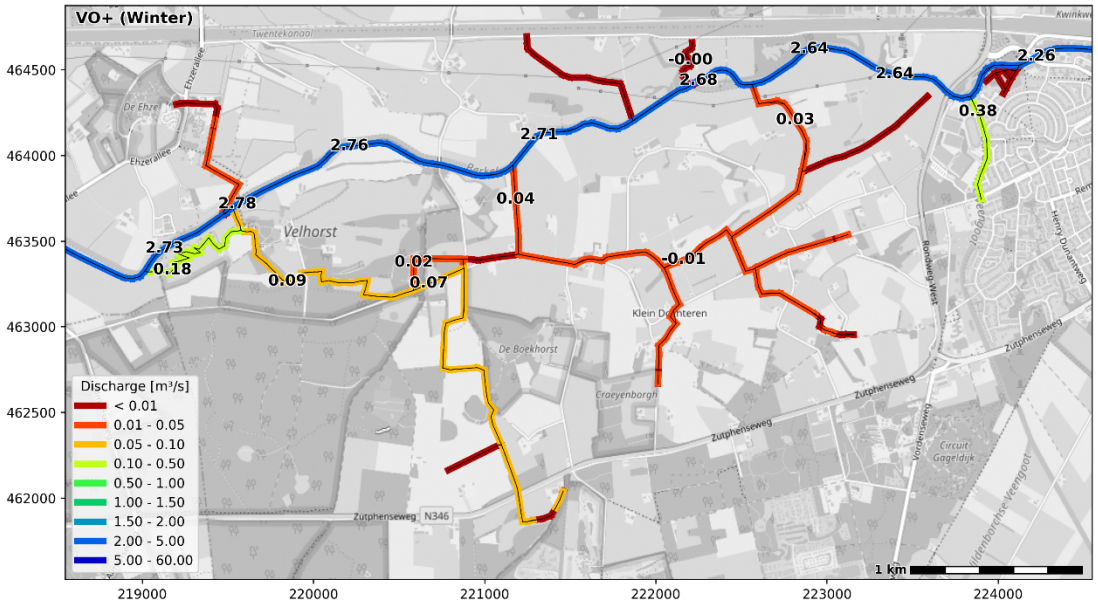
8. De inlaat vanuit het Twentekanaal naar de Berkel wordt opgehoogd naar 1,3 m^3/s en wordt verplaatst net benedenstrooms van het depot (zie figuur 4.5).

4.1.2 Debieten

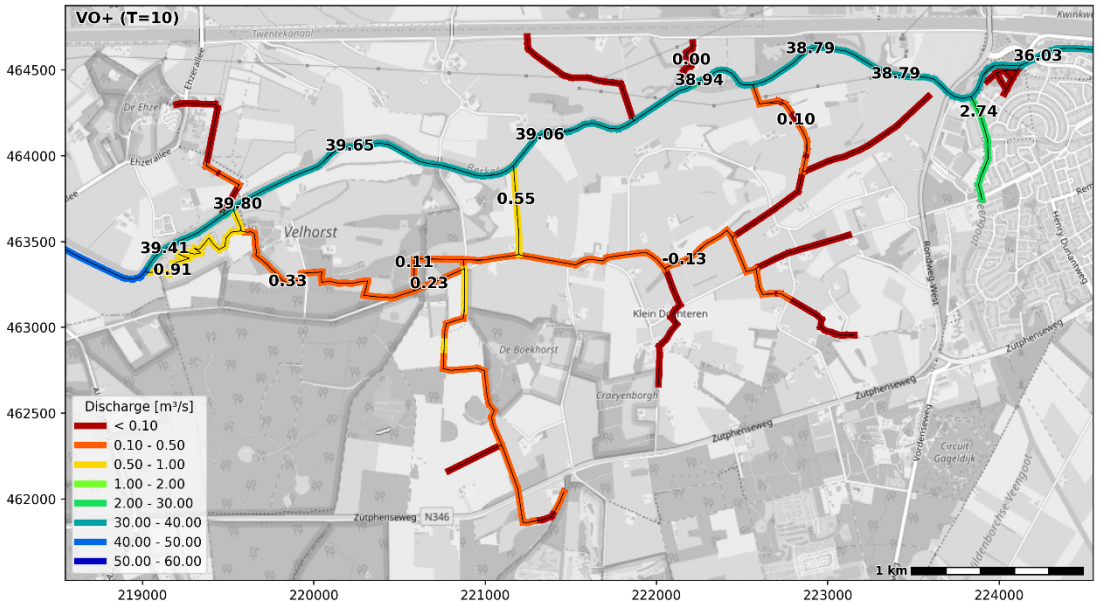
In onderstaande figuren zijn de gemodelleerde debieten weergegeven voor de gemiddelde zomer en wintersituatie en de extremere situaties (T10, T10+10 % en T=100) voor het VO++.
In het VO is een stuw opgenomen in het bovenstroomse deel van de nevengeul, wat zorgt voor meer opstuwing. Als gevolg gaat het overgrote deel van de afvoer nu over stuw Velhorst. Door de aantakking van de Velhorsterlaak in de nevengeul (in combinatie met het nieuwe stuwpeil bij Oldeweerd en inslagpeil bij gemaal Westerholt) gaat er minder water over stuw Oldeweerd en gemaal Westerholt.



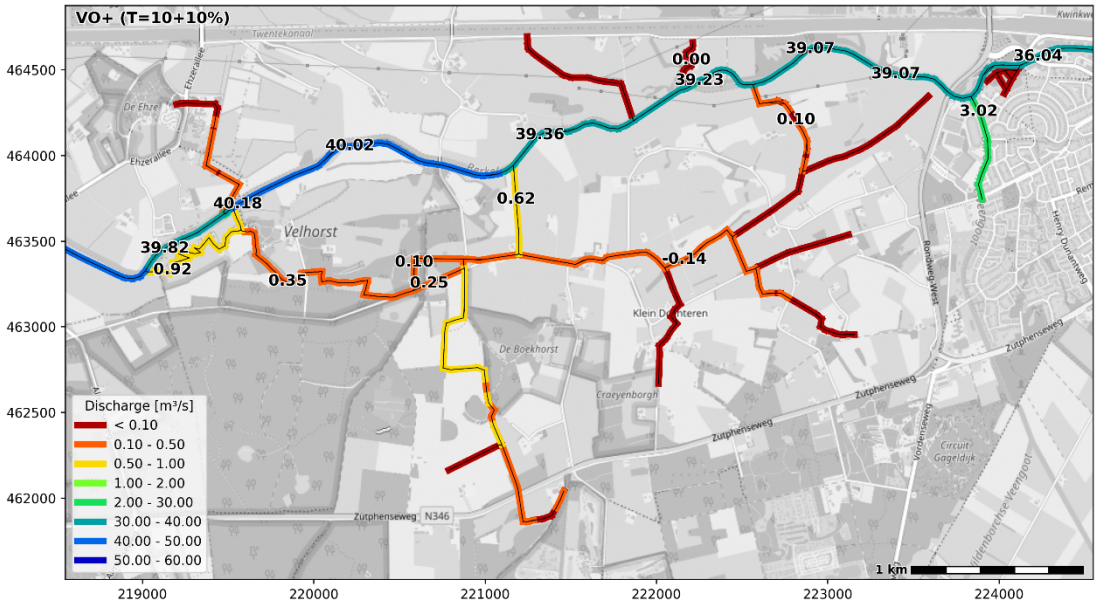
Figuur 4.8 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (gemiddelde zomersituatie)



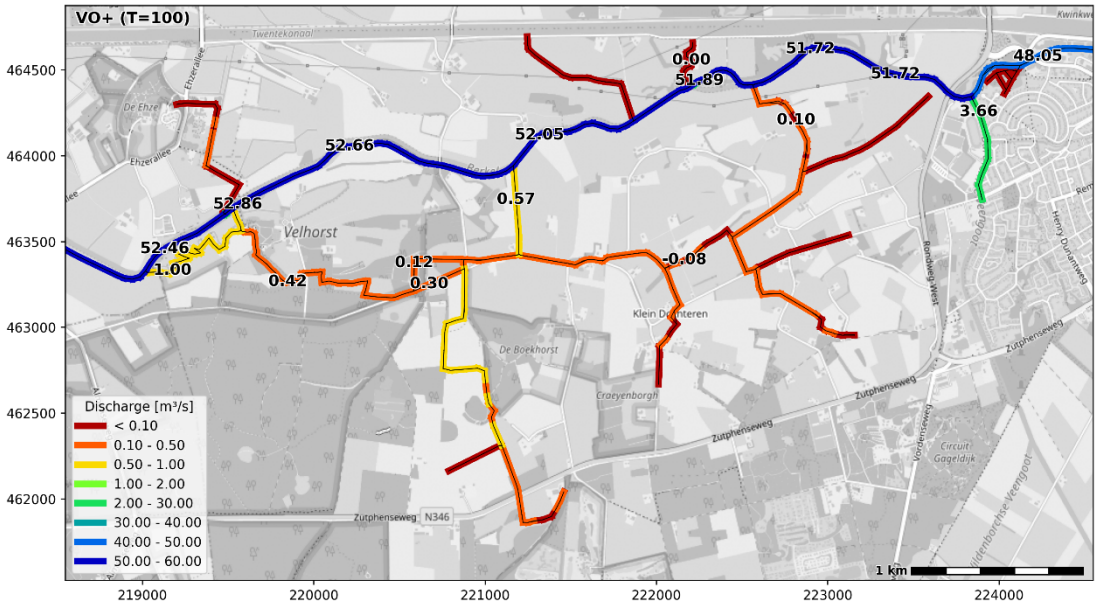
Figuur 4.9 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (gemiddelde wintersituatie)



Figuur 4.10 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (T=10-situatie)



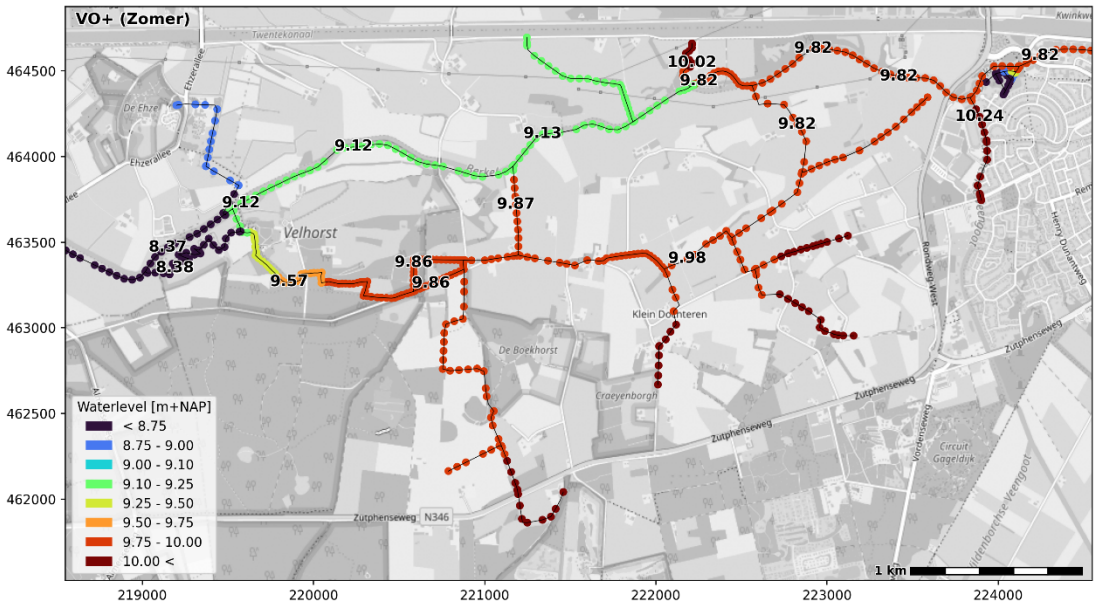
Figuur 4.11 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (T=10+10 %-situatie)



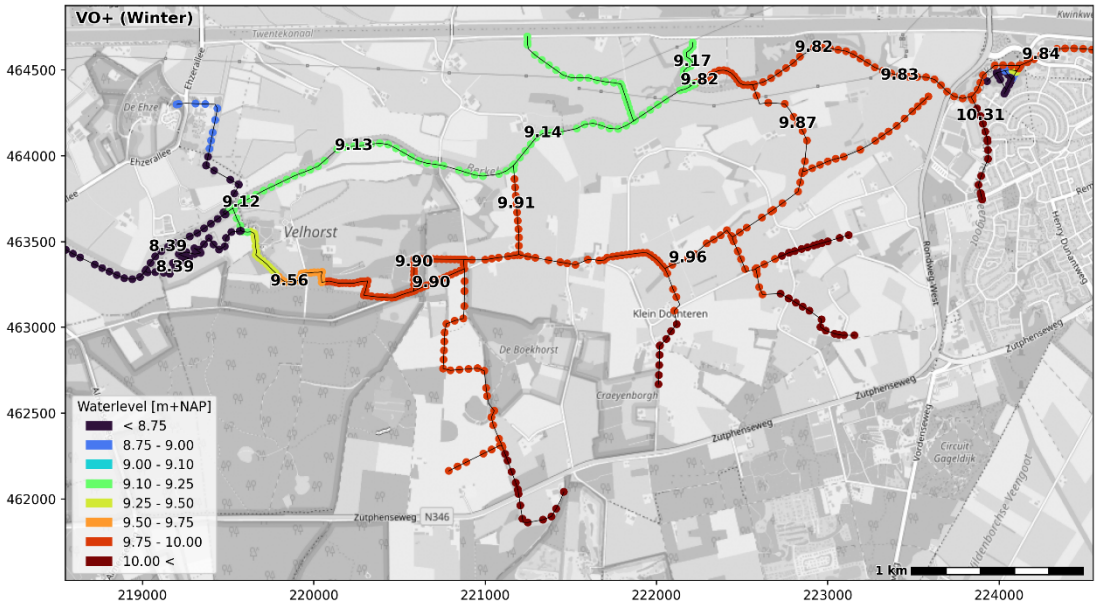
Figuur 4.12 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (T=100-situatie)

4.1.3 Waterstanden

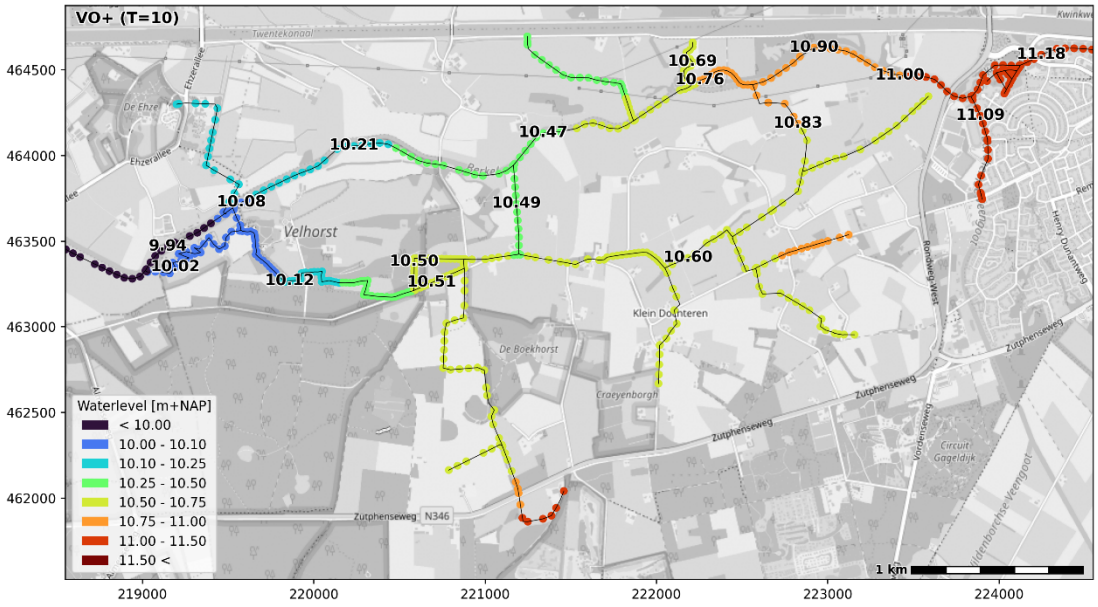
In onderstaande figuren zijn de waterstanden ten opzichte van NAP weergeven voor de verschillende gemodelleerde situaties in het VO++. Daaronder worden de verschillen in waterstanden tussen referentie en VO++ beschreven en ten slotte worden de waterdieptes beschreven.



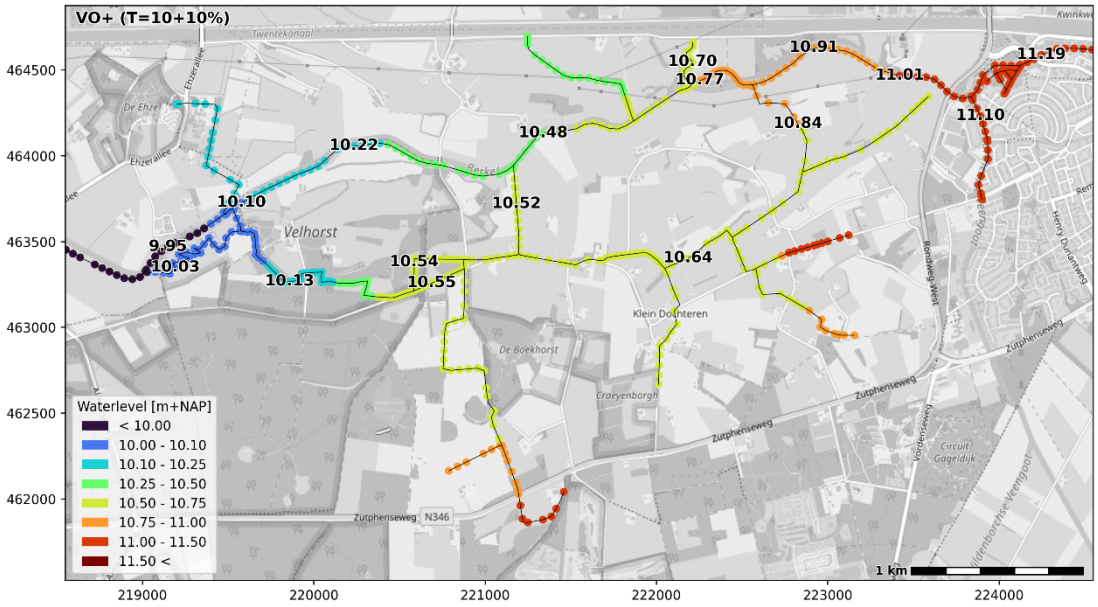
Figuur 4.13 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (gemiddelde zomersituatie)



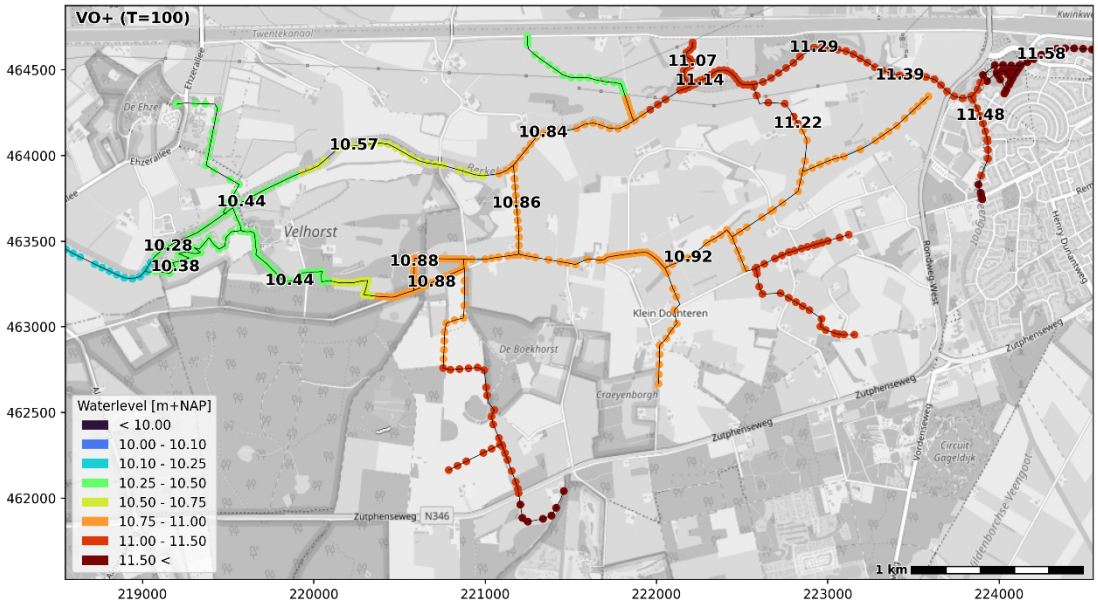
Figuur 4.14 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (gemiddelde wintersituatie)



Figuur 4.15 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (T=10-situatie)



Figuur 4.16 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (T=10+10 %-situatie)



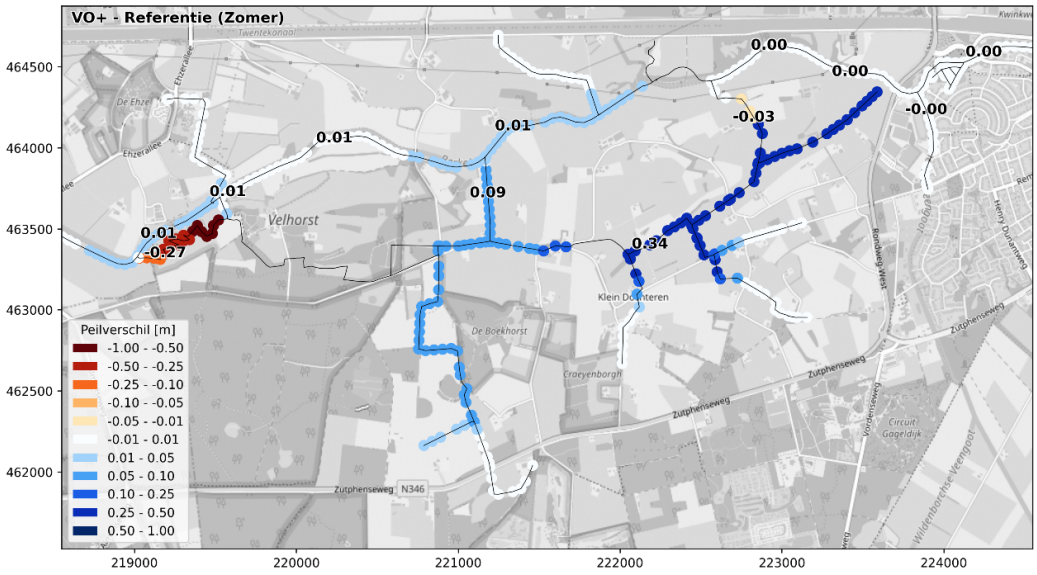
Figuur 4.17 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (T=100-situatie)

Om het peilverschil in het gehele modelgebied in beeld te brengen zijn voor alle afvoerscenario's de waterstanden in het VO++ model vergeleken met de waterstanden in het referentiemodel. Voor de vergelijking zijn de waterstanden gemiddeld over de laatste drie dagen van de simulatieperiode. De verschillen (in meters) zijn hier onder per afvoerscenario gepresenteerd in een kaart, waarbij de kleuren corresponderen met het verschil (blauw is toename en rood is afname van het peil).

In de gemiddelde zomersituatie neemt het peil iets toe bovenstrooms van stuw Velhorst, als gevolg van de nieuwe stuw in de nevengeul, en het iets toegenomen debiet bij de inlaat vanuit het Twentekanaal. Bij Klein dochteren is goed te zien dat het verhogen van het inslagpeil bij gemaal Westerholt (van 9,6 naar 10 m + NAP) leidt tot een vernatting. Ook de peilopzet bij stuw Oldeweerd resulteert in een vernatting (van circa 10 cm). In de nevengeul is een grote peilverlaging te zien, omdat er nu aanzienlijk minder afvoer doorheen gaat. De duiker benedenstrooms in de nevengeul zorgde in de referentiesituatie voor opstuwing, maar nu de afvoer grotendeels over stuw Velhorst gaat (in het VO) treedt deze opstuwing hier niet meer op. Bijkomend gevolg van deze nieuwe waterverdeling is dat het peil in de hoofdloop (parallel aan de nevengeul) – ondanks het bosoever profiel - met circa 1 cm toeneemt.

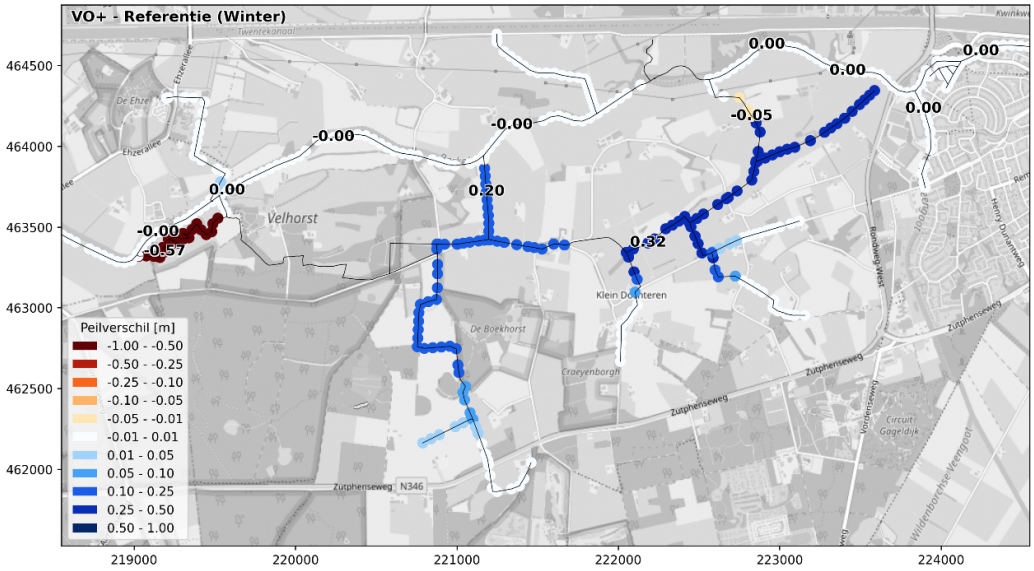
In de gemiddelde wintersituatie zijn de effecten vergelijkbaar als in de gemiddelde zomersituatie. In de nevengeul betreft de peilverlaging door de nevengeul nu 57 cm, omdat er in het VO slechts 0,19 m^3/sec door de nevengeul stroomt (was 2,02 m^3/sec in de referentiesituatie).

Gemiddelde zomersituatie



Figuur 4.18 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (gemiddelde zomersituatie)

Gemiddelde wintersituatie



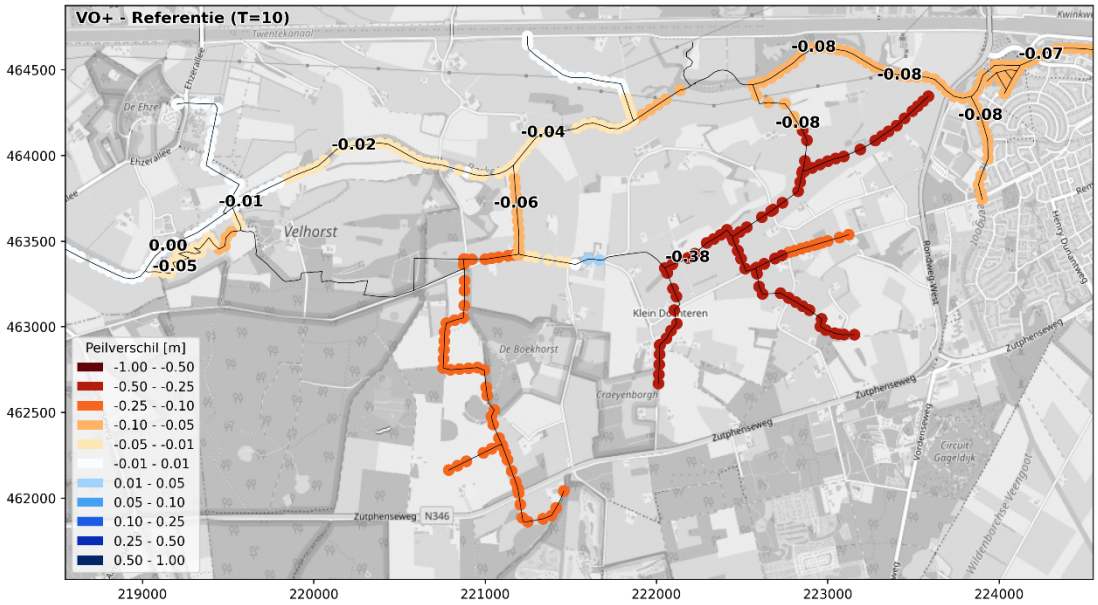
Figuur 4.19 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (gemiddelde wintersituatie)

In de T=10-situatie wordt het effect van koppelen van de Velhorsterlaak goed merkbaar, met name bij Klein Dochteren (tot wel 38 cm peilverlaging). In de referentiesituatie kan het water alleen afwateren naar de Berkel via het gemaal Westerholt (welke niet voldoende gedimensioneerd lijkt om een T=10-afvoer af te kunnen voeren), met als gevolg dat het water hier opstuwt. In het VO is dit gebied verbonden met de nevengeul bij Velhorst, waardoor het water gemakkelijk weg kan stromen. Ook het effect van de plas dras oevers wordt goed zichtbaar in dit scenario, deze zorgen voor een significante peilverlaging bij extreme afvoeren (tot wel 8 cm peilverlaging bovenstrooms van Hoge Weide).

Bij de nieuwe verbinding tussen Klein Dochteren en Westerholt is een kleine peilverhoging te zien (circa 3 cm), als gevolg van de extra afvoer richting Westerholt vanuit het gebied Klein Dochteren. Dit knelpunt wordt met name veroorzaakt door de ondiepe bodem, dit betreft een aandachtspunt voor de verdere detaillering in de DO-fase.

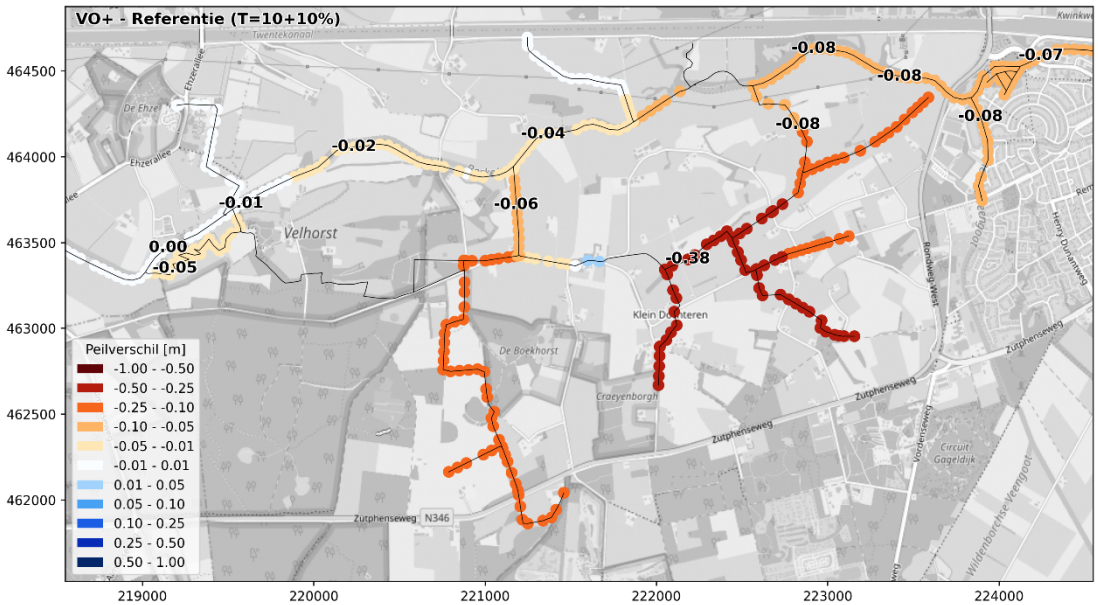
In de T=10+10 %-situatie zijn de effecten vergelijkbaar met de T=10-situatie. In de T=100-situatie zijn de effecten vergelijkbaar met de T=10-situatie.

T=10-situatie



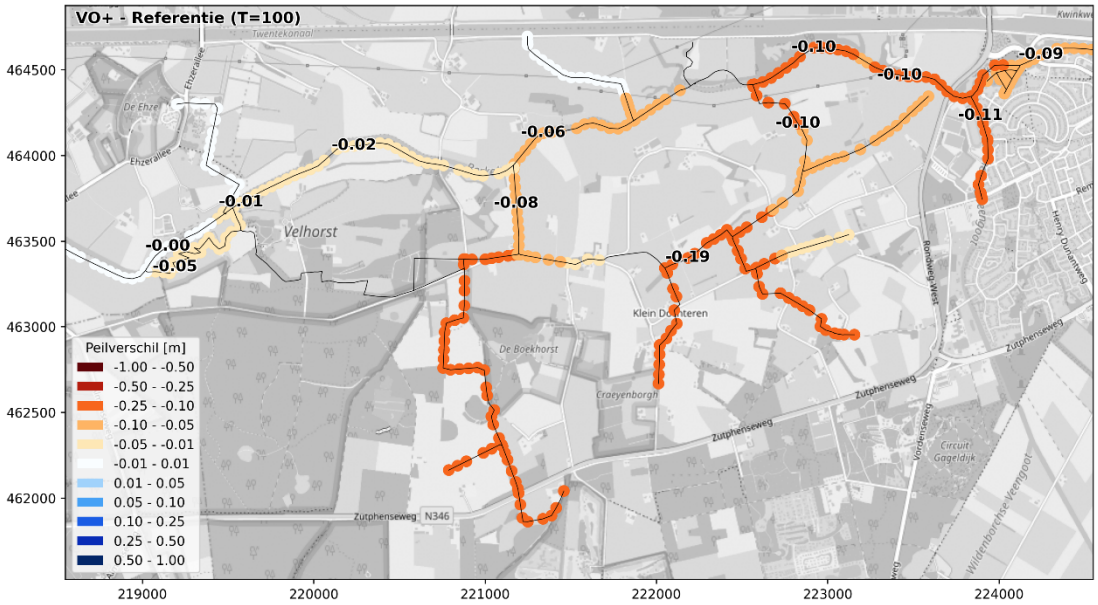
Figuur 4.20 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (T=10-situatie)

T=10+10 %-situatie



Figuur 4.21 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (T=10+10 %-situatie)

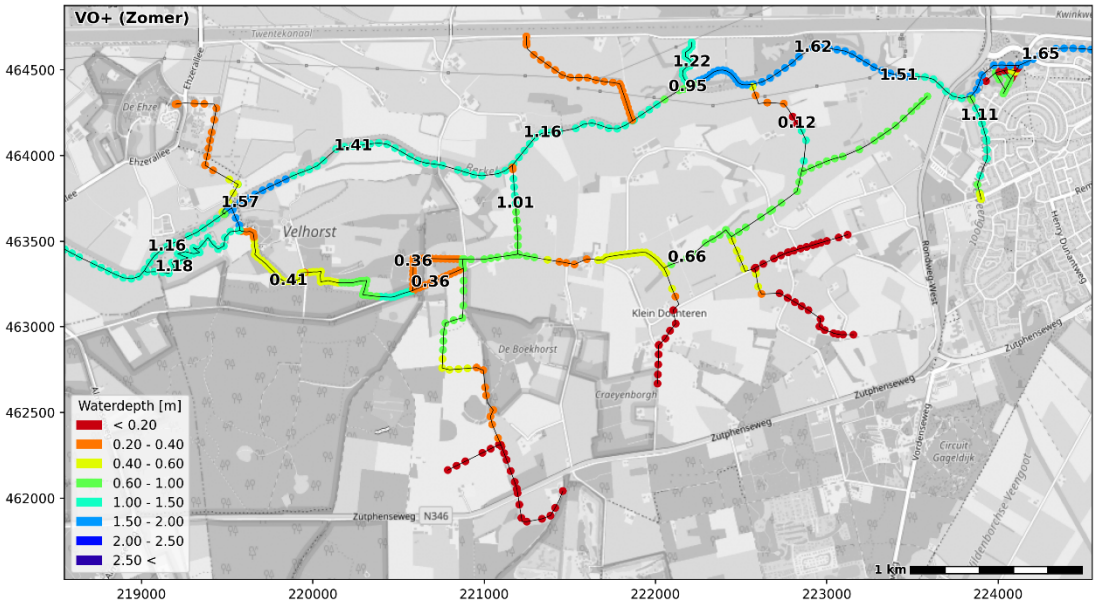
T=100-situatie



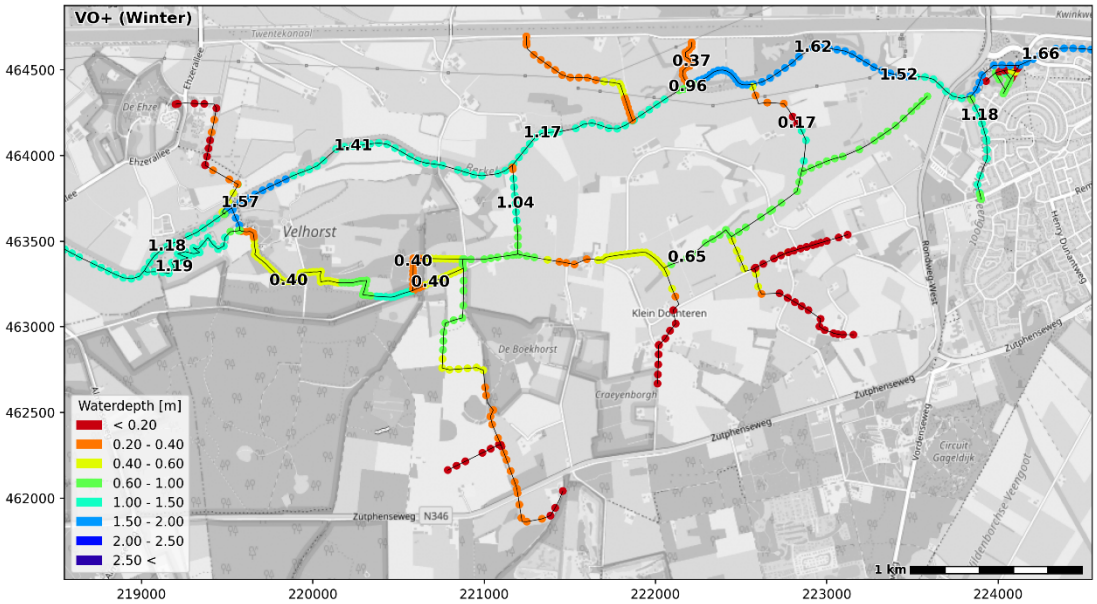
Figuur 4.22 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (T=100-situatie)

De waterdiepte neemt in het VO over het algemeen circa 1 à 2 cm toe als gevolg van de toename van het ingelaten debiet vanuit het Twentekanaal. Net bovenstrooms van de inlaat, en benedenstrooms van stuw Hoge Weide is de waterdiepte minder dan 1 m. Echter, hier geldt ook de nuancering dat de opstuwing over het traject Velhorst – Hoge Weide in de praktijk groter zal zijn (blijkt uit de metingen). Naar verwachting zal de daadwerkelijke waterstand (en daarmee ook de diepte) enkele centimeters hoger uitvallen. In de zomer- en wintersituatie wordt het VO echter getoetst op een waterdiepte van 60 cm, hieraan wordt ruimschoots voldaan.
Ook ten aanzien van de doorvaarthoogte bij bruggen zijn er geen knelpunten in de gemiddelde zomer- en wintersituatie.

Waterdiepte



Figuur 4.23 Berekende waterdiepte in de toekomstige situatie (gemiddelde zomersituatie)



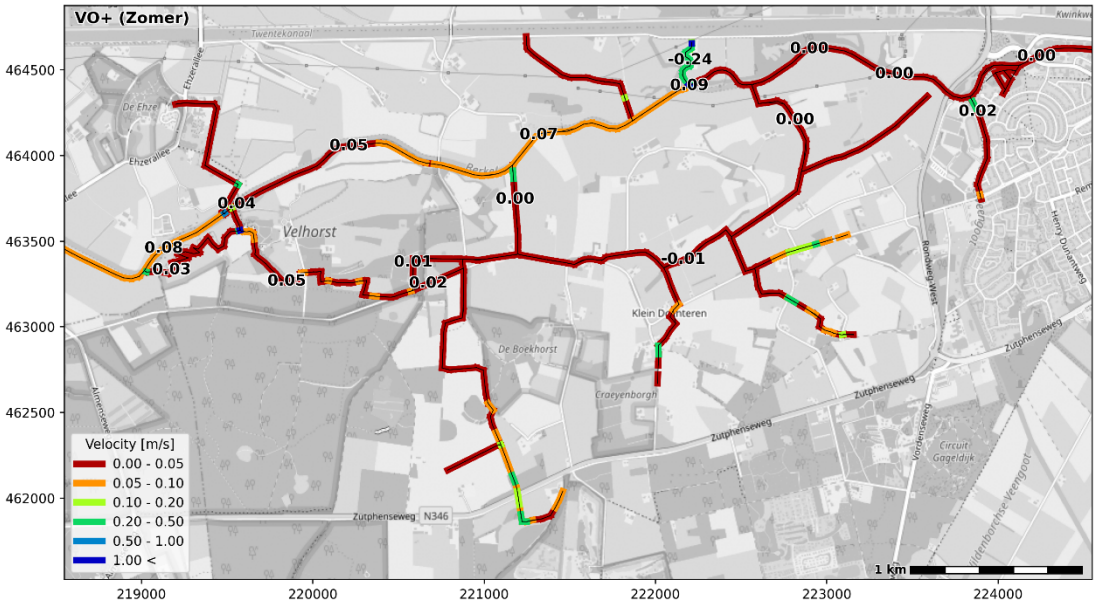
Figuur 4.24 Berekende waterdiepte in de toekomstige situatie (gemiddelde wintersituatie)

4.1.4 Stroomsnelheden

De stroomsnelheden zijn gepresenteerd in figuur 4.25 (zomer) en figuur 4.26 (winter).
De stroomsnelheden in de hoofdloop van de Berkel voldoen in de zomer niet aan de norm van minimaal 10 cm/sec. Benedenstrooms van stuw Hoge Weide neemt de stroomsnelheid iets toe (met 1 cm/sec) als gevolg van de 300 l/sec die nu extra wordt ingelaten vanuit het Twentekanaal. Door de nieuwe stuw in de nevengeul stroomt het overgrote deel van de afvoer over stuw Velhorst, waardoor de stroomsnelheid in de hoofdloop (parallel aan de nevengeul) hier aanzienlijk verbetert (8 cm/sec vergeleken met 1 cm/sec in de referentiesituatie). Door het verplaatsen van de inlaat vanuit het Twentekanaal is er in het VO echter een aanzienlijk groter traject waar geen stroming is (vanaf stuw Hoge Weide tot aan het verdeelwerk Lochem). Dit betreft een aandachtspunt voor de verdere detaillering in de DO-fase.

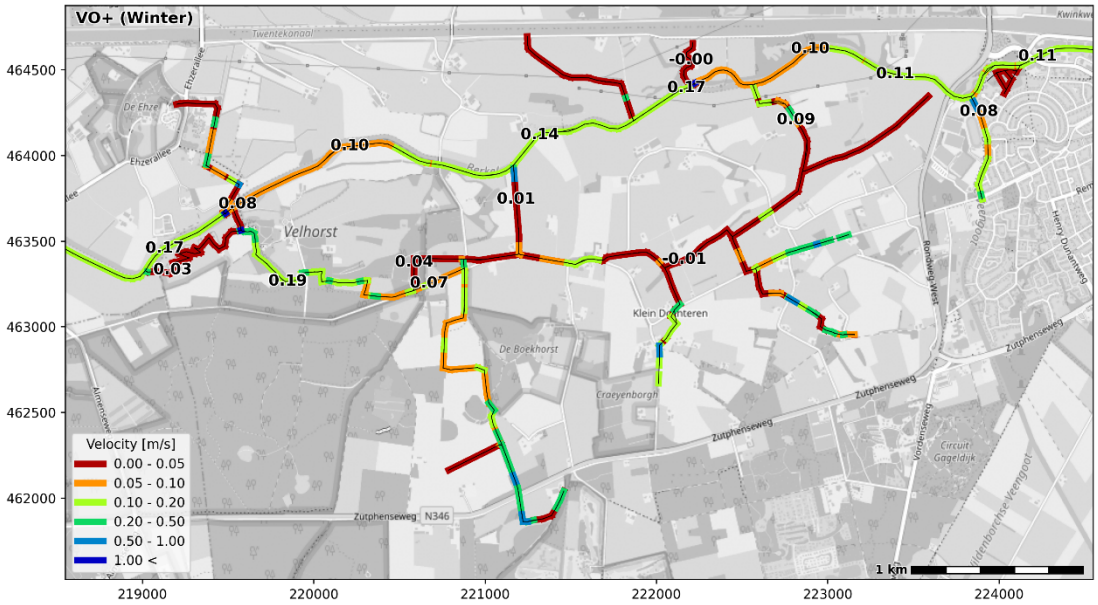
In de gemiddelde wintersituatie is de stroomsnelheid in de hoofdloop van de Berkel voor het overgrote deel hoger dan 10 cm/sec. Door de plas-dras oevers ondervindt het water meer weerstand, wat over het algemeen tot een lagere stroomsnelheid leidt (circa 1 cm/sec lager over het traject Velhorst – Hoge Weide). Benedenstrooms van stuw Velhorst neemt de stroomsnelheid toe door de stuw in de nevengeul, en in de nevengeul neemt de stroomsnelheid af. Aangezien de gepresenteerde stroomsnelheden gemiddeld zijn over het dwarsprofiel, zal de stroomsnelheid in het midden van de beek hoger uitvallen. Om deze reden wordt verondersteld dat in de gemiddelde wintersituatie wordt voldaan aan de eis met betrekking tot de stroomsnelheden.

Gemiddelde zomersituatie



Figuur 4.25 Gemodelleerde stroomsnelheden in de toekomstige situatie (gemiddelde zomersituatie)

Gemiddelde wintersituatie



Figuur 4.26 Gemodelleerde stroomsnelheden in de toekomstige situatie (gemiddelde wintersituatie)

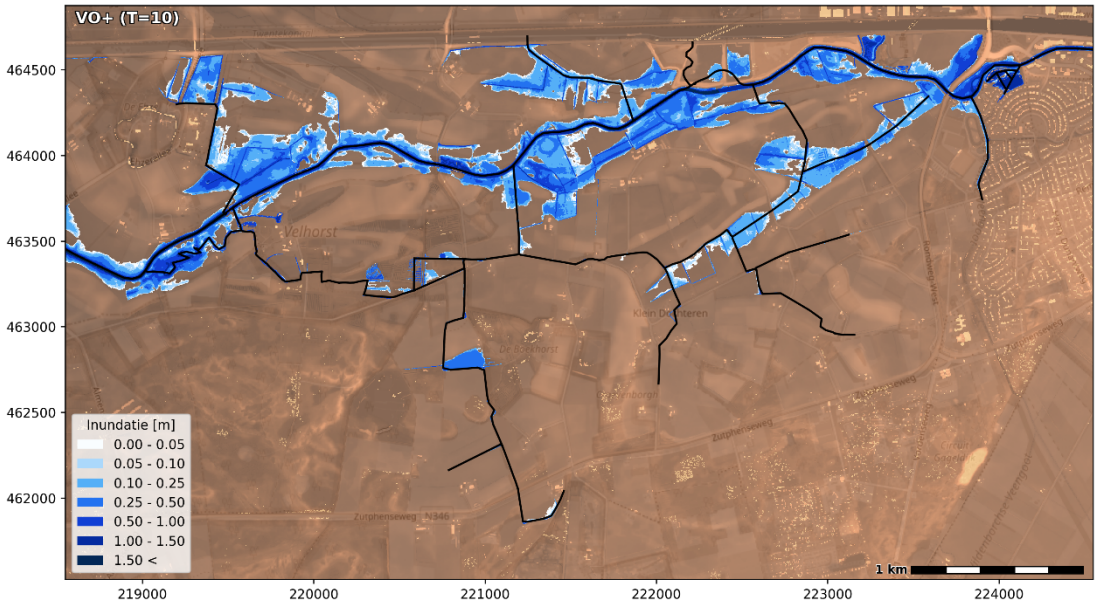
4.1.5 Inundatie

Voor de inundatieanalyse zijn de gemiddelde waterstanden gebruikt, gebaseerd op de laatste drie dagen van de simulatieperiode. Voor het VO is een apart DEM gemaakt, omdat de hoofdloop op een aantal plaatsen is verlegd of gedempt ten opzichte van de referentiesituatie.

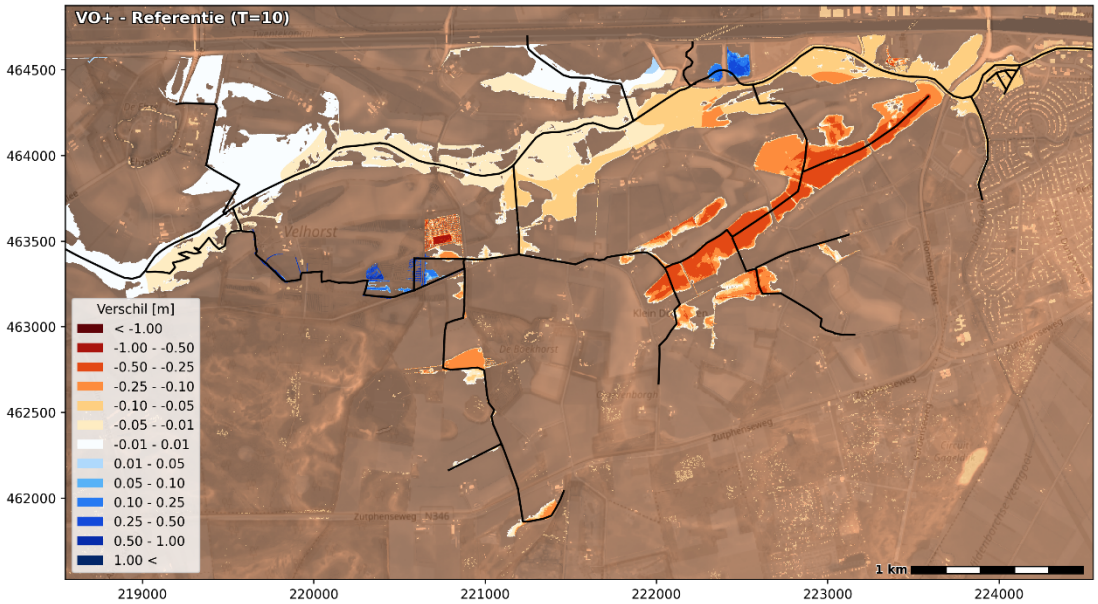
Onderstaand zijn de berekende inundatiedieptes in m op maaiveld gepresenteerd voor de T=10-situatie. Figuur 4.27 laat zien dat de inundatie bij Klein Dochteren in het VO plaatselijk meer dan 10 cm bedraagt, dit is maximaal circa 13 cm. Om de inundatierisico's in het VO te vergelijken met de referentiesituatie, is een verschilkaart gemaakt. Figuur 4.28 illustreert het verschil tussen de inundatiediepte in het VO ten opzichte van de referentiesituatie (toename van inundatie is blauw, en afname is rood).

Figuur 4.28 laat zien dat er in het VO overal een afname van inundatiediepte is ten opzichte van de referentiesituatie (T=10-situatie). Met name bij het knelpunt Klein Dochteren verbetert de situatie aanzienlijk (tot wel 50 cm minder inundatie). Dit komt omdat het water nu kan afwateren via de Velhorsterlaak. In de Velhorsterlaak zelf is een toename in inundatie te zien. Hier is in de referentiesituatie geen inundatie berekend, omdat de Velhorsterlaak niet in dit model was opgenomen.

T=10-situatie



Figuur 4.27 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=10-situatie

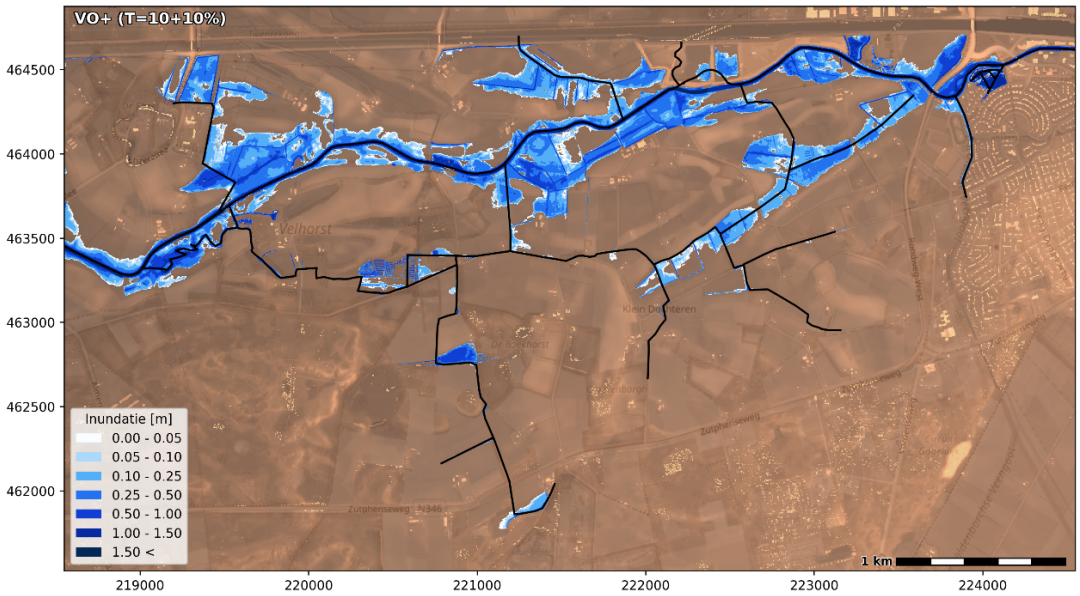


Figuur 4.28 Verschil in inundatiediepte in het VO ten opzichte van de referentiesituatie in de T=10-situatie (in meters). Blauw duidt op toename en rood duidt op afname van inundatiediepte

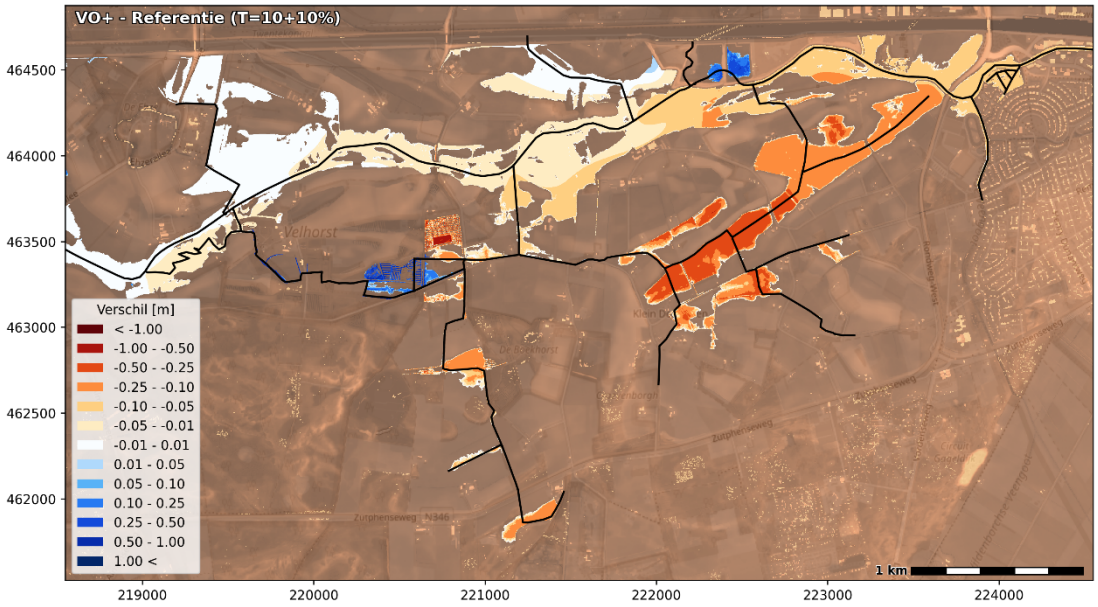
In figuur 4.29 zijn de berekende inundatiedieptes in meter op maaiveld gepresenteerd voor de T=10+10 %-situatie. Figuur 4.30 laat zien dat er in het VO overal een afname van inundatiediepte is ten opzichte van de referentiesituatie (T=10-situatie).

Tevens wordt de vergelijking gemaakt tussen de berekende inundatiediepte in de T=10+10 %-situatie in het VO, en de T=10-situatie in de referentiesituatie, om te verifiëren of met de maatregelen wordt gecompenseerd voor de beoogde klimaatverandering. Deze vergelijking is gepresenteerd in figuur 4.31. Deze figuur laat zien dat er in de T=10+10 %-situatie vrijwel overal een vermindering van inundatie optreedt in het VO, ten opzichte van de T=10-situatie in de referentiesituatie. Hiermee wordt het effect van klimaatverandering dus voldoende opgevangen door het ontwerp. Enkele uitzonderingen zijn de secundaire waterlopen langs de hoofdloop van de Berkel, en benedenstrooms van de uitmonding van de nevengeul. De toename betreft hier echter minder dan 5 cm. Bij de verplaatste stuw Hoge Weide en de nieuwe Velhorsterlaak is een toename van inundatie, omdat hier in de referentiesituatie geen inundatie optrad vanwege de verschillen in het model.

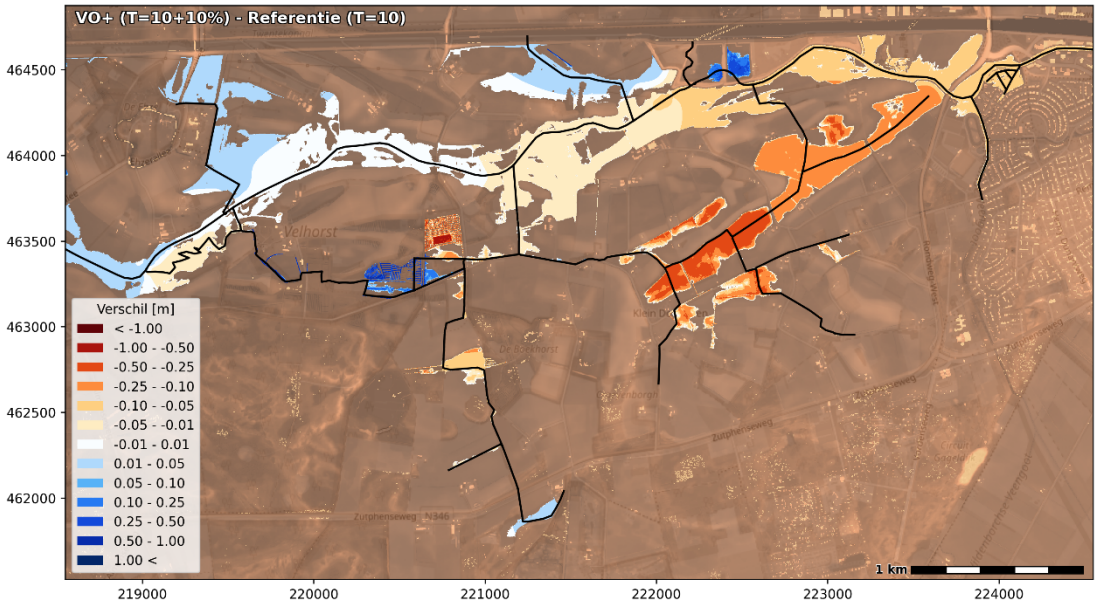
T=10+10 %



Figuur 4.29 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=10+10 %-situatie



Figuur 4.30 Verschil in inundatiediepte in meters ten opzichte van de referentiesituatie (T=10+10 %-situatie)

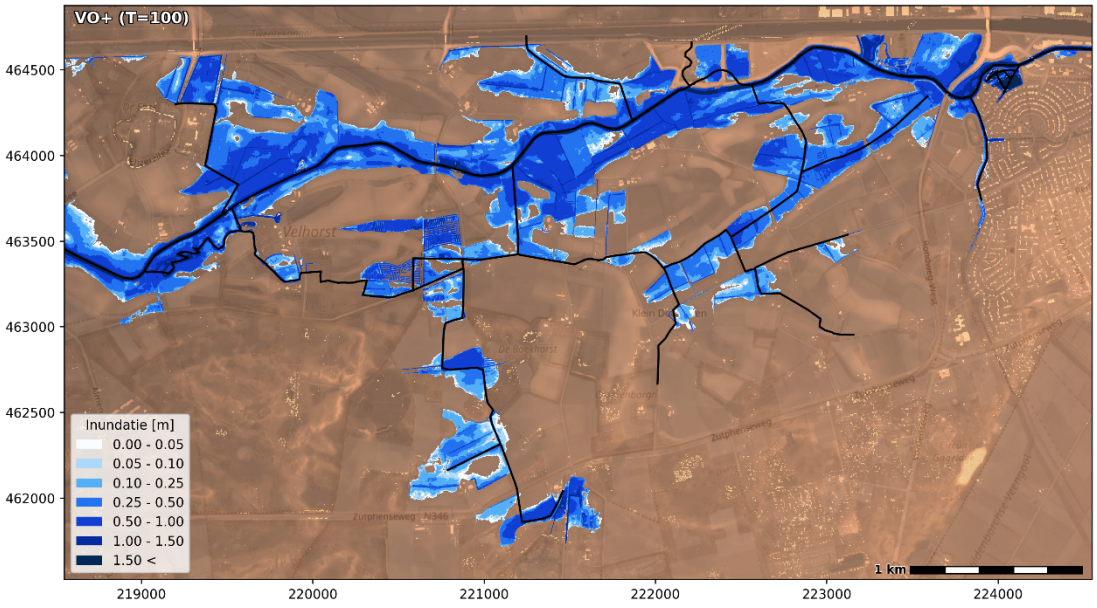


Figuur 4.31 Verschil in inundatiediepte in het VO (T=10+10 %-situatie) ten opzichte van de referentiesituatie (T=10-situatie) in meters. Blauw duidt op toename en rood duidt op afname van inundatiediepte

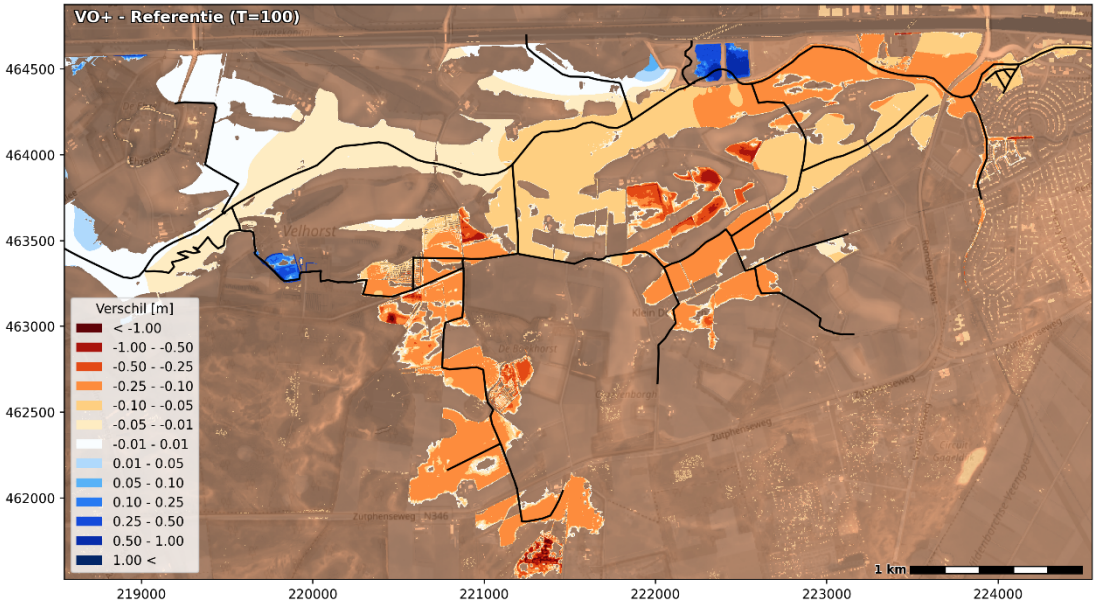
In figuur 4.32 is een kaart gepresenteerd met berekende inundatiedieptes in meters op het maaiveld voor de T=100-situatie. In figuur 4.33 is het verschil in inundatie ten opzichte van de referentiesituatie weergegeven. In de T=100-situatie neemt de inundatiediepte in het VO nagenoeg overal af ten opzichte van de referentiesituatie. Door het opnemen van de Velhorsterlaak vindt het water gemakkelijker weg naar de Berkel, en treedt er lokaal maximaal 1 m minder inundatie op dan in de referentiesituatie (bij de Zutphenseweg), maar gemiddeld 10-25 cm. Langs de hoofdloop van de Berkel tot aan Hoge Weide maximaal 10 cm verbetering op, en bovenstrooms van Hoge Weide is dit meer dan 10 cm verbetering ten opzichte van de referentiesituatie.

Een belangrijke kanttekening bij de inundatieplaatjes is dat de inundatie langs het Twentekanaal een overschatting is. Door de IDW-interpolatie worden de waterstanden binnen een straal van 2 km beschouwd om de potentiële inundatie te berekenen. Dit houdt in dat de waterstanden in de hoofdloop, en in de inlaat van het Twentekanaal (waar de waterstand circa 0,5 m hoger is dan de waterstanden in de secundaire waterloop langs de Kanaaldijk. De berekende inundatie is hoger dan de optredende waterstanden in deze waterloop, en kunnen in de praktijk dus niet optreden.

T=100-situatie



Figuur 4.32 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=100-situatie



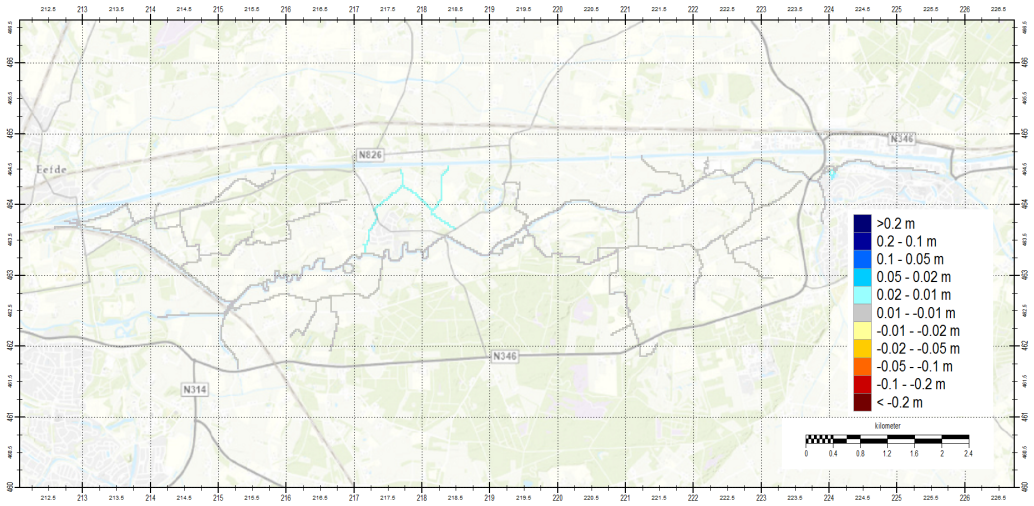
Figuur 4.33 Verschil in inundatiediepte in meters ten opzichte van de referentiesituatie (T=100-situatie)

4.2 Grondwater

4.2.1 Uitgangspunten modellering

Voor de berekeningen met het grondwatermodel zijn de gemiddelde winter- en zomersituatie voor het VO++ overgenomen uit het SOBEK-model (naam cases: VO+_zomer en VO+_winter). De data is geëxporteerd op dag 20200110 en omgezet naar een run voor het grondwatermodel: voorlopig ontwerp (VO++). In de run zijn de gegevens voor de wintersituatie ingevoerd over de periode oktober tot en met maart en de gegevens voor de zomersituatie over de periode april tot en met september. Het verschil van de export van het peil op één dag ten opzichte van de export van het peil over de laatste drie dagen van de simulatieperiode is weergegeven in figuur 4.34 voor de wintersituatie. Voor de zomersituatie is het verschil maximaal enkele millimeters. Op basis van de analyse van de modelopbouw, paragraaf 2.2.2 en de validatie, paragraaf 2.2.3 worden de volgende uitgangspunten gehanteerd voor de modellering:

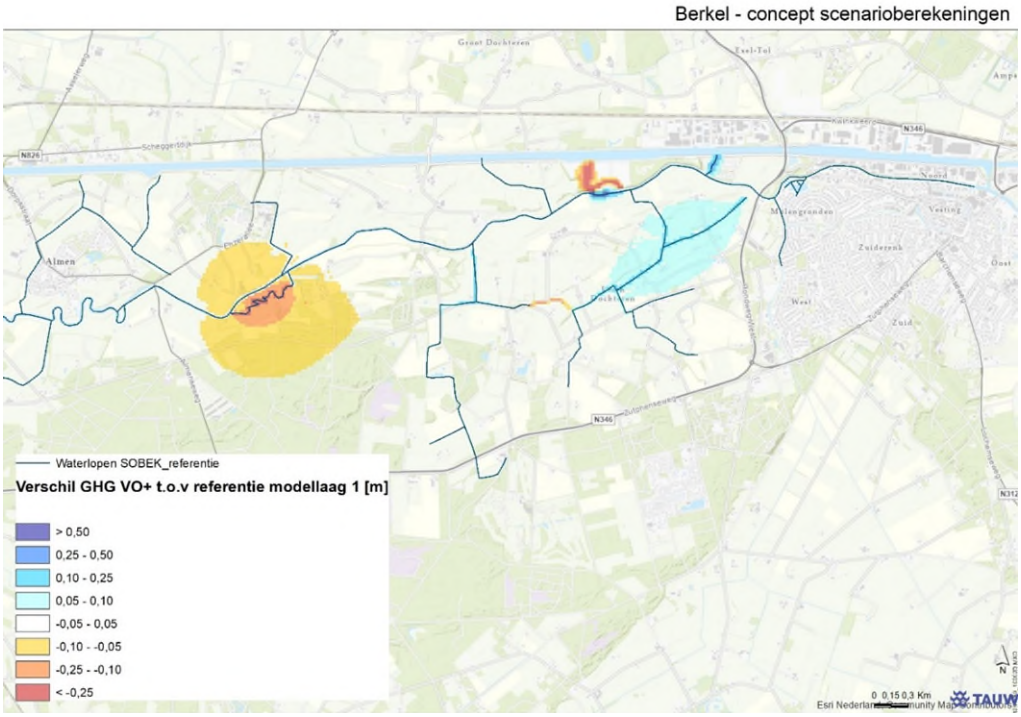
- De bodemweerstand blijft hetzelfde, de conductance wordt aangepast op basis van het natte oppervlakte van de watergang
- De infiltratiefactor voor de hoofdloop van de Berkel is in de huidige situatie aangepast naar 0,3 (zie paragraaf 2.2.2.5), deze blijft in ook in het VO+ 0,3. De infiltratiefactor van de nevengeul blijft 0
- De watergangen die in SOBEK zijn opgenomen worden uitgeknipt en vervangen in het grondwatermodel door de waarden die volgen uit de SOBEK-modellering (peil, bodemhoogte en conductance op basis van het natte oppervlakte)
- In huidige situatie wordt aangenomen dat de (detail)ontwatering geborgd blijft. In het VO++ (scenario) wordt de afwatering getest vanuit de detailontwatering
- Overland flow blijft onveranderd
- Drainagekaart blijft onveranderd
- Het maaiveld blijft onveranderd. De afgravingen die in het VO++ worden voorzien, zijn in overleg met het waterschap niet meegenomen in de modellering



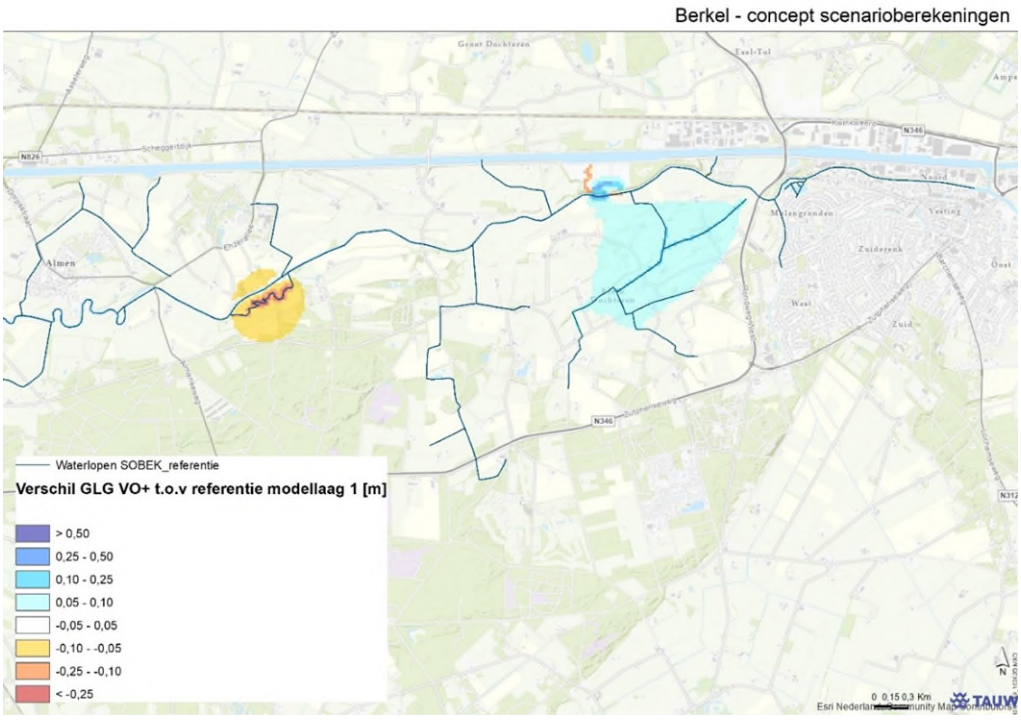
Figuur 4.34 Verschilplot peil wintersituatie export op 20200110 minus export van het gemiddelde over periode 20200108 tot en met 20200110

4.2.2 GxG

Voor zowel de referentiesituatie als het VO++ is de freatische GxG (modellaag 1) berekend over de periode 2011 – 2019. Vervolgens is voor het VO++ het verschil in GxG uitgerekend ten opzichte van de referentiesituatie. Hiermee wordt inzichtelijk wat het effect is van de herinrichting. In figuur 4.35 is het verschil in GHG weergegeven en in figuur 4.36 is het verschil in GLG weergegeven. In bijlage 3a zijn de figuren opgenomen met daarin zowel de absolute GxG's (in m-mv en mNAP) als de GxG-effecten. Hierbij moet opgemerkt worden dat de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld zullen wijzigen door aanpassing van het maaiveld. In het ontwerp zijn onder andere maaiveldverlagingen voorzien ter hoogte van het RWS-depot. De grond wordt tussen de 30 cm en 80 cm onder maaiveld afgegraven. Er zijn ook verschilplots gemaakt voor bodemhoogte, conductance en infiltratiefactor van het oppervlaktewatersysteem die ter referentie zijn opgenomen in bijlage 4a.



Figuur 4.35 Verschil GHG (VO++ minus referentie)



Figuur 4.36 Verschil GLG (VO++ minus referentie)

Hieronder worden kort de effecten beschreven:

- Er treedt een verlaging van de grondwaterstanden op ter hoogte van de nevengeul doordat de nieuwe stuw in de nevengeul smaller is en de afvoer knijpt. Deze verlaging treedt op in zowel de zomersituatie als de wintersituatie, waarbij het effect in de wintersituatie het grootst is. Het peil in de wintersituatie is 50 tot 68 cm lager dan in de referentiesituatie en voor de zomersituatie is dit 14 tot 64 cm
- Nabij de nieuwe loop van de Velhorsterlaak treedt nagenoeg (< 5 cm) geen verandering van de GLG op
- In de GHG- en GVG-situatie ontstaat er een vernatting in de buurt van de aantakking van de Afwatering van Oldeweerd op de Berkel (de waterstand wordt iets hoger door de aantakking van de Velhorsterlaak)
- Ook ontstaat er een verdroging in het stukje Velhorsterlaak nabij de Lageweg waar de bodem erg ondiep is. Deze verdroging wordt veroorzaakt doordat er in het grondwatermodel in de huidige situatie geen waterloop ligt, de nieuwe waterloop werkt dan drainerend in het grondwatermodel. In werkelijkheid ligt de aantakking er al en zal er een kleine vernatting ontstaan doordat deze watergang langer watervoerend blijft
- Bij de Lageweg / Afwatering van Westerholt wordt een verhoging van de grondwaterstanden berekend als gevolg van een hoger inslagpeil van het gemaal en het langer watervoerend blijven van de Velhorsterlaak (vooral dit laatste effect wordt waarschijnlijk wat onderschat door het model)

- Verhoging en verlaging van de grondwaterstanden vindt lokaal plaats bij de verlegging van de loop van de Berkel ter hoogte van het RWS-depot. Ter hoogte van het beoogde moeras wordt de GHG in het VO+ tussen 0,2 m en 1,2 m onder maaiveld berekend. De GLG voor het VO+ ligt hier tussen de 0,7 m en 1,5 m onder maaiveld. Het maaiveld betreft hier het huidige maaiveld zoals dat in AMIGO v3.1 is opgenomen. In de wintersituatie verlagen de grondwaterstanden langs de nieuwe loop ten opzichte van de referentiesituatie en treedt er vernatting op in de oude loop van de Berkel. In de zomersituatie treedt er juist vernatting op langs de nieuwe loop. Dit effect in de zomer wordt veroorzaakt door de verplaatsing van de stuw naar benedenstrooms (het bovenstroomse peil wordt over een langer traject gerealiseerd). In de winter ontstaat dit effect ook maar het is drainerende effect van het verplaatsen van de hoofdloop groter dan de extra infiltratie als gevolg van de peiltoename
- Het verwijderen van de inlaat met het Twentekanaal bovenstrooms van het RWS-depot heeft ten opzichte van de referentiesituatie een vernatting tot gevolg, voornamelijk in de GHG- en GVG-situatie. Het realiseren van een nieuwe inlaat benedenstrooms van het RWS-depot heeft juist een verdrogend effect

De maximale grondwaterstandsverlaging die optreedt in de GHG-situatie bedraagt 0,56 m nabij de nevengeul en 0,69 m nabij de nieuwe inlaat benedenstrooms van het RWS-depot. Voor de GLG-situatie is de maximale grondwaterstandsverlaging 0,40 m nabij de nevengeul en 0,20 m nabij de nieuwe inlaat van het RWS-depot. De vernatting nabij de Lageweg / Afwatering van Westerholt bedraagt in de GHG-situatie maximaal 0,25 m.

4.2.3 Natuur

De grondwaterstandsverandering in het VO++ ten opzichte van de referentie heeft effect op de natuur van landgoed Velhorst. Uit de GxG-effectanalyse blijkt dat er ter hoogte van de Velhorst een beperkte verlaging van de GLG en GVG plaatsvindt (5 tot 10 cm). Dit kan nadelig zijn voor de aanwezige grondwaterafhankelijke natuur en schraalland/hooilandjes. Uit een snelle analyse blijkt dat voor heischrale graslanden een GVG aan maaiveld tot ongeveer 30 cm onder maaiveld optimaal zijn voor heischrale graslanden (bron: Database ecologische randvoorwaarden Han Runhaar). Echter in de huidige situatie liggen de grondwaterstanden al dermate diep dat naar niet aan voldaan worden. In het VO treedt een verslechtering op van een situatie die al niet optimaal was.

4.2.4 Landbouw

Met behulp van de webversie van de Waterwijzer Landbouw[7] is een globale (absolute) inschatting gemaakt van de opbrengstderving ter hoogte van de nevengeul als gevolg van de verdroging die optreedt in het VO++ ten opzichte van de referentie. Het grondwatermodel berekent te hoge grondwaterstanden, in werkelijkheid zal de droogteschade daarmee mogelijk nog wat hoger zijn. Daarom is voor de inschatting het GxG-verschilresultaat van de modellering van VO++ en referentie gesuperponeerd op de GxG's uit metingen van een peilbuis in de buurt van de nevengeul, B33F0270. Door het berekende effect op te tellen bij de gemeten grondwaterstanden kan op basis van absolute grondwaterstanden toch een realistische globale inschatting van de landbouwschade worden gemaakt. De opbrengstenderving als gevolg van droogte wordt in het VO++ ingeschat op 9,6 % voor grasland (beweiding). Dit is 3,3 % hoger ten opzichte van de referentie.

[7] https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/

Ter hoogte van de Lageweg / Afwatering van Westerholt is ook een inschatting gemaakt van de behaalde opbrengst als gevolg van de vernatting die optreedt in het VO++ ten opzichte van de referentie door middel van superpositie van het berekende effect op de gemeten grondwaterstanden van peilbuis Nijkampsweg (WRIJ-data). De opbrengstenderving voor grasland (beweiding) als gevolg van de droogte van 14,5 % in de referentiesituatie wordt gereduceerd tot 12,3 % in het VO++.

Een meer gedetailleerde weergave met overzicht van instellingen is opgenomen in bijlage 5a.

5 Resultaten DO-modellering

In dit hoofdstuk worden de modelresultaten besproken van de oppervlaktewater- en grondwatermodellering van het DO. In paragraaf 5.1 worden de resultaten van het oppervlaktewatermodel beschreven. In paragraaf 5.2 vervolgens de resultaten van het grondwatermodel.

5.1 Oppervlaktewater

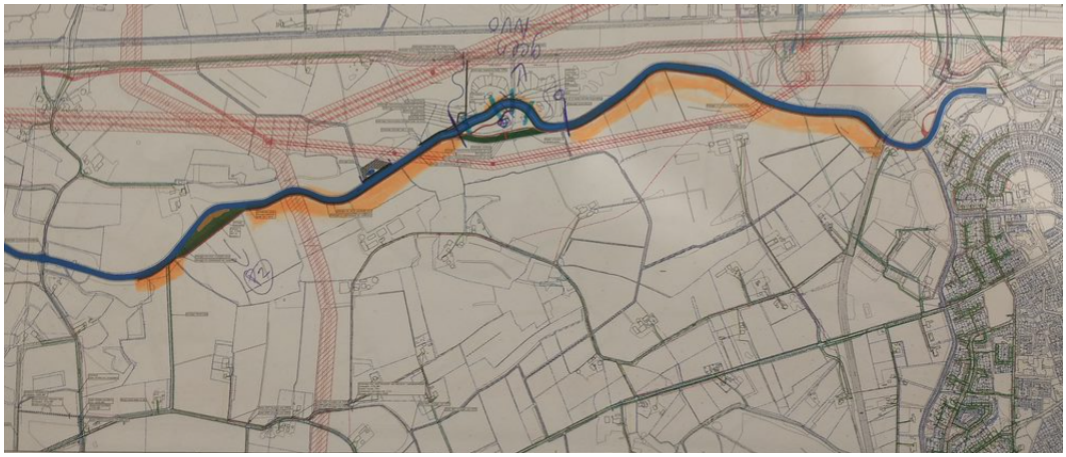
In deze paragraaf zijn aanvullingen / wijzigingen ten opzichte van het VO++ beschreven, Het DO is gebaseerd op het VO++ uitgangspunten uit het VO++ worden niet nogmaals beschreven

5.1.1 Modelaanpassingen SOBEK

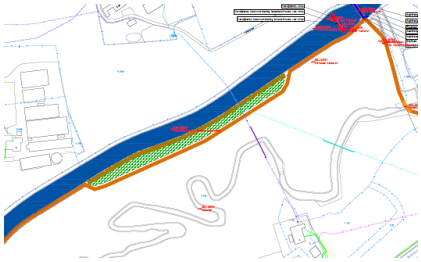
Natuurvriendelijke Oevers

Ten opzichte van het DO++ zijn een aantal aanpassingen voorzien rondom de NVO's:

1. De linkeroever van Lochem tot aan de Boevinkbrug wordt een plasberm, de uitgangspunten van deze plasberm zijn gelijk aan het VO++, echter de locatie is nog wat aangescherpt en in oranje gemarkeerd in figuur 5.1
2. De linkeroever langs nevengeul bosoever (figuur 5.2) vervalt ten aanzien van het toevoegen van een bosoever in het hydrologische model. Vanaf de insteek van de watergang aan de linkeroever wordt wel een hogere ruwheid toegepast van 5 (strickler)
3. Ter plaatse van de plasdras locatie bij Oldeweerd / de Staringkoepel wordt een nieuw principe brede bosoever toegepast (voor de locatie zie figuur 5.3). Dit betreft een combinatie van bos en moeras, qua begroeiing een heel ruw profiel (5 bos strickler, 2 strickler). De moerasloop wordt als bypass in het model opgenomen. In figuur 5.4 zijn de principeprofielen weergegeven die overgenomen worden in het hydrologisch model
4. Op overige locaties die wel op het DO zijn aangegeven wordt in het hydrologisch model geen aanpassingen / toevoeging van een NVO toegepast

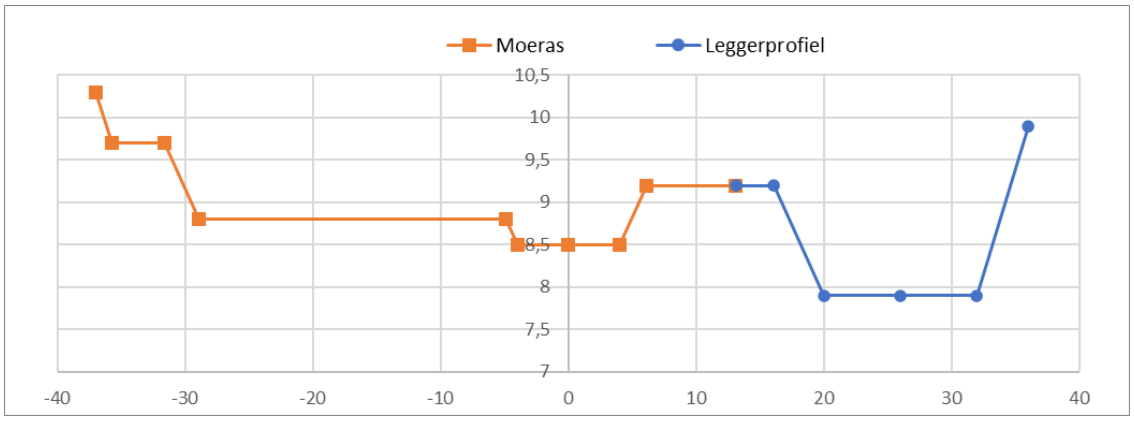


Figuur 5.1 Situering plasberm in DO aangegeven in oranje



Figuur 5.2 Natuurvriendelijke oever punt 2

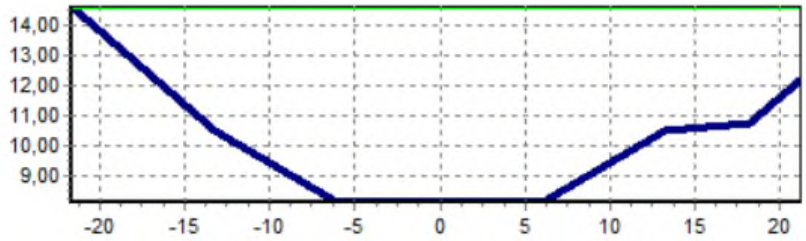
Figuur 5.3 Natuurvriendelijke oever punt 3



Figuur 5.4 Principeprofiel Staringkoepel

Verlegging berkel

Ter plaatse van de verlegging van de Berkel zijn drie principeprofielen aangeleverd (zie figuur 5.5). Deze worden meegenomen in het model. Langs de verlegging wordt niet gewerkt met een NVO.



Figuur 5.5 Principeprofiel verlegde Berkel, bovenstrooms van Hoge Weide

Kunstwerken Berkel

1. In DO wordt uitgegaan van twee kleppen ter plaatse van stuw Velhorst en stuw Hoge weide, in de huidige situatie hebben beide stuwen slechts één klep. Voor de berekening zie bijlage 6
2. TAUW bepaalt het natte oppervlakte van de doorstroomopening in de huidige situatie en bepaalt hoeveel groter deze moet zijn als er twee kleppen gehanteerd worden. De 'wangen' in de huidige situatie zijn in het DO niet meer overstroombaar. Alle afvoer moet dus door de doorstroomopeningen van de stuwkleppen gaan. In figuur 5.6 is een voorbeeld gegeven van het aanzicht van de nieuwe stuwen. We gaan uit van een tussenpilaar van 1 m

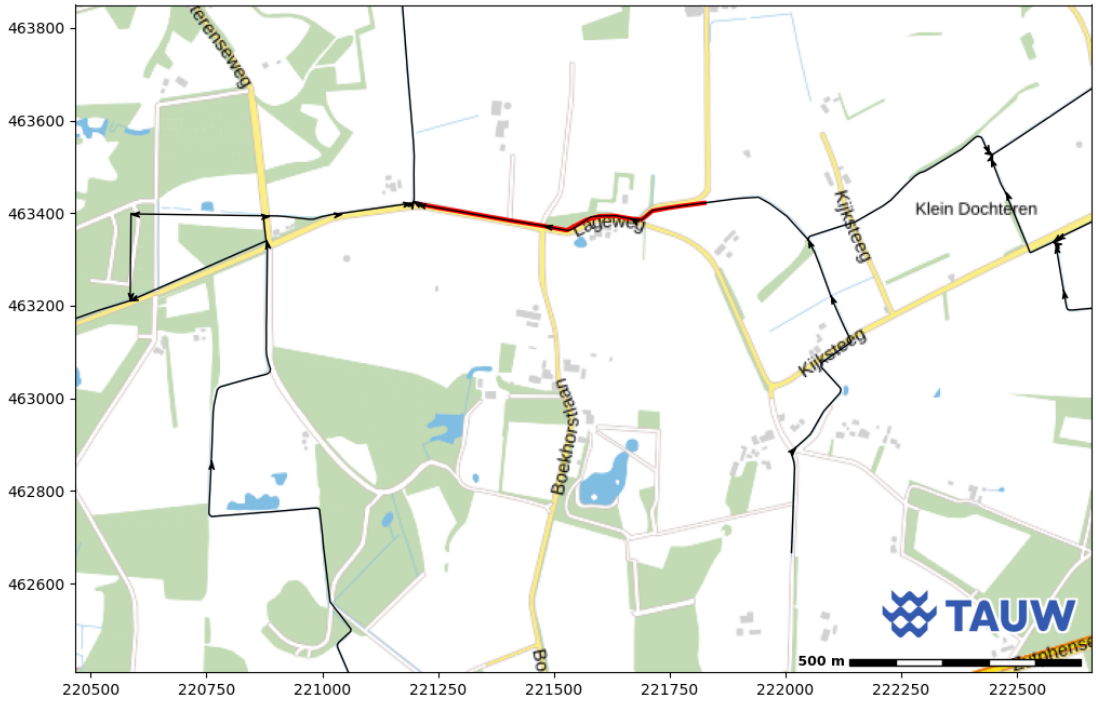
Figuur 5.6 Voorbeeld van aanzicht voor nieuwe stuwen

Optimalisatie NBW-knelpunt Westerholt

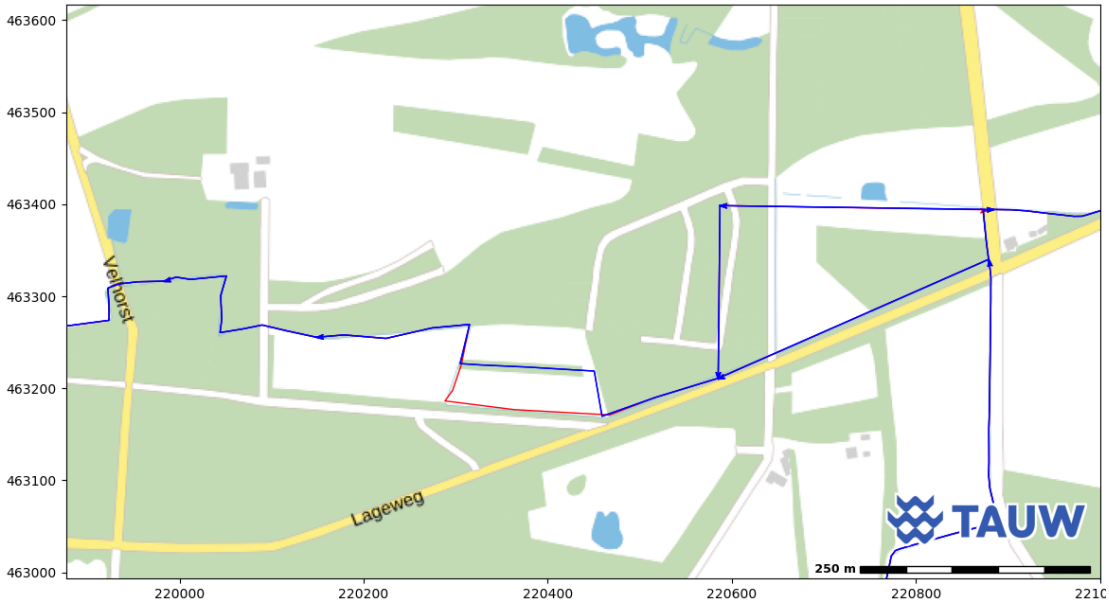
In extreme situaties (T=10) blijkt dat de uitgangspunten van het VO++ het NBW-knelpunt bij Westerholt sterk verminderd, echter er treden nog steeds inundaties op. Omdat het optreden van een T=10-situatie in de afvoer van de Berkel (groot achterliggend stroomgebied) en het optreden van een T=10-afvoer op hetzelfde moment bij Klein Dochteren statistisch gezien minder vaak optreed dan een T=10-situatie ervoor gekozen om het T=10+10 %-scenario op te splitsen. Er wordt een T=10+10 %-scenario doorgerekend voor de toetsing van de Berkel. Daarnaast wordt een T=10+10 %-scenario bij Klein Dochteren in combinatie met een T=1-afvoer op de Berkel doorgerekend voor de toetsing van het NBW-knelpunt. Deze keuze is tot stand gekomen omdat de opstuwing in de Berkel (welke aanzienlijk overschat is ten opzichte van wat er in de praktijk zou gebeuren) de afwatering via de Velhorsterlaak blokkeert. De volgende modelaanpassingen zijn uitgevoerd:

1. We nemen de verondieping bij Oldeweerd over uit het door het waterschap aangeleverde model[8] (zie figuur 5.7)
2. De watergangen over het traject Klein Dochteren – Velhorsterlaak tot en met de nevengeul krijgen hogere prioriteit ten aanzien van beheer en onderhoud. We hanteren hier nu lagere weerstanden (ks = 25 in de winter, ks = 9 in de zomer)
3. Verlengen en verleggen waterloop (zie figuur 5.8)

[8] SOBEK-model TBK_NMT.LIT, case 5, aangeleverd door het Waterschap Rijn en IJssel op 7 juli 2022.



Figuur 5.7 Traject waarover verdieping is opgenomen in DO-modellering



Figuur 5.8 Verleggen van de Velhorsterlaak: Oude situatie is in het rood aangegeven en in blauw de nieuwe situatie

Optimalisatie zomersituatie, verminderen afvoer via Oldeweerd

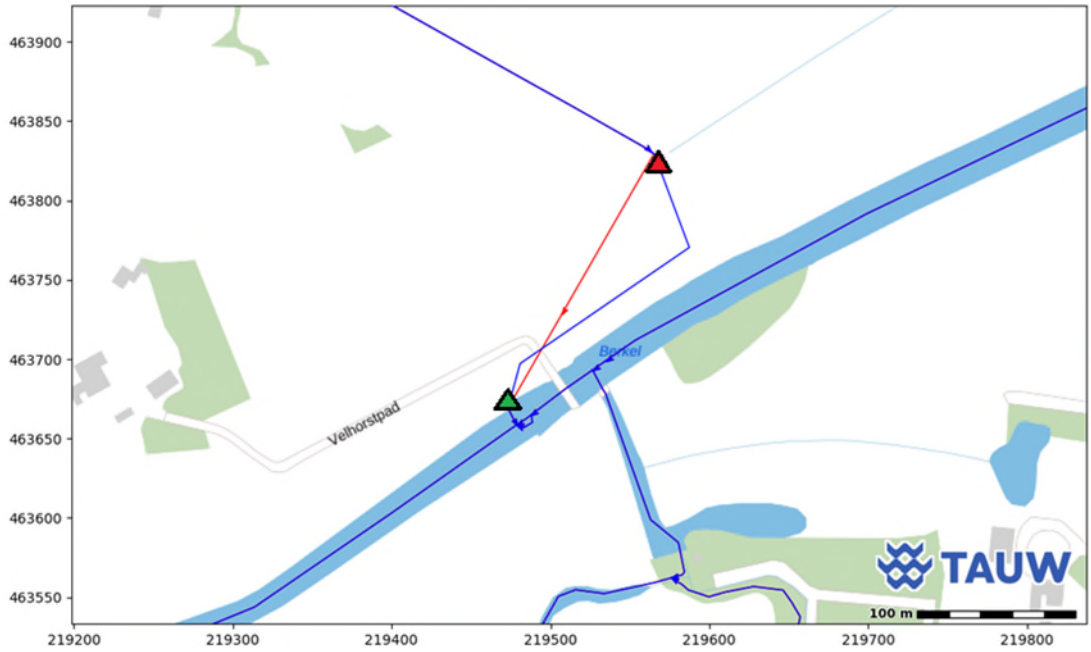
In het VO++ gaat de afvoer vanuit Westerholt nog niet volledig over de Velhorsterlaak maar wordt er nog water afgevoerd over stuw Oldeweerd in de zomer. In het DO is gekozen om stuw Oldeweerd hoger op te trekken (9,85 m+NAP). Deze aanpassing, in combinatie met het gladdere profiel zal zorgen voor een goede afwatering via de Velhorsterlaak naar de nevengeul. In de wintersituatie, en de extreme situaties heeft stuw Oldeweerd een kruinhoogte van 9,7 m+NAP.

Nevengeul

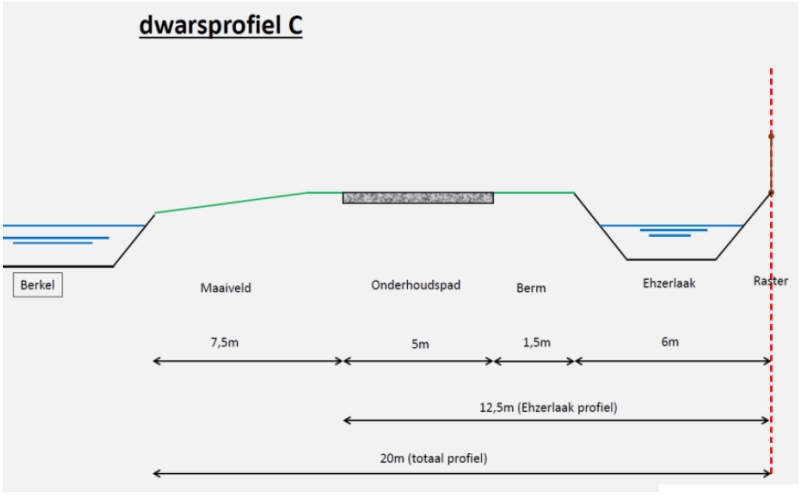
De dimensionering van de nevengeul in het model is te groot (leggerprofielen in plaats van gemeten profielen die in de jaren behoorlijk aangezand / aangeslibt zijn. We kiezen ervoor om dit niet aan te passen in het oppervlaktewatermodel. Echter door de diepe ligging en de opstuwing bovenstrooms van de stuw in de nevengeul kunnen de peilen in de nevengeulen lager berekend worden dan de referentie. Door de diepe ligging kan hiermee het effect op de grondwaterstanden (verlaging) mogelijk modelmatig overschat worden.

Stuw ten noorden van Velhorstbrug / Ehzerlaak

1. Ter plaatse van de percelen ten noorden van de Velhorstbrug / Ehzerlaak wordt een duiker verwijderd en de huidige watergang verlegd naar de Berkel conform figuur 5.9. Qua profiel van de watergang wordt uitgegaan van de bestaande profielen
2. De rood gemarkeerde stuw wordt met de huidige dimensies verplaatst naar de benedenstroomse groen gemarkeerde locatie



Figuur 5.9 Aanpassingen ten noorden van Velhorstbrug

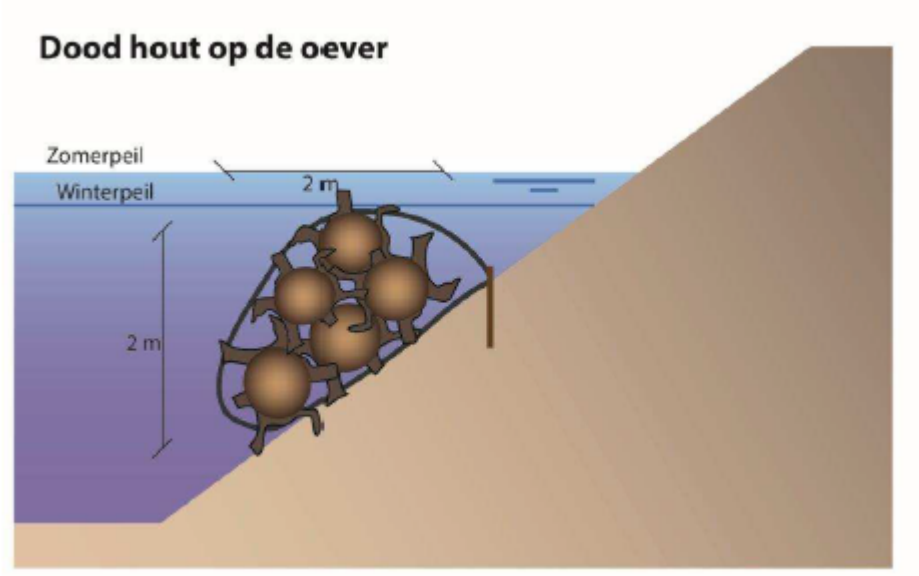


Figuur 5.10 Dwarsprofiel op locatie C, ten noorden van Velhorstbrug / Ehzerlaak

Toepassing van dood hout

Voor het DO Berkel wordt uitgegaan van het toepassen van dood hout in het hele zomerbed conform de KRW-opgave: 6 patches van 1 boom (6 stuks totaal), verdeeld over drie stuwvakken (stepping stones): bovenstrooms stuw Hoge Weide 2 stuks waarvan 1 in de huidige inlaat en 1 in een buitenbocht van de Berkel, bovenstrooms stuw Velhorst 3 stuks in de Berkel. Net benedenstrooms stuw Velhorst in de buitenbocht bij de uitstroom van de bypass. De keus voor één boom per patch is vanwege de geringe diepte van de Berkel en de beschikbaarheid van 6 populieren (door Natuurmonumenten beschikbaar gesteld). Uitgangspunten voor het toepassen van dood hout zijn:

- Om opstuwing in extreme situaties te voorkomen worden de pakketten net onder de waterspiegel geplaatst. De pakketten worden zodanig verankerd zodat dat ze bij een hoogwater niet los raken. De ervaring leert dat hout zoals eiken van nature al zinkt en daarna alleen maar zwaarder wordt. Verankering aan twee palen boven- en benedenstrooms met staalkabels volstaat
- De voorkeur is voor toepassing van grote bomen met dikke stam, en hele bomen met de volledige kruin en de volledige kluit voor optimale werking. Dus niet al het kleine takhout eraf zagen!
- De dood hout locaties mogen de hoofdgeul van Berkel niet helemaal blokkeren zodat bevaarbaarheid (waar van toepassing) niet in het geding komt. Doordat de patches in de lengterichting geplaatst worden is dit geen probleem
- Monitoring van de effecten van deze patches op ecologie, beheer, bevaarbaarheid en waterstanden is belangrijk zodat in de toekomst de hoeveelheid dood hout in de hoofdgeul van de Berkel toe kan nemen



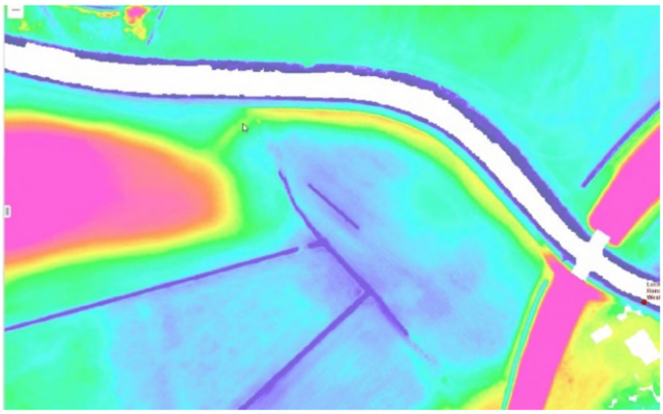
Figuur 5.11 Principe van toepassing van dood hout in de Berkel (Bron: hydrologische onderbouwing DO's Karshoek Stegeren en Rheezermaten, Vechtstromen 2019)

Overige punten

1. Aanpassingen en afgravingen van het maaiveld rondom het Depot worden niet meegenomen in de modellen. De afgraving (Moeras Depot) heeft geen effect op de grondwaterstand ten opzichte van NAP. Het heeft geen effecten naar de omgeving. Het hoeft dan ook niet mee te worden genomen in de hydrologisch modellering
2. Inlaat verplaatsen naar benedenstrooms depot, deze blijft gehandhaafd op de locatie uit het VO++

Postprocessing

1. In de T100-situatie zien we inundatie bij het stedelijk gebied van Lochem. Een deel van deze inundatie treedt niet op door een kade bij woonwijk Molengronden. In de DO-berekeningen nemen we dit mee door een aanpassing in het AHN door te voeren (globespotter bestanden op te vragen bij Pieter Diekema)
2. AHN molengronden; één stukje van kade is nog niet aangepakt (zie figuur 5.12). We doen geen aanpassingen in het model / AHN. Echter wel beschrijven we dit effect bij de kaarten als het optreedt
3. In het DO dient een extra label op de resultaten van het oppervlaktewatermodel gezet te worden ter plaatse van het gemaal Westerholt
4. In het DO dient de methode voor het berekenen van de inundatie te worden verfijnd. Bij de inundatie analyse dient de IDW-interpolatie per peilvak te worden berekend, alvorens de inundatiediepte ten opzichte van maaiveld wordt bepaald



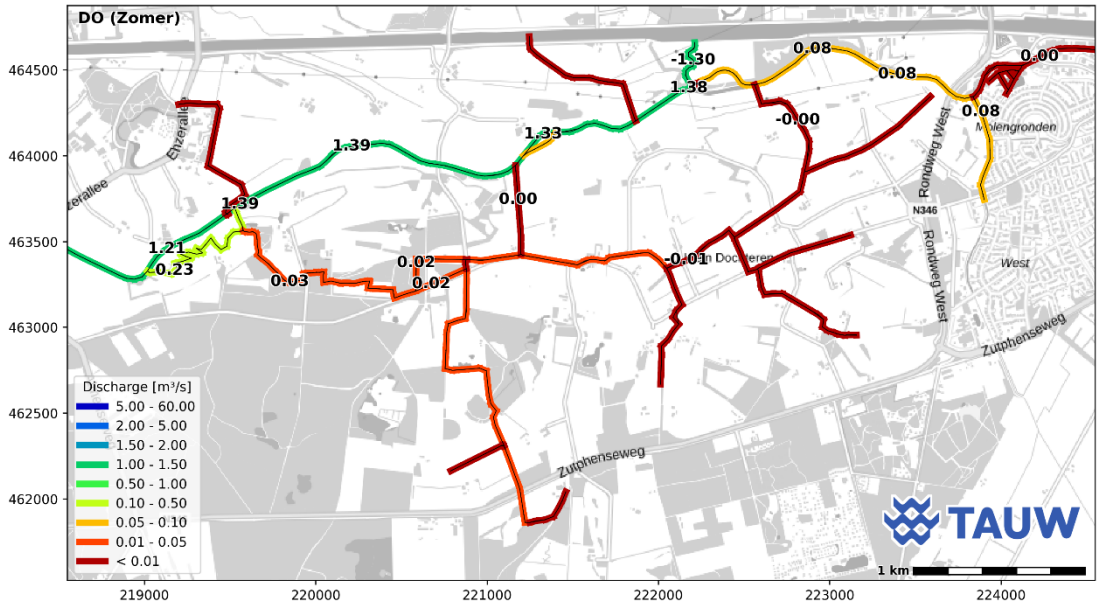
Figuur 5.12 Kade bij molengronden

5.1.2 Dood hout

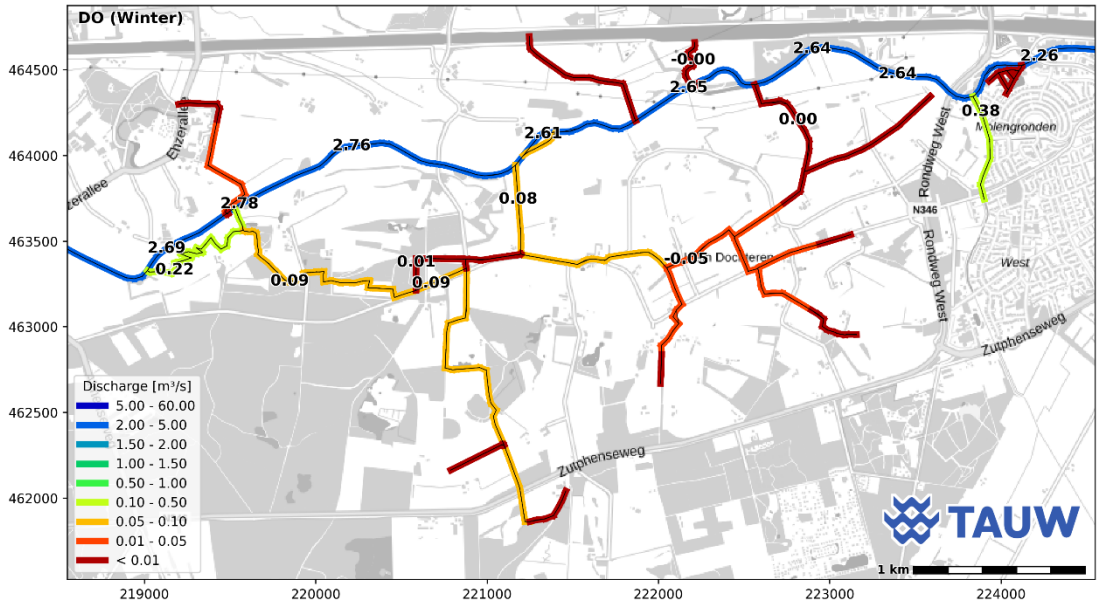
In 2019 heeft Waterschap Vechtstromen het effect van een aantal eenheidsmaatregelen in het winterbed van de Vecht op de waterstanden berekend. Deze effecten zijn berekend met behulp van SOBEK (het dwarsprofiel van het zomerbed verkleind met ongeveer het oppervlak dat de bomen innemen, ervan uitgaande dat ze de stroming ter plaatse vrijwel volledig blokkeren) en er is bepaald hoe groot het effect van een maatregel ongeveer is op de waterstanden. Uit deze berekening blijkt dat het plaatsen van een patch bomen (6 bomen) een waterstandsverhogend effect heeft van 0,1 cm op een T=100-situatie in de Vecht. We stellen voor dit effect over te nemen voor de Berkel, ondanks het feit dat de Vecht een andere rivier is dan de Berkel. Het plaatsen van bomen onder de waterlijn geeft een zeer beperkt effect (zie ook dissertatie Tjitske Geertsma ten aanzien van effecten van dood hout). Daarnaast plaatsen wij minder bomen dan destijds in de Vecht is gedaan, wat betekent dat het effect naar verwachting haast verwaarloosbaar is. Tenslotte worden de bomen niet geplaatst in de omgeving van kernen waar de norm van T=100 van toepassing is.

5.1.3 Debieten

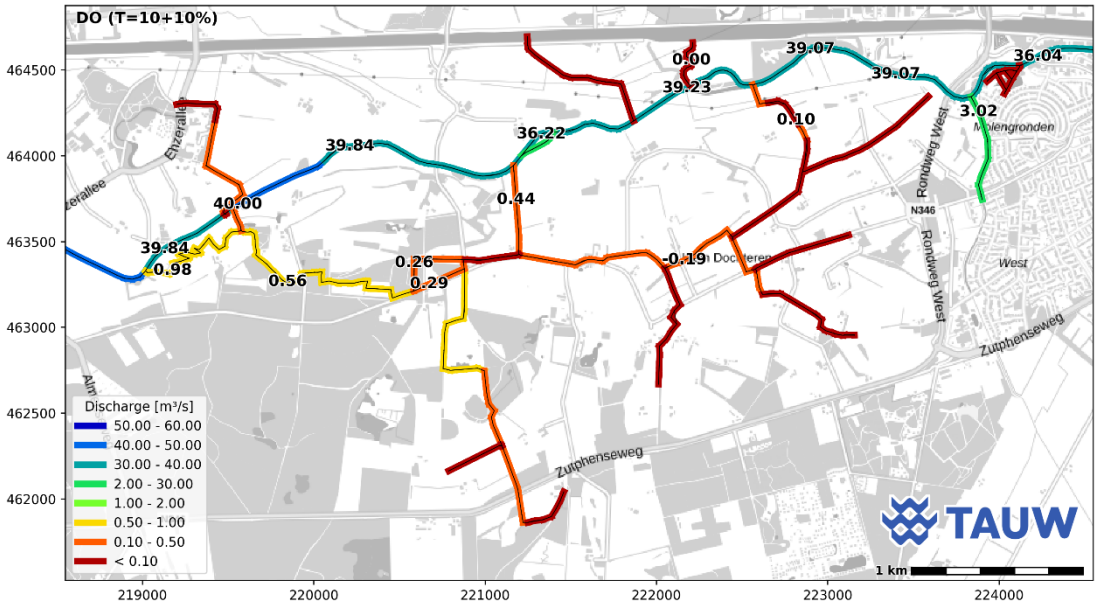
In onderstaande figuren zijn de gemodelleerde debieten weergegeven voor de gemiddelde zomer en wintersituatie en de extremere situaties (T10+10 %, T10+10 % NBW, en T=100) voor het DO. In het DO is een stuw opgenomen in het bovenstroomse deel van de nevengeul, wat zorgt voor meer opstuwing. Als gevolg gaat het overgrote deel van de afvoer nu over stuw Velhorst. Door de aantakking van de Velhorsterlaak in de nevengeul (in combinatie met het nieuwe stuwpeil bij Oldeweerd en inslagpeil bij gemaal Westerholt) gaat er minder water over stuw Oldeweerd en gemaal Westerholt.



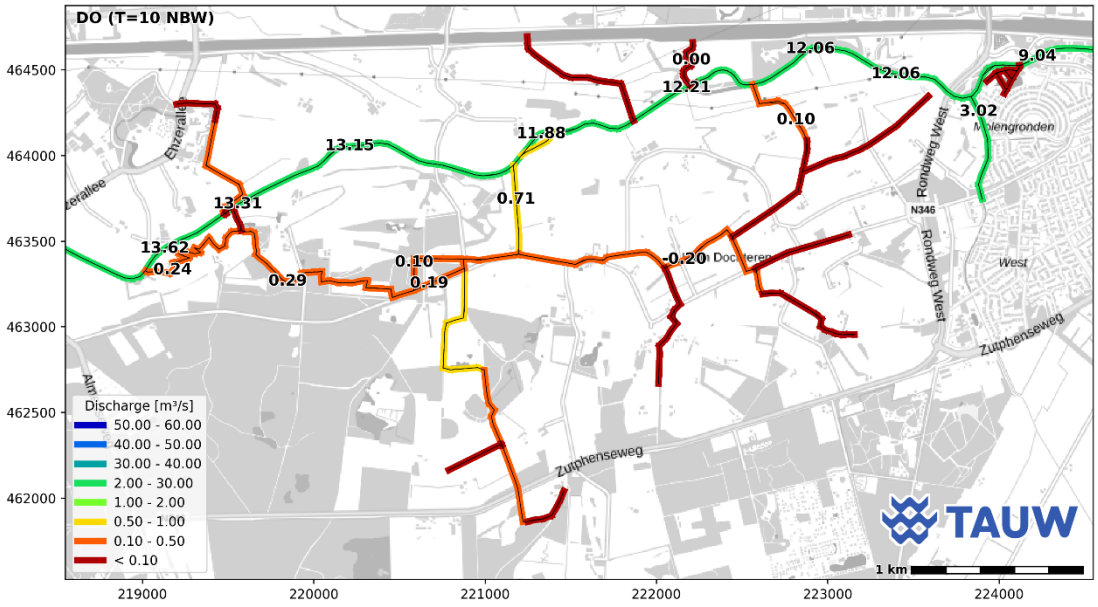
Figuur 5.13 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (gemiddelde zomersituatie)



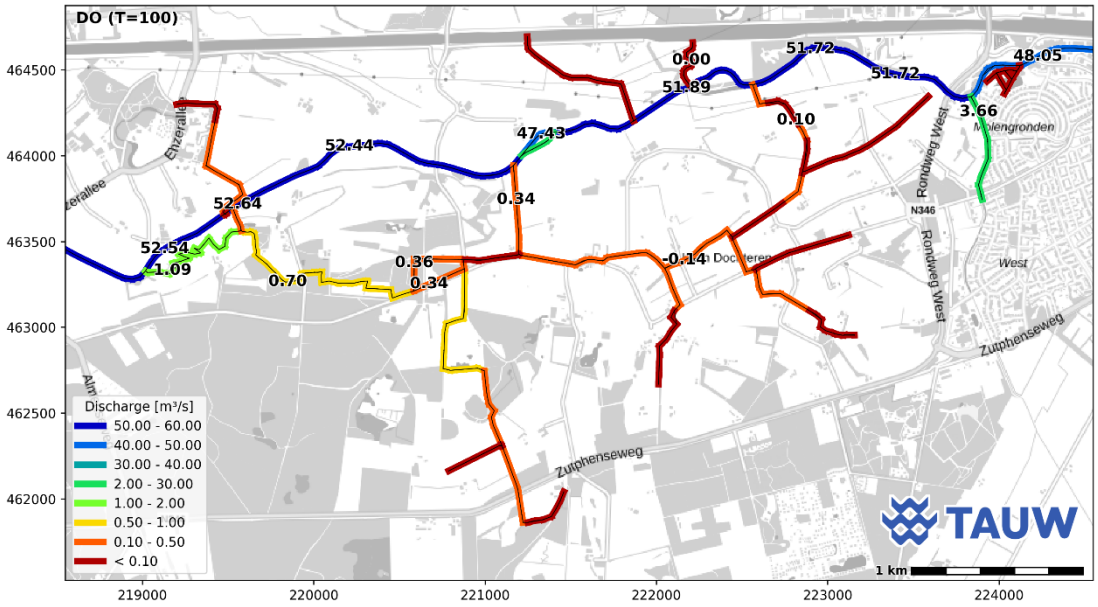
Figuur 5.14 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (gemiddelde wintersituatie)



Figuur 5.15 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (T=10+10 %-situatie)



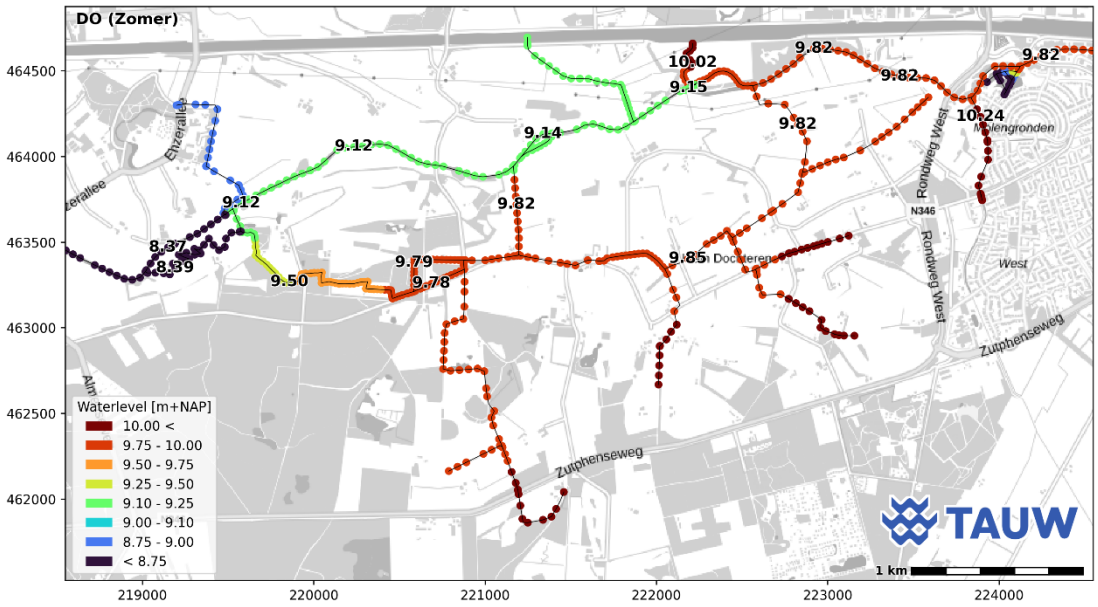
Figuur 5.16 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (T=10+10 % NBW-scenario)



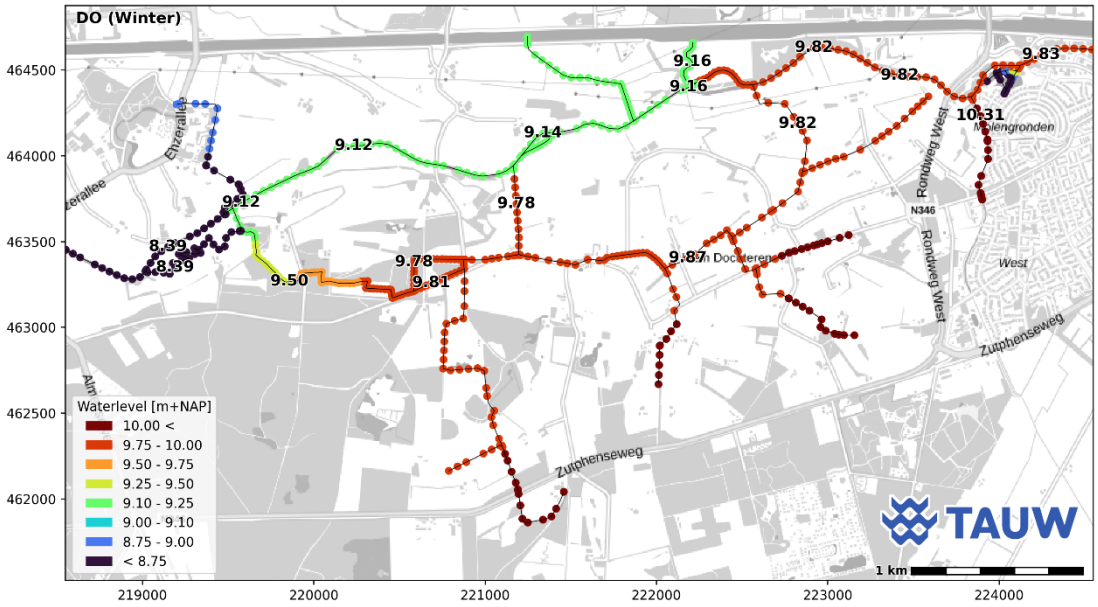
Figuur 5.17 Gemodelleerde debieten in de toekomstige situatie (T=100-situatie)

5.1.4 Waterstanden

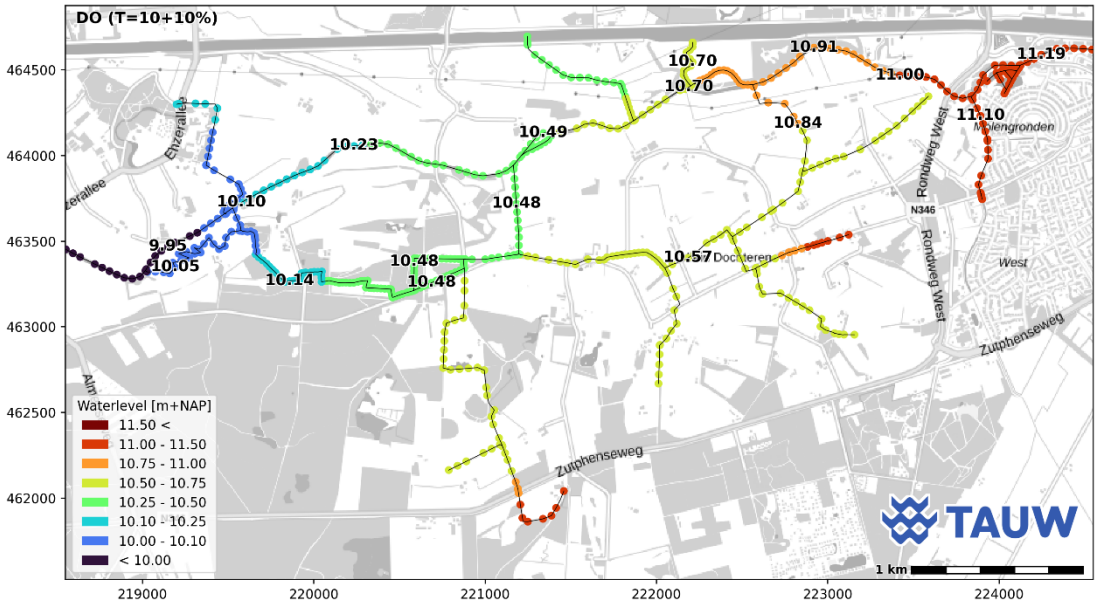
In onderstaande figuren zijn de waterstanden ten opzichte van NAP weergeven voor de verschillende gemodelleerde situaties in het DO. Vervolgens worden de verschillen in waterstanden in het DO ten opzichte van de referentiesituatie beschreven, gevolgd door de waterdieptes.



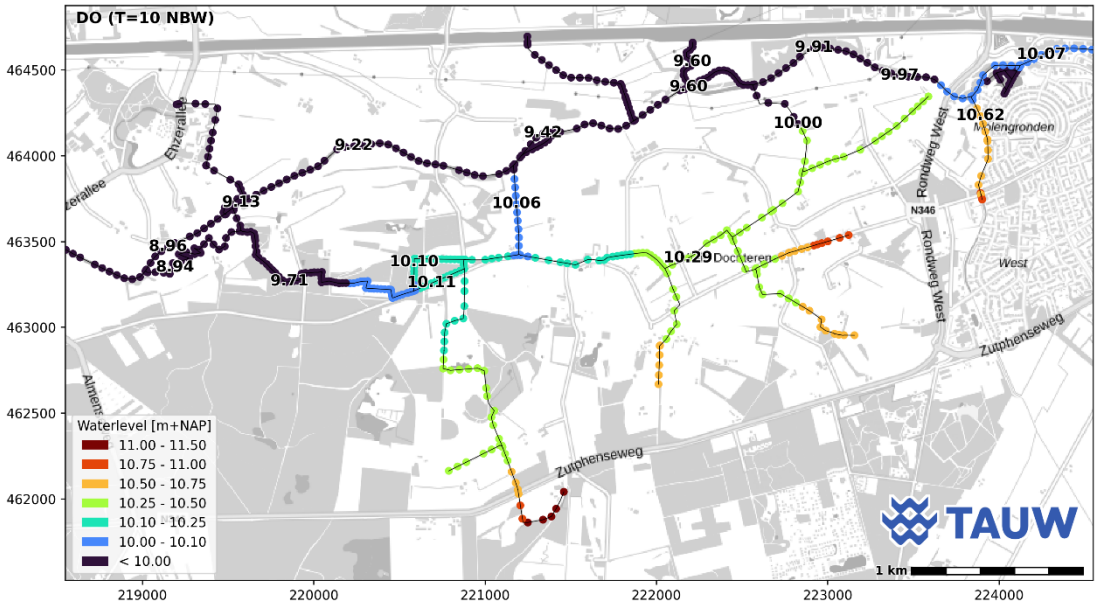
Figuur 5.18 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (gemiddelde zomersituatie)



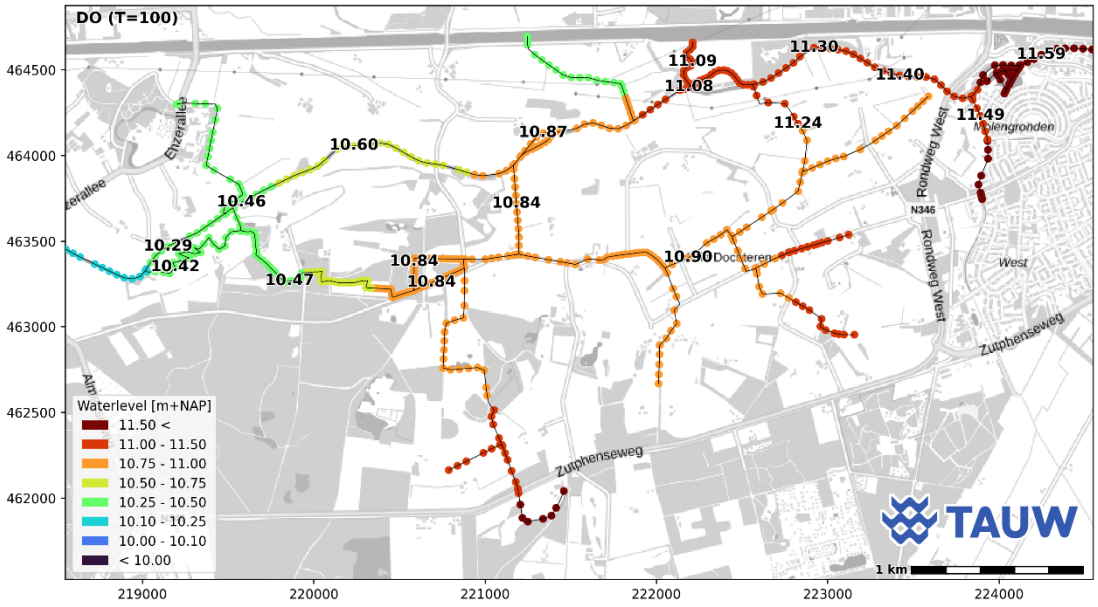
Figuur 5.19 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (gemiddelde wintersituatie)



Figuur 5.20 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (T=10+10 %-situatie)



Figuur 5.21 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (T=10+10 % NBW-situatie)



Figuur 5.22 Gemodelleerde waterstand in de toekomstige situatie in m + NAP (T=100-situatie)

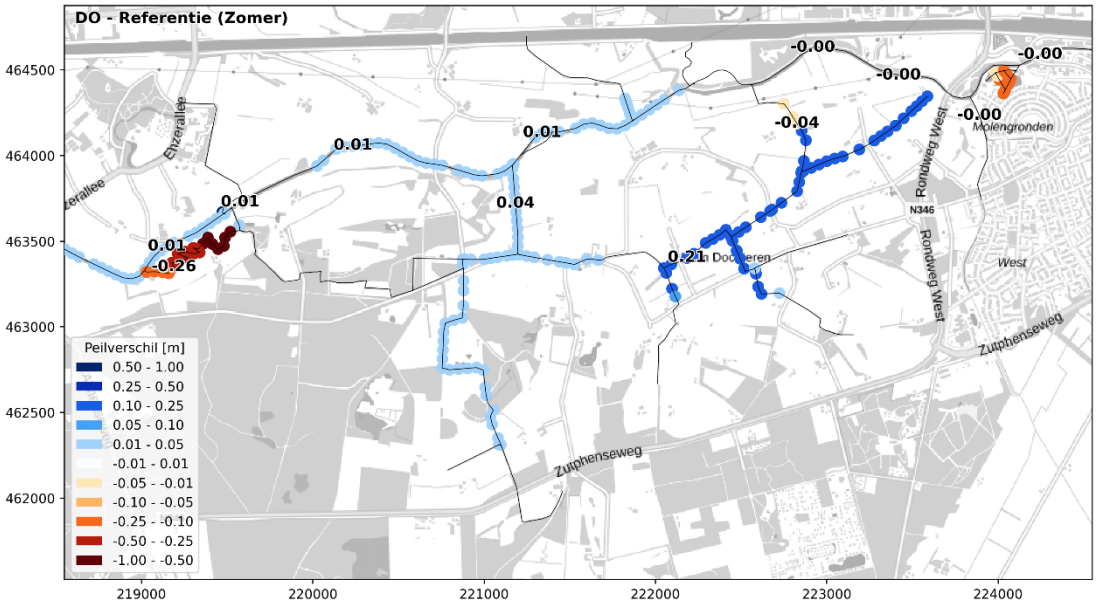
Om het peilverschil in het gehele modelgebied in beeld te brengen zijn voor alle afvoerscenario's de waterstanden in het DO-model vergeleken met de waterstanden in het referentiemodel. Voor de vergelijking zijn de waterstanden gemiddeld over de laatste drie dagen van de simulatieperiode. De verschillen (in meters) zijn hier onder per afvoerscenario gepresenteerd in een kaart, waarbij de kleuren corresponderen met het verschil (blauw is toename en rood is afname van het peil).

Gemiddelde zomer en wintersituatie

In de gemiddelde zomersituatie neemt het peil iets toe benedenstrooms van stuw Hoge Weide, als gevolg van de verplaatsing van de inlaat vanuit het Twentekanaal, en de toename van het debiet (was 1 m^3/sec, is nu 1,3 m^3/sec). Bij Klein dochteren is goed te zien dat het verhogen van het inslagpeil bij gemaal Westerholt (van 9,6 naar 10 m + NAP) leidt tot een significante vernatting. Het hoger optrekken van stuw Oldeweerd (naar 9,85 m+NAP) leidt ook tot een kleine peilverhoging bij de stuw. In de nevengeul is een grote peilverlaging te zien, omdat er nu aanzienlijk minder afvoer doorheen gaat ten opzichte van de referentiesituatie (door de duiker bovenstrooms in de nevengeul), vergelijkbaar met het effect in de VO++ modellering.

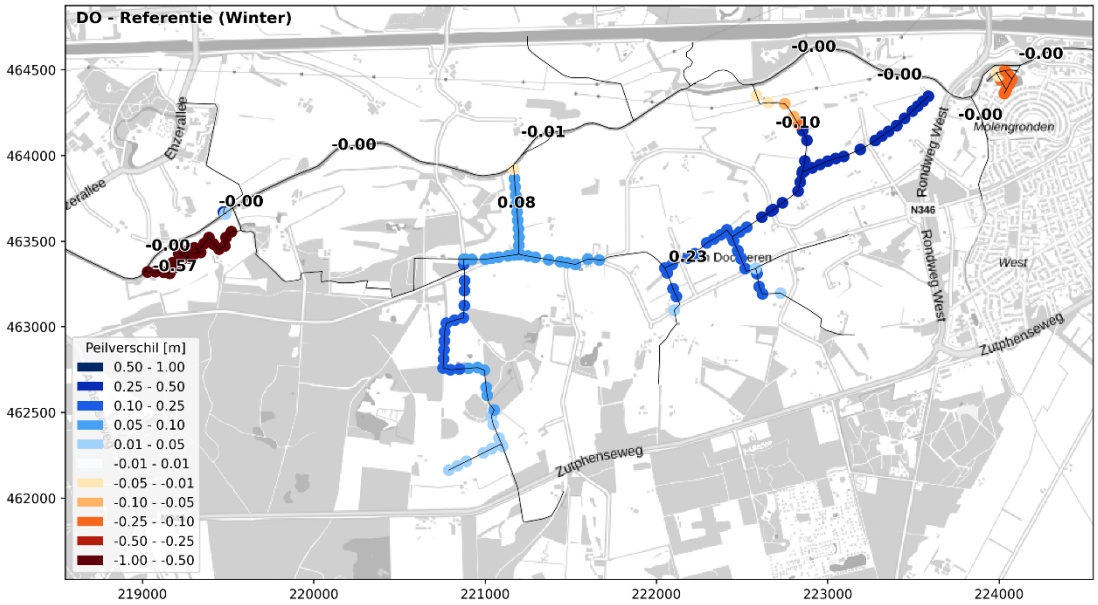
In de gemiddelde wintersituatie zijn de effecten vergelijkbaar als in de gemiddelde zomersituatie.

Gemiddelde zomersituatie



Figuur 5.23 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (gemiddelde zomersituatie)

Gemiddelde wintersituatie



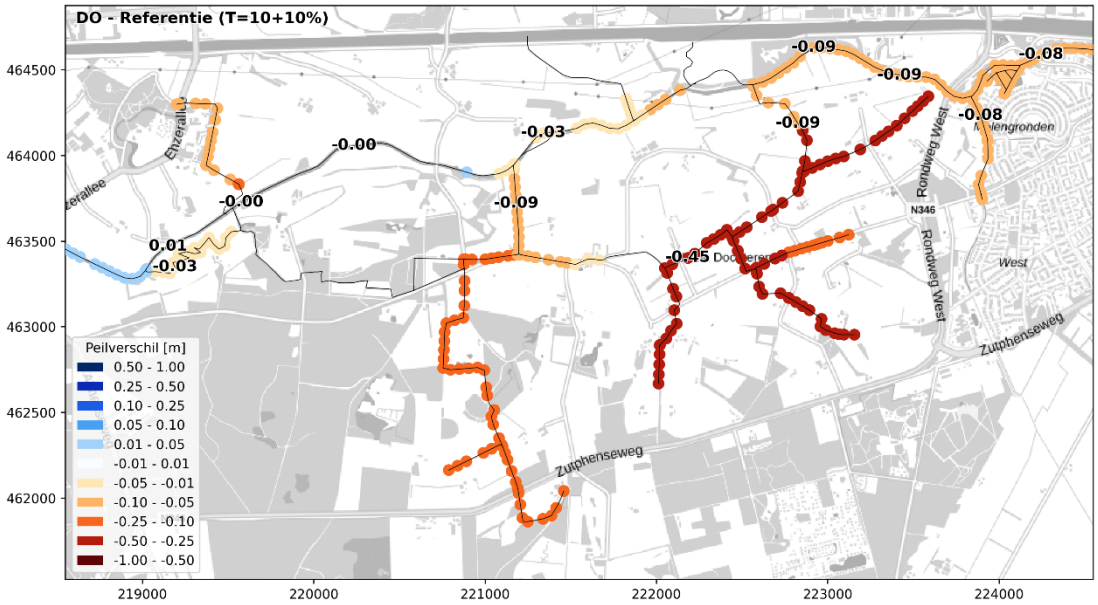
Figuur 5.24 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (gemiddelde wintersituatie)

T=10+10 %-situatie Berkel

In dit scenario wordt de afvoer van de Berkel getoetst. Het effect van de plas dras oevers en de maatregel bij de Staringkoepel wordt goed zichtbaar in dit scenario, deze zorgen voor een significante peilverlaging bij extreme afvoeren (tot wel 9 cm peilverlaging bovenstrooms van Hoge Weide). Benedenstrooms van Velhorst, waar de afvoer vanuit Klein Dochteren samenkomt met de afvoer op de Berkel, is een peilverhoging te zien, omdat de totale afvoer toeneemt ten opzichte van de referentiesituatie. Omdat deze situatie statistisch gezien minder vaak voorkomt dan een T=10+10 %-situatie wordt dit effect niet beschouwd en worden effecten van Berkel en Velhorst apart beschreven.

In de T=100-situatie zijn de effecten vergelijkbaar met de T=10+10 %-situatie.

T=10+10 %-situatie

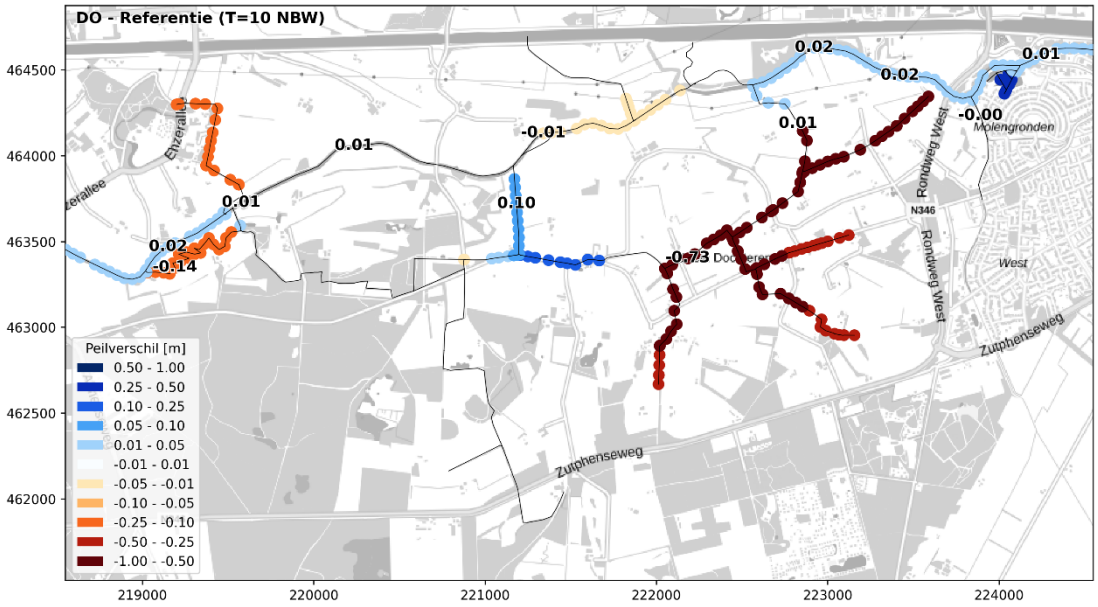


Figuur 5.25 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (T=10+10 %-situatie)

T=10+10 % NBW-knelpunt

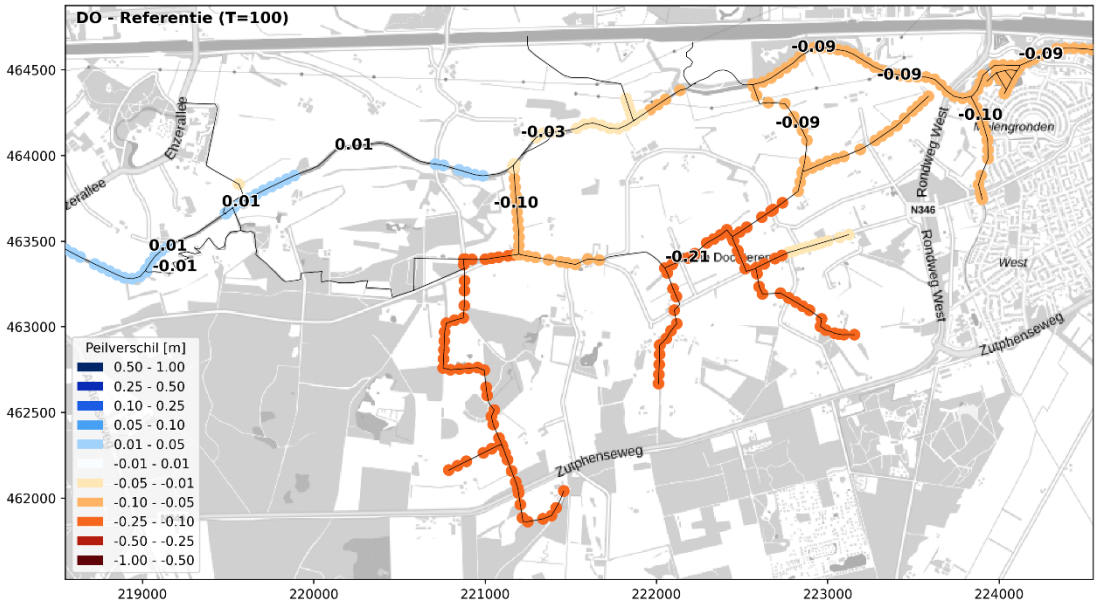
In de T=10+10 %-situatie wordt het effect van het opnemen van de Velhorsterlaak goed merkbaar, met name bij Klein Dochteren (tot wel 45 cm peilverlaging). In de referentiesituatie kan het water alleen afwateren naar de Berkel via het gemaal Westerholt (welke een T=10-afvoer niet voldoende af lijkt te voeren), met als gevolg dat het water hier opstuwt. In het DO is dit gebied verbonden met de nevengeul bij Velhorst, middels een relatief glad profiel, waardoor het water gemakkelijk kan afwateren.

Waar in het VO++ een kleine peilverhoging te zien was bij de nieuwe verbinding tussen Klein Dochteren en Westerholt (circa 3 cm), is dit in het DO gemitigeerd door de verdieping en verbreding op te nemen conform het aangeleverde model, in combinatie met de lagere weerstanden.



Figuur 5.26 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (T=10+10 % NBW-situatie)

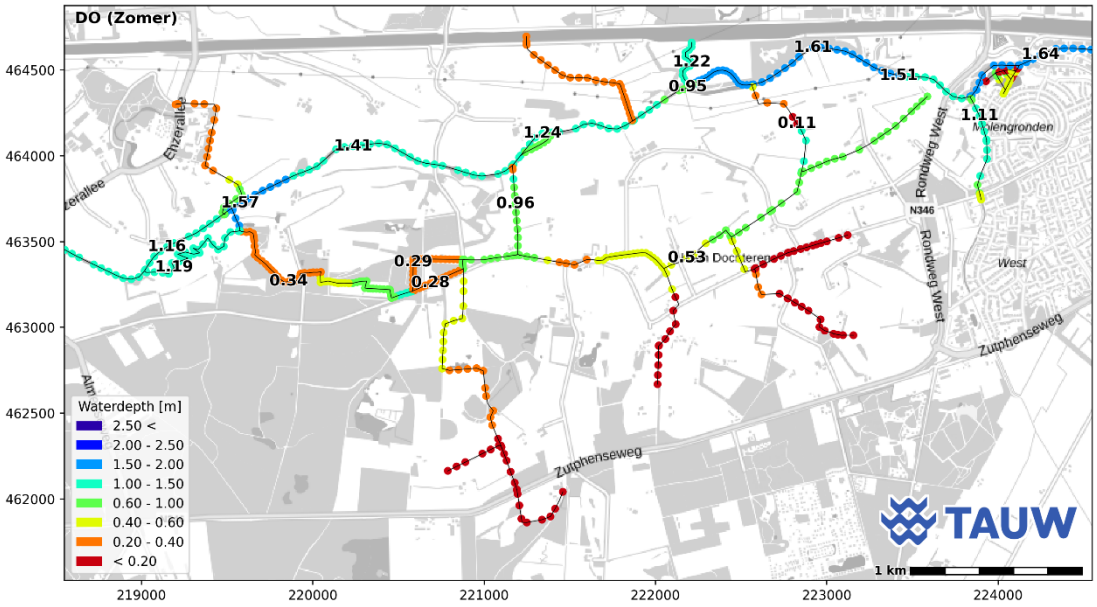
T=100-situatie



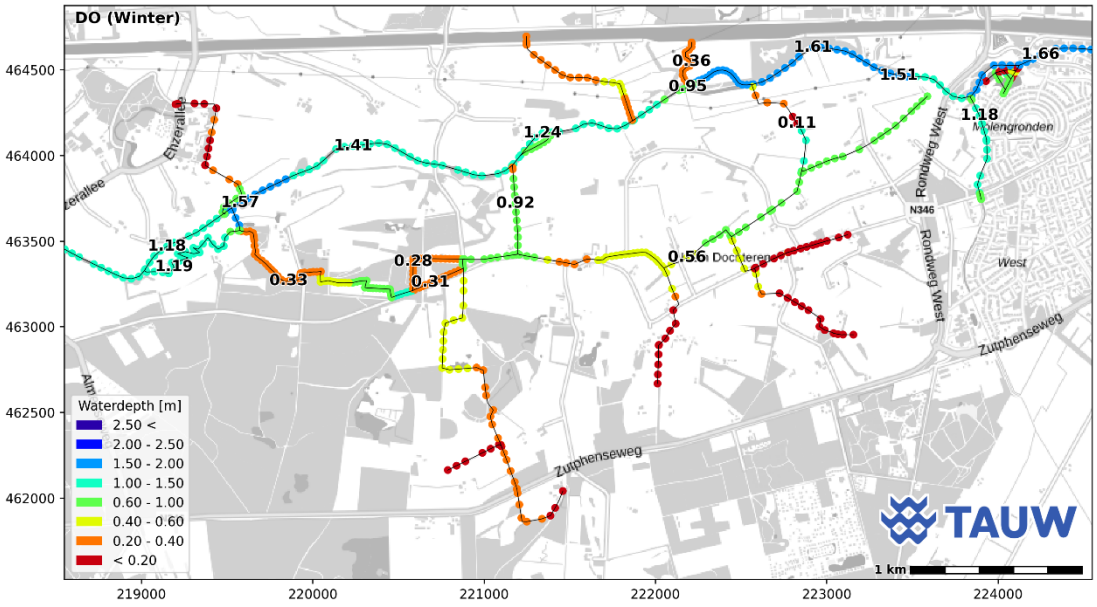
Figuur 5.27 Verschil in waterstanden (en tevens verschil in waterdiepte) ten opzichte van de referentiesituatie in meters (T=100-situatie)

Waterdiepte

De waterdiepte neemt in het DO over het algemeen circa 1 cm toe in de zomersituatie als gevolg van de toename van het ingelaten debiet vanuit het Twentekanaal. In de zomer- en wintersituatie wordt het DO getoetst op een waterdiepte van 60 cm, hieraan wordt ruimschoots voldaan. Ook ten aanzien van de doorvaarthoogte bij bruggen zijn er geen knelpunten in de gemiddelde zomer- en wintersituatie.



Figuur 5.28 Berekende waterdiepte in de toekomstige situatie (gemiddelde zomersituatie)



Figuur 5.29 Berekende waterdiepte in de toekomstige situatie (gemiddelde wintersituatie)

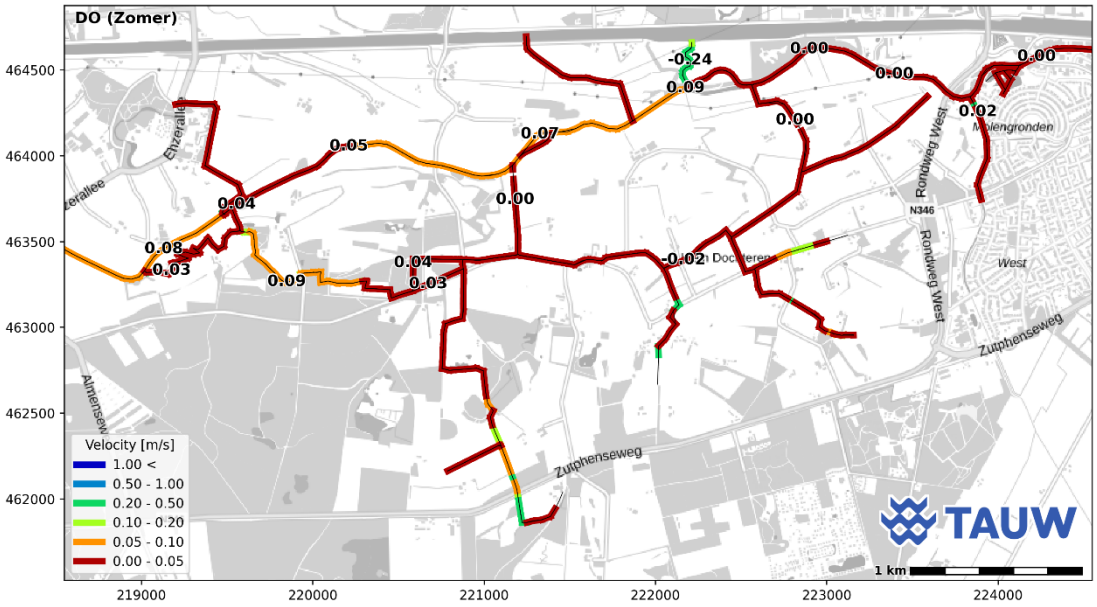
5.1.5 Stroomsnelheden

De stroomsnelheden zijn gepresenteerd in figuur 4.25 (zomer) en figuur 4.26 (winter).
De stroomsnelheden in de hoofdloop van de Berkel voldoen in de zomer niet aan de norm van minimaal 10 cm/sec. Benedenstrooms van stuw Hoge Weide neemt de stroomsnelheid iets toe (met 1 cm/sec) als gevolg van de 300 l/sec die nu extra wordt ingelaten vanuit het Twentekanaal. Bovenstrooms van stuw Hoge Weide is vrijwel geen stroming omdat er bij Lochem geen water wordt ingelaten, en het verplaatsen van de inlaat van het Twentekanaal. Dit is in het VO++ reeds beschreven.

Door de stuw bovenstrooms in de nevengeul stroomt het overgrote deel van de afvoer over stuw Velhorst, waardoor de stroomsnelheid in de hoofdloop (parallel aan de nevengeul) hier aanzienlijk verbetert (8 cm/sec vergeleken met 1 cm/sec in de referentiesituatie).

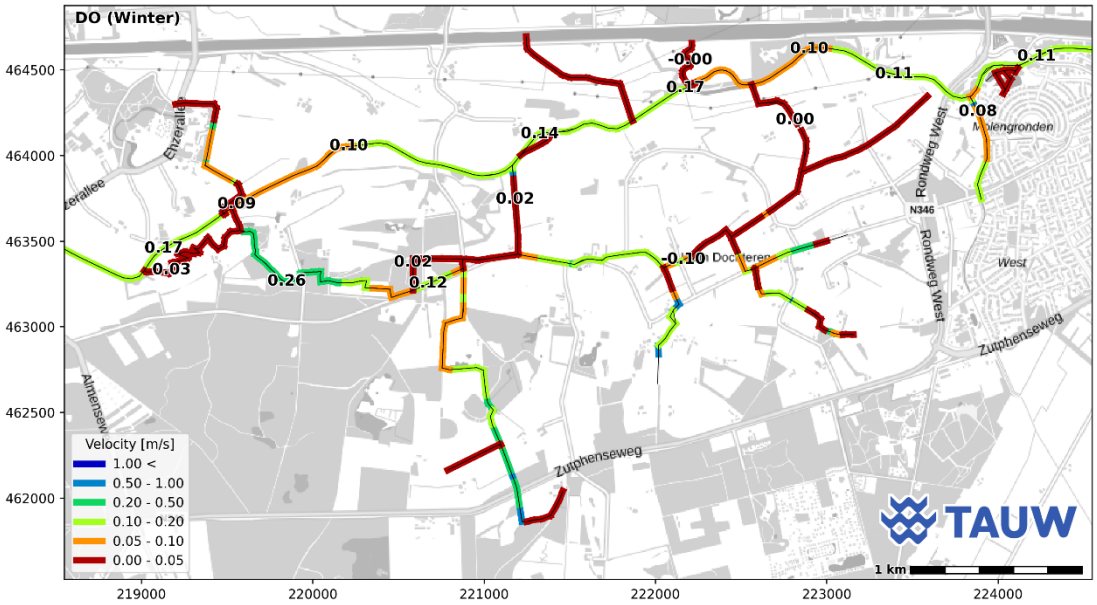
In de gemiddelde wintersituatie is de stroomsnelheid in de hoofdloop van de Berkel voor het overgrote deel groter dan of gelijk aan 10 cm/sec. Benedenstrooms van stuw Velhorst neemt de stroomsnelheid toe door de stuw in de nevengeul, en in de nevengeul neemt de stroomsnelheid af. Aangezien de gepresenteerde stroomsnelheden gemiddeld zijn over het dwarsprofiel, zal de stroomsnelheid in het midden van de beek hoger uitvallen.

Gemiddelde zomersituatie



Figuur 5.30 Gemodelleerde stroomsnelheden in de toekomstige situatie (gemiddelde zomersituatie)

Gemiddelde wintersituatie



Figuur 5.31 Gemodelleerde stroomsnelheden in de toekomstige situatie (gemiddelde wintersituatie)

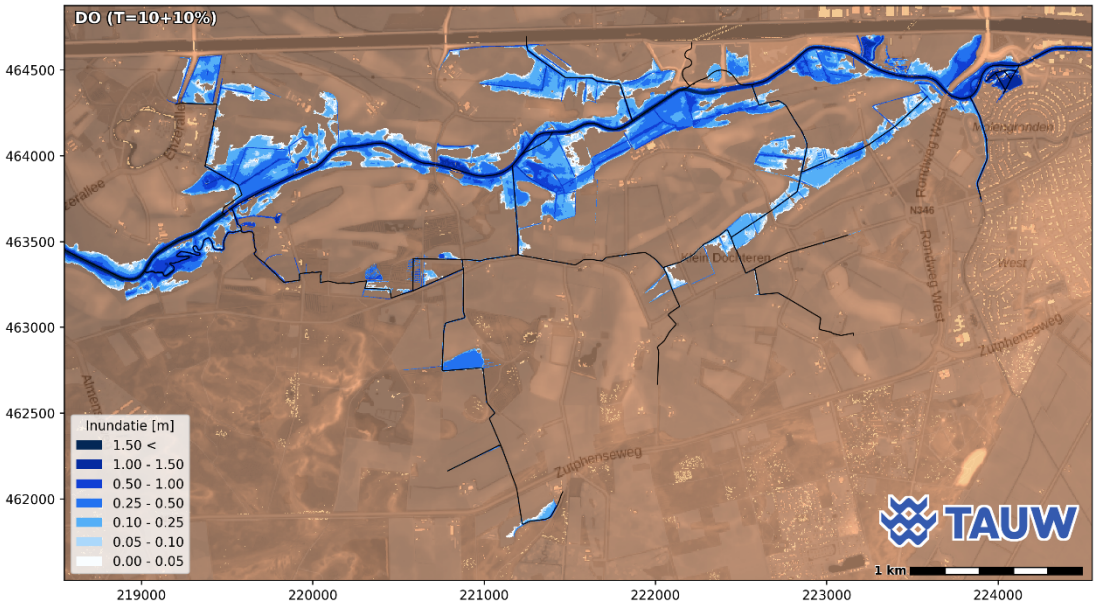
5.1.6 Inundatie

Voor de inundatieanalyse zijn de gemiddelde waterstanden gebruikt, gebaseerd op de laatste drie dagen van de simulatieperiode. Voor de analyse zijn de waterstanden middels IDW-interpolatie per peilgebied geïnterpoleerd naar 2D-vlakken. Onderstaand zijn de berekende inundatiedieptes in meter op maaiveld gepresenteerd voor de T=10+10 %, T=10+10 % NBW en T=100-situaties.

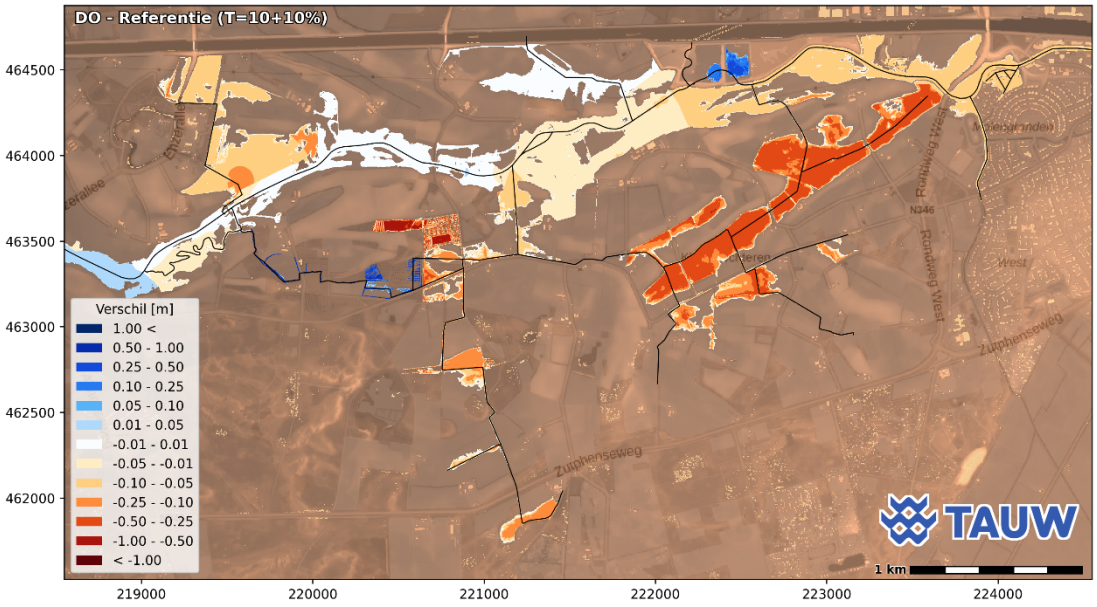
Om de inundatierisico's in het DO te vergelijken met de referentiesituatie, zijn tevens verschilkaarten gemaakt. In de verschilkaarten wordt het verschil in inundatiediepte (in meters) gepresenteerd, waarbij blauw correspondeert met toename, en rood met afname van inundatiediepte.

T=10+10 %-situatie Berkel

Figuur 5.32 laat zien dat er in het DO overal een afname van inundatiediepte is ten opzichte van de referentiesituatie. Benedenstrooms van de nevengeul is een kleine toename te zien. Dit komt door de toegenomen totale afvoer op de Berkel.



Figuur 5.32 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=10+10 %-situatie

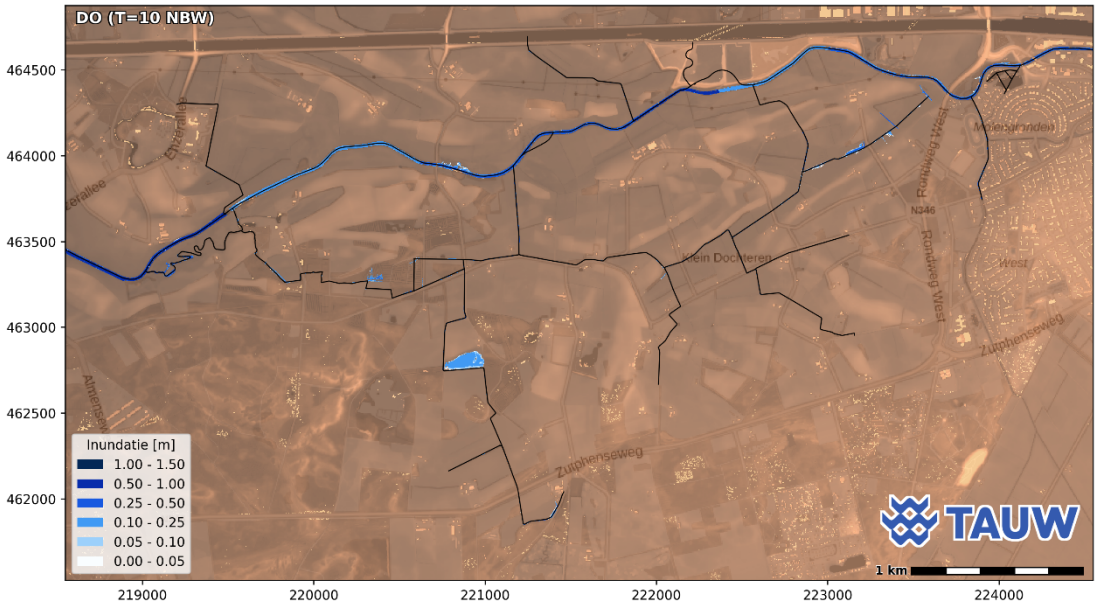


Figuur 5.33 Verschil in inundatiediepte in het VO ten opzichte van de referentiesituatie in de T=10-situatie (in meters). Blauw duidt op toename en rood duidt op afname van inundatiediepte

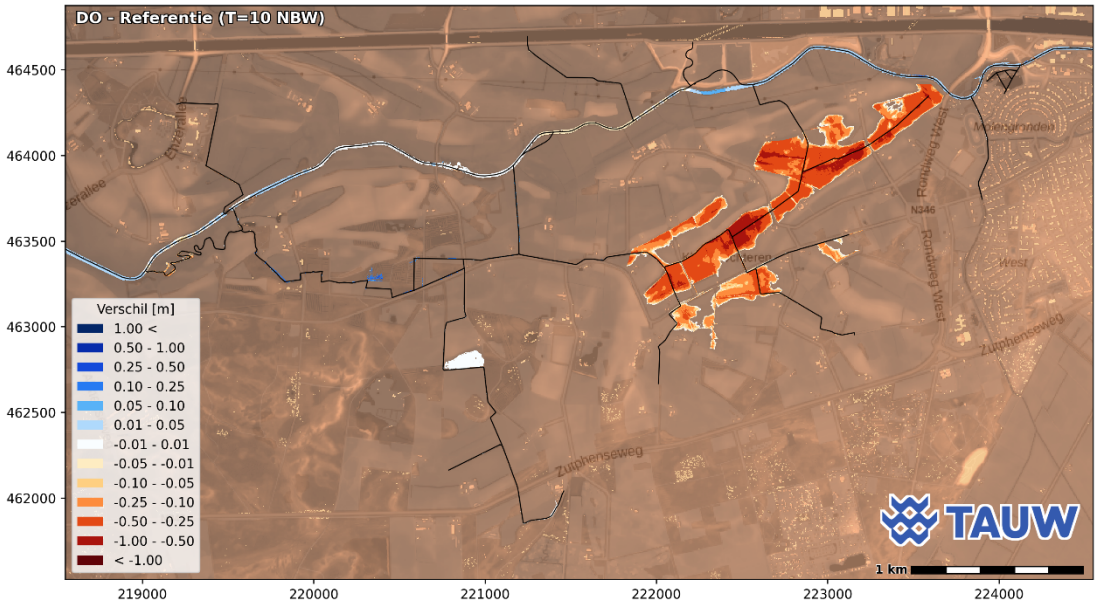
T=10+10 % NBW-knelpunt

In figuur 4.29 zijn de berekende inundatiedieptes in meter op maaiveld gepresenteerd voor de T=10+10 % NBW-situatie, waarbij de afvoer bij Lochem representatief is voor een T=1-afvoer.

Figuur 4.30 laat zien dat er in het VO overal een afname van inundatiediepte is ten opzichte van de referentiesituatie. Met name bij het knelpunt Klein Dochteren verbetert de situatie aanzienlijk (tot wel 50 cm minder inundatie). Dit komt omdat het water nu kan afwateren via de Velhorsterlaak. In de Velhorsterlaak zelf is een toename in inundatie te zien. Hier is in de referentiesituatie geen inundatie berekend, omdat de Velhorsterlaak niet in dit model was opgenomen.



Figuur 5.34 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=10+10 % NBW-situatie

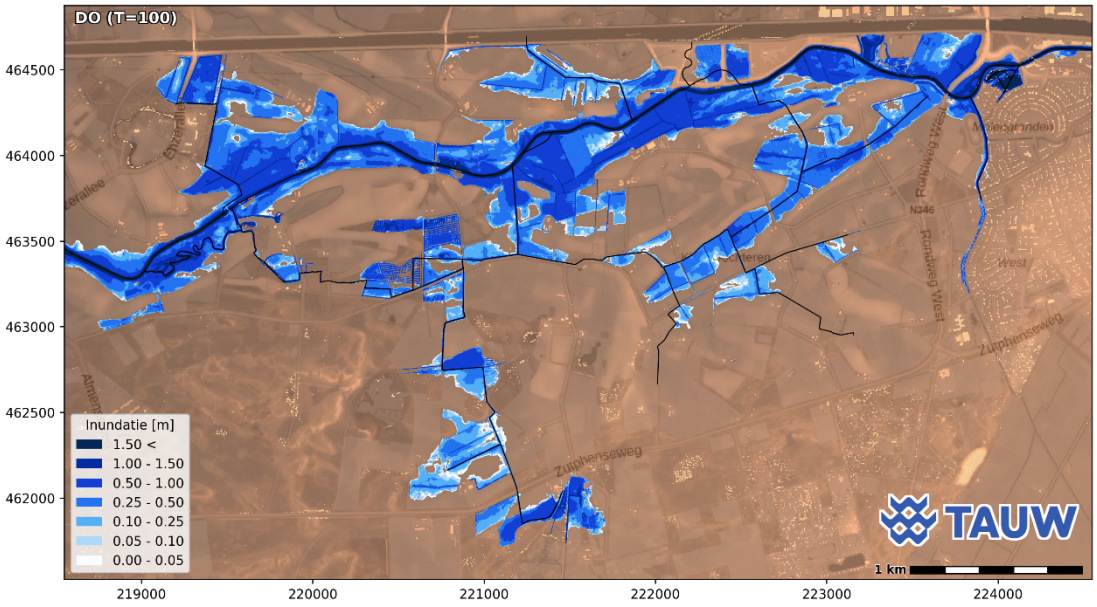


Figuur 5.35 Verschil in inundatiediepte in meters ten opzichte van de referentiesituatie (T=10+10 %-situatie)

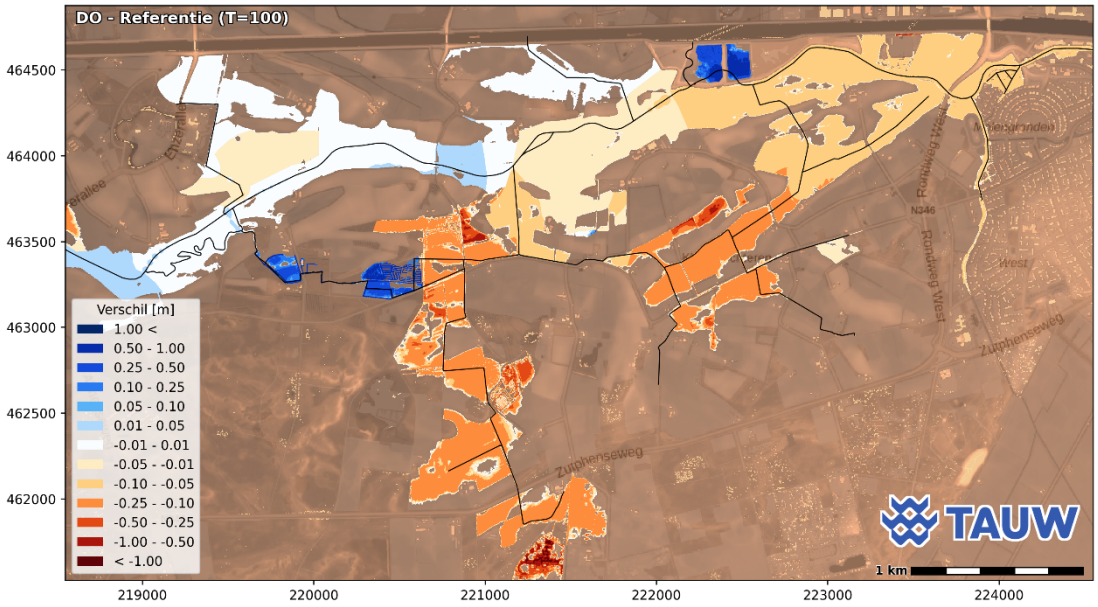
T=100-situatie

In figuur 4.32 is een kaart gepresenteerd met berekende inundatiedieptes in meters op het maaiveld voor de T=100-situatie. In figuur 4.33 is het verschil in inundatie ten opzichte van de referentiesituatie weergegeven.

In de T=100-situatie neemt de inundatiediepte in het DO nagenoeg overal af ten opzichte van de referentiesituatie. Door het opnemen van de Velhorsterlaak vindt het water gemakkelijker een weg naar de Berkel, en treedt er lokaal maximaal 1 m minder inundatie op dan in de referentiesituatie (bij de Zutphenseweg), maar gemiddeld 10-25 cm. Langs de hoofdloop van de Berkel tot aan Hoge Weide ontstaat maximaal 10 cm verbetering. Bovenstrooms van Hoge Weide is dit meer dan 10 cm verbetering ten opzichte van de referentiesituatie. Bij de Boevinksbrug is een kleine toename te zien van circa 1 cm, wat doorwerkt vanaf benedenstrooms van stuw Velhorst. Mogelijk leidt de abrupte afkapping van de NVO tot een extra opstuwing van enkele mm.



Figuur 5.36 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=100-situatie

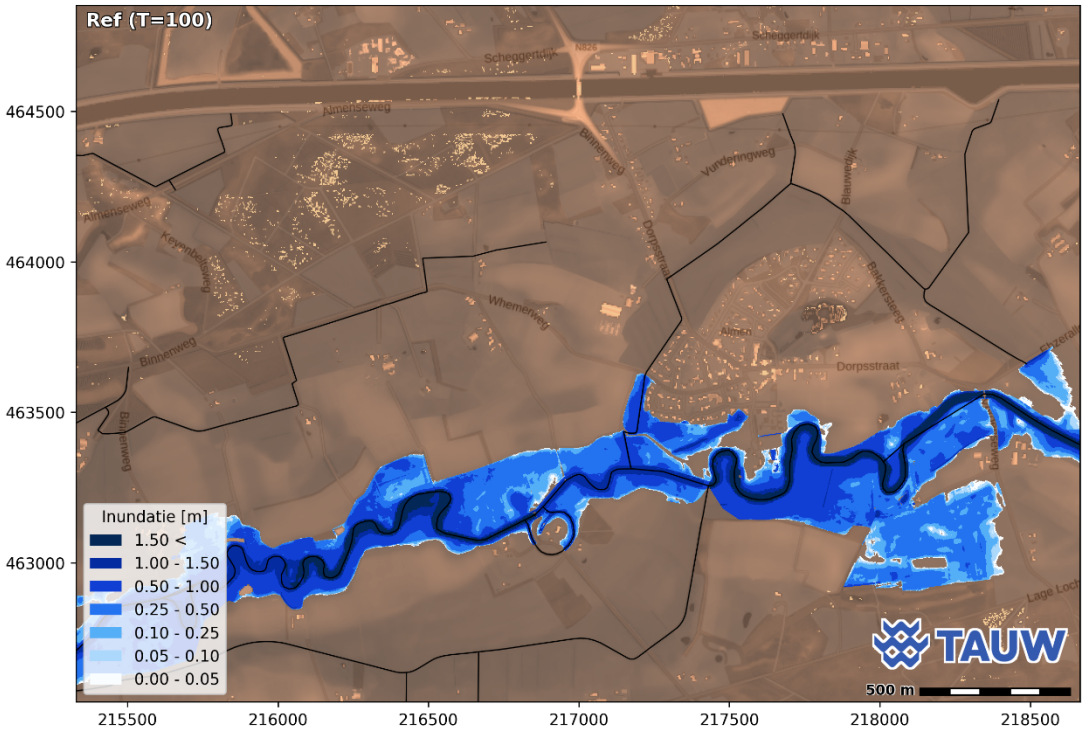


Figuur 5.37 Verschil in inundatiediepte in meters ten opzichte van de referentiesituatie (T=100-situatie)

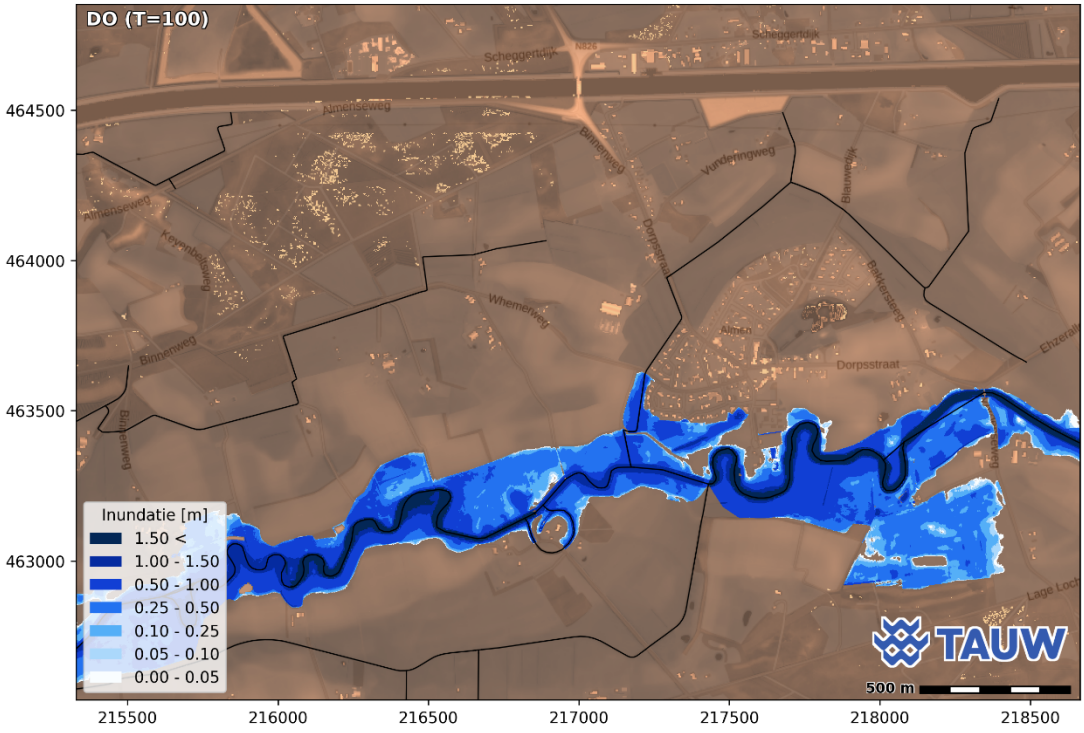
Inundaties Almen

Na het analyseren van de debieten blijkt dat er in het DO bij extreme situaties een toegenomen afvoer is in de Berkel, benedenstrooms van de nevengeul. Dit komt doordat alle afvoer vanuit Klein Dochteren in het nieuwe ontwerp afgevoerd kan worden, waar dit in de referentiesituatie gelimiteerd werd door de capaciteit van gemaal Westerholt. Om deze reden wordt bij de analyse ook stil gestaan op effecten die benedenstrooms van de nevengeul optreden. Voor de T=100-situatie wordt een inundatieanalyse gedaan bij het stedelijk gebied van Almen.

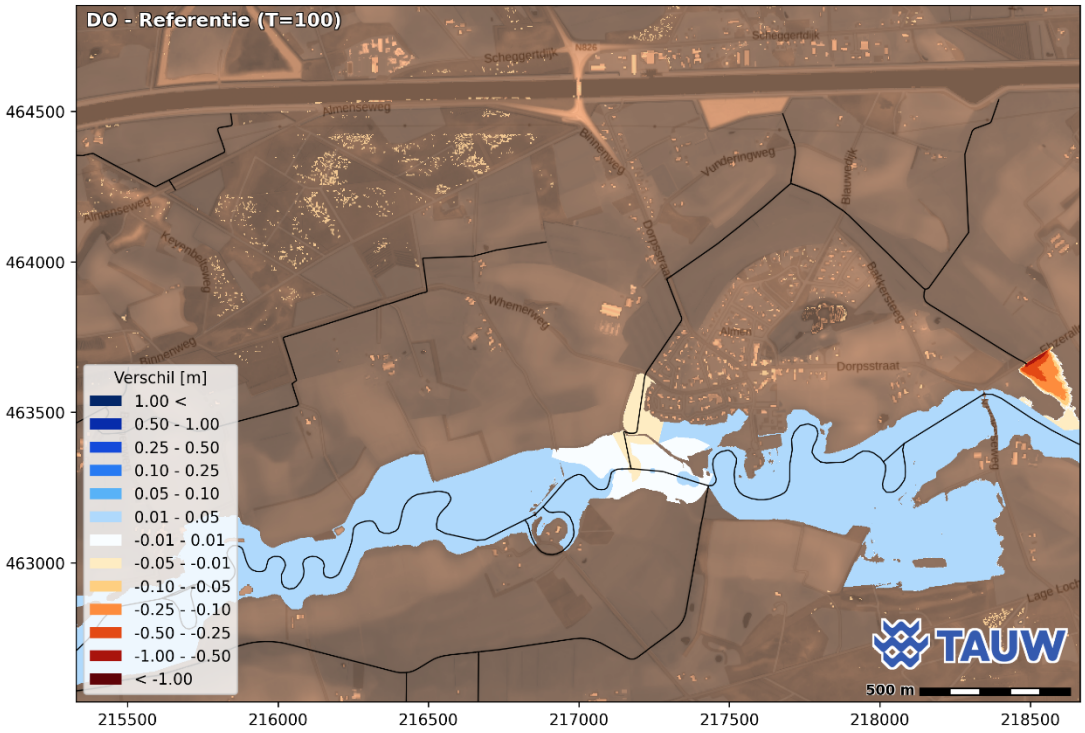
Allereerst is hier onder de inundatie gepresenteerd voor de referentiesituatie (figuur 5.38), vervolgens de inundatie in het DO (figuur 5.39), en tot slot het verschil in inundatiediepte in het DO ten opzichte van de referentiesituatie (figuur 5.40).



Figuur 5.38 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=100-situatie (NB! betreft de referentiesituatie)



Figuur 5.39 Berekende inundatiediepte in meters ten opzichte van het maaiveld in de T=100-situatie (NB! betreft het DO)



Figuur 5.40 Verschil in inundatiediepte in meters ten opzichte van de referentiesituatie (T=100-situatie)

In figuur 5.40 is te zien dat de mate van inundatie toeneemt in het DO als gevolg van de toegenomen totale afvoer. Het gebied dat inundeert blijft in het DO echter gelijk aan het gebied dat inundeert in de referentiesituatie. De mate van inundatie neemt plaatselijk toe met maximaal 14 mm. Om deze redenen wordt verondersteld dat de maatregelen in het DO niet leiden tot extra knelpunten bij het stedelijk gebied van Almen.

5.2 Grondwater

5.2.1 Uitgangspunten modellering

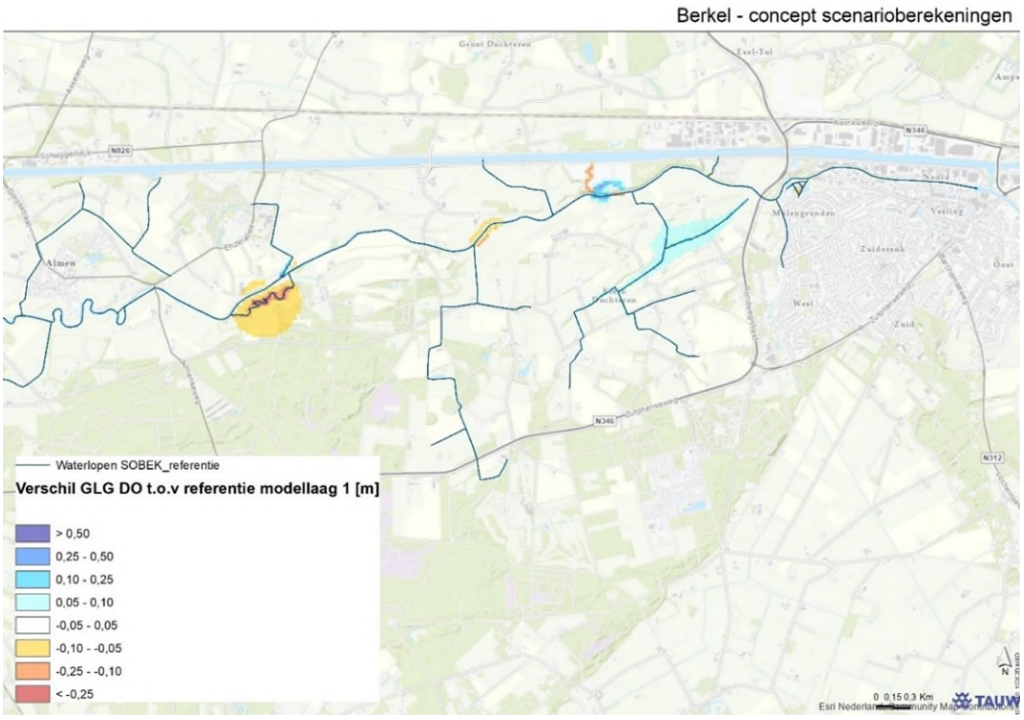
De uitgangspunten voor de grondwatermodellering van het DO zijn op één punt gewijzigd ten opzichte van de uitgangspunten in het VO++ (zoals beschreven in paragraaf 4.2.1). De gemiddelde winter- en zomersituatie zijn nu geëxporteerd uit het SOBEK-model over de laatste drie dagen van de simulatieperiode, in plaats van enkel op de laatste dag van de simulatieperiode. Kortom, over de periode 20200108 tot en met 20200110, in plaats van op 20200110. Dit is zowel gedaan voor de referentie (naam cases: Ref_zomer en Ref_winter) en voor het DO (naam cases: DO_zomer en DO_winter)

Voor het DO zijn bovendien uitgangspunten opgesteld voor de analyse van de landbouweffecten met behulp van Waterwijzer Landbouw (WWL) Regionaal, versie 1.0.17. Er is gekozen voor een doorrekening met WWL Regionaal omdat er uit de resultaten van het VO++ blijkt dat er reële schades kunnen optreden. De WWL is een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in meteorologische (klimatologische) en hydrologische condities op gewasopbrengsten. Hierbij wordt informatie gebruikt over het landgebruik, bodemtype en een gedetailleerd grondwaterstandsverloop. De volgende uitgangspunten zijn daarbij gehanteerd voor de invoer:

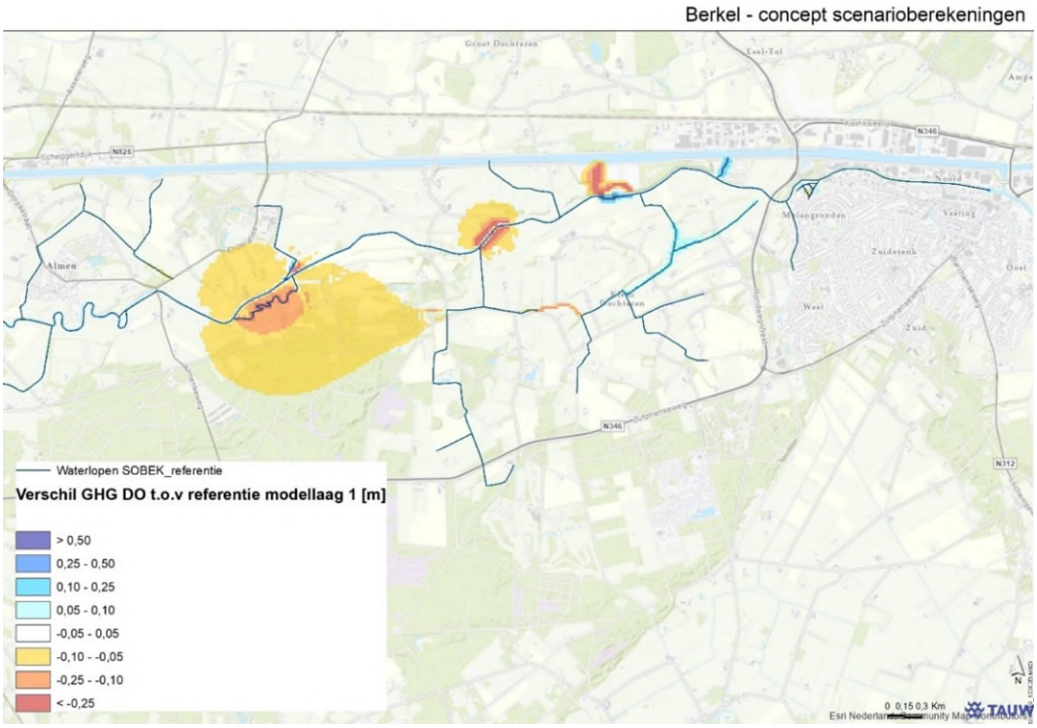
- Bodem: toepassing van de BOFEK-2020
- KNMI-weerstation: Hupsel. Dit is het weerstation dat het dichtst bij het projectgebied is gelegen
- Maaiveldhoogte: toepassing van het maaiveld zoals opgenomen in Amigo v3.1 met een resolutie van 25x25 m
- Onderrand: de onderrand is opgelegd als drukhoogte
- Gewassen: op basis van de BRP per rekencel van 25x25 m de gewaspercelen bepalen over het jaar 2020 en alles aanmerken als gras
- Berekeningsgrens: waar een GVG (periode 2011 tot en met 2019) verhoging van 2 cm of meer optreedt.
- Rekenresolutie: een resolutie van 25x25 m is gehanteerd
- Rekenperiode: periode van 2011 tot en met 2019, gelijk aan periode GxG
- Grondwaterstand: toepassing van met het grondwatermodel berekende grondwaterstanden, frequentie van eens per 14 dagen

5.2.2 GxG

Voor de referentiesituatie en het DO is de freatische GxG (modellaag 1) berekend over de periode 2011-2019. Ook zijn de verschillen in GxG uitgerekend van het DO ten opzichte van de referentiesituatie om het effect van de herinrichting inzichtelijk te maken. In figuur 5.41 is het verschil in GHG weergegeven en in figuur 5.42 is het verschil in GLG weergegeven. In bijlage 3b zijn de figuren opgenomen met daarin zowel de absolute GxG's (in m-mv en mNAP) als de GxG-effecten. De resultaten ten opzichte van het maaiveld zijn verkregen op basis van het maaiveld zoals opgenomen in Amigo v3.1. Dit betekent dat de geplande aanpassingen van het maaiveld in het DO (ophoging/afgraving) niet zijn meegenomen in de resultaten.
De (verschil)plots die zijn gemaakt voor de bodemhoogte, peil, conductance en infiltratiefactor van het oppervlaktewatersysteem zijn opgenomen in bijlage 4b. Deze geven de groottes en verschillen aan van de ingevoerde parameters van het oppervlaktewatersysteem voor de referentiesituatie en voor het DO.



Figuur 5.41 Verschil GHG (DO minus referentie)



Figuur 5.42 Verschil GLG (DO minus referentie)

Hieronder worden de effecten beschreven. Voor zover van toepassing wordt ook een vergelijking gemaakt met het VO++.

Nevengeul (stuw)

- De verlaging van de grondwaterstanden ter hoogte van de nevengeul is vergelijkbaar met het VO++. De verlaging is het gevolg van de nieuwe stuw in de nevengeul. Deze is smaller en knijpt de afvoer. Deze verlaging treedt op in zowel de zomersituatie als de wintersituatie, waarbij het effect in de wintersituatie het grootst is. Het DO verschil is iets kleiner dan VO++ verschil, circa 2 cm. Het peil in de wintersituatie is 49 cm [VO++ 50 cm] tot 66 cm [VO++ 68 cm] lager dan in de referentiesituatie en voor de zomersituatie is dit 13 cm [VO++ 14 cm] tot 61 cm [VO++ 64 cm]. De verlagingscontour (> 5 cm) rondom de nevengeul is in de zomersituatie kleiner in het DO dan in het VO++ (het knijpende effect van de stuw is er dan minder). In de winter- en voorjaarsituatie is het omgekeerd en is de verlagingscontour groter in het DO dan in het VO++. Een kanttekening bij deze verschillen is dat de nevengeul in werkelijkheid veel ondieper is dan opgenomen in het model. In werkelijkheid zal het verdrogingseffect daarmee veel minder optreden
- De verlegging van de watergang en het verwijderen van de duiker bij de Ehzerlaak ten noorden van de Velhorstbrug is nieuw toegevoegd in het DO. Het verleggen van de watergang is zichtbaar. Waar de watergang lag is een hogere GxG berekend (vernatting), waar de watergang nu ligt is een lagere GxG berekend (verdroging, drainage). De effecten blijven echter beperkt tot de cellen (25x25 m^2) waar de watergang is verwijderd of toegevoegd en zijn daarom niet significant

Oldeweerd / Staringkoepel

- In het DO is ter hoogte van de Staringkoepel en de aantakking van de Afwatering van Oldeweerd op de Berkel een brede bosoever aan het ontwerp toegevoegd. De aanleg heeft met name in de GHG- en GVG-situatie een lokale verdroging tot gevolg (tot 70 cm). De conductance neemt hier toe ten opzichte van de referentiesituatie als gevolg van toename in natte omtrek (breed profiel). Het effect in de winter is groter, omdat de Berkel vooral in de winter een drainerend effect op zijn omgeving heeft. Voor deze aanpassing dient te worden opgemerkt dat in de modellering geen rekening wordt gehouden met effecten op de langere termijn, zoals het ontstaan van een sliblaag in de watergang/bosoever. Wanneer een sliblaag ontstaat, wordt de weerstand groter en kan het effect van de verdroging op termijn verminderen doordat de watergang/bosoever langer watervoerend blijft

RWS-depot en inlaat

- De effecten die optreden ter hoogte van het RWS-depot en de verplaatste stuw Hoge Weide zijn in het DO gelijk aan de effecten in het VO++. Ook de effecten van het verplaatsen van de inlaat met het Twentekanaal van bovenstrooms naar benedenstrooms zijn onveranderd in het DO ten opzichte van het VO++

Velhorsterlaak / Afwatering van Westerholt

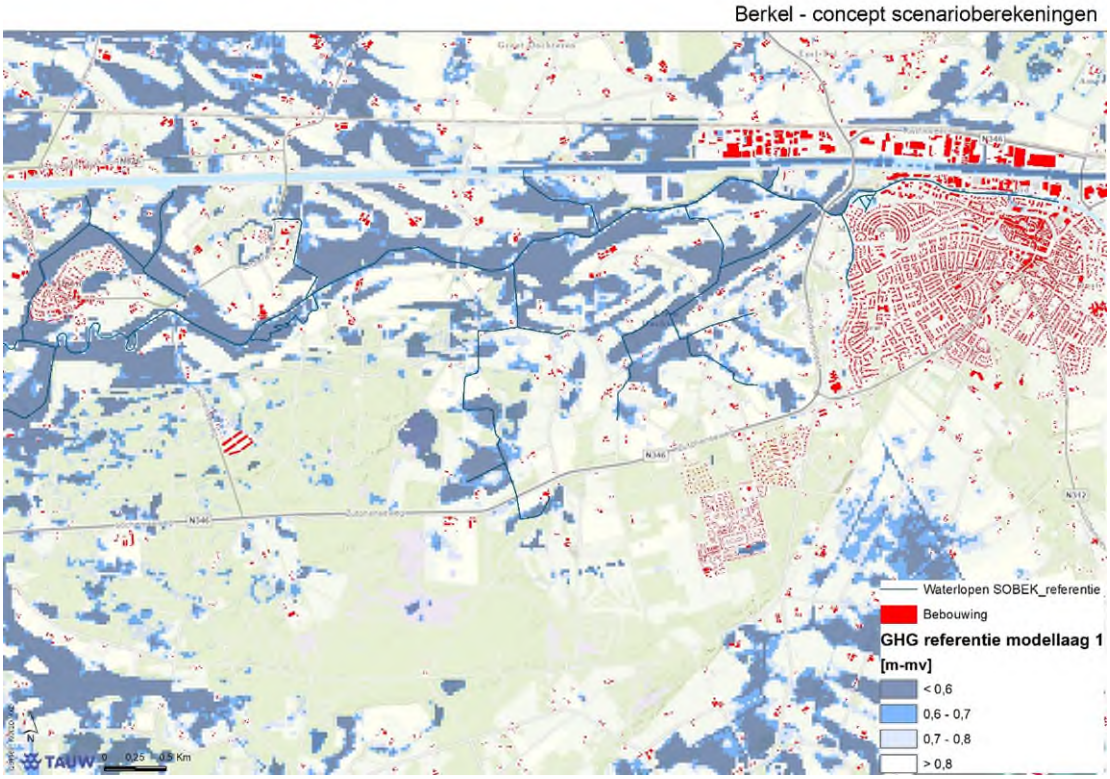
- Net als in het VO++ treedt er nagenoeg (< 5 cm) geen verandering van de GLG op nabij de nieuwe loop van de Velhorsterlaak. In het VO++ ontstond in de GHG en GVG-situatie vernatting de buurt van de aantakking van de afwatering van Oldeweerd op de Berkel. Deze vernatting treedt nagenoeg (< 5 cm) niet meer op in het DO doordat het peilverschil met de referentiesituatie minder groot is in het DO dan in het VO++, 8 cm versus 20 cm. In de GHG- en GVG-situatie ontstaat nu wel een verlaging van de grondwaterstand tot 10 cm nabij de nieuwe loop van de Velhorsterlaak. Ook ontstaat een verlaging tot 15 cm in het stuk Velhorsterlaak nabij de Lageweg. De verlaging bij de Lageweg is in de GHG- en GVG-situatie ook waargenomen in het VO++, maar minder sterk (tot 10 cm). Beide verlagingen zijn het gevolg van een verminderde peilverschil (DO ten opzichte van VO+) en daarmee een lager peil in de Velhorsterlaak. Wederom geldt in het DO dat de aantakking er in werkelijkheid al ligt en is het waarschijnlijker dat er een kleine vernatting ontstaat doordat de watergang langer watervoerend blijft
- Net als in het VO++ wordt bij de Lageweg / Afwatering van Westerholt een verhoging van de grondwaterstanden berekend als gevolg van een hoger inslagpeil van het gemaal en het langer watervoerend blijven van de Velhorsterlaak (vooral dit laatste effect wordt waarschijnlijk wat onderschat door het model). De vernattingscontour (> 5 cm) is in het DO kleiner dan in het VO++ doordat de verhoging van het inslagpeil van gemaal Westerholt circa 10-15 cm minder is in het DO ten opzichte van het VO++

De maximale grondwaterstandsverlaging die optreedt in de GHG-situatie bedraagt 0,54 m nabij de nevengeul, 0,70 m nabij de brede bosoever / Staringkoepel en 0,68 m nabij de nieuwe inlaat benedenstrooms van het RWS-depot. Voor de GLG-situatie is de maximale grondwaterstandsverlaging 0,38 m nabij de nevengeul, 0,11 m nabij de brede bosoever en 0,20 m nabij de nieuwe inlaat van het RWS-depot. De vernatting nabij de Lageweg / Afwatering van Westerholt bedraagt in de GHG-situatie maximaal 0,18 m.

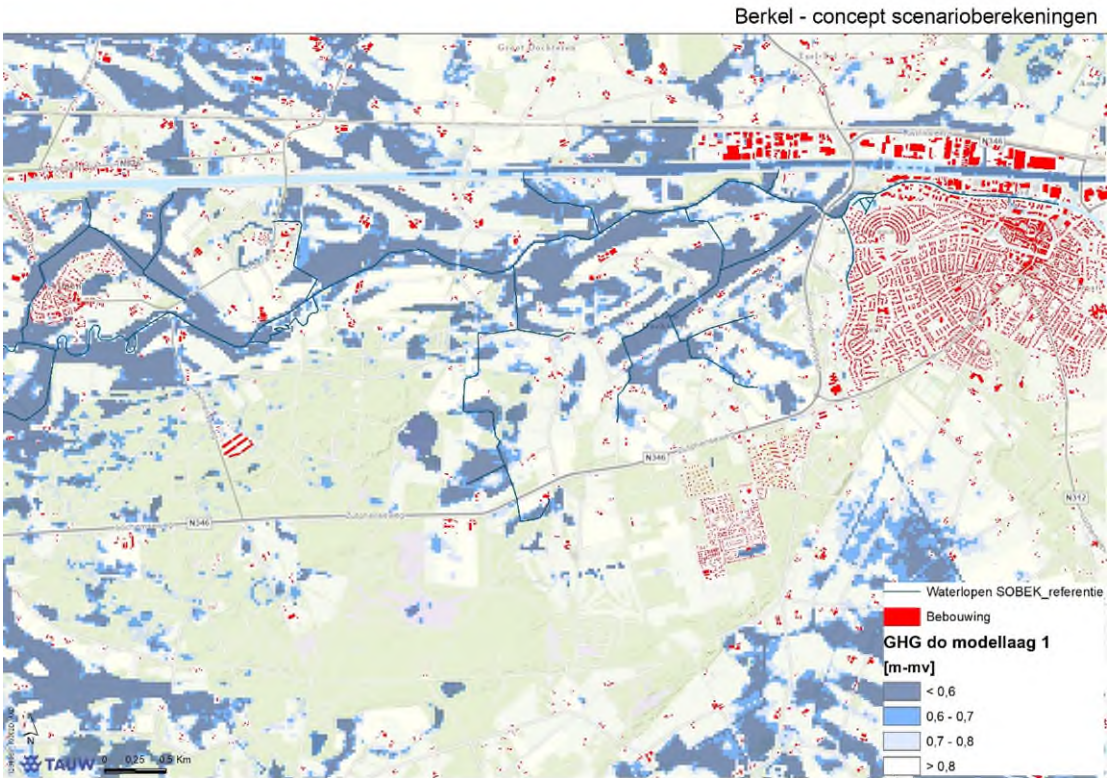
5.2.3 Bebouwing

Met behulp van de GHG-resultaten voor de referentiesituatie en het DO is een toets op bebouwing uitgevoerd. In figuur 5.43 en figuur 5.44 zijn de GHG's voor de referentiesituatie en het DO weergegeven ten opzichte van maaiveld. Hierbij wordt als uitgangspunt 0,8 m-mv aangehouden. Omdat er sprake is van enige mate van modelonzekerheid (~ 10 cm), zijn ook de gebieden weergegeven met een GHG boven 0,7 m-mv en boven 0,6 m-mv. De bebouwing is weergegeven in rood en laat zowel de kernen als losse bebouwing zien zoals die is opgenomen in de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG).

Uit de resultaten valt af te lezen dat er in de wintersituatie nagenoeg geen GHG voorkomt boven 0,7 m-mv op bebouwingslocaties. Dit geldt zowel voor de referentiesituatie als voor het DO. Doordat het grondwatermodel te hoge grondwaterstanden berekend kan zodoende worden aangenomen dat de herinrichting van de Berkel niet leidt tot vernatting van de locaties met bebouwing.



Figuur 5.43 Bebouwingstoets GHG-referentiesituatie



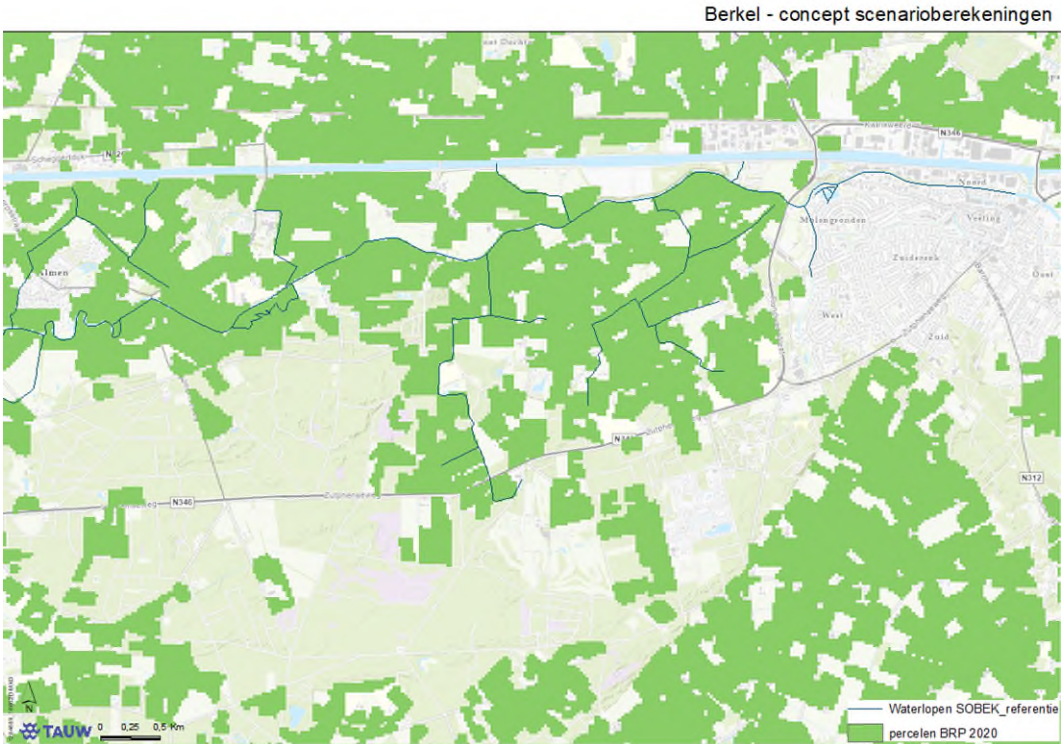
Figuur 5.44 Bebouwingstoets GHG DO

5.2.4 Natuur

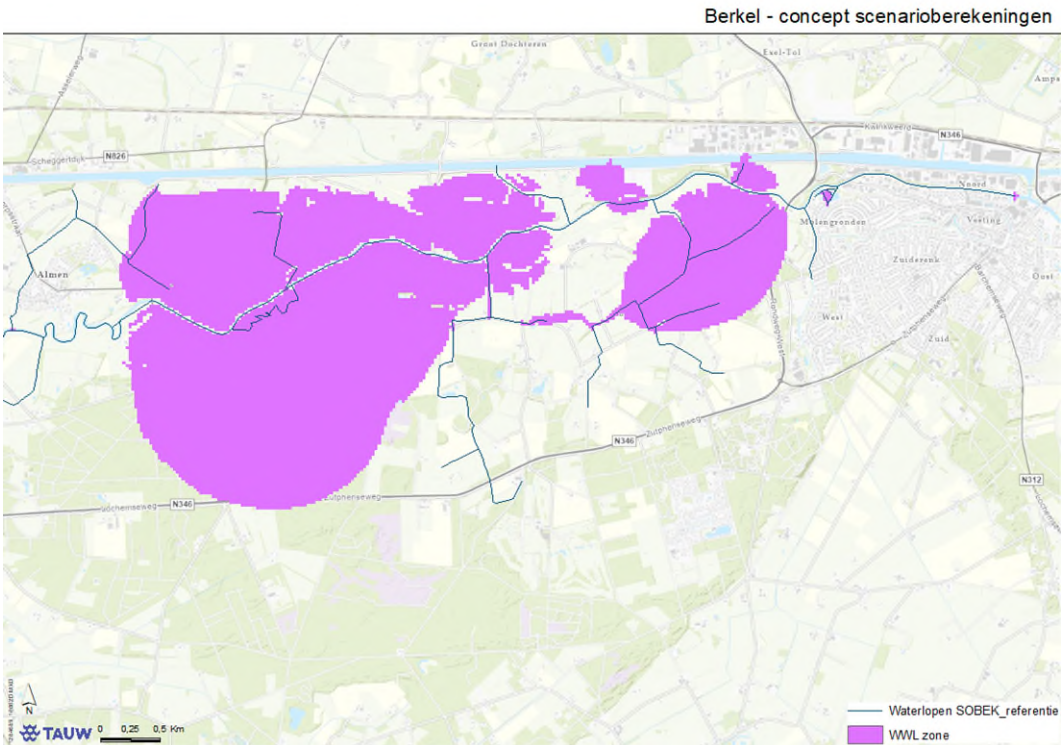
Het effect op de natuur is in het DO onveranderd ten opzichte van het VO++. De grondwaterstandsverlaging van 5 tot 10 cm van de GLG en GCG kan nadelig zijn voor de aanwezige grondwaterafhankelijke natuur en schraalland/hooilandjes. Voor heischrale graslanden is een GVG aan maaiveld tot ongeveer 30 cm onder maaiveld optimaal (bron: Database ecologische randvoorwaarden Han Runhaar). Echter in de huidige situatie liggen de grondwaterstanden al dermate diep dat naar niet aan voldaan worden. In het DO treedt een verslechtering op van een situatie die al niet optimaal was.

5.2.5 Landbouw (WWL)

De resultaten die zijn verkregen met WWL zijn opgenomen in bijlage 5b en betreffen weergaves van droogteschadekaarten, natschadekaarten en verschilkaarten in euro's per hectare en in percentage. De uitvoer is verkregen door alle percelen uit BRP 2020 aan te merken als graspercelen, zie figuur 5.45. De berekeningszone is weergegeven in figuur 5.46. Dit betreft het gebied waar een GVG-verhoging (periode 2011 tot en met 2019) van 2 cm of meer optreedt in het DO ten opzichte van de referentiesituatie.



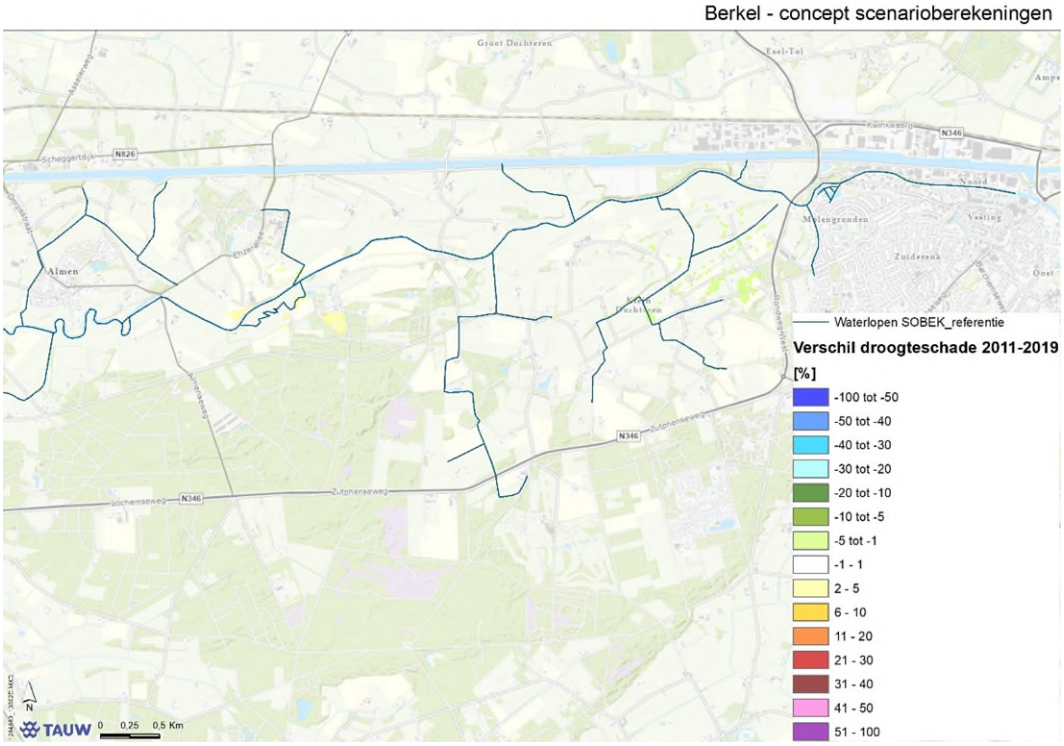
Figuur 5.45 BRP 2020 percelenkaart gewassen



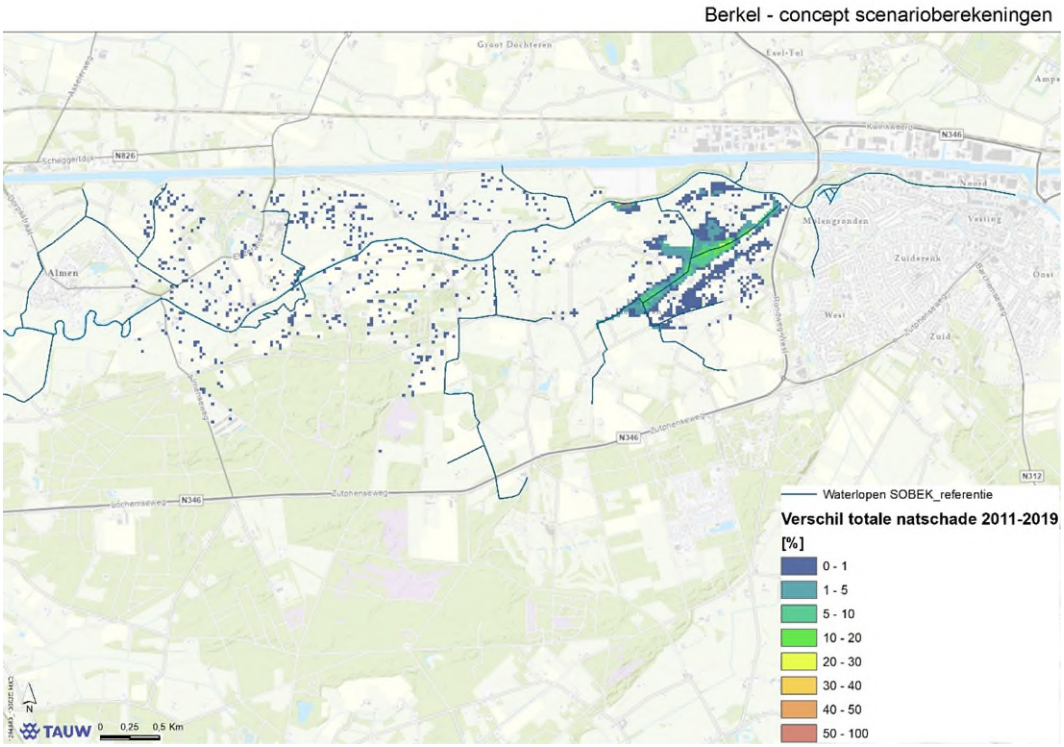
Figuur 5.46 Doorgerekende WWL zone WWL

Het effect van het voorlopig ontwerp op de droogte- en natschade over de periode 2011-2019 is weergegeven als percentage in figuur 5.7 en in euro's per hectare in figuur 5.8.

Het DO leidt nabij de nevengeul plaatselijk tot een toename van de droogteschade met 2-5 % met een bijbehorende opbrengstenderving van tussen de 50 en 100 EUR/ha per jaar. De droogteschade neemt lokaal met 1-5 % af nabij de Lageweg/Afwatering van Westerholt wat leidt tot een verminderde opbrengstenderving van boven de 25 EUR/ha per jaar. De percentages voor toename en afname van droogteschade zijn vergelijkbaar met de inschatting van de effecten van droogteschade met behulp van de webversie van Waterwijzer in het VO+, zie paragraaf 4.2.4. Hier dient echter wel de kanttekening te worden gemaakt dat de VO+ effecten zijn weergegeven op basis van een superpositie van het verschil op beschikbare meetgegevens. De DO effecten zijn weergegeven voor de absolute waarden die met het model worden berekend. En doordat het model te hoge grondwaterstanden berekent, zal in werkelijkheid de droogteschade mogelijk nog wat hoger zijn. Daarnaast zullen de effecten bij de nevengeul en Lageweg/Afwatering Westerholt in werkelijkheid minder zijn omdat de afwatering er al ligt en de nevengeul minder diep is dan in het model is opgenomen.



Figuur 5.47 Verschil (DO minus referentie) in % droogteschade over periode 2011-2019



Figuur 5.48 Verschil (DO minus referentie) in % totale natschade over periode 2011-2019

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies VO++

De volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van het oppervlaktewater:

- Het model is gevalideerd en presteert goed genoeg voor de gewenste berekeningen
- In het VO++ is een stuw opgenomen in het bovenstroomse deel van de nevengeul, deze stuw knijpt de afvoer waardoor het overgrote deel van de afvoer nu over stuw Velhorst gaat. Dit zorgt voor lagere debieten en lagere waterstanden in de nevengeul. Mogelijk is dit effect in werkelijkheid kleiner omdat de nevengeul in werkelijkheid veel ondieper is
- Door de aantakking van de Velhorsterlaak gaat er minder water over stuw Oldeweerd en gemaal Westerholt. Wel treedt er een verhoging van de waterstanden op in de gemiddelde situaties. In extreme situatie nemen de waterstanden af de aanpassingen leiden daadwerkelijk tot een verbetering van het NBW-knelpunt. Echter het NBW-knelpunt wordt nog niet volledig opgelost. Dit betreft een aandachtspunt wat mogelijk geoptimaliseerd kan worden in het DO (lokale maatregelen)
- Bij de nieuwe verbinding tussen Klein Dochteren en Westerholt is een kleine peilverhoging te zien in extreme situatie in vergelijking met de referentiesituatie (VO++ circa 3 cm hogere peilen dan referentie), als gevolg van de extra afvoer richting Westerholt vanuit het gebied Klein Dochteren. Dit knelpunt wordt met name veroorzaakt door de ondiepe bodem, dit betreft een aandachtspunt voor de verdere detaillering in de DO-fase
- De waterdieptes in de gemiddelde situatie voldoen voor zowel referentie als VO++ aan de normen
- De stroomsnelheden zijn in de zomersituatie in zowel de referentie als het VO++ te laag. In de winter voldoen ze wel aan de norm. Door het verplaatsen van de inlaat neemt het traject waarin de stroomsnelheden te laag zijn toe. Langs de nevengeul treedt juist een verbetering op door het toegenomen debiet. In de nevengeul treedt een verslechtering op
- De berekende inundaties voor de referentie komen goed overeen met de eerdere berekeningen, echter ze worden niet allemaal herkend in het veld (wijze van modelleren betreft een overschatting). In het VO++ nemen de inundaties af als gevolg van de koppeling van de Velhorsterlaak. Daarnaast nemen inundaties ook af als gevolg van extra berging in de natuurvriendelijke oevers. Een belangrijke kanttekening bij de inundatieplaatjes is dat de inundatie langs het Twentekanaal, tussen Velhorst en Hoge Weide, een overschatting betreft, door de IDW-interpolatie die niet peilvak-gebonden is

De effecten op de grondwaterstanden als gevolg van het VO++ zijn beperkt:

- Uit de validatie kan geconcludeerd worden dat de prestatie van het grondwatermodel niet zo goed is. De mate van inspanning die nodig is voor aanpassing van het model staat niet in verhouding tot de berekend effecten op de grondwaterstanden. Op basis hiervan is ervoor gekozen om het model te laten zoals het is. Door nadruk te leggen op de verschillen valt de afwijking van het ontwerp grotendeels weg ten opzichte van de afwijking van de referentie. Bovendien kan bij de interpretatie van het ontwerp de afwijking in gedachten worden gehouden. Het bereken van landbouwschade betreft wel een aandachtspunt omdat hier gerekend wordt met absolute grondwaterstanden. In het VO++ is indicatief gekeken naar schade op basis van de modelresultaten Voor het DO moet nader worden afgestemd hoe de effecten berekend met Waterwijzer op basis van absolute waarden juist kunnen worden weergegeven en/of geïnterpreteerd

- Als gevolg van de nieuwe stuw in de nevengeul wordt de afvoer zowel in de winters als in de zomer geknepen en is er bijna geen afvoer meer door de nevengeul. Dit heeft een verlaging van de grondwaterstanden van 5 tot 25 cm tot gevolg. De effecten op landbouw als gevolg van deze verlaging vallen mee (orde grootte 3 % droogschade). Mogelijk is het effect op de nevengeul voor zowel grond- als oppervlaktewater nog wat kleiner omdat de nevengeul in werkelijkheid veel ondieper is. Een grondwaterstandsverlaging is echter niet wenselijk in het kader van klimaat / elke druppel de grond in. Daarnaast is een verlaging nadelig voor de aanwezige natuur ter plaatse van landgoed Velhorst. Mogelijk kan in het DO inzet van een bredere stuw worden overwogen om meer afvoer door de nevengeul te krijgen
- Ter plaatse van de Lageweg / Afwatering van Westerhol treedt een beperkte vernatting op. De opbrengstenderving voor grasland (beweiding) als gevolg van de droogte van 14,5 % in de referentiesituatie wordt gereduceerd tot 12,3 % in het VO++

6.2 Aandachtspunten voor DO / aanbevelingen

- In de Velhorsterlaak zit een klein stukje waar de bodem erg ondiep is en lokaal voor opstuwing zorgt in een normale maar ook extreme situatie
- De verbreding / verdieping van de Verlhorsterlaak over het rode traject is nog niet meegenomen (verbreding naar 0,7m) (overnemen uit TBK_NMT.LIT model)
- De nieuwe stuw in de nevengeul (1m) knijpt de afvoer door de nevengeul, zowel in de winter als de zomer is er haast geen afvoer meer door de nevengeul. Ook treedt een aanzienlijke verlaging van de grondwaterstanden op. In het DO kan hierin geoptimaliseerd worden (eventueel in overleg met ecologie en natuurmonumenten)
- Ter plaatse van de verlegging van de Velhorsterlaak dient er nog een klein stukje waterloop en stuw verlegd te worden
- De peilen over het traject van de Velhorsterlaak naar Klein Dochteren stuwen meer op dan aanvankelijk beoogd was, zelfs in een normale wintersituatie. De bodemhoogte is vrij hoog op een aantal plaatsen binnen in dit traject. Mogelijk is een optimalisatie nodig in het DO (opschonen / verdiepen profiel)
- In de T100-situatie zien we inundatie bij het stedelijk gebied van Lochem. Een deel van deze inundatie treedt niet op door een kade bij woonwijk Molengronden. In de DO-berekeningen nemen we dit mee door een aanpassing in het AHN door te voeren (globespotter bestanden op te vragen bij Pieter Diekema)
- Verplaatsen van de inlaat benedenstrooms van het depot betekent dat er in de zomersituatie over een traject van circa 1km nagenoeg geen stroming meer plaatsvindt door de Berkel (peilen blijven gehandhaafd). Geeft dat ecologisch gezien knelpunten (gebrek aan stroomsnelheid)? Er is afstemming nodig met de ecologen
- We hebben nu twee principeprofielen voor NVO's, zijn deze ecologisch gezien goed? Is er ecologische afstemming nodig en leidt dit tot aanpassingen voor het DO?
- In het VO++ staan een aantal aanvullende locaties waar deze Bosoever toegepast wordt, ter plaatse van deze locaties is geen NVO overgenomen in het model in het VO++, blijft dit zo in het DO?
- De extra lobben / berging / NVO in de Berkel net benedenstrooms van het depot zijn niet meegenomen in het VO++, blijft dit zo in het DO?
- De verbreding van de Berkel bij Oldeweerd is niet modelmatig meegenomen in het VO++, blijft dit zo in het DO?

- De stuw en brug bij Velhorst in de hoofdloop van de Berkel worden vervangen, de uitwerking daarvan is nog niet bekend. Er zijn daarom geen aanpassingen gedaan in het model voor het VO++. blijft dit zo in het DO?
- Mogelijk worden nog aanpassingen doorgevoerd bij de agrariër ten noorden van stuw Velhorst. Ook hier is niet bekend hoe dat er precies uit ziet, er zijn daarom geen aanpassingen gedaan aan het model voor het VO++. blijft dit zo in het DO?
- De afgravingen van het maaiveld worden niet meegenomen in het grondwatermodel. Willen we dit wel meenemen in het DO als er meer duidelijkheid is? Aandachtspunt is wel dat er meerdere effecten door elkaar lopen, interpretatie wordt wat lastiger zeker omdat we gezien onzekerheden in het gondwatermodel liever niet naar absolute effecten willen kijken (afgraven heeft effect op grondwaterstand ten opzichte van maaiveld, overige aanpassingen hebben effect op grondwaterstand ten opzichte van nap)
- Het NBW-knelpunt (inundatie bij Westerholt) wordt nog niet volledig opgelost in het VO++, op basis van de resultaten dient gekeken te worden naar een optimalisatie van het watersysteem zodat in het DO dit knelpunt volledig opgelost kan worden
- In het VO++ gaat de afvoer vanuit Westerholt nog niet volledig over de Velhorsterlaak maar wordt er nog water afgevoerd over stuw Oldeweerd in de zomer. Op basis van de resultaten dient nog gekeken te worden naar een optimalisatie in het DO zodat alle afvoer richting Velhorsterlaak gaat in de zomer
- In het DO dient een extra label op de resultaten van het oppervlaktewatermodel gezet te worden ter plaatse van het gemaal Westerholt
- In het DO dient de methode voor het berekenen van de inundatie te worden verfijnd. Bij de inundatie analyse dient de IDW-interpolatie per peilvak te worden berekend, alvorens de inundatiediepte ten opzichte van maaiveld wordt bepaald

6.3 Conclusies DO

De volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van het oppervlaktewater:

- In het DO is een stuw opgenomen in het bovenstroomse deel van de nevengeul, wat zorgt voor meer opstuwing bovenstrooms. Als gevolg gaat het overgrote deel van de afvoer nu over stuw Velhorst. Hierdoor verbetert de stroomsnelheid in de hoofdloop (parallel aan de nevengeul) hier aanzienlijk (in de zomer 8 cm/sec vergeleken met 1 cm/sec in de referentiesituatie)
- In de nevengeul is een grote peilverlaging te zien, omdat er nu aanzienlijk minder afvoer doorheen gaat ten opzichte van de referentiesituatie (door de stuw bovenstrooms in de nevengeul), vergelijkbaar met het effect in de VO++ modellering
- Door de aantakking van de Velhorsterlaak in de nevengeul (in combinatie met het nieuwe stuwpeil bij Oldeweerd en inslagpeil bij gemaal Westerholt) gaat er minder water over stuw Oldeweerd en gemaal Westerholt
- Bij Klein dochteren is goed te zien dat het verhogen van het inslagpeil bij gemaal Westerholt (van 9,6 naar 10 m + NAP) leidt tot een significante vernatting. Het hoger optrekken van stuw Oldeweerd (naar 9,85 m+NAP) leidt ook tot een kleine peilverhoging bovenstrooms van de stuw
- In de T=10+10 % situatie wordt het effect van het opnemen van de Velhorsterlaak goed merkbaar, met name bij Klein Dochteren (tot wel 45 cm peilverlaging). In het DO is dit gebied verbonden met de nevengeul bij Velhorst, middels een relatief glad profiel, waardoor het water gemakkelijk kan afwateren en het NBW-knelpunt wordt opgelost

- Waar in het VO++ een kleine peilverhoging te zien was bij de nieuwe verbinding tussen Klein Dochteren en Westerholt (ca 3 cm), is dit in het DO gemitigeerd door de verdieping en verbreding op te nemen conform het aangeleverde model, in combinatie met de lagere weerstanden
- De plas dras oevers en de maatregel bij de Staringkoepel zorgen voor een peilverlaging bij extreme afvoeren (tot wel 6 cm peilverlaging benedenstrooms van Hoge Weide. Bovenstrooms betreft dit circa 9 cm, wat deels komt door de nieuwe stuw)
- De waterdiepte neemt in het DO over het algemeen circa 1 cm toe in de zomersituatie als gevolg van de toename van het ingelaten debiet vanuit het Twentekanaal. In de zomer- en wintersituatie wordt het DO getoetst op een waterdiepte van 60 cm, hieraan wordt ruimschoots voldaan. Ook ten aanzien van de doorvaarthoogte bij bruggen zijn er geen knelpunten in de gemiddelde zomer- en wintersituatie
- In de T=100-situatie neemt de inundatiediepte in het DO nagenoeg overal af ten opzichte van de referentiesituatie, met uitzonderling van het traject benedenstrooms van de Boevinksbrug. Dit betreft echter slechts een toename van 1 cm, en wordt verder bovenstrooms gecompenseerd door de maatregelen
- Nabij het stedelijk gebied van Almen neemt de mate van inundatie bij een T=100-situatie toe met circa 1 cm (maximaal 14 mm). De inundatie blijft echter beperkt tot exact het zelfde gebied als in de referentiesituatie, en zorgt hiermee niet voor extra knelpunten of een verslechtering

De effecten op de grondwaterstanden als gevolg van het DO zijn beperkt en vergelijkbaar met het VO++. Op de volgende punten is het DO veranderd ten opzichte van het VO++:

- De verlagingscontour (> 5 cm) rondom de nevengeul is in de zomersituatie kleiner in het DO dan in het VO++. In de winter- en voorjaarsituatie is het omgekeerd en is de verlagingscontour groter in het DO dan in het VO++. De werkelijke effecten zullen een stuk kleiner zijn omdat de nevengeul in werkelijkheid veel minder diep is dan in het model is geschematiseerd
- De toevoeging van een brede bosoever ter hoogte van de Staringkoepel heeft met name in de GHG- en GVG-situatie een lokale verlaging van de grondwaterstanden tot gevolg (tot 70 cm). Waarschijnlijk zal dit effect in de toekomst steeds kleiner worden als gevolg van het toenemen van de bodemweerstand door ontstaan van een sliblaag
- Bij de nieuwe loop van de Velhorsterlaak, Lageweg en afwatering van Westerholt treedt in de GHG- en GVG-situatie een verlaging van de grondwaterstand tot 5 tot 15. Omdat de aantakking er in werkelijkheid al ligt is het werkelijke effect kleiner, mogelijk ontstaat en kleine vernatting doordat de watergang langer watervoerend blijft
- De droogteschade landbouw is in het DO vergelijkbaar met het VO++. Hier dient echter wel de kanttekening te worden gemaakt dat de VO++ effecten zijn weergegeven op basis van een superpositie van het verschil op beschikbare meetgegevens. De DO effecten zijn weergegeven voor de absolute waarden die met het model worden berekend. Doordat het model te hoge grondwaterstanden berekent, zal in werkelijkheid de droogteschade mogelijk nog wat hoger zijn

- De natschade in het DO neemt toe tot 20 % nabij de Lageweg/Afwatering van Westerholt. De droogteschade bij de nevengeul neemt wat toe. Ook hier geldt dat deze maatregelen deels als uitgevoerd zijn / de nevengeul ondieper is, waardoor het effect grotendeels al / niet optreedt
- Op de percelen ten noorden van de Velhorstbrug / Ehzerlaak treedt een zeer beperkte toename van de droogteschade op

6.4 Aandachtspunten voor vervolg

- Er wordt aanbevolen om de daadwerkelijk optredende effecten te monitoren en te vergelijken met de modelresultaten
- Mogelijk kunnen de afgravingen van het maaiveld nog geoptimaliseerd worden op basis van de resultaten het grondwatermodel
- Een aantal effecten zal in werkelijkheid niet optreden; om landbouweffecten beter in beeld te krijgen kan overwogen worden om nog een rekenslag uit te voeren om gevoel te krijgen bij de daadwerkelijke effecten

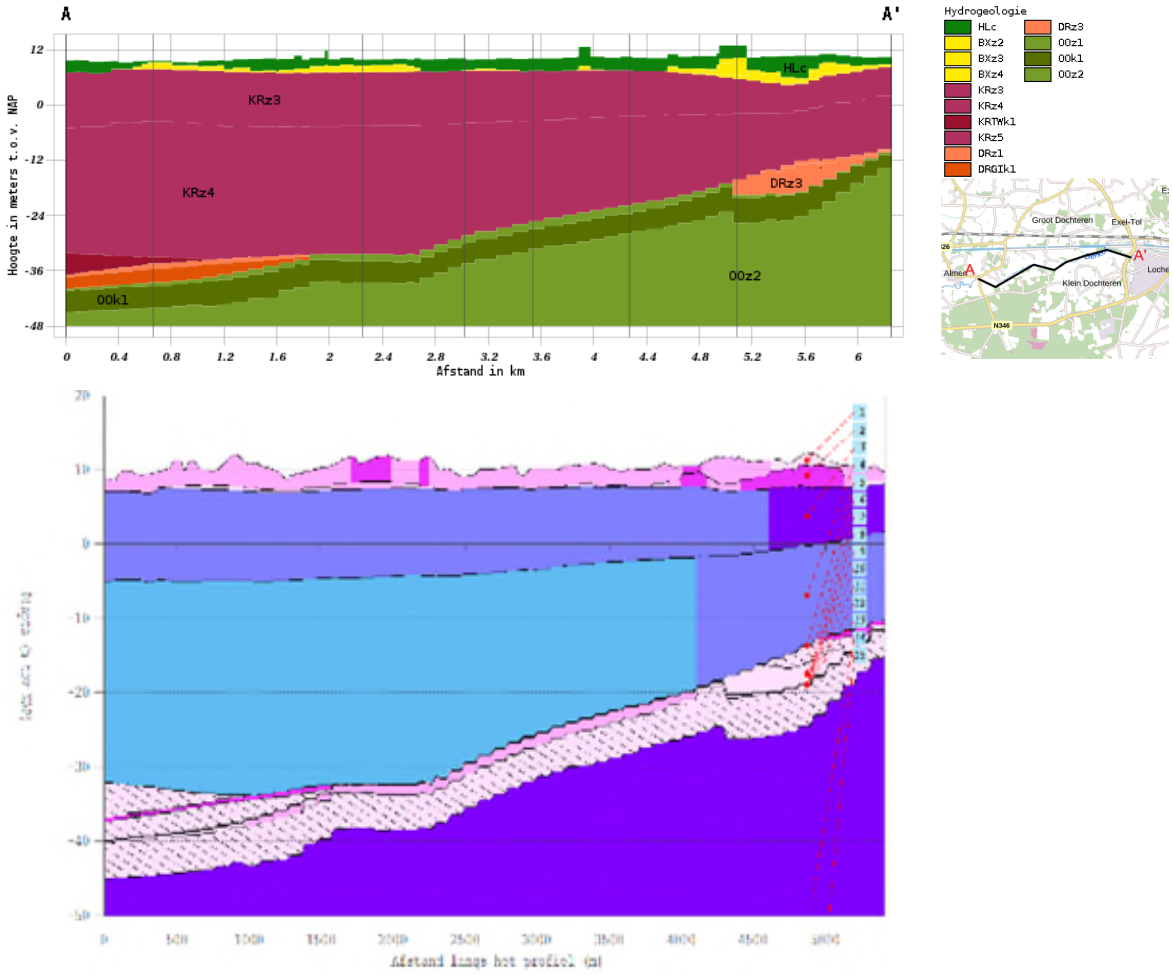
Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Bijlage 1 Lagenindeling AMIGO

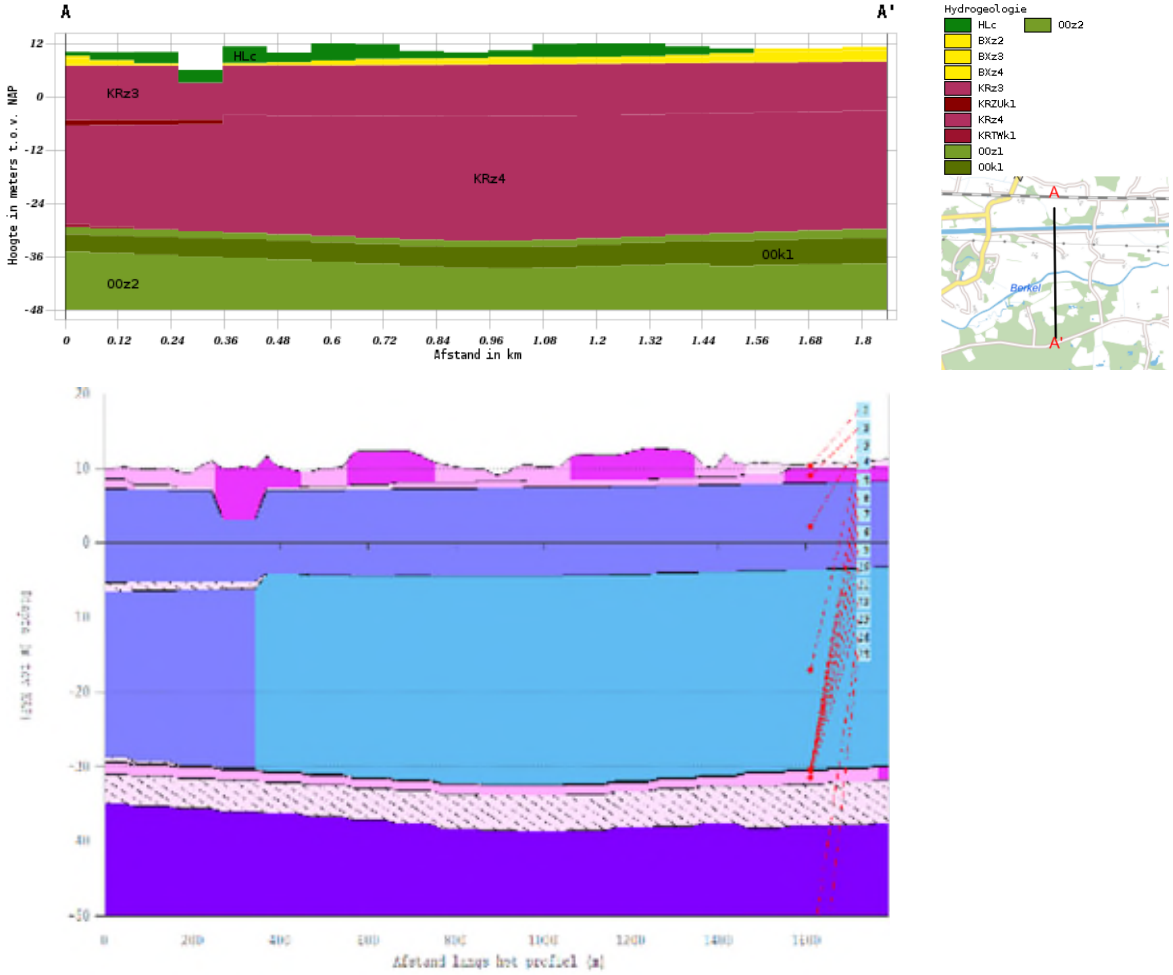
Modellagen	Afkorting	Volledige regis naamgeving
KD01	HL-C	
	BX-Z-2	
C01	HL-C	Holocene afzettingen, complexe eenheid
	BX-K-1	F. v. Boxtel, 1e kleiige eenheid
KD02	BX-Z-3	
C02	BX-K-2	F. v. Boxtel, 2e kleiige eenheid
KD03	BX-Z-4	
	KR-Z-2	
	KR-Z-3	
C03	KRZU-K-1	F. v. Kreftenheye, Lp. v. Zutphen, 1e kleiige eenheid
KD04	KR-Z-4	
C04	KRTW-K-1	F. v. Kreftenheye, Lp. v. Twello, 1e kleiige eenheid
KD05	KR-Z-5	
	DR-Z-1	
	DR-Z-2	
C05	DRUI-K-1	F. v. Drente, Lp. v. Uitdam, 1e kleiige eenheid
	DRGI-K-1	F. v. Drente, Lp. v. Gieten, 1e kleiige eenheid
KD06	DR-Z-3	
	DT-C	
C06	DT-C	Gestuwde afzettingen, complexe eenheid
KD07	UR-Z-1	
C07	UR-K-1	F. v. Urk, 1e kleiige eenheid
KD08	UR-Z-2	
	UR-Z-3	
	UR-Z-4	
	UR-Z-5	
	ST-Z-1	
	ST-Z-2	
	AP-Z-1	
	PZWA-Z-1	
C08	WA-K-1	F. v. Waalre, 1e kleiige eenheid
KD09	PZWA-Z-2	
C09	WA-K-2	F. v. Waalre, 2e kleiige eenheid
	PZ-K-1	F. v. Peize, 1e kleiige eenheid
KD10	PZWA-Z-3	
C10	WA-K-3	F. v. Waalre, 3e kleiige eenheid
	PZ-C	F. v. Peize, complexe eenheid
KD11	PZ-C	
	PZWA-Z-4	
	MS-Z-1	
C11	MS-K-1	F. v. Maassluis, 1e kleiige eenheid
KD12	MS-Z-2	
C12	MS-K-2	F. v. Maassluis, 2e kleiige eenheid
	MS-C	F. v. Maassluis, complexe eenheid
KD13	MS-Z-3	
	MS-C	
	MS-Z-4	
	OO-Z-1	
C13	OO-K-1	F. v. Oosterhout, 1e kleiige eenheid
KD14	OO-Z-2	
	OO-C	
C14	OO-C	F. v. Oosterhout, complexe eenheid
KD15	BR-Z-1	
Basis	BR-K-1	F. v. Breda, 1e kleiige eenheid
	RU-K-1	F. v. Rupel, 1e kleiige eenheid
	DO-K-1	F. v. Dongen, 1e kleiige eenheid
	Krijt	Krijt

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

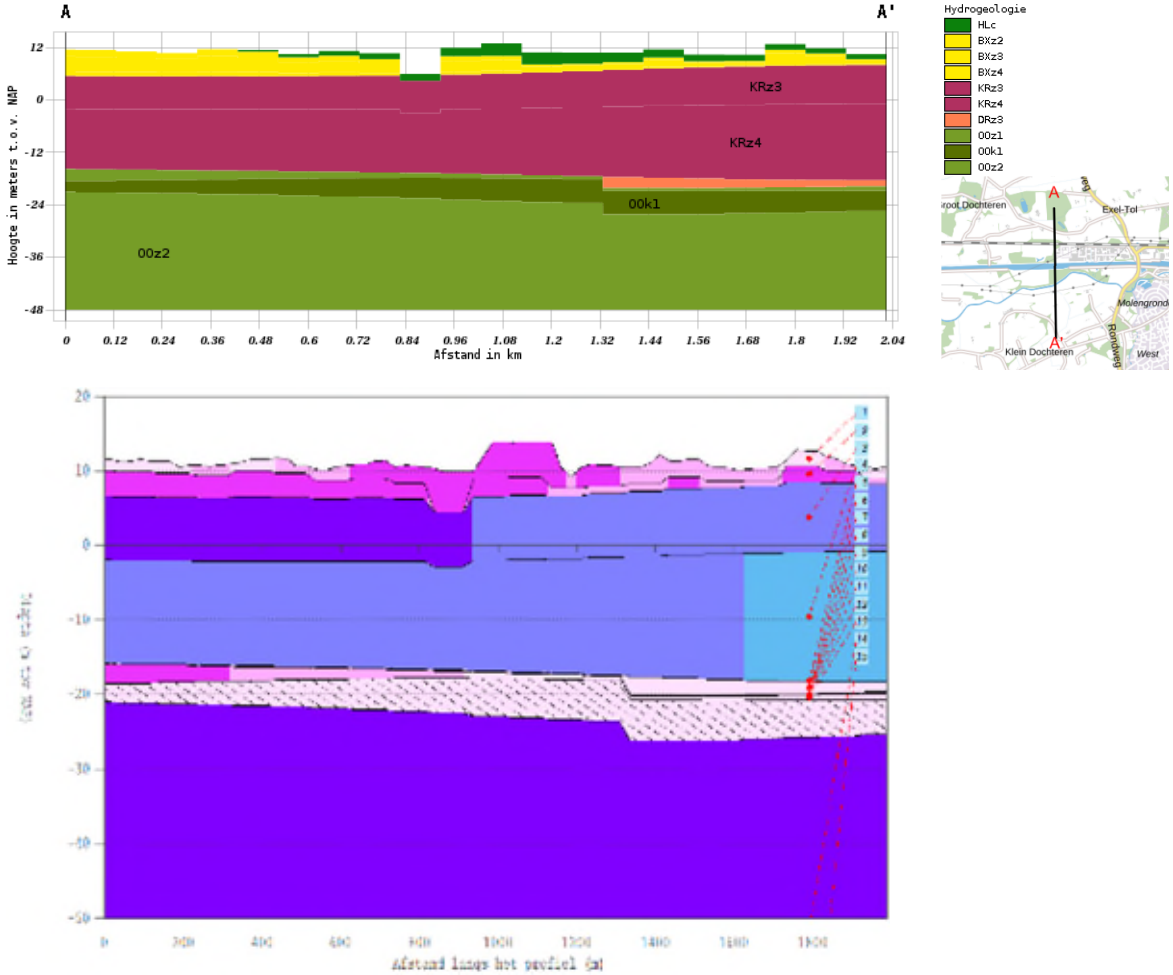
Lagenopbouw REGIS v2.2 vs AMIGO v3.1



Figuur B1.1 Lengteprofiel REGIS2.2 (boven) en AMIGO (onder) ter plaatse van de Berkel tussen Almen en Lochem (west-oost)

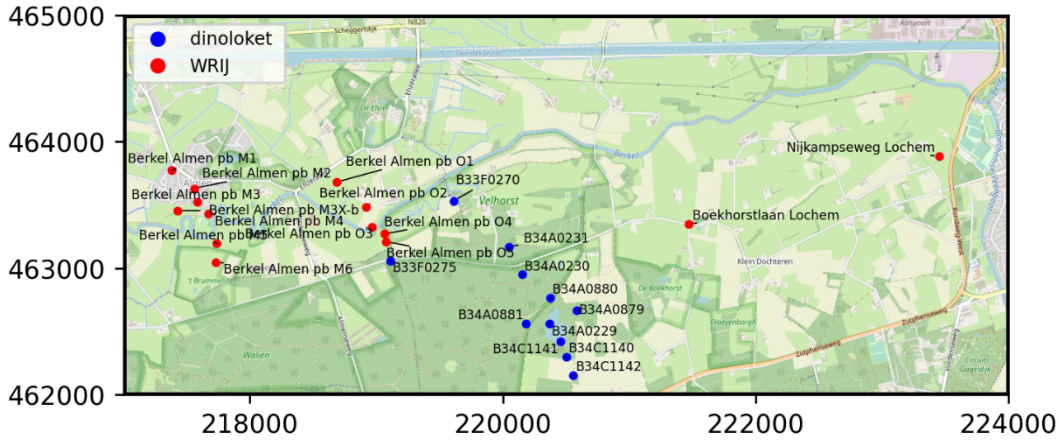


Figuur B1.2 Lengteprofiel REGIS2.2 (boven) en AMIGO (onder) ter plaatse van de Berkel tussen Almen en Lochem (noord-zuid, ten oosten van Almen)

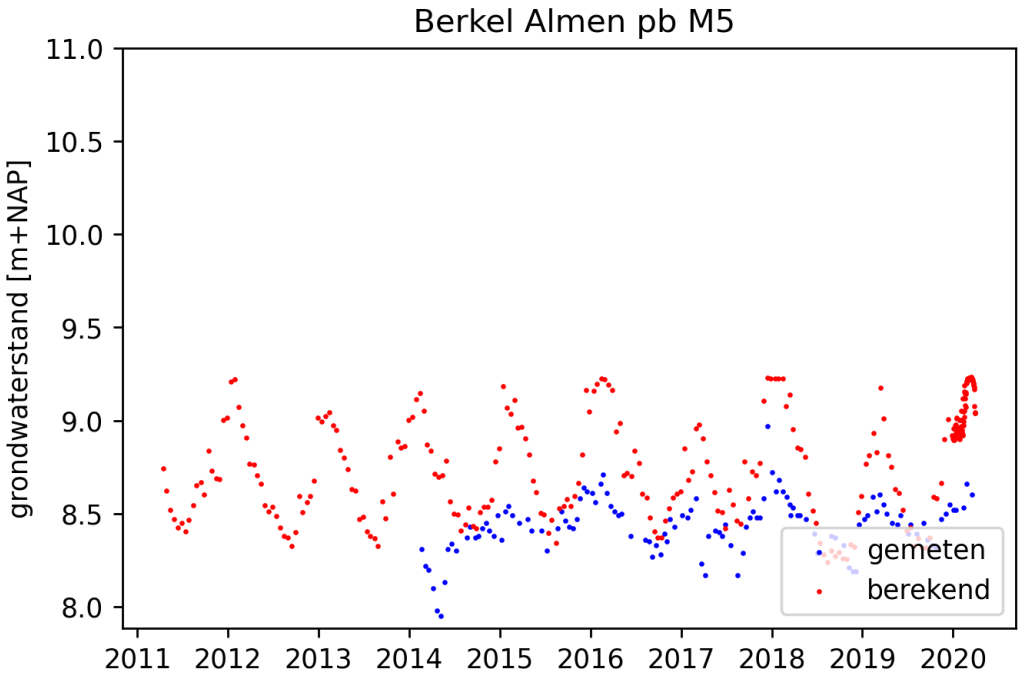


Figuur B1.3 Lengteprofiel REGIS2.2 (boven) en AMIGO (onder) ter plaatse van de Berkel tussen Almen en Lochem (noord-zuid, ten westen van Lochem)

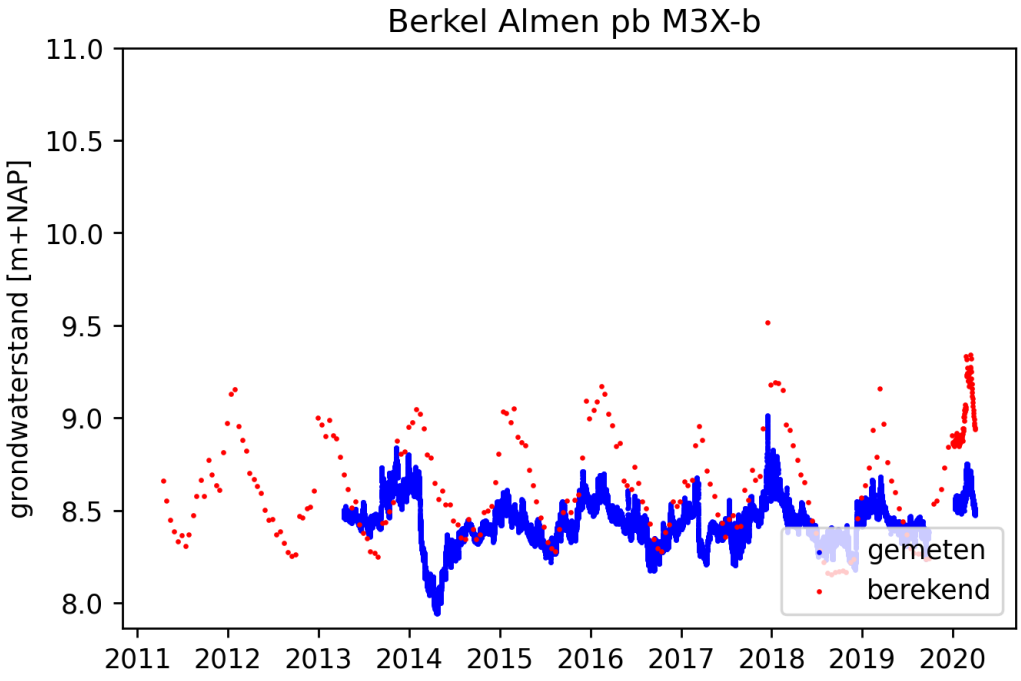
Bijlage 2 Tijdreeksen



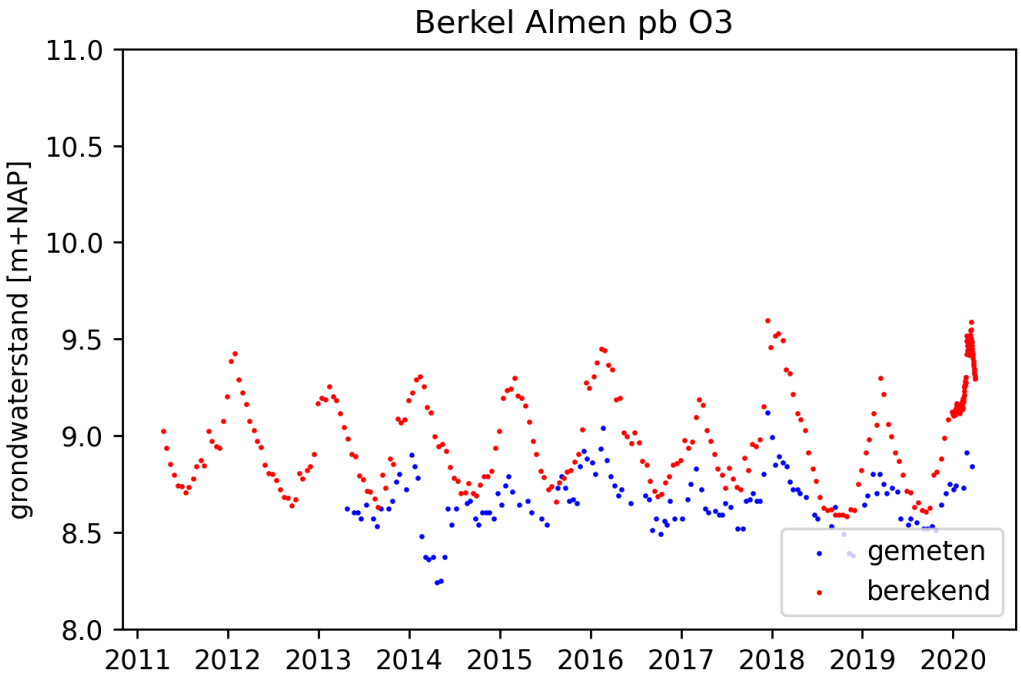
Figuur B2.1 Peilbuislocaties met naam



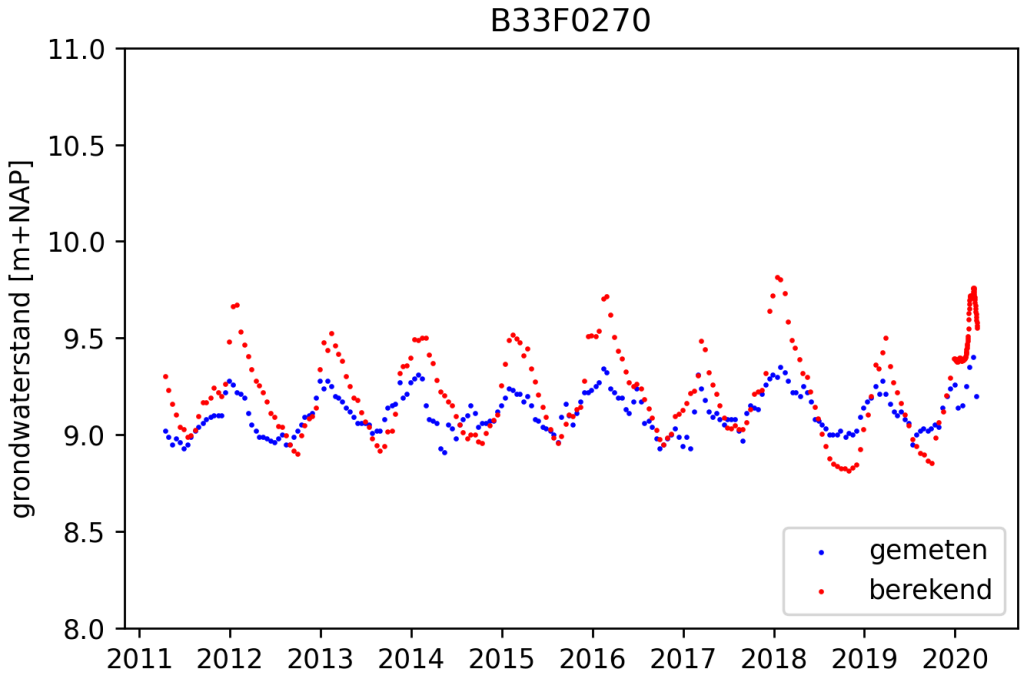
Figuur B2.2 Gemeten en berekende grondwaterstand ter hoogte van peilbuis 'Berkel Almen pb M5'



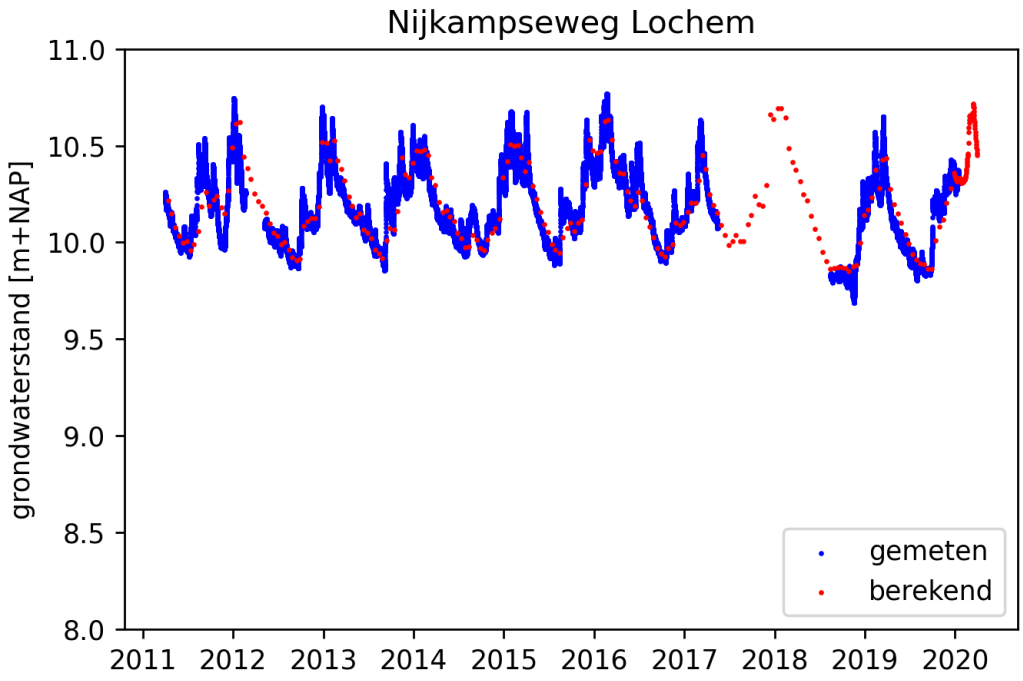
Figuur B2.3 Gemeten en berekende grondwaterstand ter hoogte van peilbuis 'Berkel Almen pb M3x-b'



Figuur B2.4 Gemeten en berekende grondwaterstand ter hoogte van peilbuis 'Berkel Almen pb O3'



Figuur B2.5 Gemeten en berekende grondwaterstand ter hoogte van peilbuis 'B33F0270'

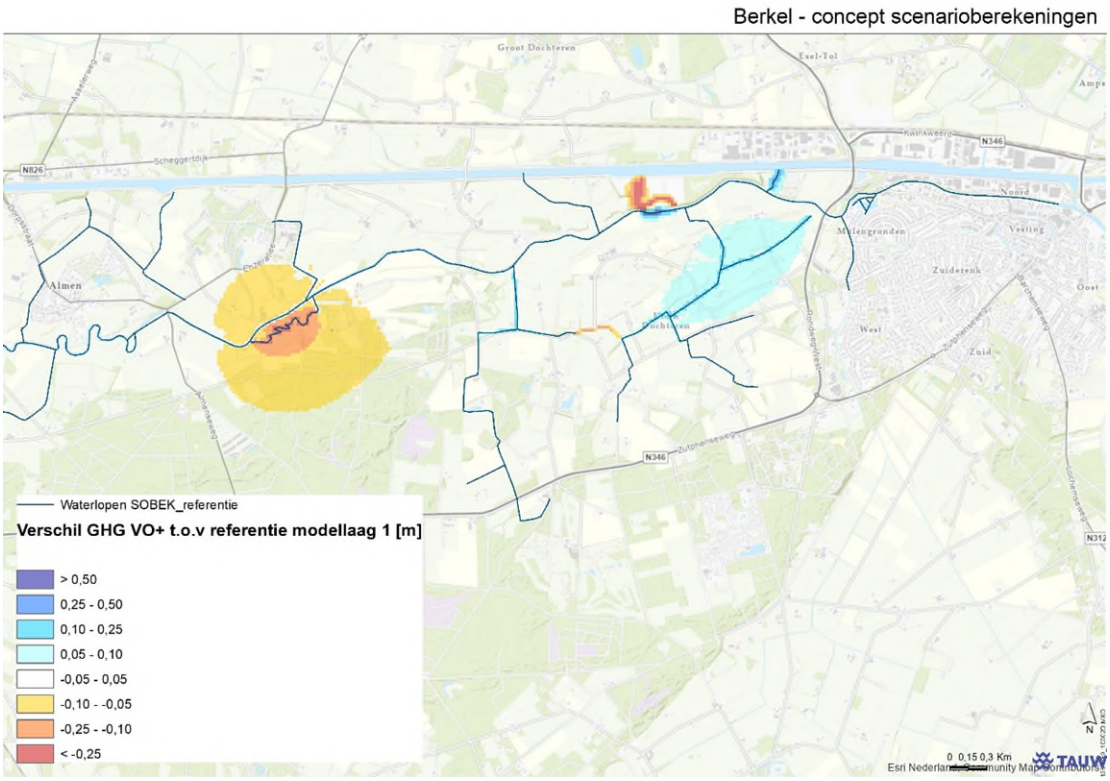


Figuur B2.6 Gemeten en berekende grondwaterstand ter hoogte van peilbuis 'Nijkampseweg Lochem'

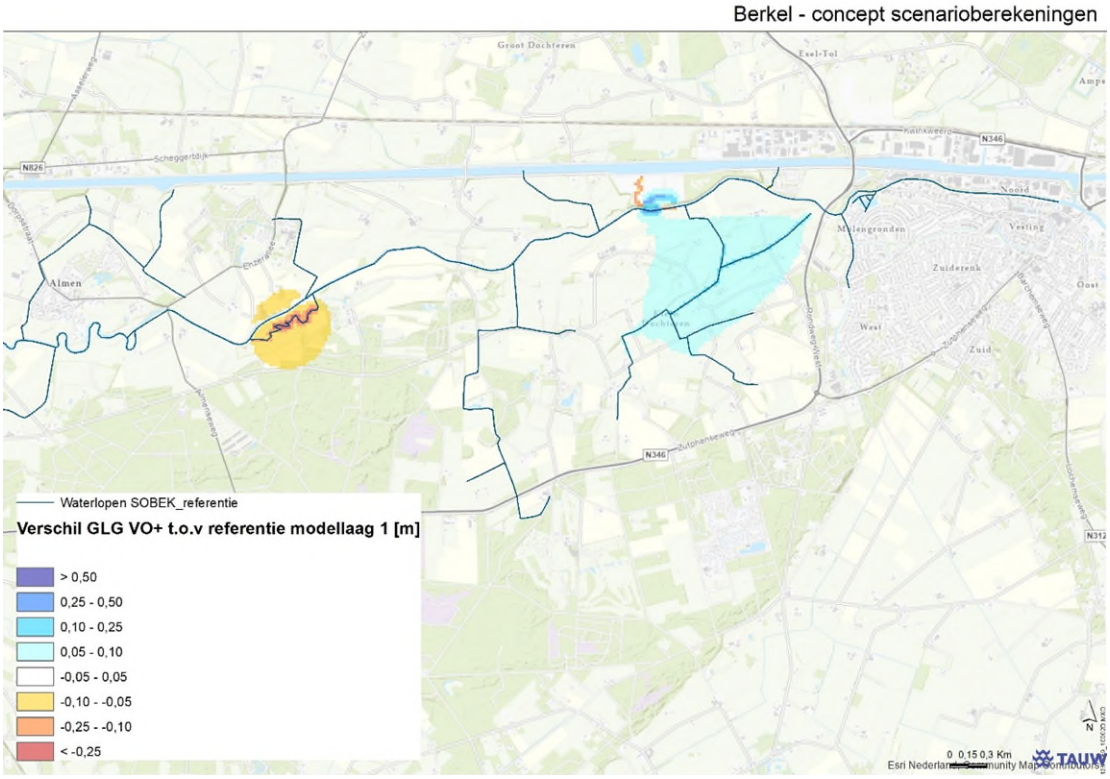
Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Bijlage 3 Resultaten GxG

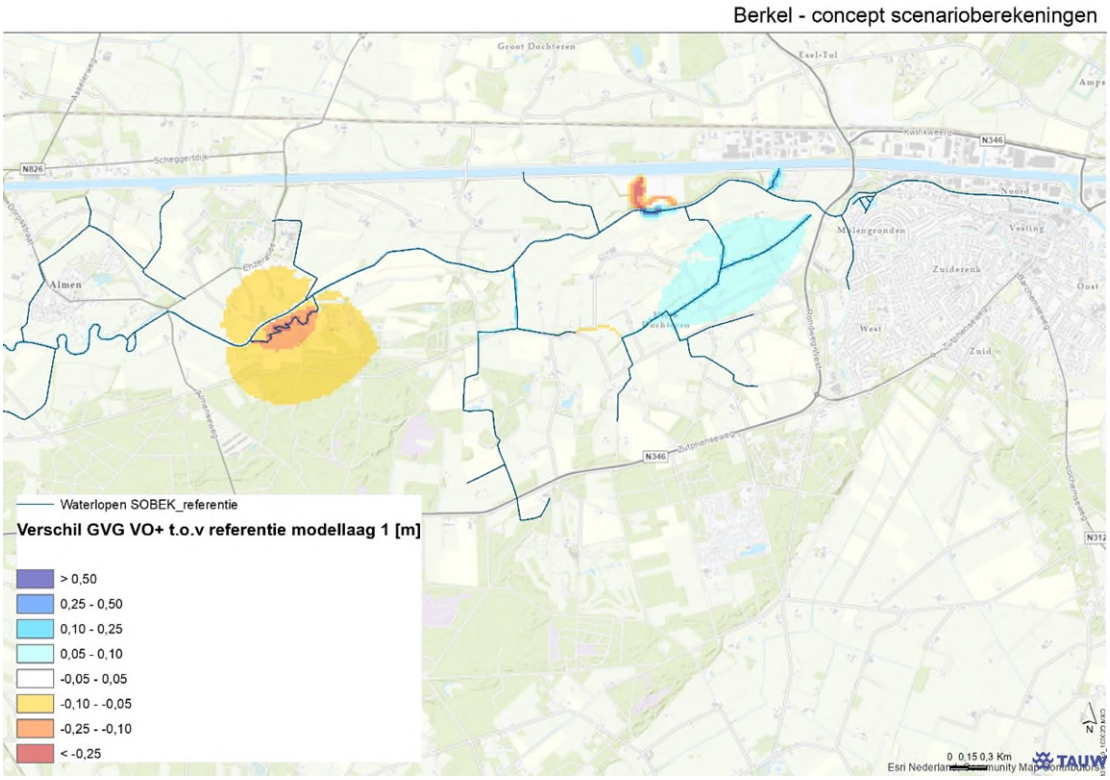
Bijlage 3a VO++



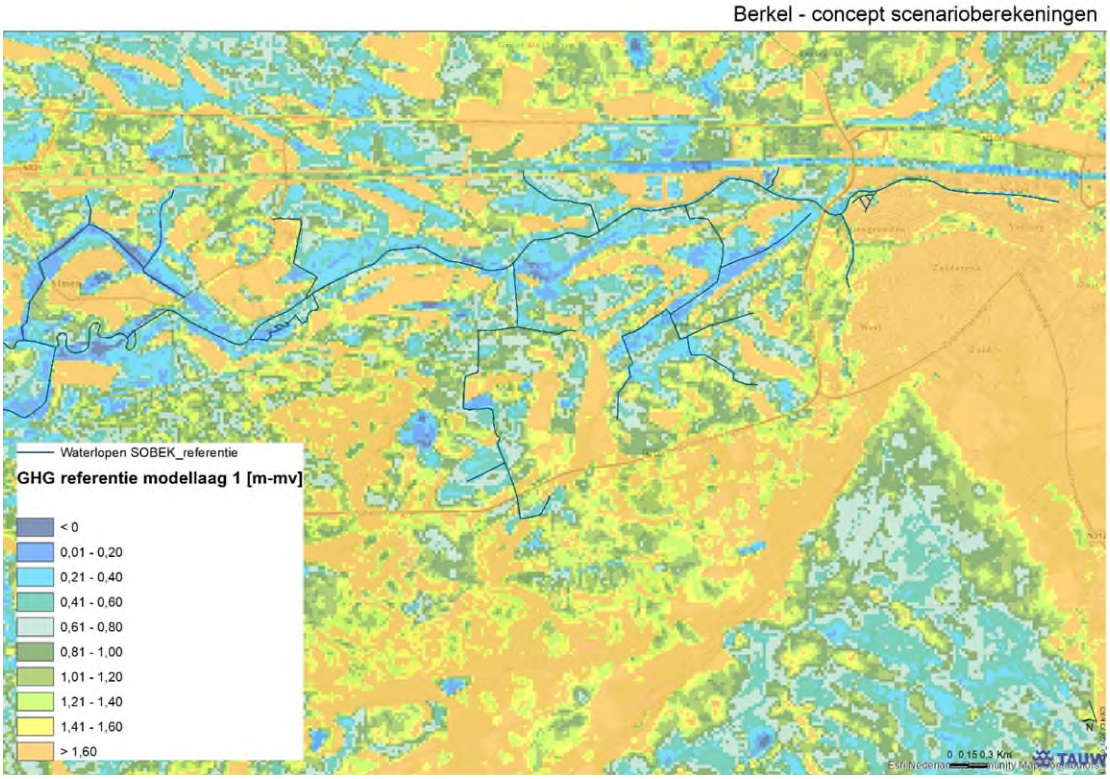
Figuur B3.1 Verschil GHG (VO++ minus referentie)



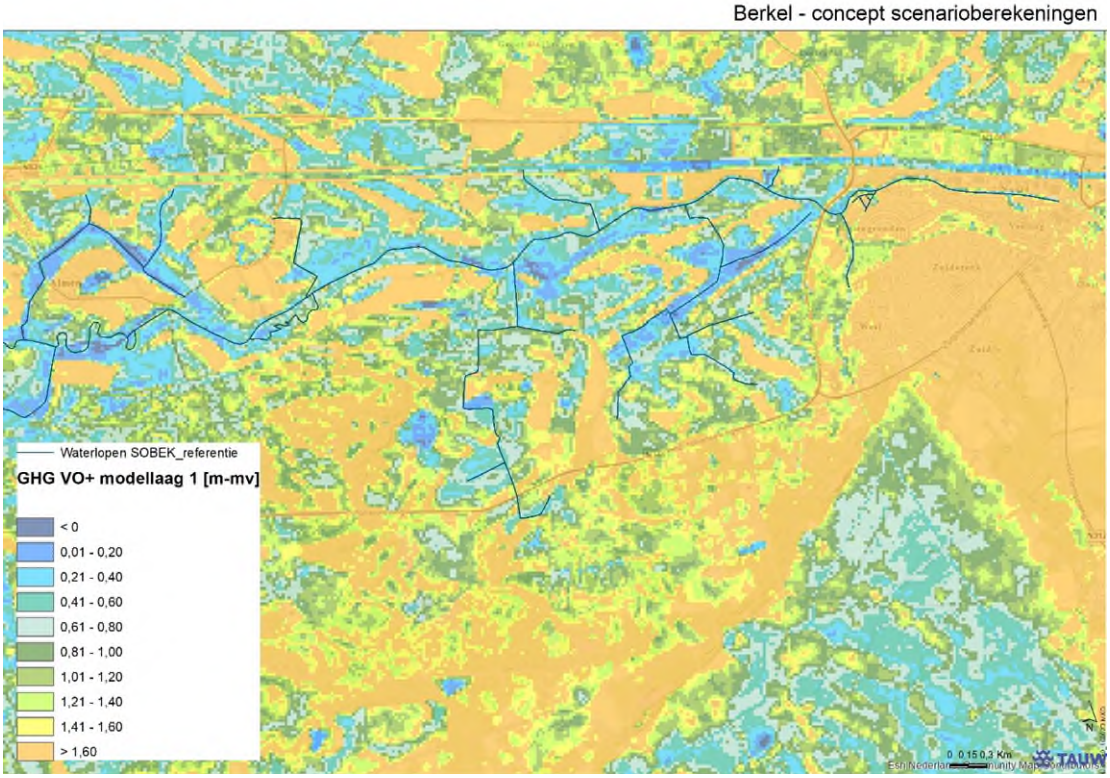
Figuur B3.2 Verschil GLG (VO++ minus referentie)



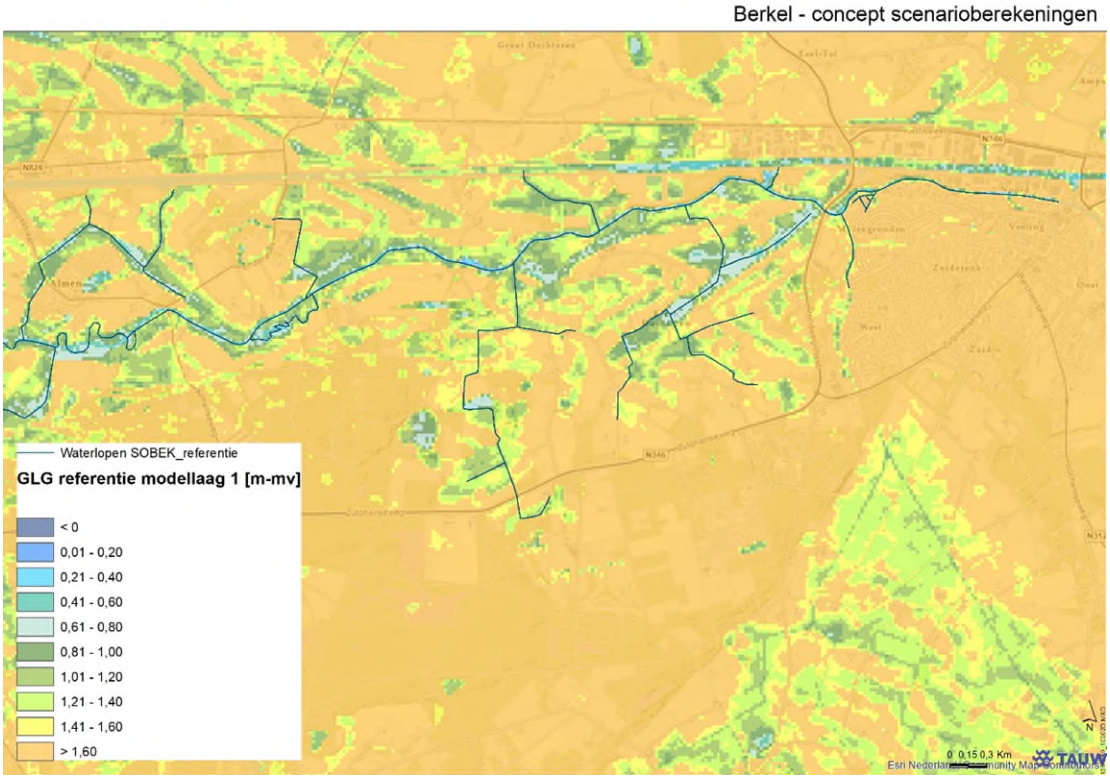
Figuur B3.3 Verschil GVG (VO++ minus referentie)



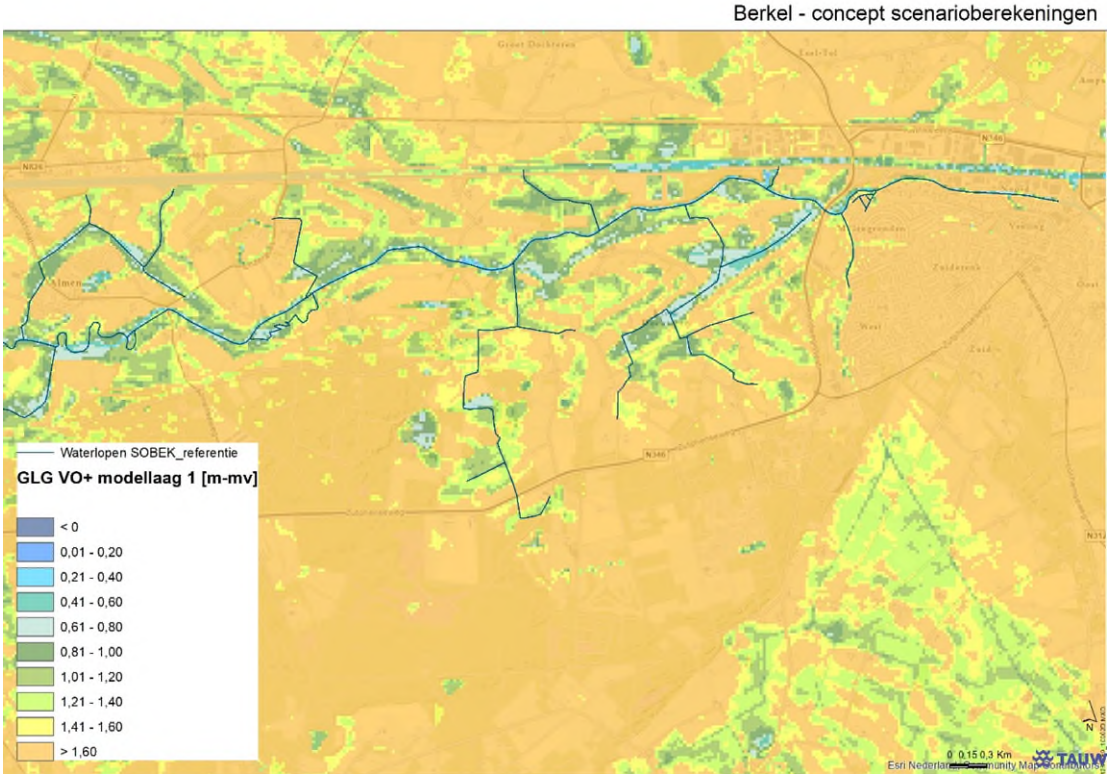
Figuur B3.4 GHG-referentie (m-mv)



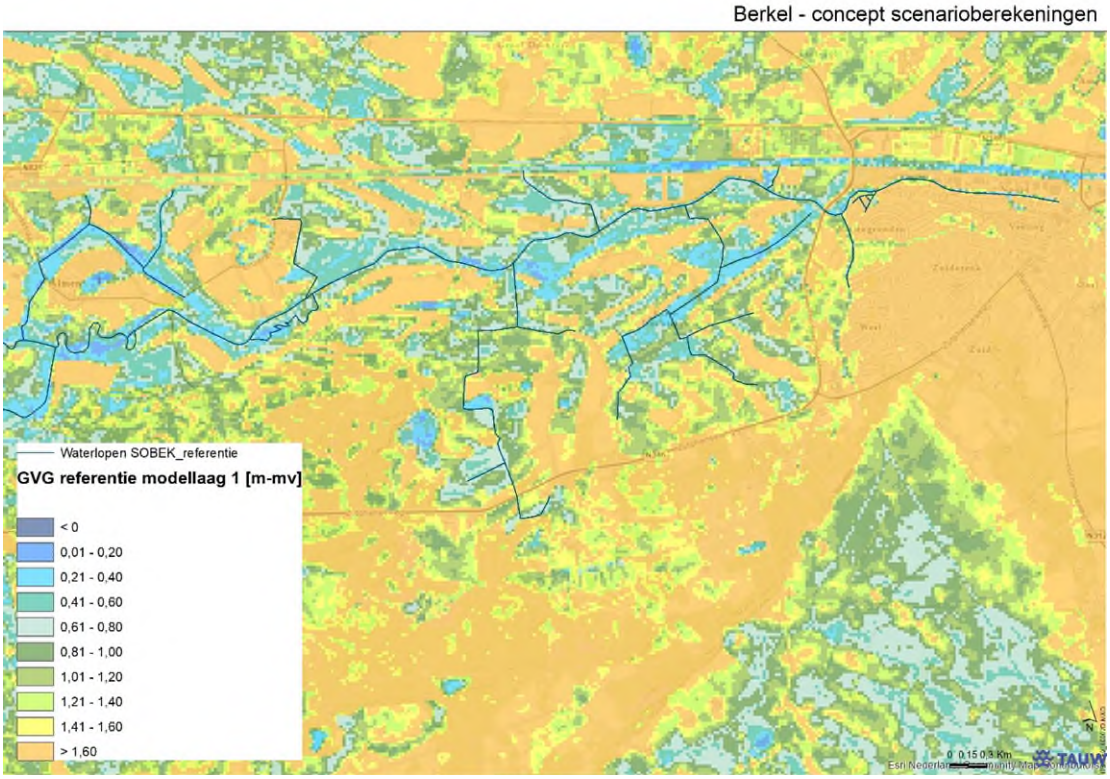
Figuur B3.5 GHG VO++ (m-mv)



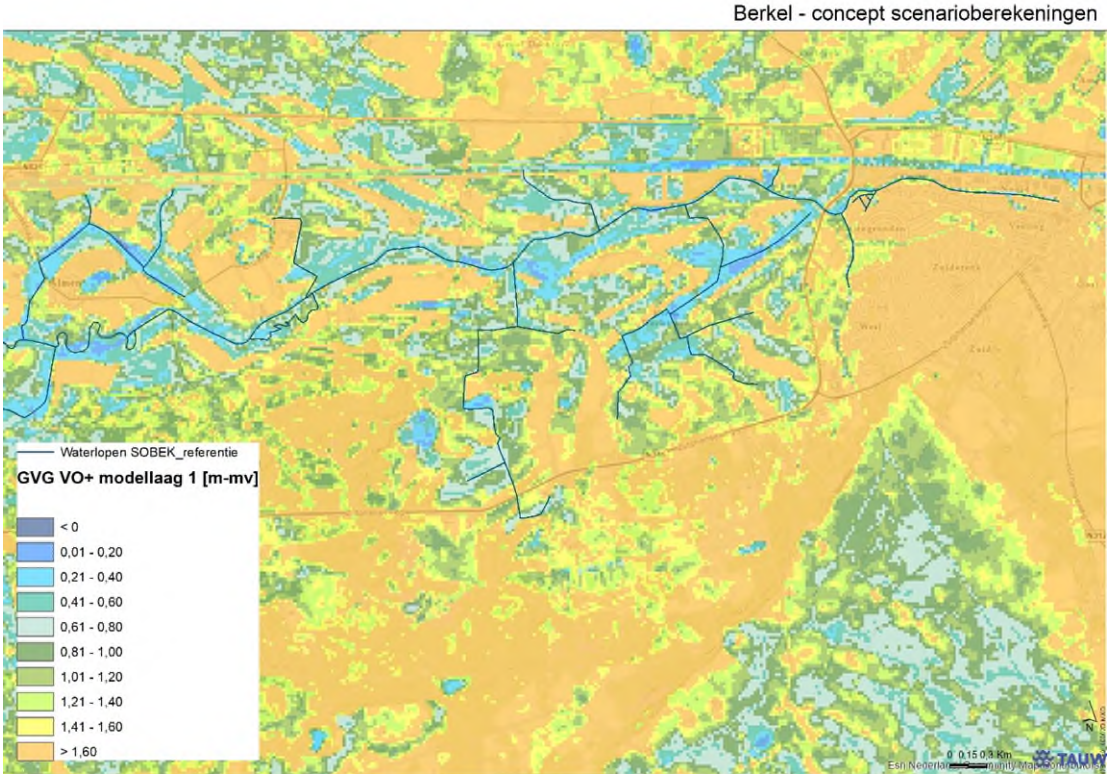
Figuur B3.6 GLG referentie (m-mv)



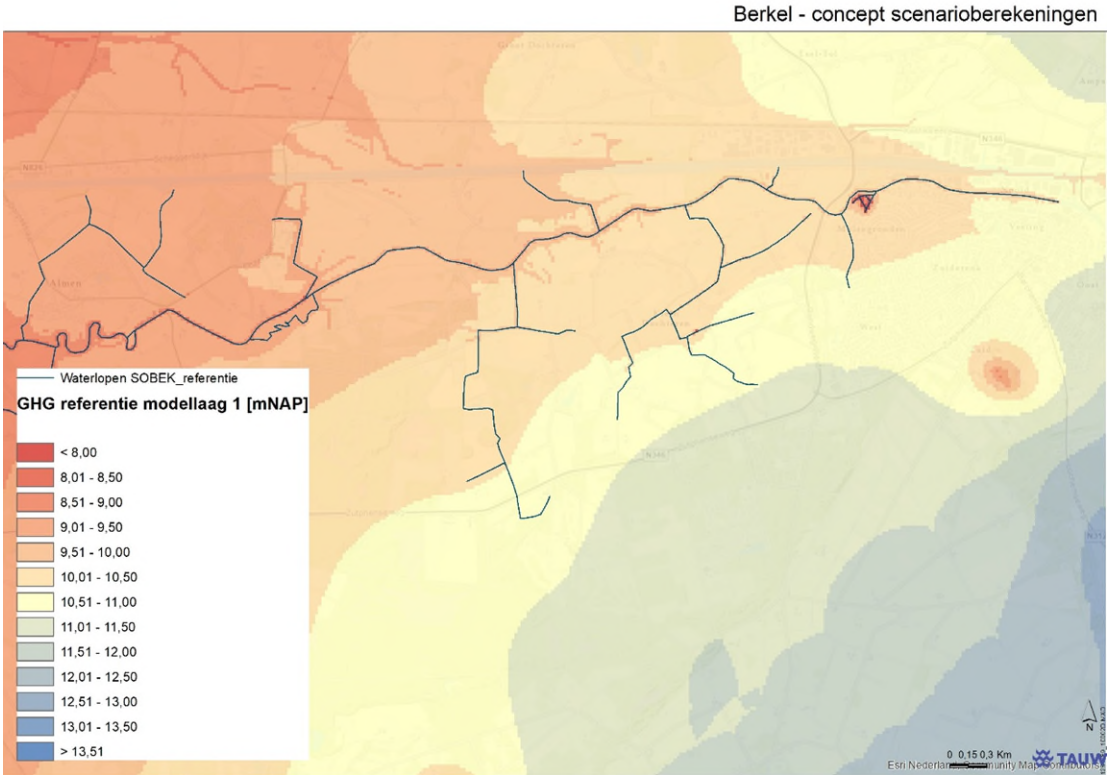
Figuur B3.7 GLG VO++ (m-mv)



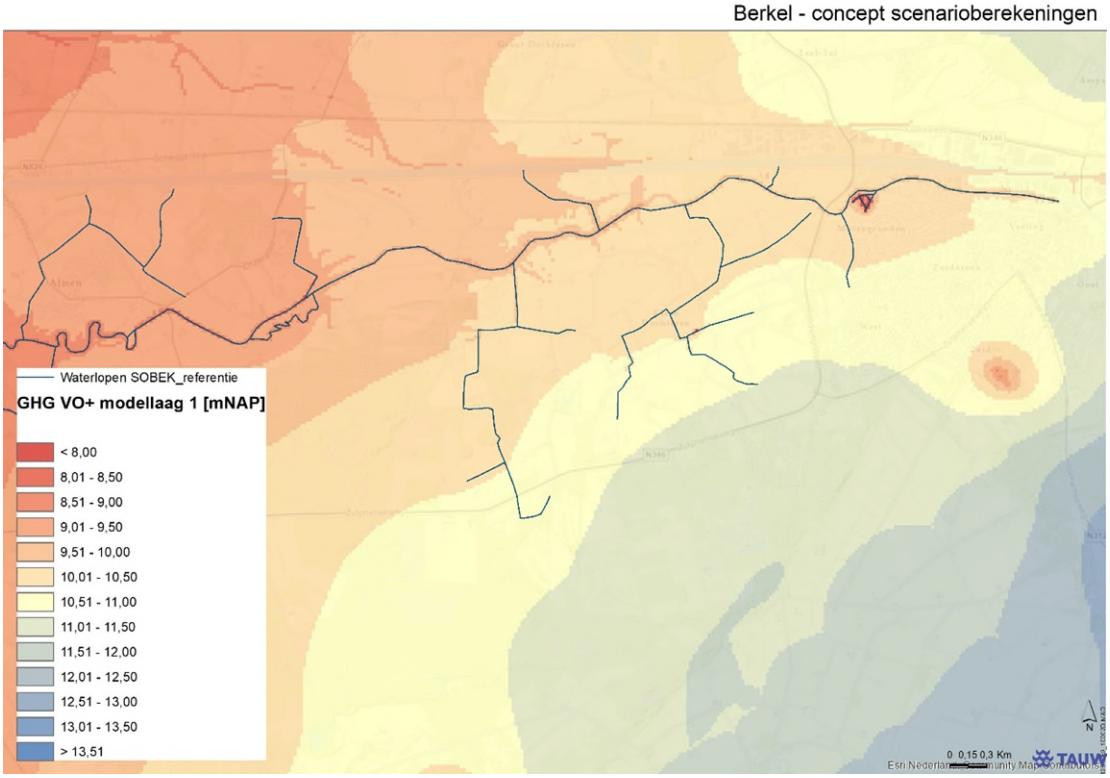
Figuur B3.8 GVG-referentie (m-mv)



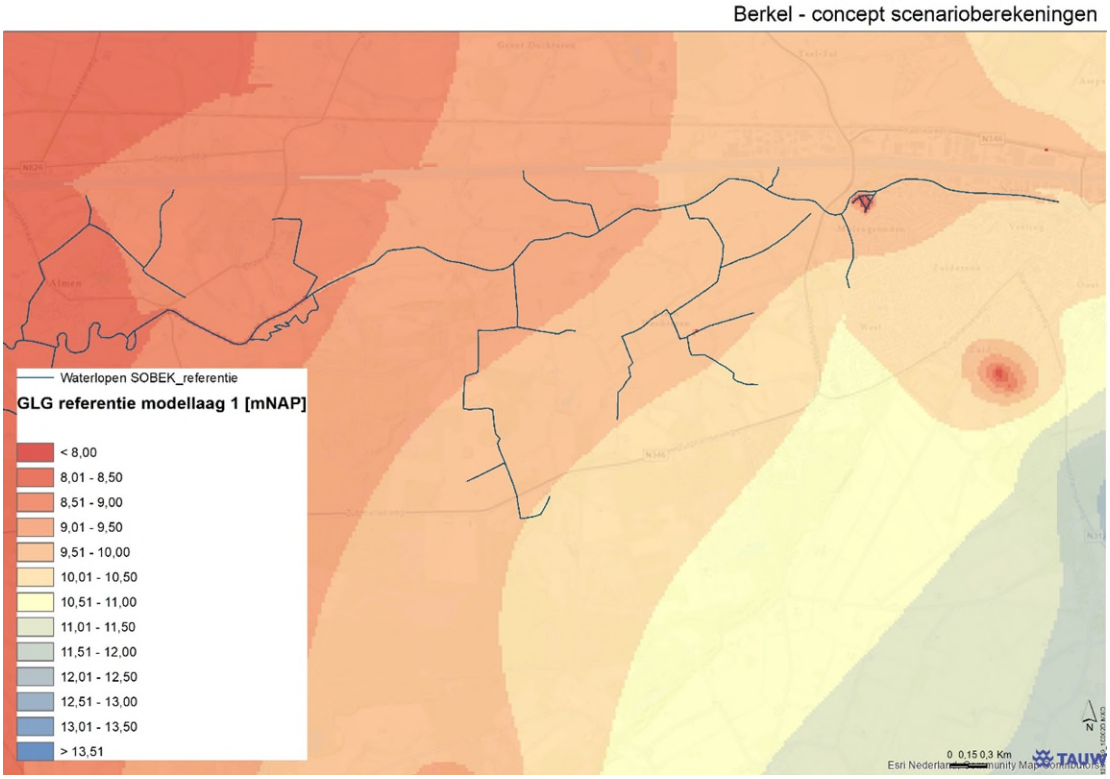
Figuur B3.9 GVG VO++ (m-mv)



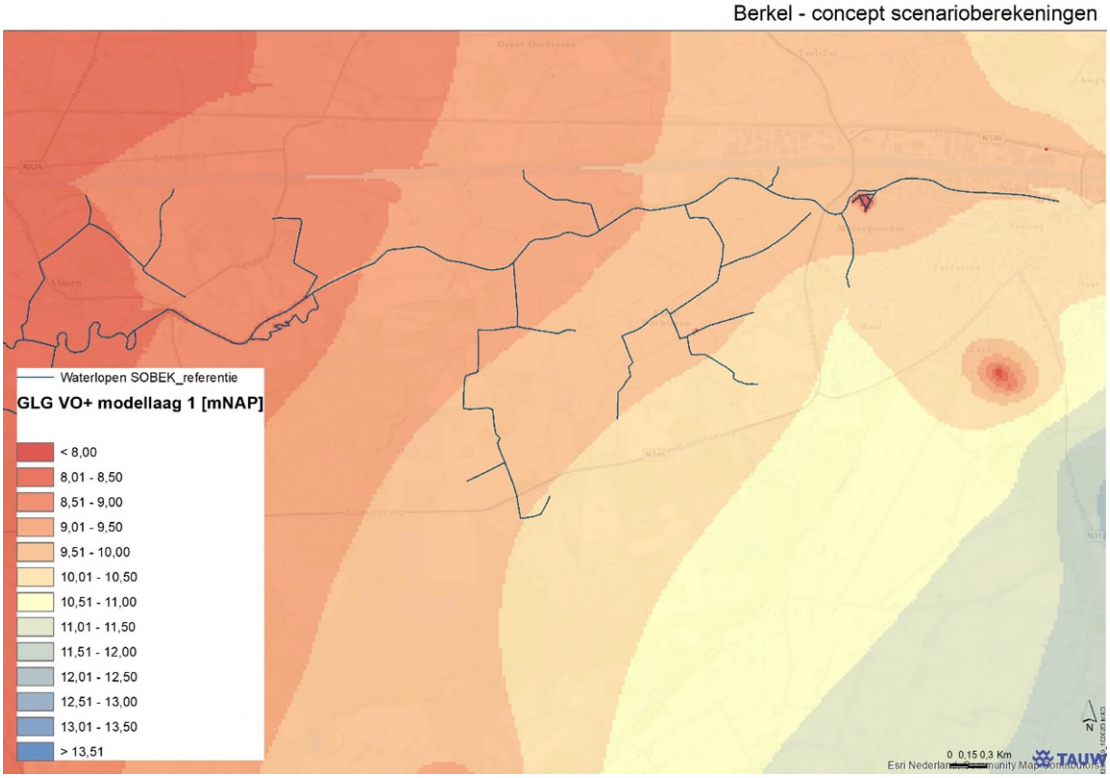
Figuur B3.10 GHG-referentie (mNAP)



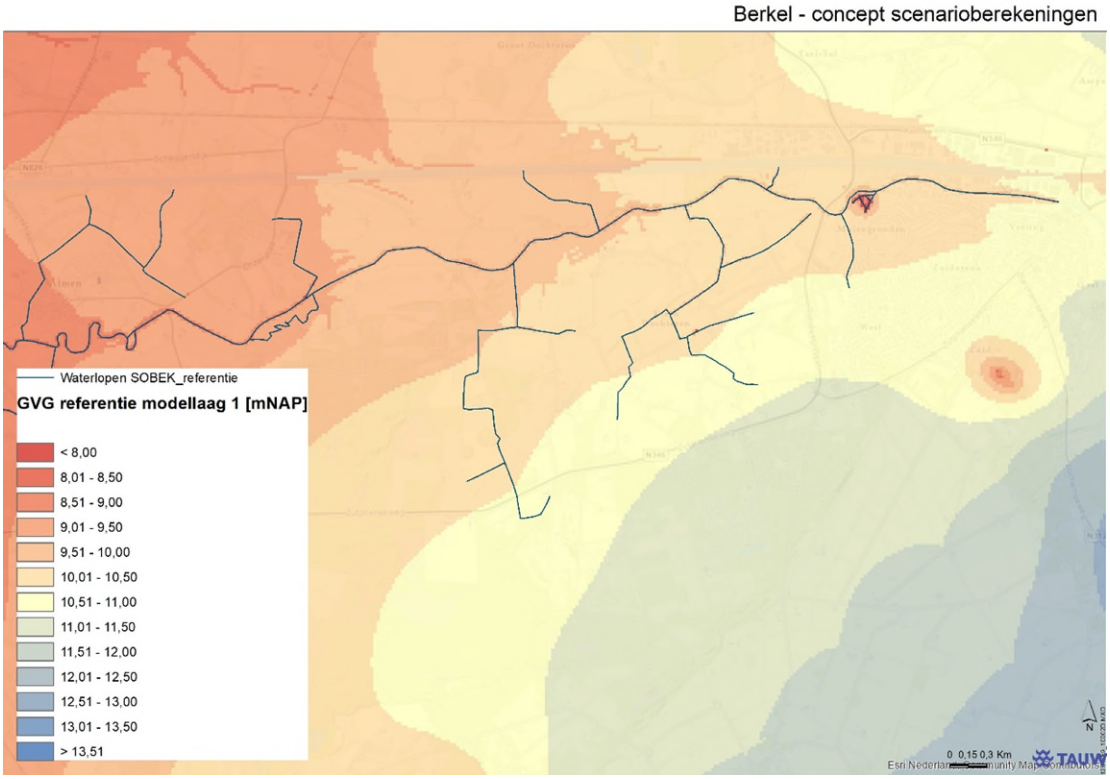
Figuur B3.11 GHG VO++ (mNAP)



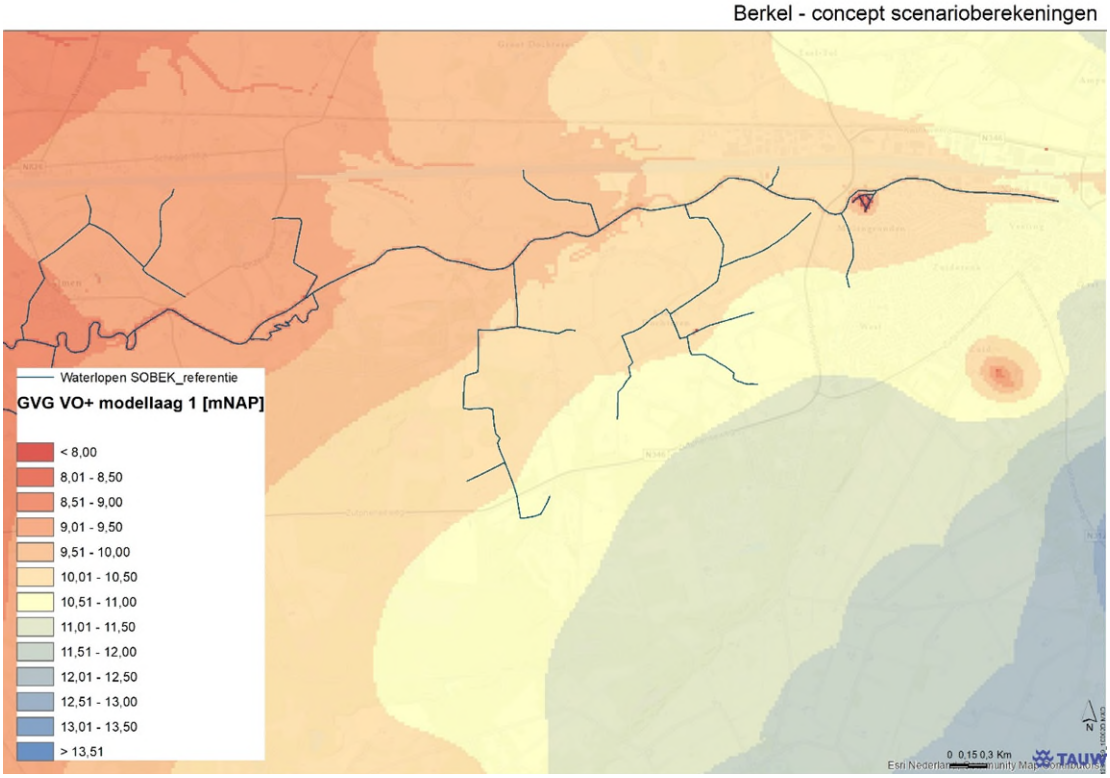
Figuur B3.12 GLG referentie (mNAP)



Figuur B3.13 GLG VO++ (mNAP)



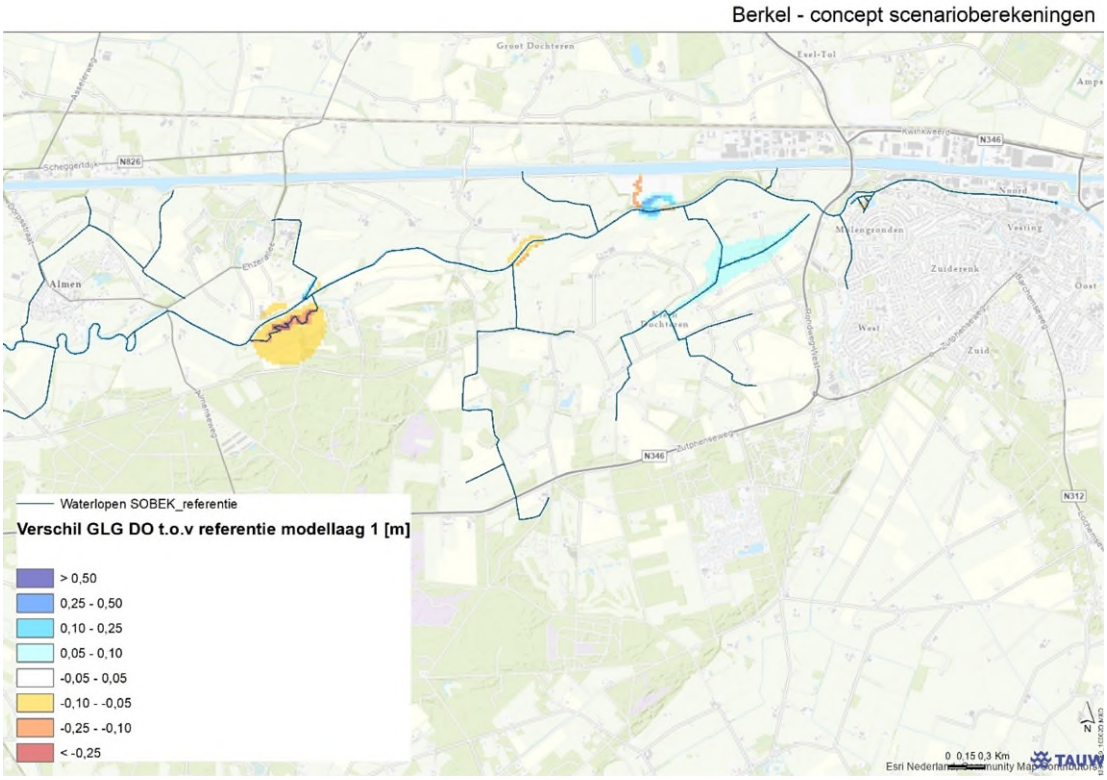
Figuur B3.14 GVG-referentie (mNAP)



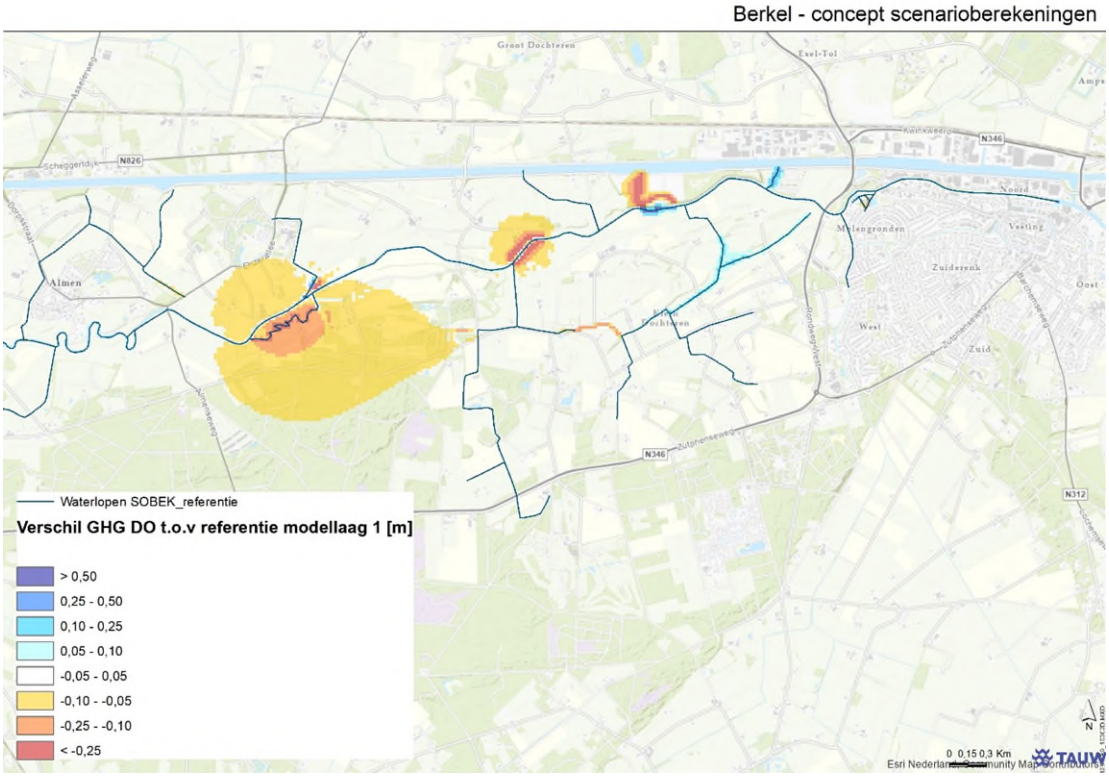
Figuur B3.15 GVG VO++ (mNAP)

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

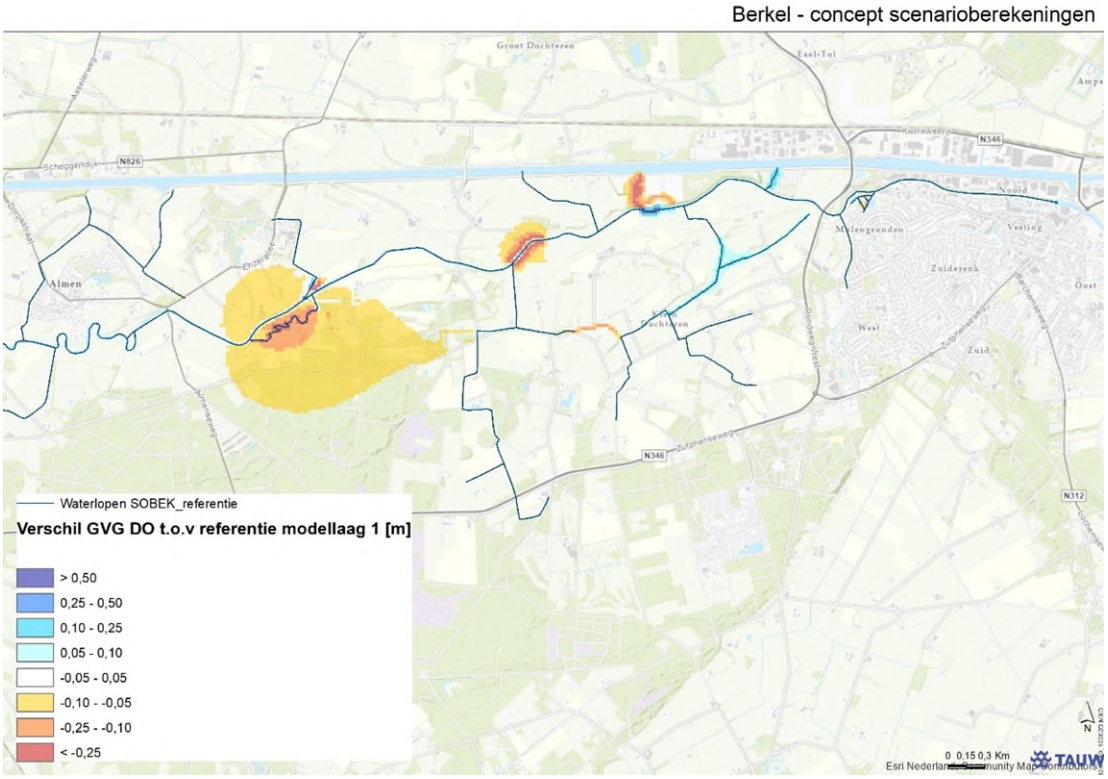
Bijlage 3b DO



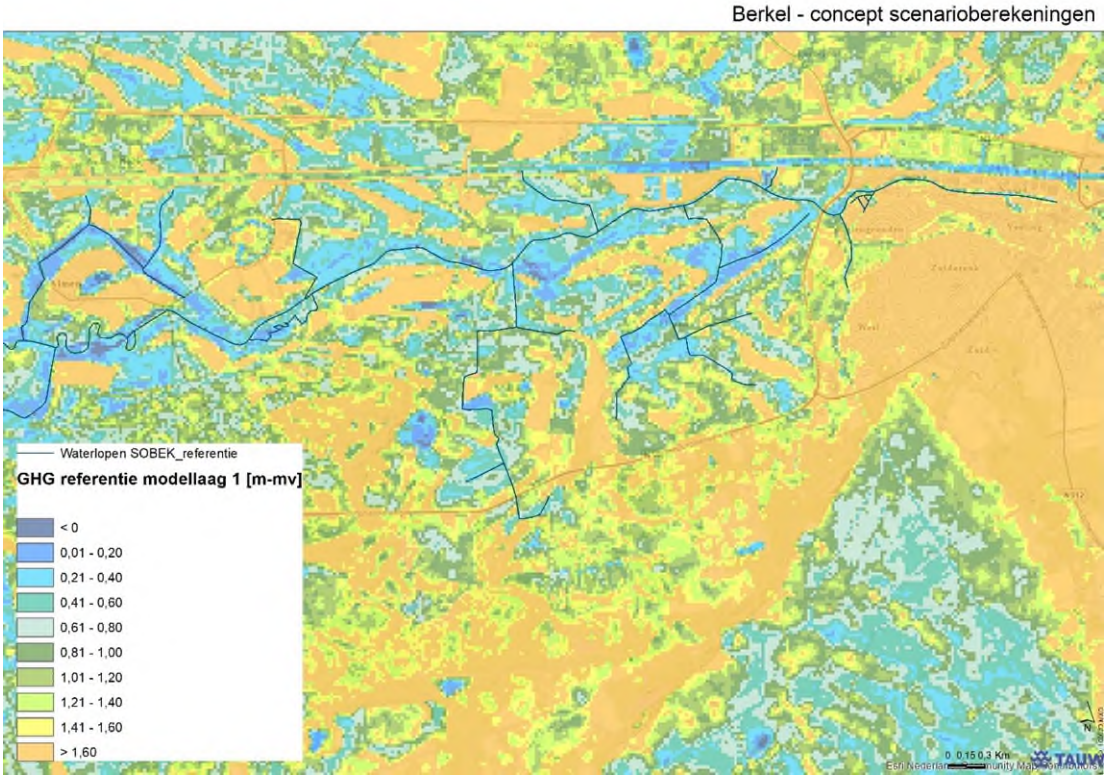
Figuur B3.16 Verschil GHG (DO minus referentie)



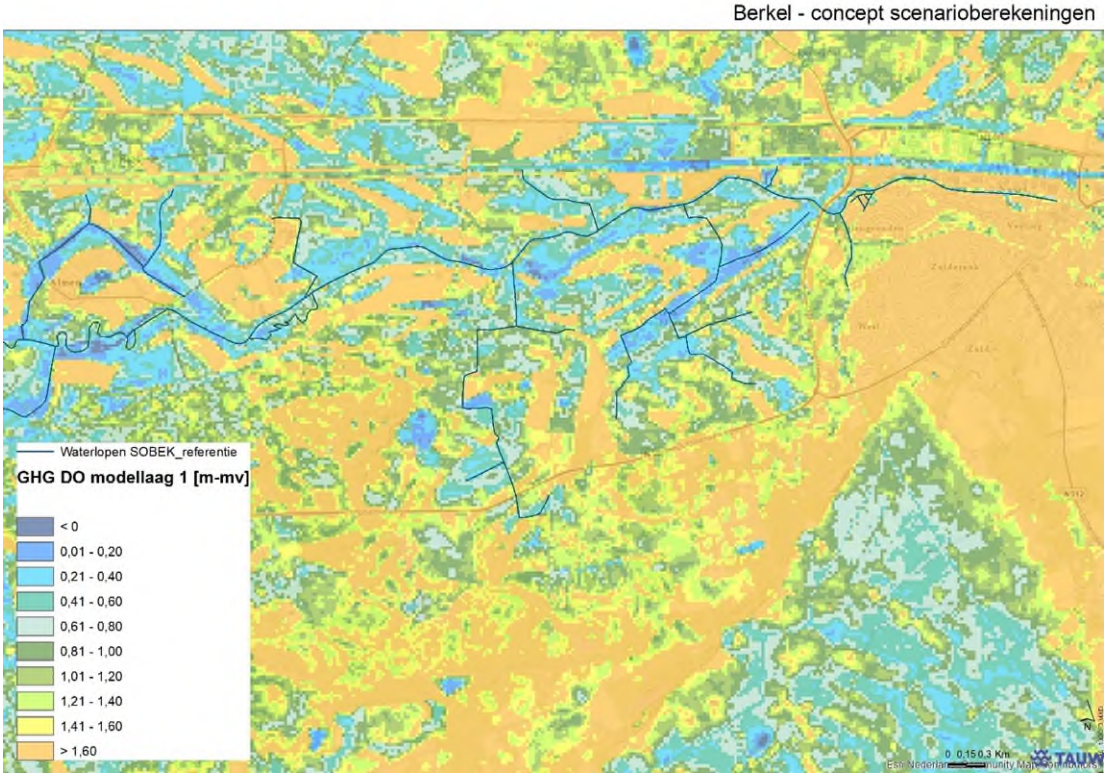
Figuur B3.17 Verschil GLG (DO minus referentie)



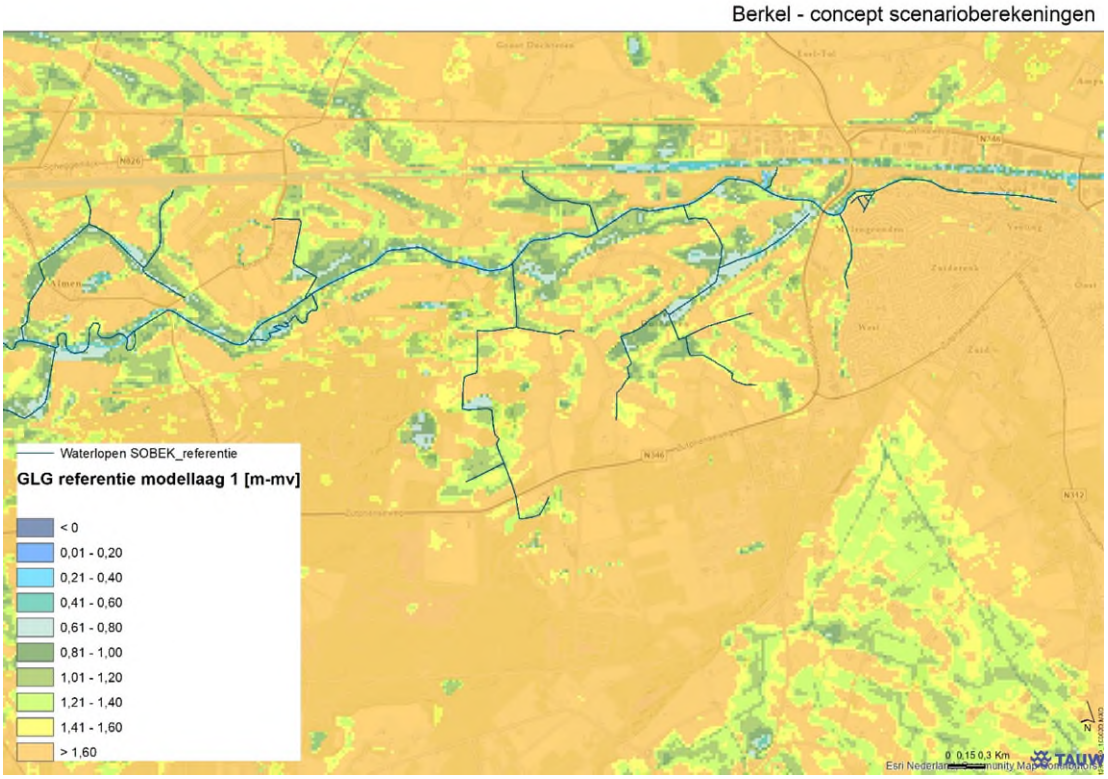
Figuur B3.18 Verschil GVG (DO minus referentie)



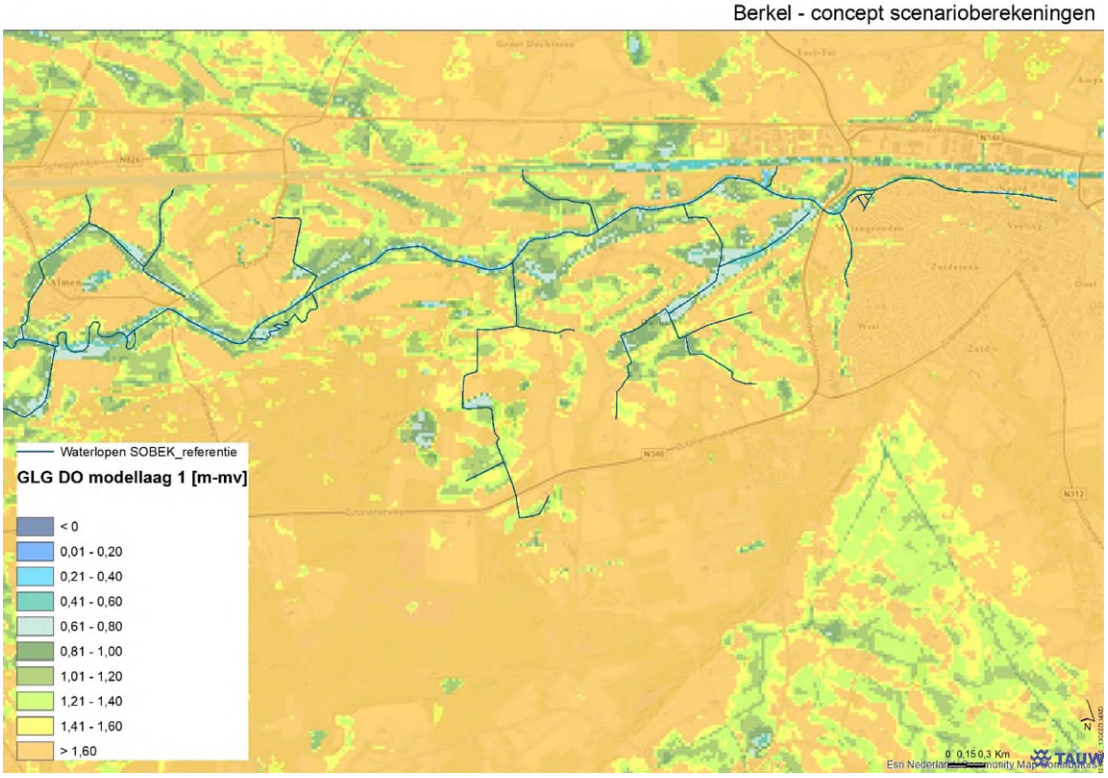
Figuur B3.19 GHG-referentie (m-mv)



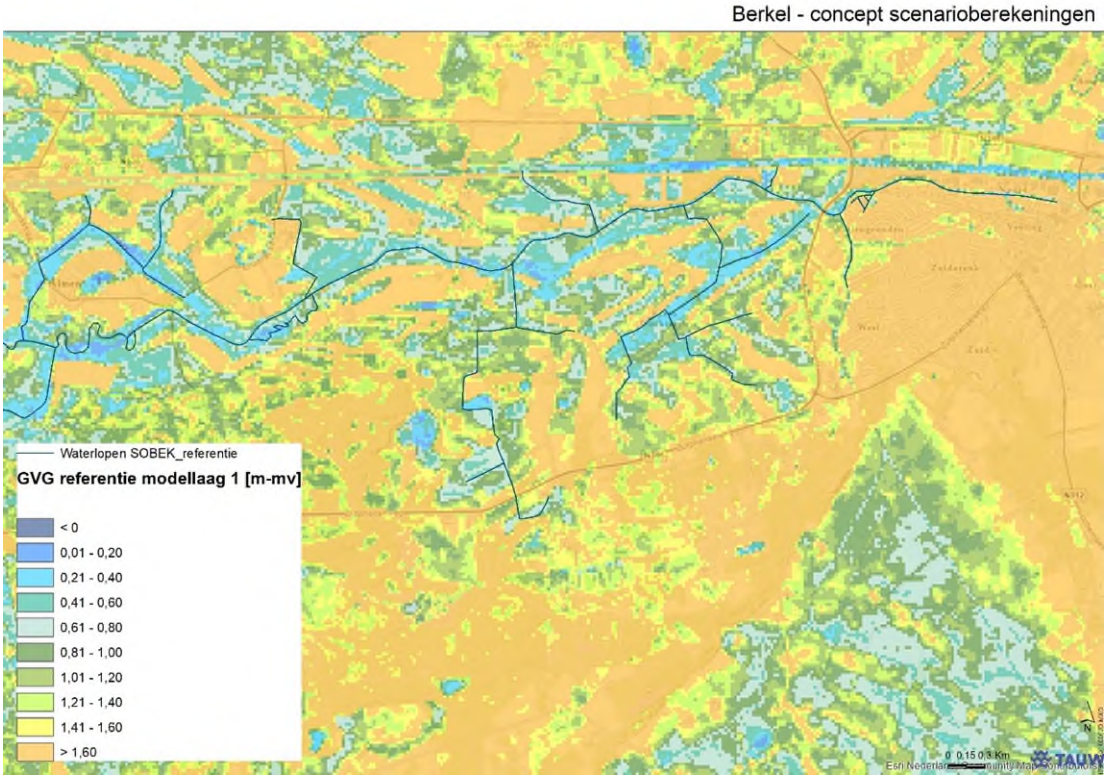
Figuur B3.20 GHG DO (m-mv)



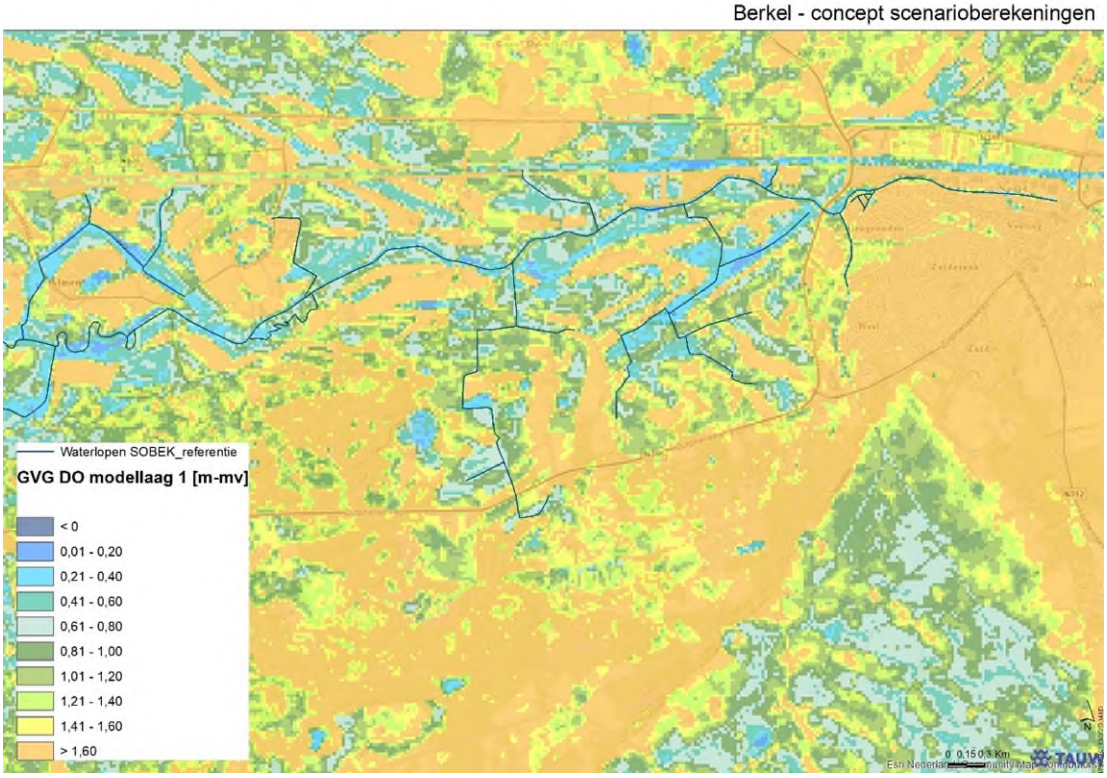
Figuur B3.21 GLG referentie (m-mv)



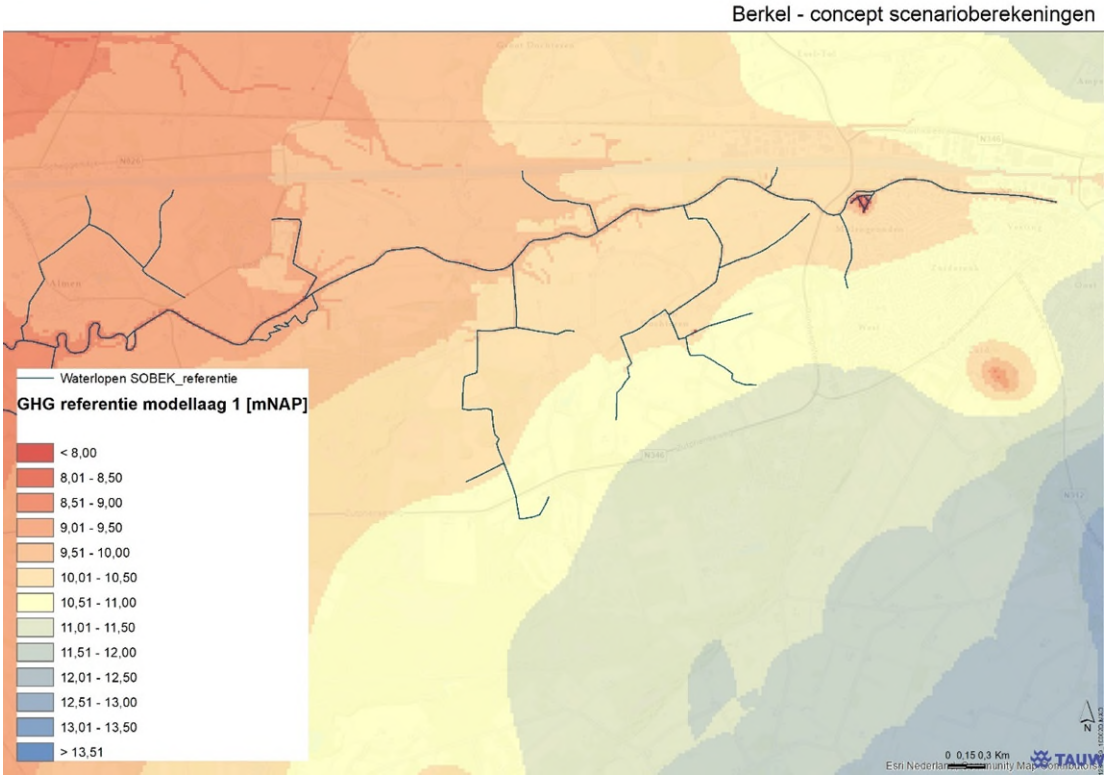
Figuur B3.22 GLG DO (m-mv)



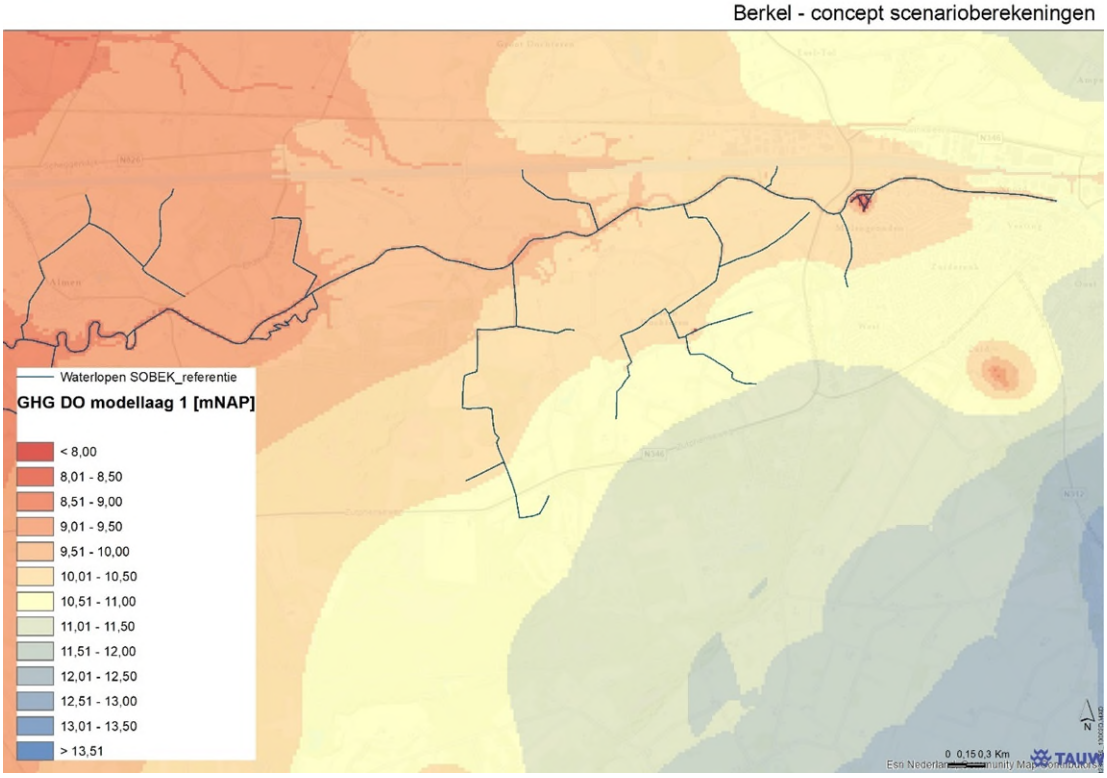
Figuur B3.23 GVG-referentie (m-mv)



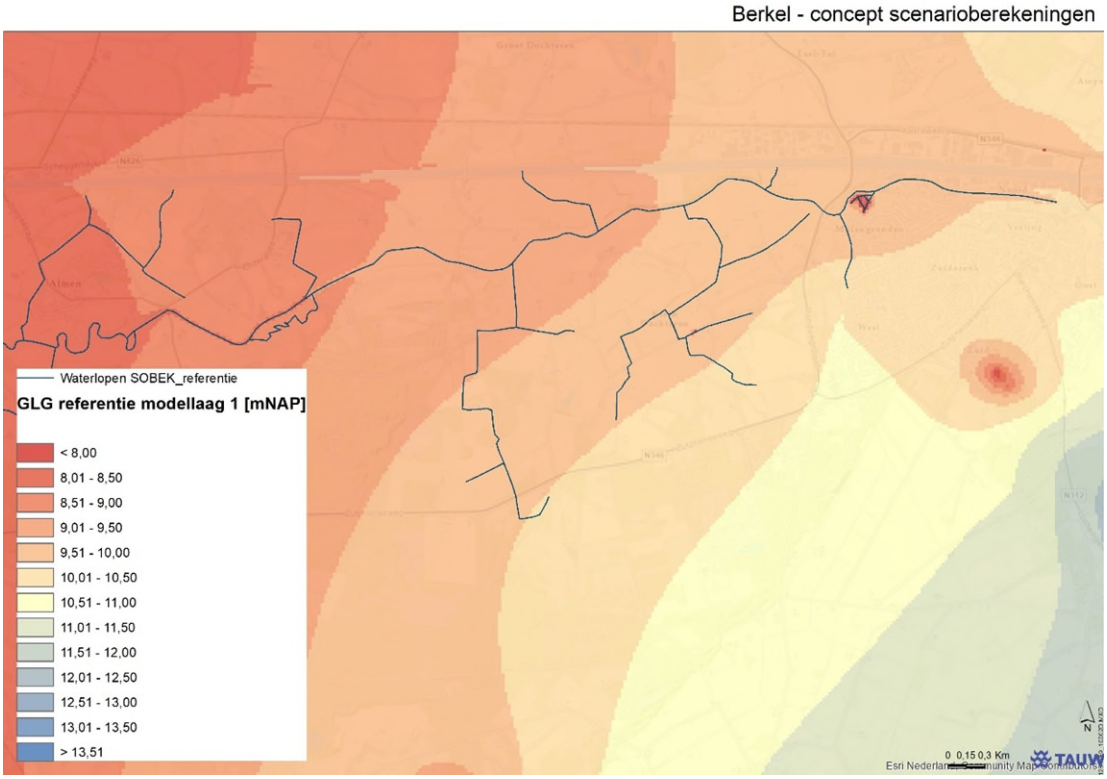
Figuur B3.24 GVG DO (m-mv)



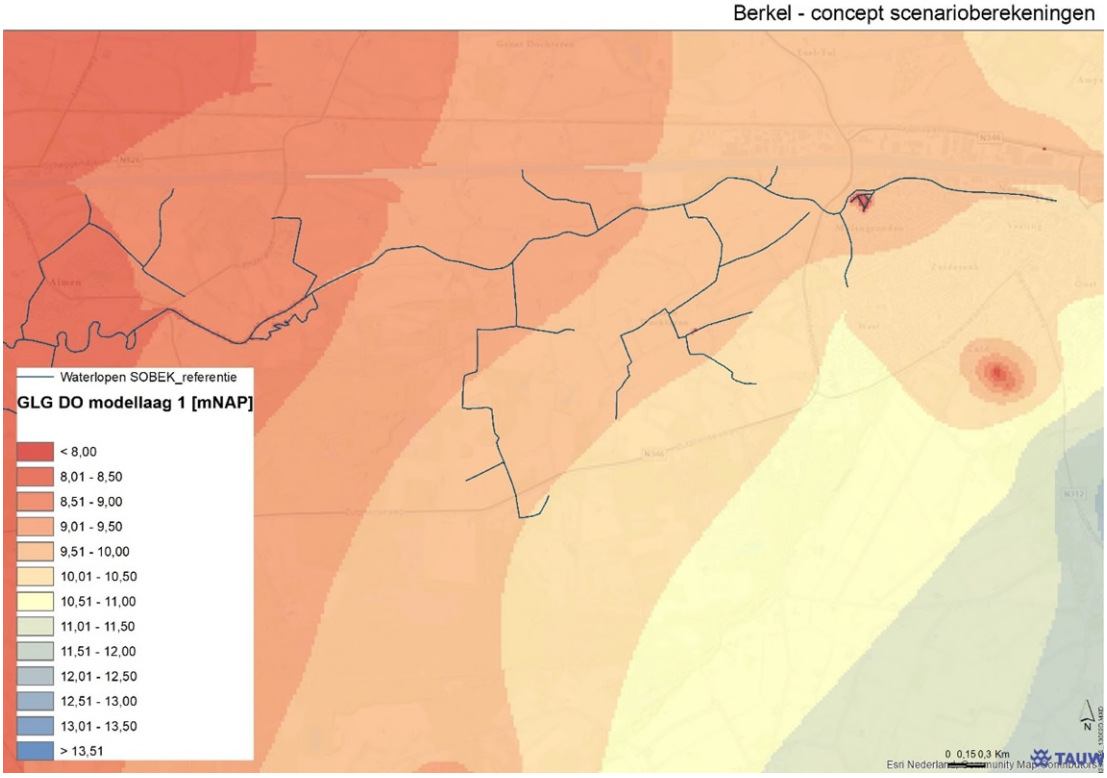
Figuur B3.25 GHG-referentie (mNAP)



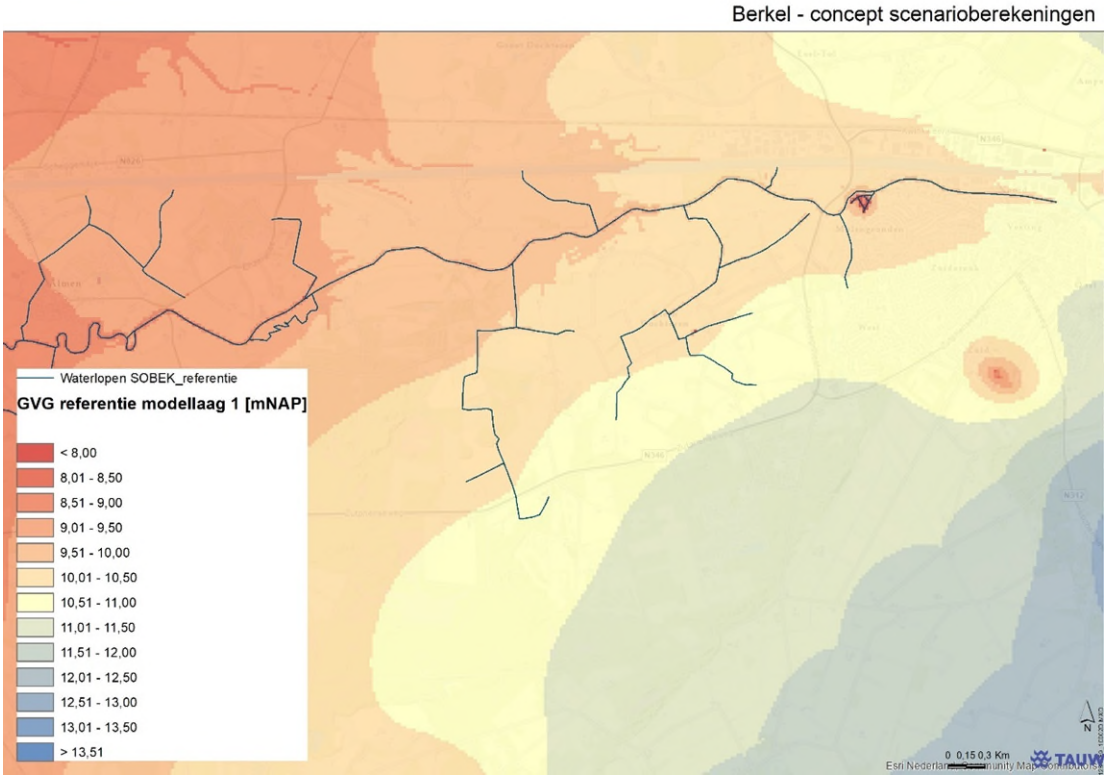
Figuur B3.26 GHG DO (mNAP)



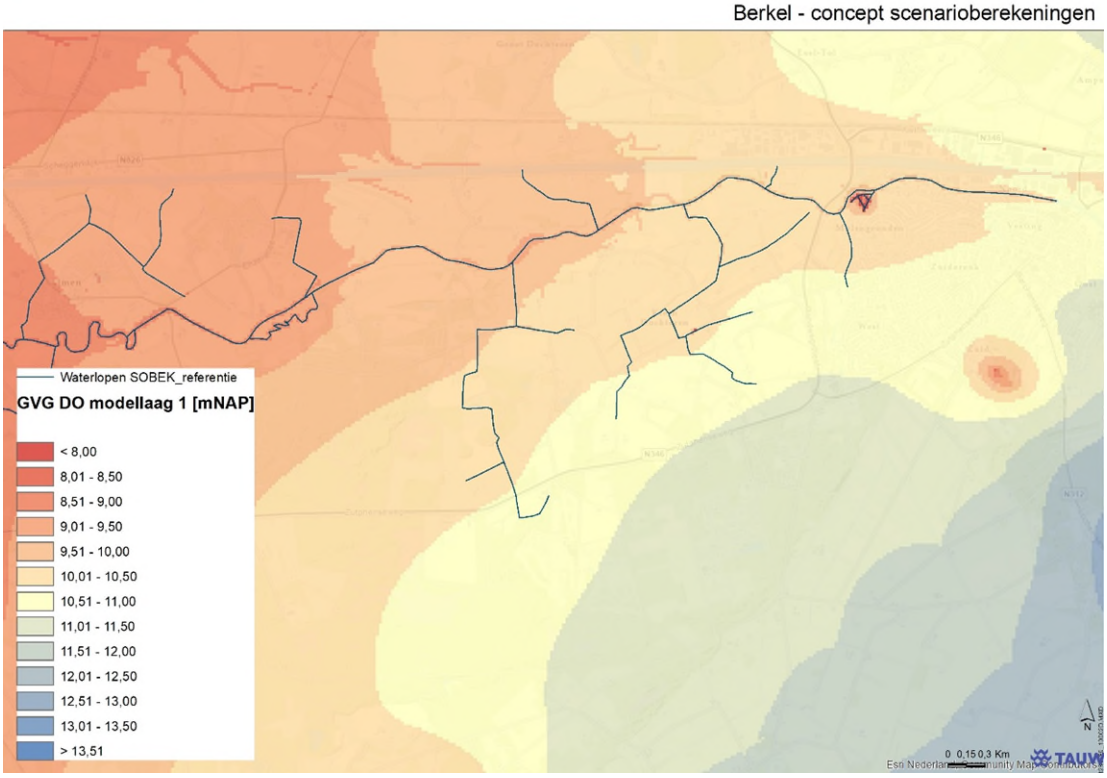
Figuur B3.27 GLG referentie (mNAP)



Figuur B3.28 GLG DO (mNAP)



Figuur B3.29 GVG-referentie (mNAP)



Figuur B3.30 GVG DO (mNAP)

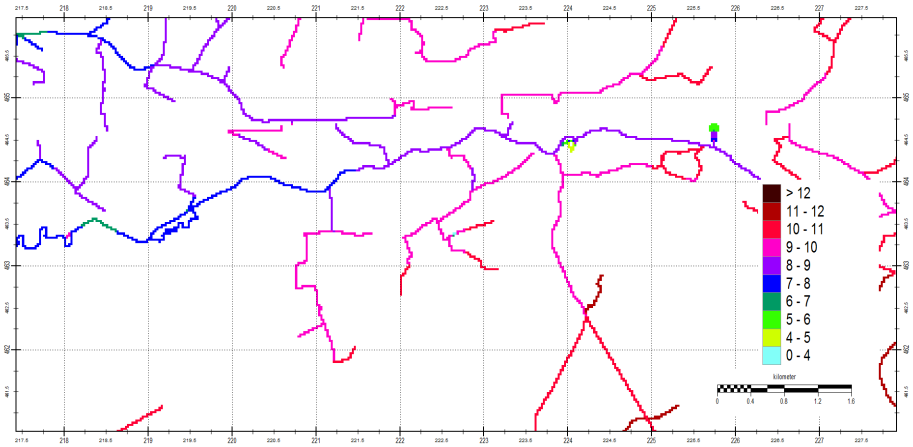
Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Bijlage 4 Verschilplots oppervlaktewatersysteem

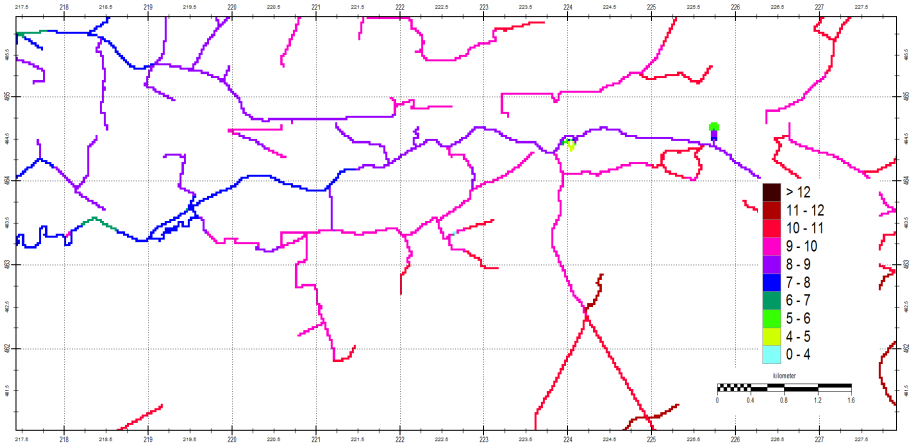
Bijlage 4a VO++

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

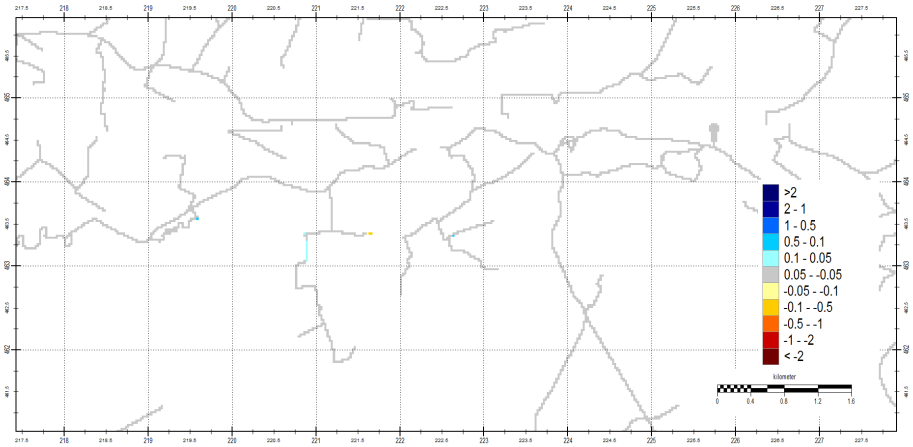
Bodemhoogte



Figuur B4.1 Bodemhoogte referentie

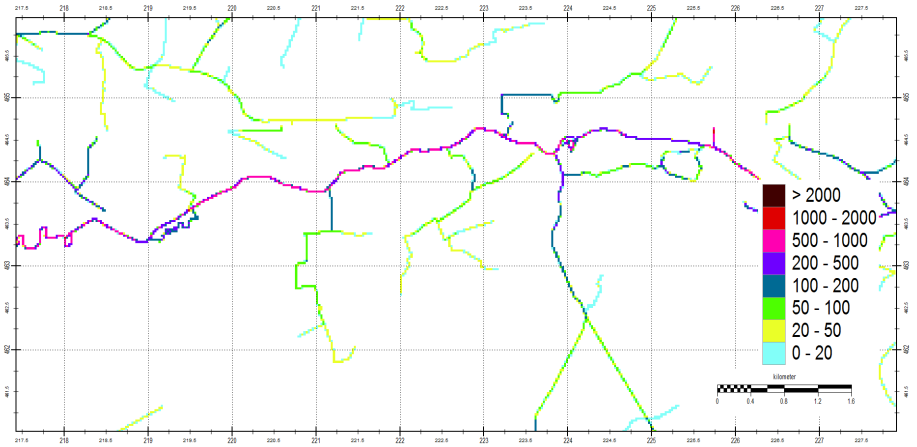


Figuur B4.2 Bodemhoogte VO++

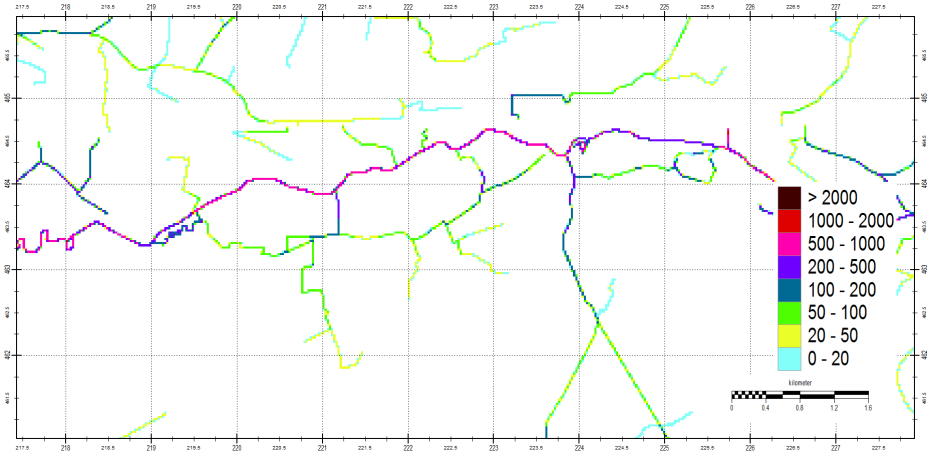


Figuur B4.3 Verschil bodemhoogte (VO++ minus referentie)

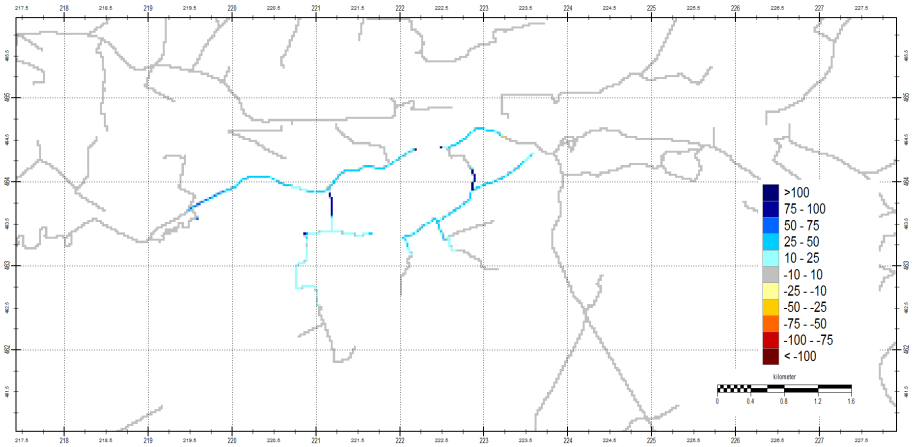
Conductance



Figuur B4.4 Conductance referentie

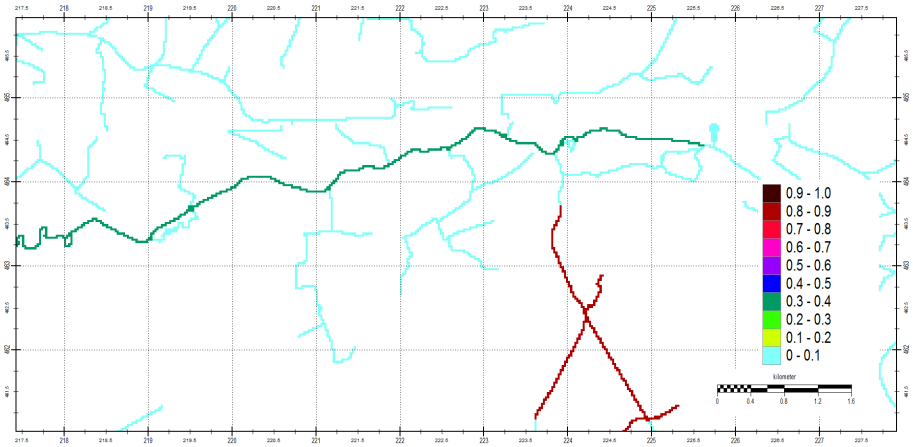


Figuur B4.5 Conductance VO++

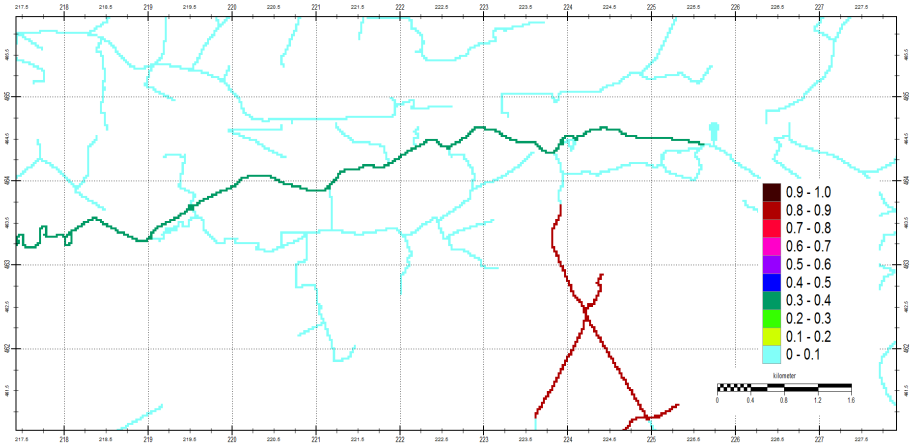


Figuur B4.6 Verschil conductance (VO++ minus referentie)

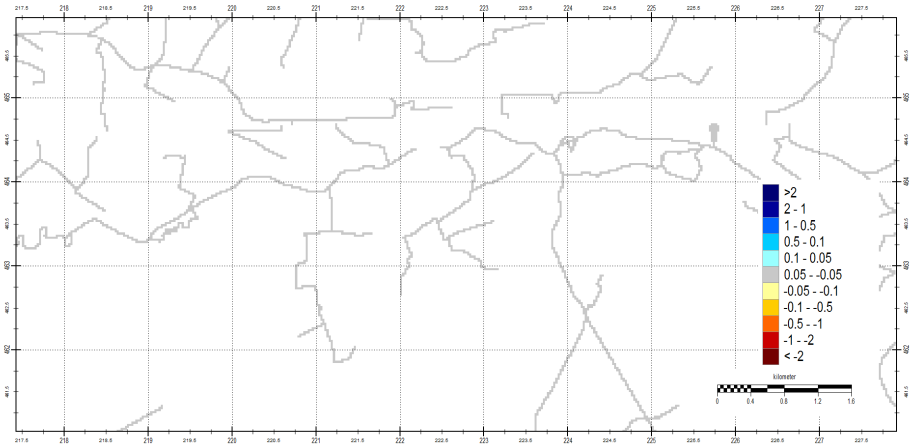
Infiltratiefactor



Figuur B4.7 Infiltratiefactor referentie

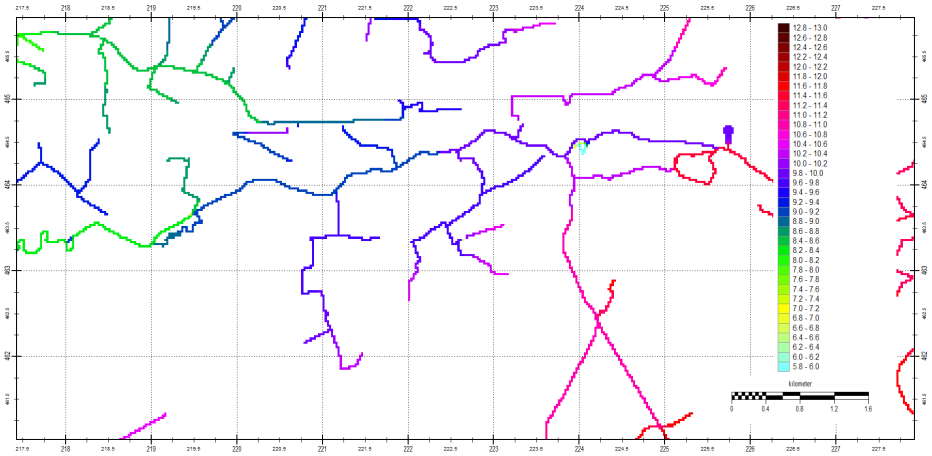


Figuur B4.8 Infiltratiefactor VO++

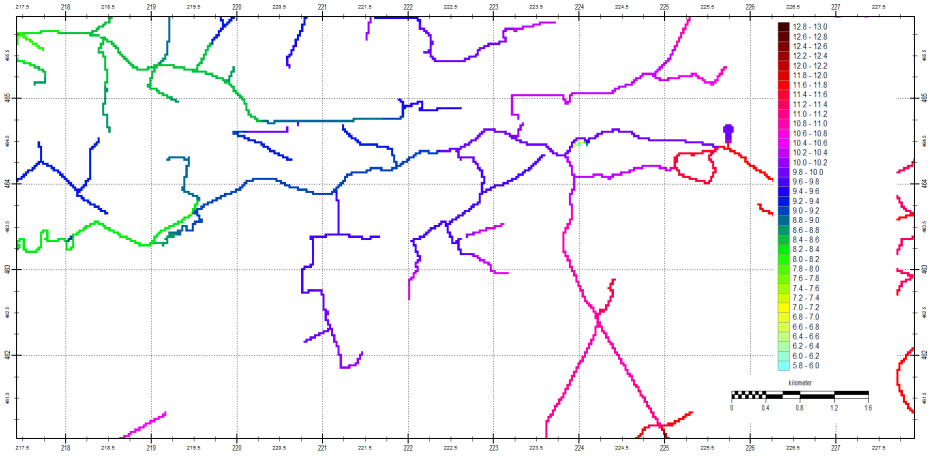


Figuur B4.9 Verschil infiltratiefactor (VO++ minus referentie)

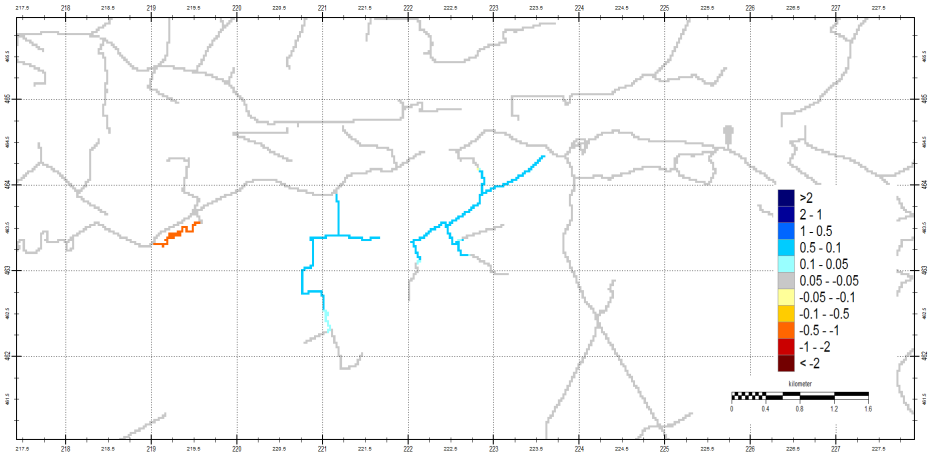
Winterpeil



Figuur B4.10 Winterpeil referentie



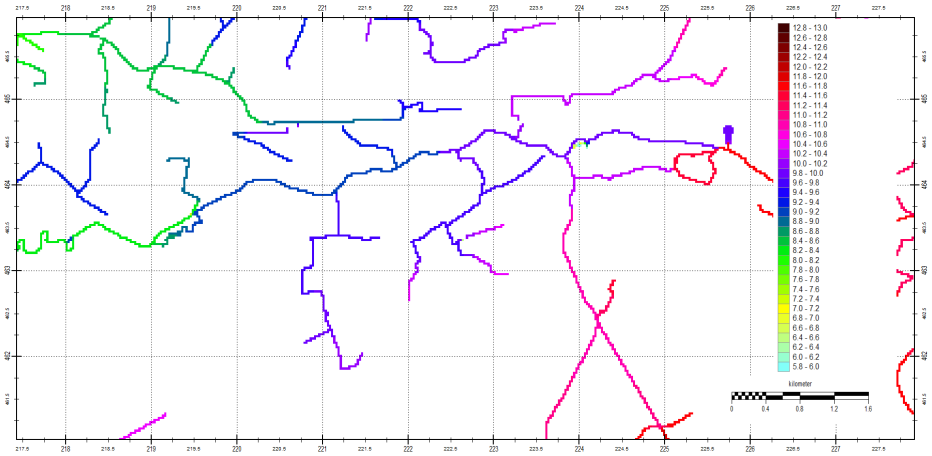
Figuur B4.11 Winterpeil VO++



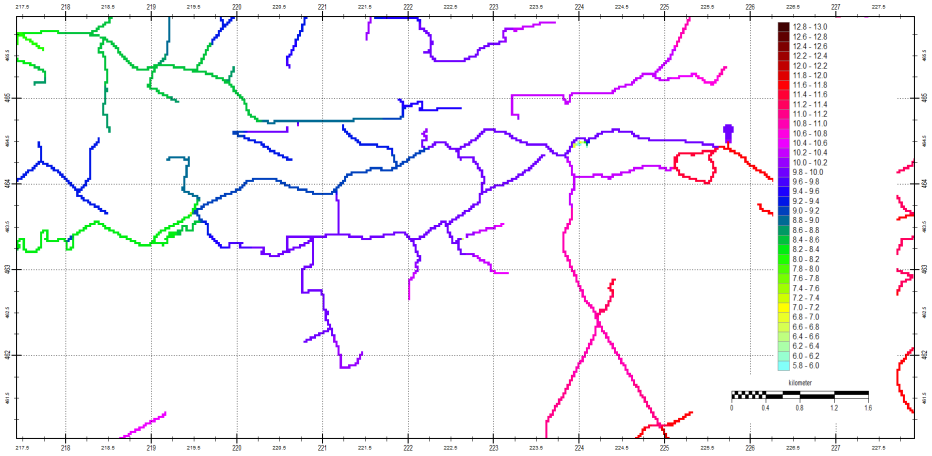
Figuur B4.12 Verschil winterpeil (VO++ minus referentie

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

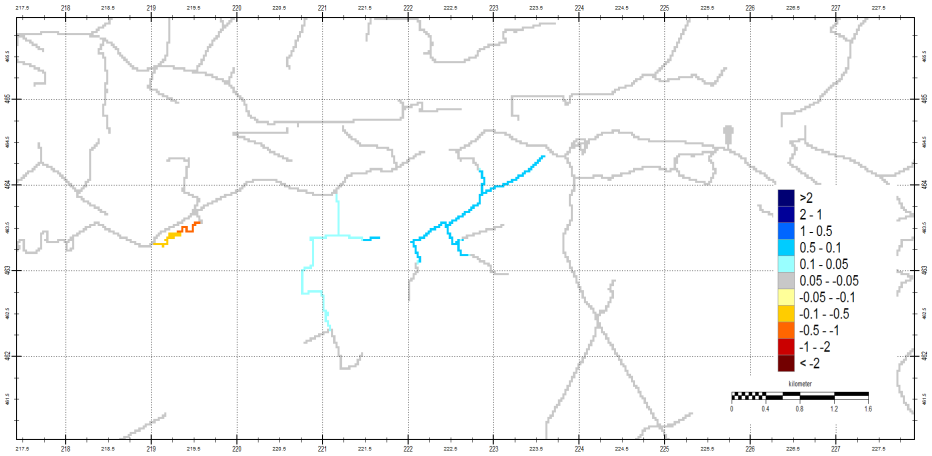
Zomerpeil



Figuur B4.13 Zomerpeil referentie



Figuur B4.14 Zomerpeil VO++

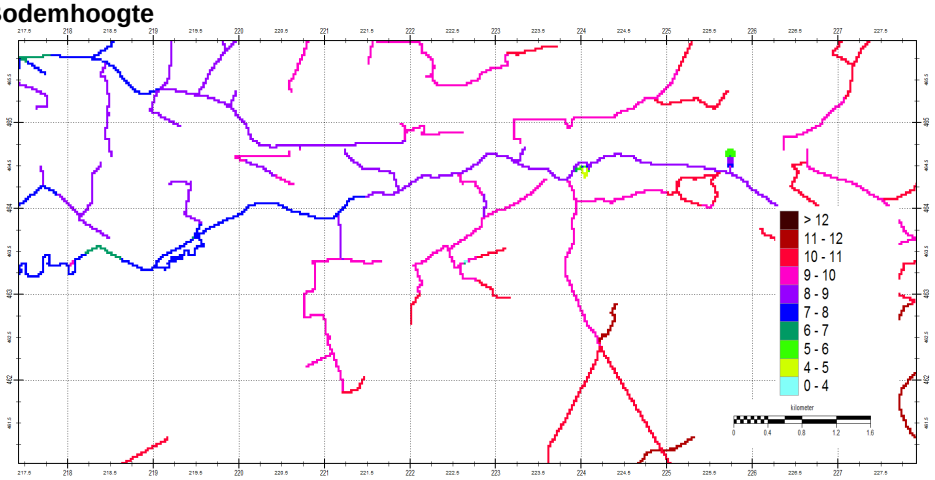


Figuur B4.15 Verschil zomerpeil (VO++ minus referentie

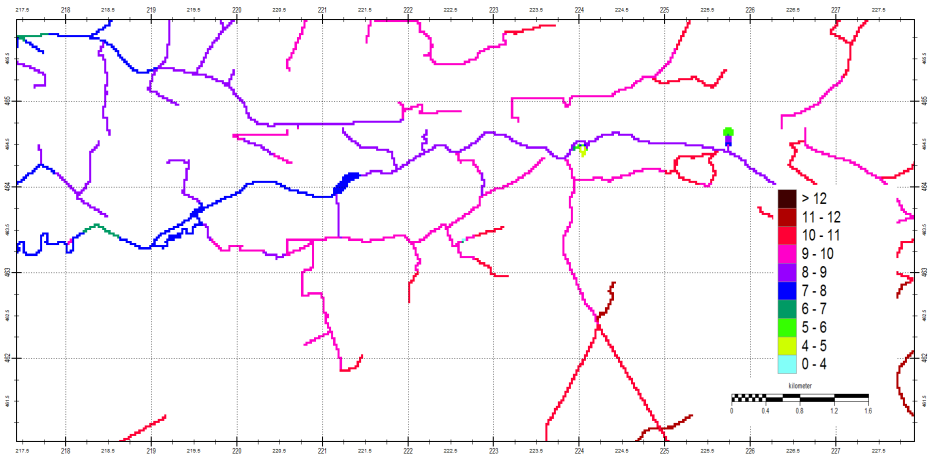
Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Bijlage 4b DO

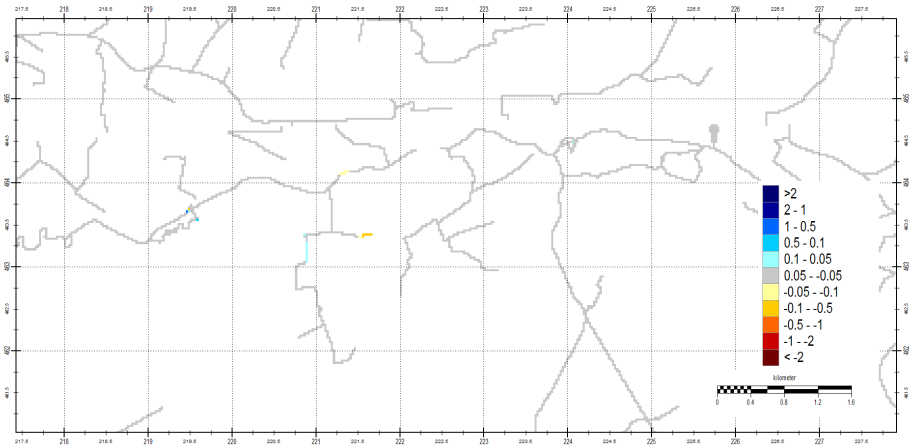
Bodemhoogte



Figuur B4.16 Bodemhoogte referentie

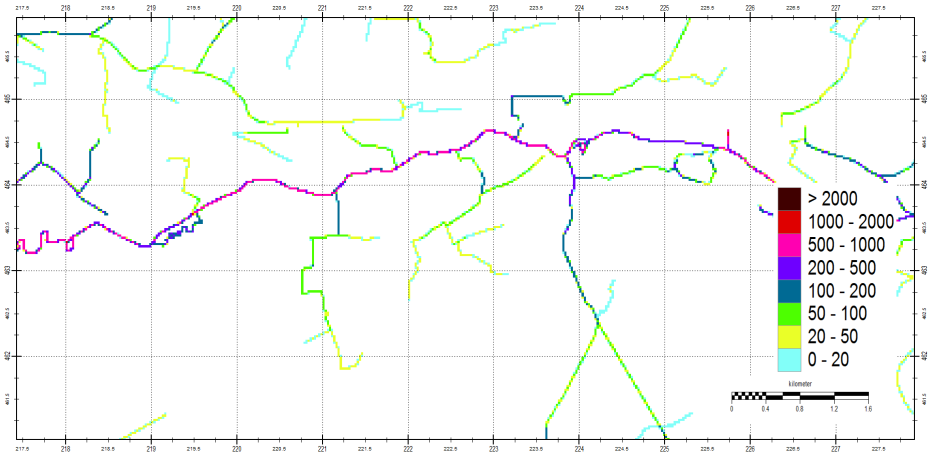


Figuur B4.17 Bodemhoogte DO

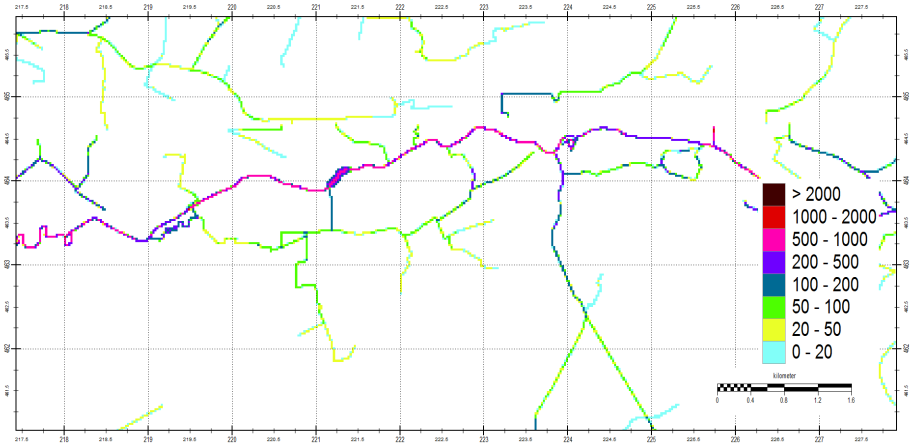


Figuur B4.18 Verschil bodemhoogte (DO minus referentie)

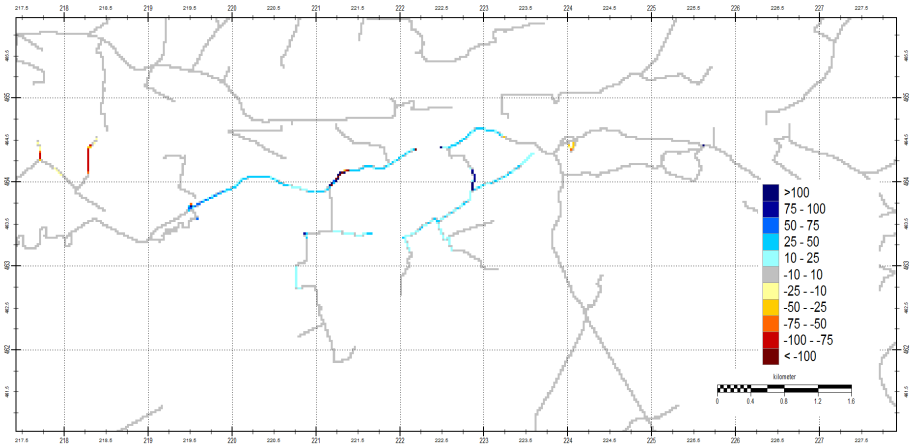
Conductance



Figuur B4.19 Conductance referentie

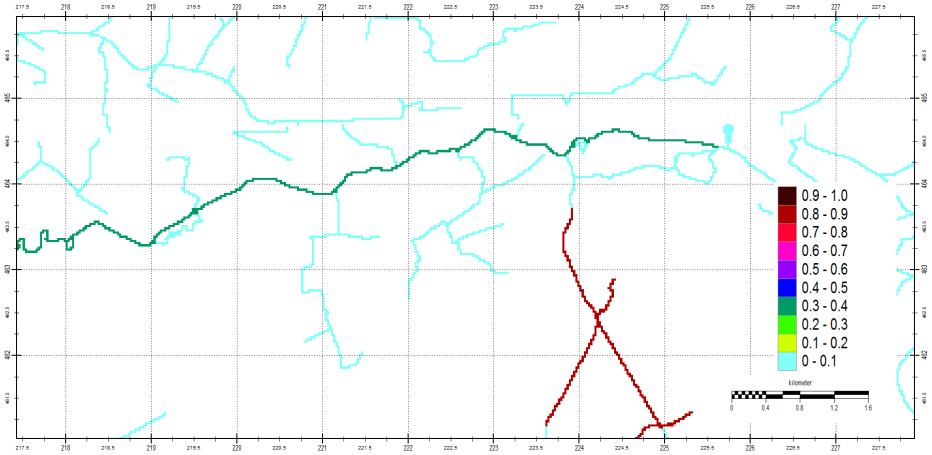


Figuur B4.20 Conductance DO

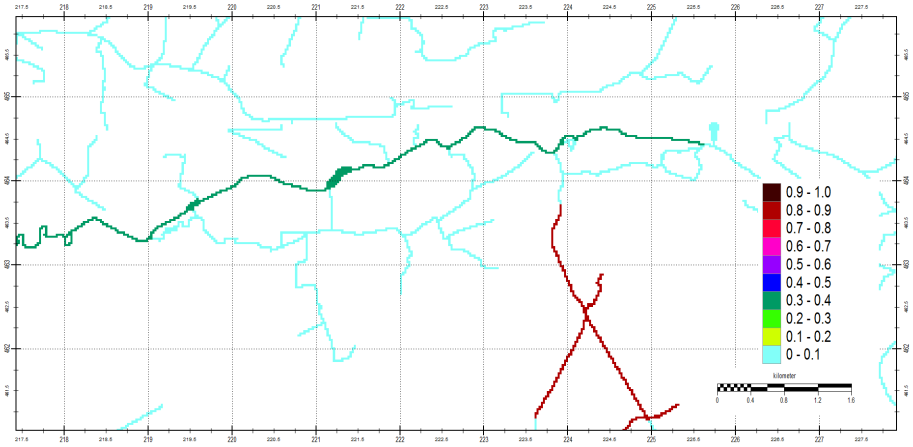


Figuur B4.21 Verschil conductance (DO minus referentie)

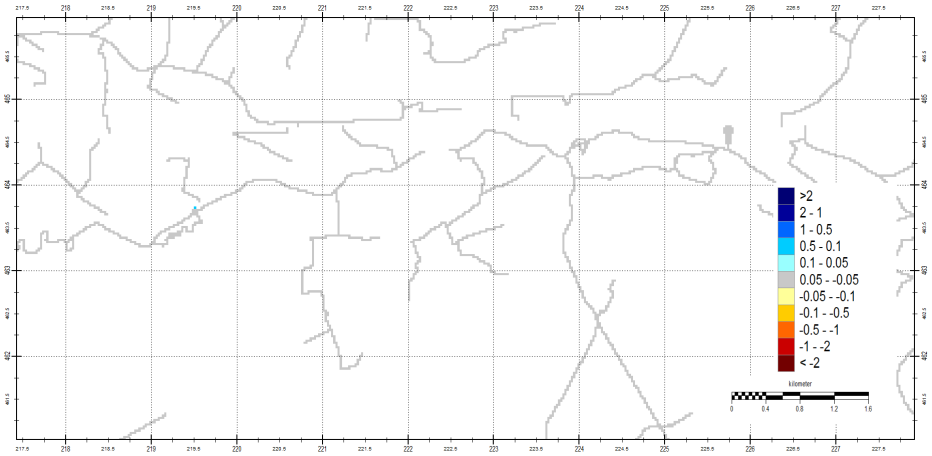
Infiltratiefactor



Figuur B4.22 Infiltratiefactor referentie

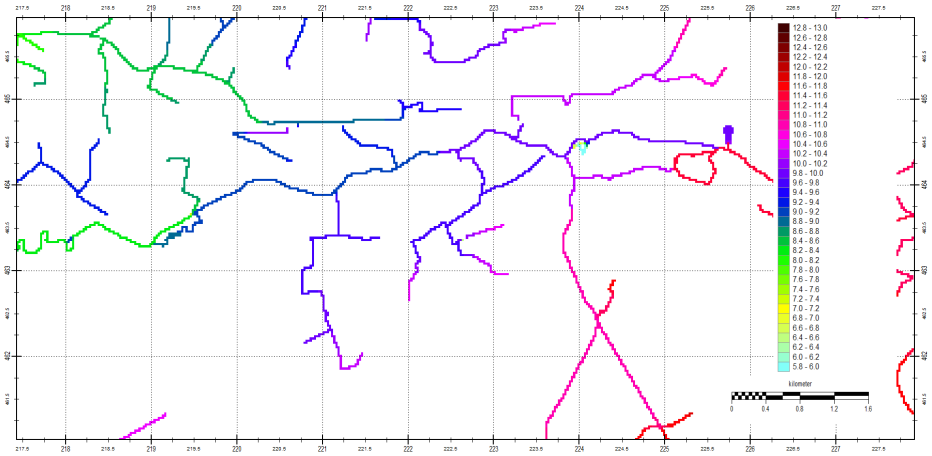


Figuur B4.23 Infiltratiefactor DO

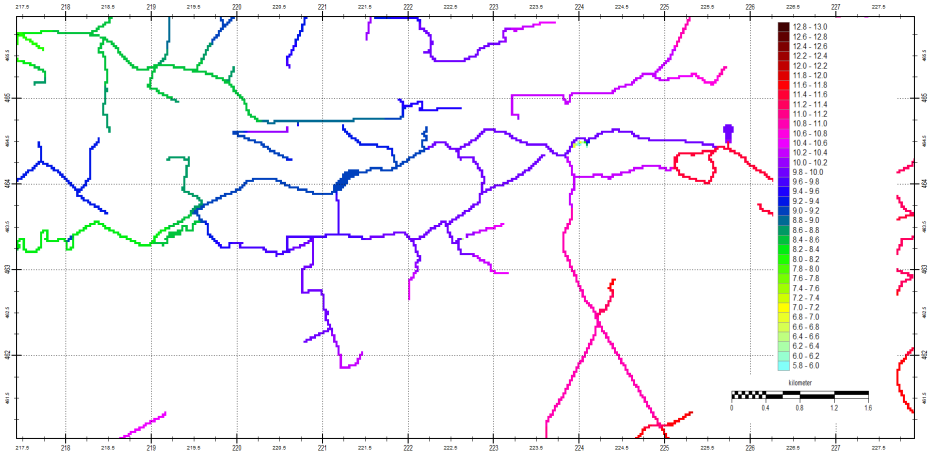


Figuur B4.24 Verschil infiltratiefactor (DO minus referentie)

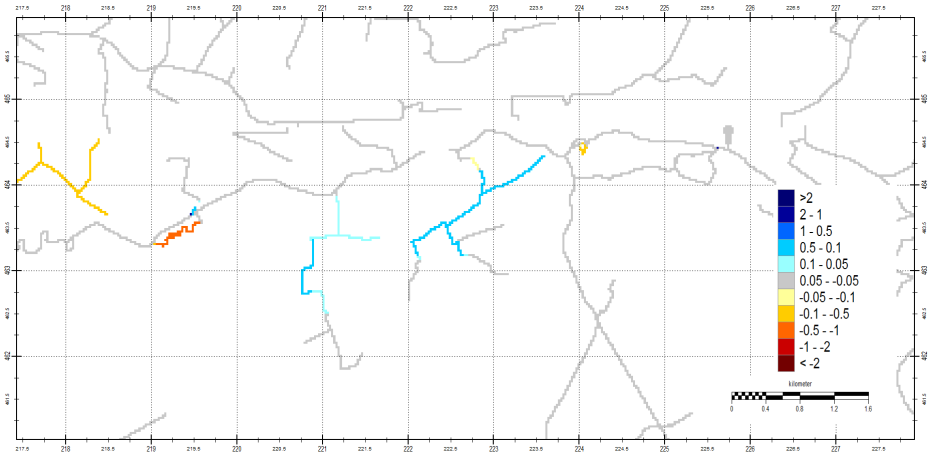
Winterpeil



Figuur B4.25 Winterpeil referentie

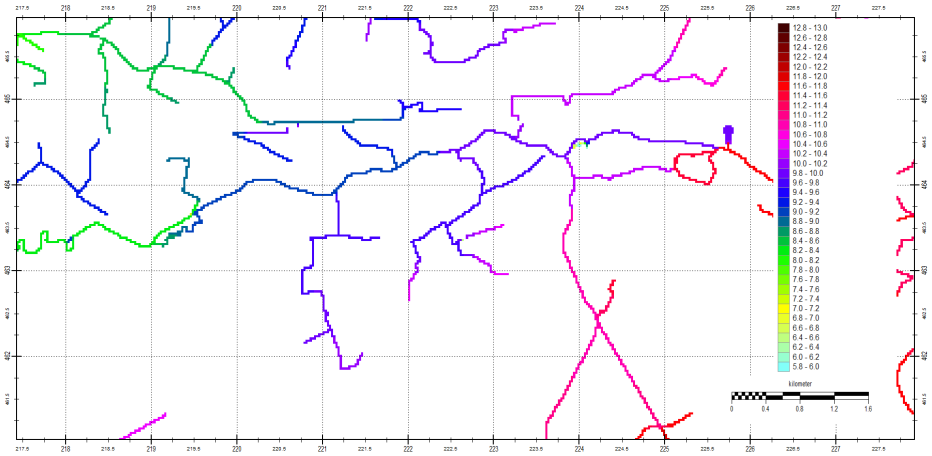


Figuur B4.26 Winterpeil DO

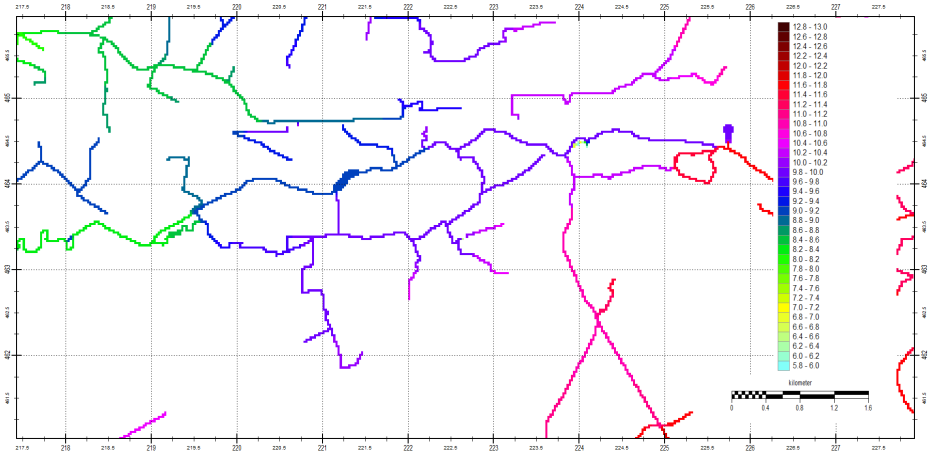


Figuur B4.27 Verschil winterpeil (DO minus referentie

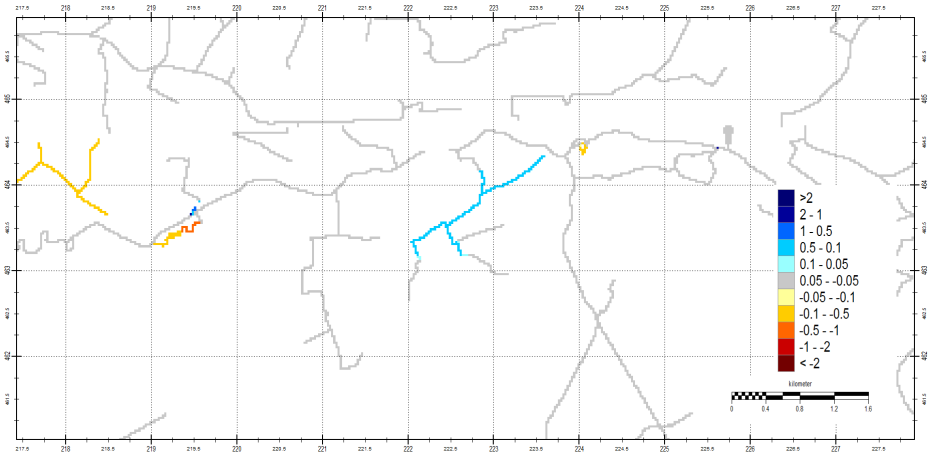
Zomerpeil



Figuur B4.28 Zomerpeil referentie



Figuur B4.29 Zomerpeil DO



Figuur B4.30 Verschil zomerpeil (DO minus referentie)

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Bijlage 5 Landbouw-effecten

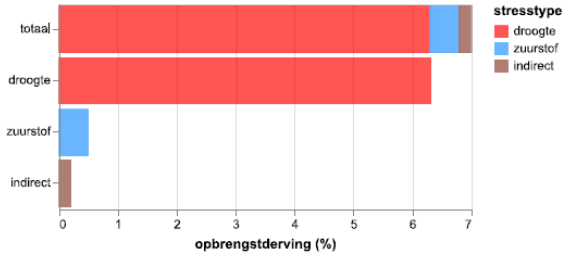
Bijlage 5a VO++ (Waterwijzer webversie)

Ter hoogte van nevengeul, referentie (op basis van meetgegevens peilbuis B33F0270)

Opbrengstderving

Waterwijzer Landbouw maakt het mogelijk om de opbrengstderving te voorspellen als functie van gewastype, klimaat, weer, bodem, en hydrologische omstandigheden.

Selecteer via onderstaande tabbladen de gewenste instellingen. Je ziet dan direct de voorspelde opbrengstderving in de figuur.



Gewas	gras (beweiding)
Klimaat	Huidig (1991-2020)
Weerstation	De Bilt (260)
Bodem	(3013) Zwak lemige enkeerdgronden of cultuurdek (kustregio
GHG	110 cm-mv
GLG	140 cm-mv
Irrigatie	nee

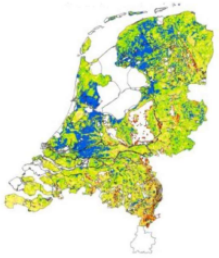
Gewas | Klimaat | Weerstation | Bodem | Grondwater | Irrigatie

Momenteel wordt aangenomen dat de opbrengstderving enkel een functie is van de hydrologische condities. In deze situatie zijn nutriënten niet limiterend en spelen ziekten en plagen geen rol.

Stel de gewenste grondwaterstandsdynamiek in met onderstaande schuifjes.

GHG: 110 cm-mv

GLG: 140 cm-mv



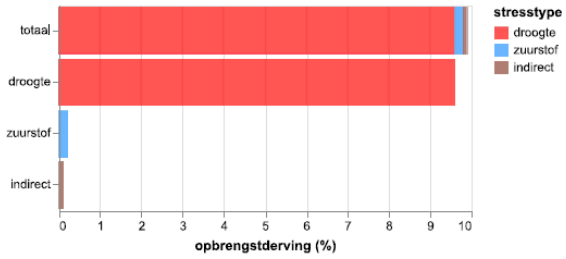
Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Ter hoogte van nevengeul, VO++ (op basis van meetgegevens peilbuis B33F0270)

Opbrengstderving

Waterwijzer Landbouw maakt het mogelijk om de opbrengstderving te voorspellen als functie van gewastype, klimaat, weer, bodem, en hydrologische omstandigheden.

Selecteer via onderstaande tabbladen de gewenste instellingen. Je ziet dan direct de voorspelde opbrengstderving in de figuur.



Gewas	gras (beweiding)
Klimaat	Huidig (1991-2020)
Weerstation	De Bilt (260)
Bodem	(3013) Zwak lemige enkeerdgronden of cultuurdek (kustregio
GHG	160 cm-mv
GLG	180 cm-mv
Irrigatie	nee

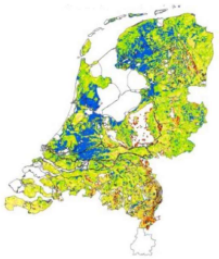
Gewas | Klimaat | Weerstation | Bodem | Grondwater | Irrigatie

Momenteel wordt aangenomen dat de opbrengstderving enkel een functie is van de hydrologische condities. In deze situatie zijn nutriënten niet limiterend en spelen ziekten en plagen geen rol.

Stel de gewenste grondwaterstandsdynamiek in met onderstaande schuifjes.

GHG: 160 cm-mv

GLG: 180 cm-mv



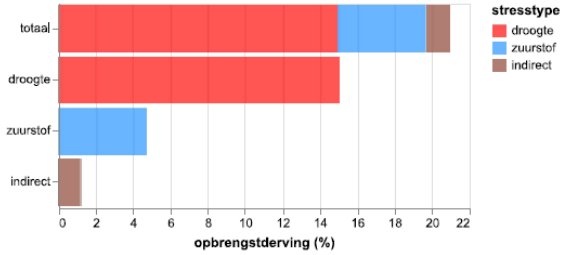
Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Ter hoogte van Lageweg / Afwatering van Westerholt, referentie (op basis van meetgegevens peilbuis Nijkampsweg)

Opbrengstderving

Waterwijzer Landbouw maakt het mogelijk om de opbrengstderving te voorspellen als functie van gewastype, klimaat, weer, bodem, en hydrologische omstandigheden.

Selecteer via onderstaande tabbladen de gewenste instellingen. Je ziet dan direct de voorspelde opbrengstderving in de figuur.



Gewas	gras (beweiding)
Klimaat	Huidig (1991-2020)
Weerstation	De Bilt (260)
Bodem	(3011) Zwak lemige zandgronden met kleidek (vaaggronden)
GHG	120 cm-mv
GLG	190 cm-mv
Irrigatie	nee

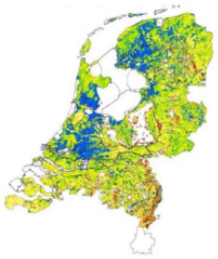
Gewas | Klimaat | Weerstation | Bodem | Grondwater | Irrigatie

Momenteel wordt aangenomen dat de opbrengstderving enkel een functie is van de hydrologische condities. In deze situatie zijn nutriënten niet limiterend en spelen ziekten en plagen geen rol.

Stel de gewenste grondwaterstandsdynamiek in met onderstaande schuifjes.

GHG: 120 cm-mv

GLG: 190 cm-mv



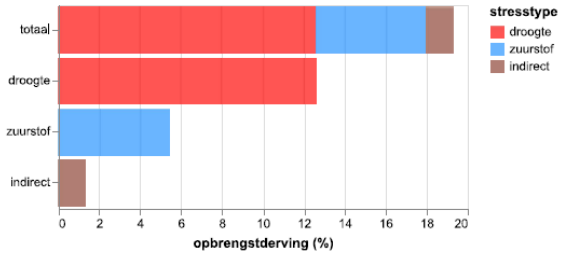
Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

Ter hoogte van Lageweg / Afwatering van Westerholt, VO++ (op basis van meetgegevens peilbuis Nijkampsweg)

Opbrengstderving

Waterwijzer Landbouw maakt het mogelijk om de opbrengstderving te voorspellen als functie van gewastype, klimaat, weer, bodem, en hydrologische omstandigheden.

Selecteer via onderstaande tabbladen de gewenste instellingen. Je ziet dan direct de voorspelde opbrengstderving in de figuur.



Gewas	gras (beweiding)
Klimaat	Huidig (1991-2020)
Weerstation	De Bilt (260)
Bodem	(3011) Zwak lemige zandgronden met kleidek (vaaggronden)
GHG	100 cm-mv
GLG	170 cm-mv
Irrigatie	nee

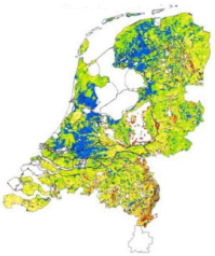
Gewas | Klimaat | Weerstation | Bodem | Grondwater | Irrigatie

Momenteel wordt aangenomen dat de opbrengstderving enkel een functie is van de hydrologische condities. In deze situatie zijn nutriënten niet limiterend en spelen ziekten en plagen geen rol.

Stel de gewenste grondwaterstandsdynamiek in met onderstaande schuifjes.

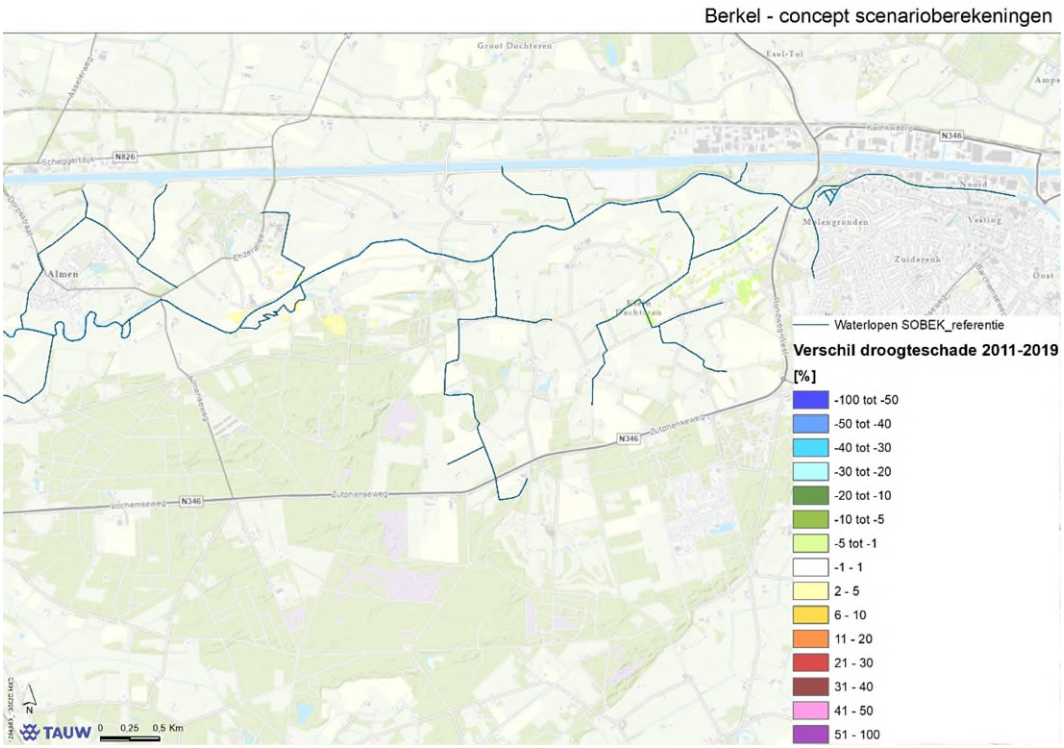
GHG: 100 cm-mv

GLG: 170 cm-mv

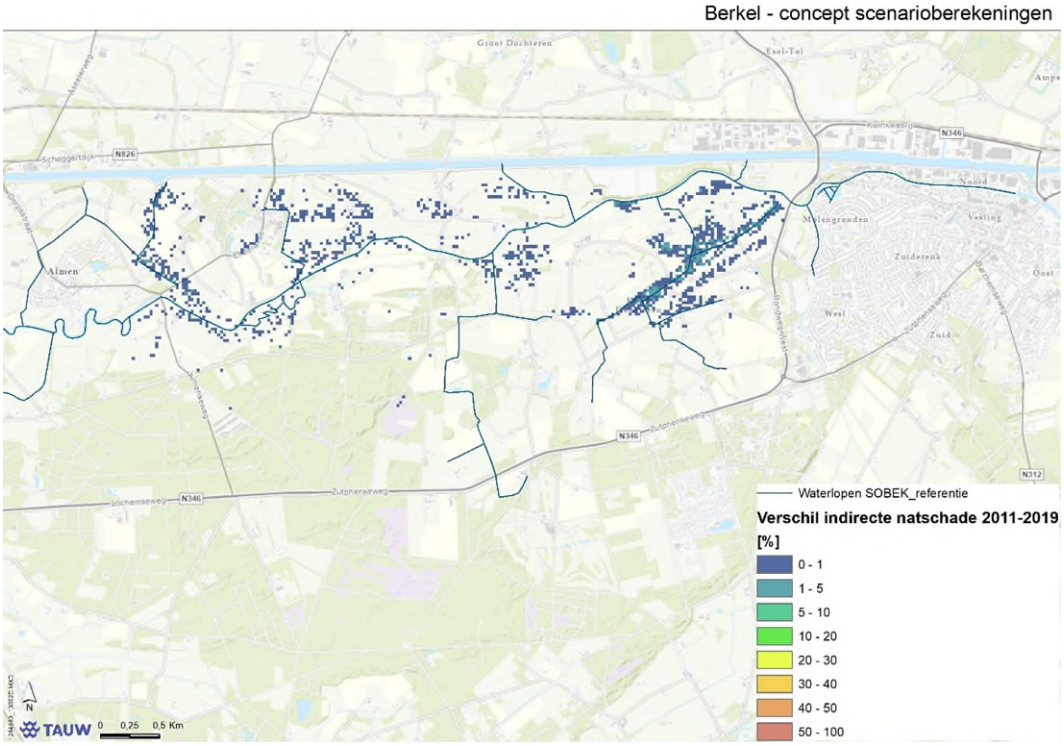


Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

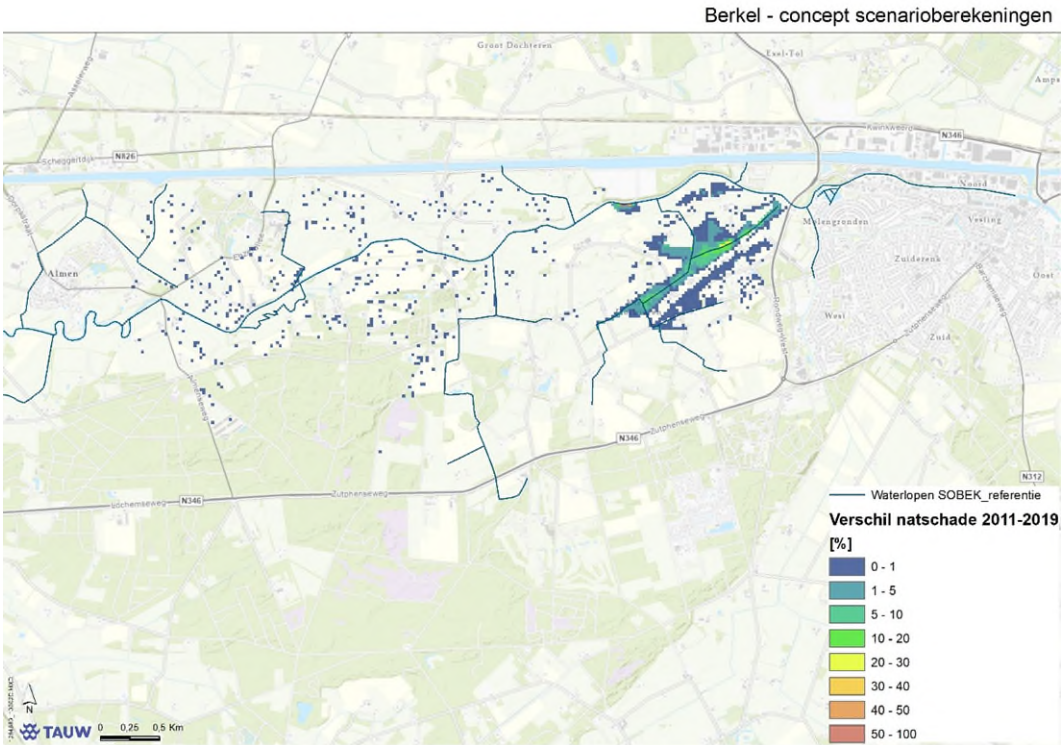
Bijlage 5b DO (Waterwijzer Regionaal)



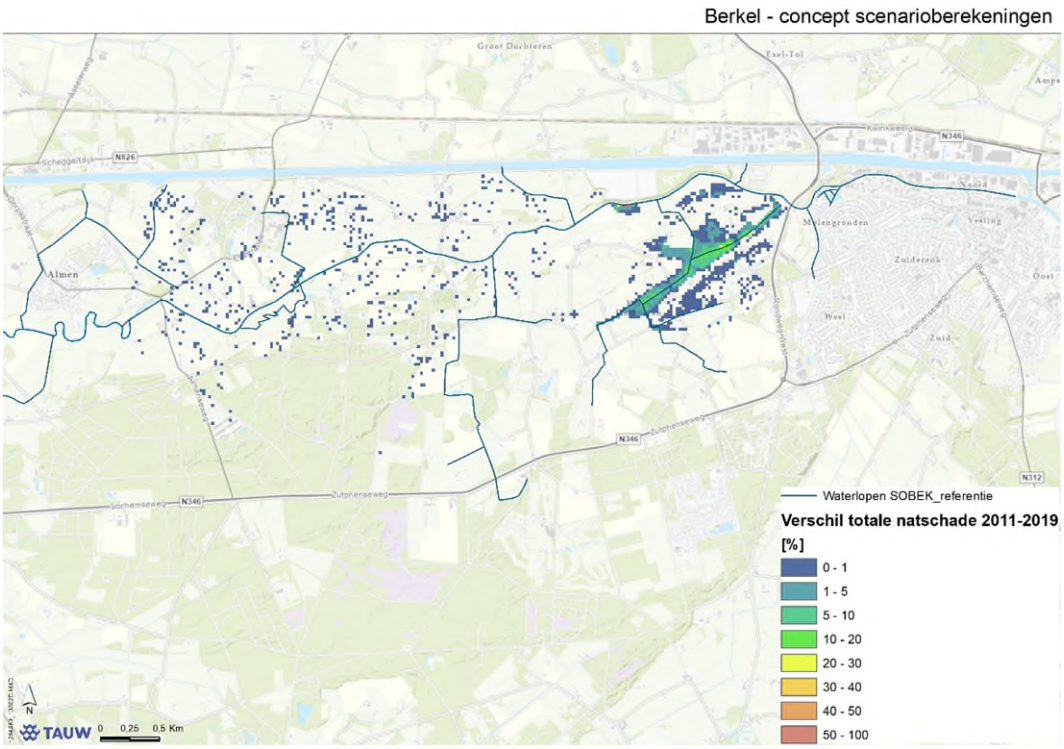
Figuur B5.1 Verschil (DO minus referentie) in % droogteschade over periode 2011-2019



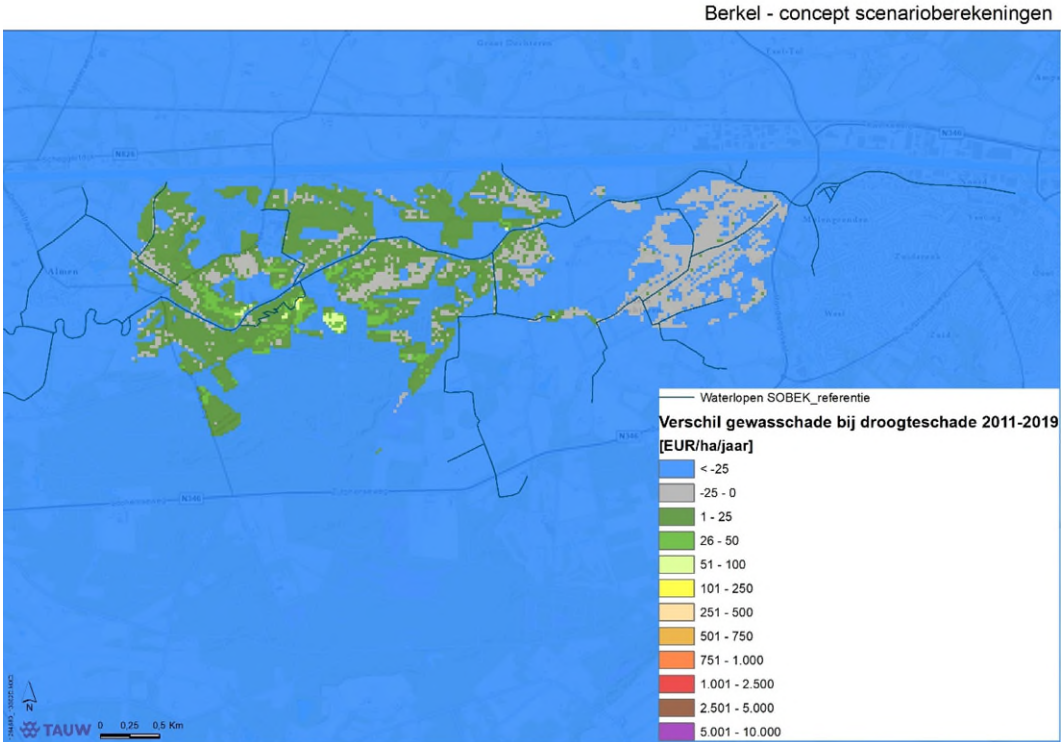
Figuur B5.2 Verschil (DO minus referentie) in % indirecte natschade over periode 2011-2019



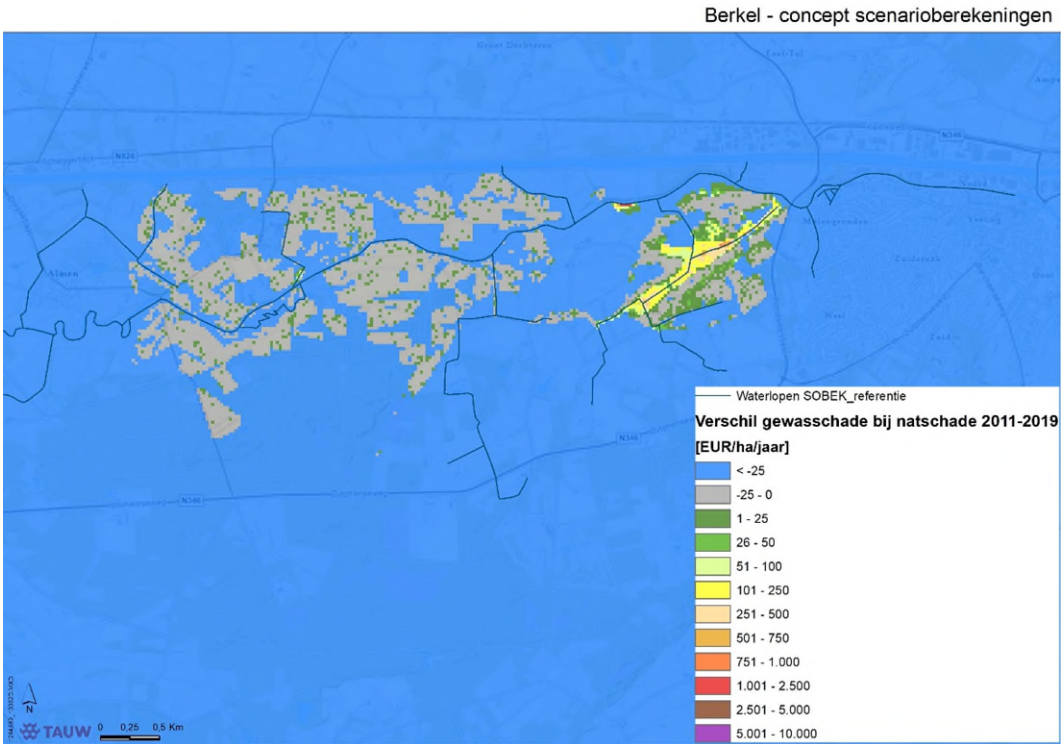
Figuur B5.3 Verschil (DO minus referentie) in % natschade over periode 2011-2019



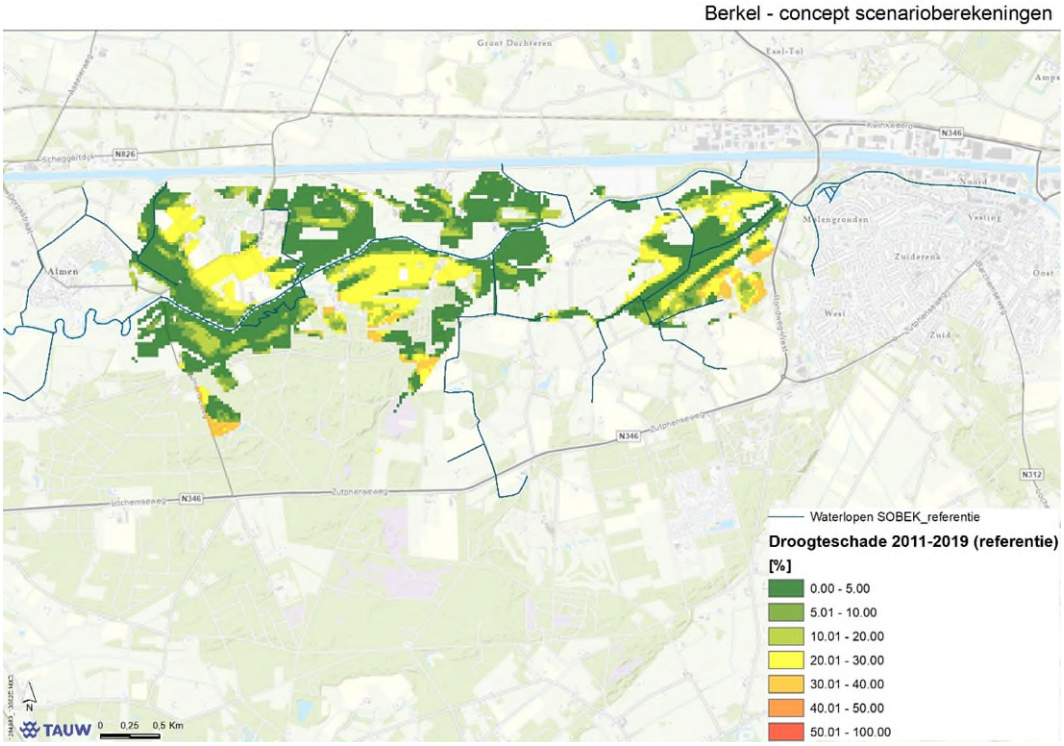
Figuur B5.4 Verschil (DO minus referentie) in % totale natschade over periode 2011-2019



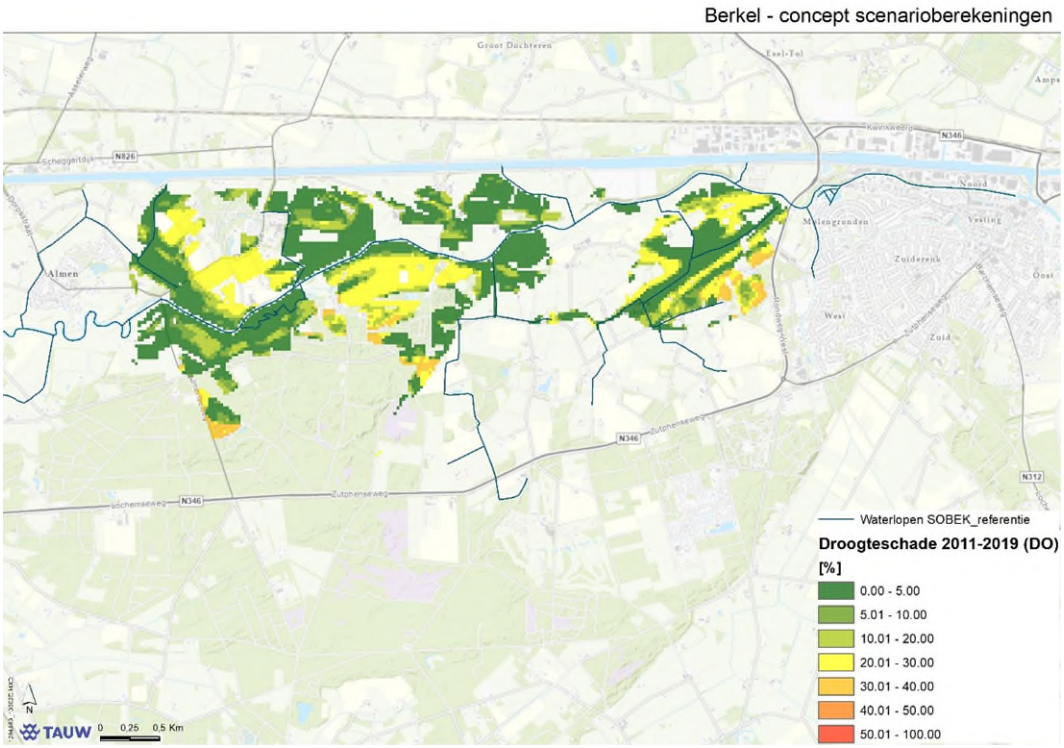
Figuur B5.5 Verschil (DO minus referentie) in euro's droogteschade over periode 2011-2019



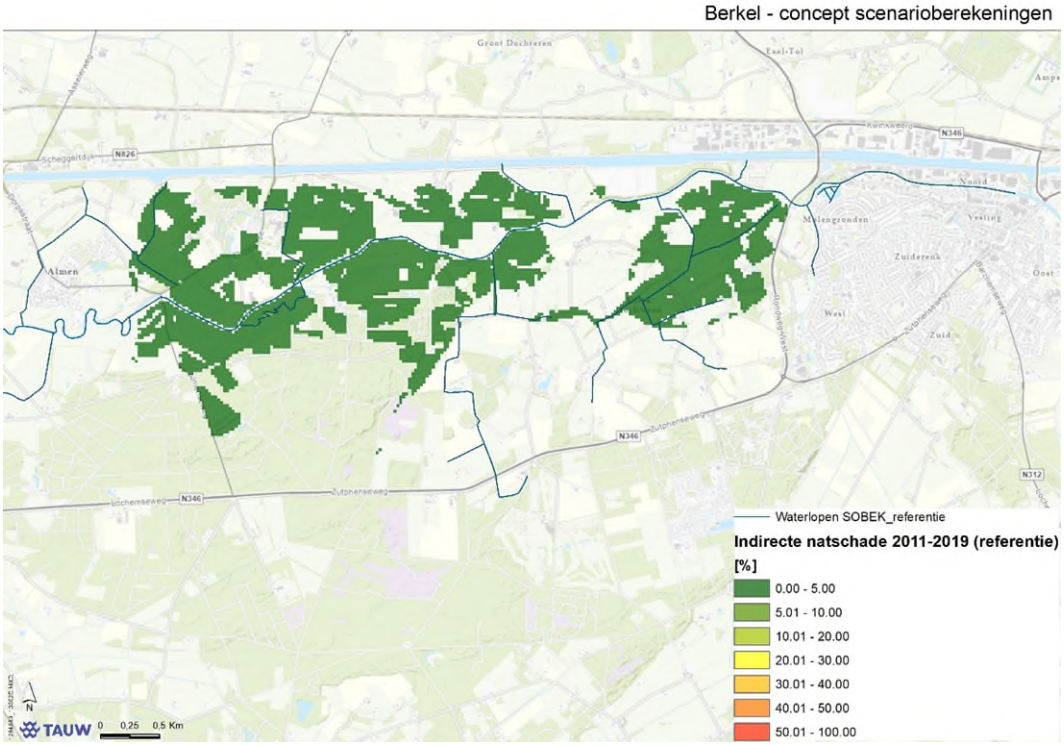
Figuur B5.6 Verschil (DO minus referentie) in euro's natschade over periode 2011-2019



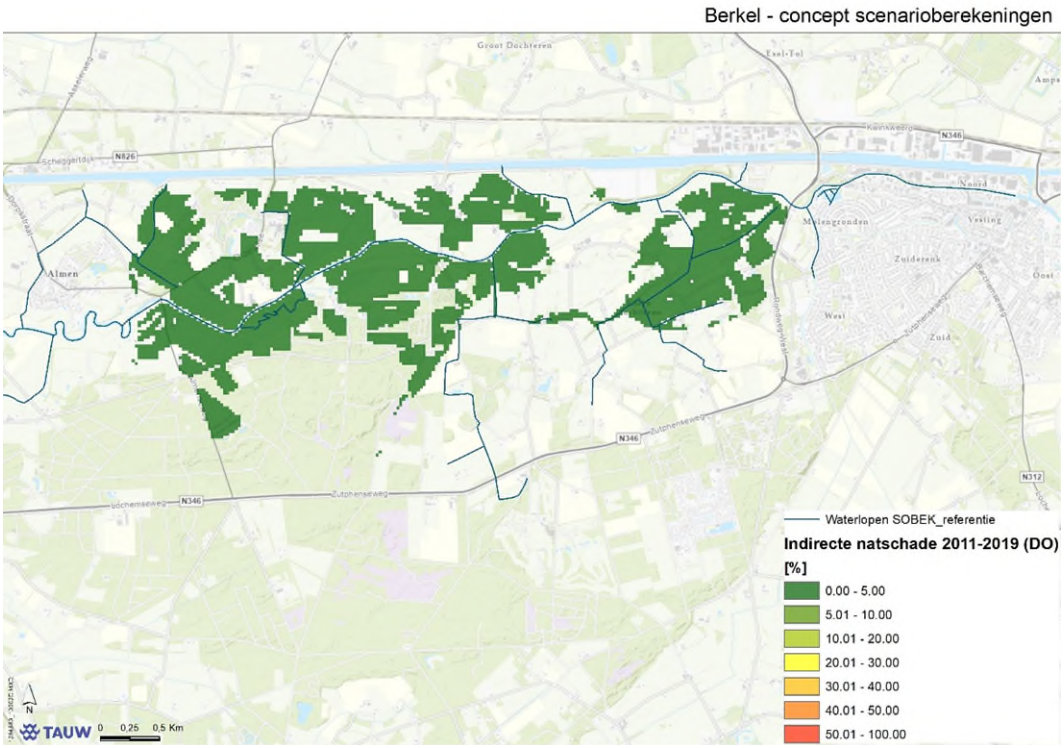
Figuur B5.7 Droogteschade referentie in % over periode 2011-2019



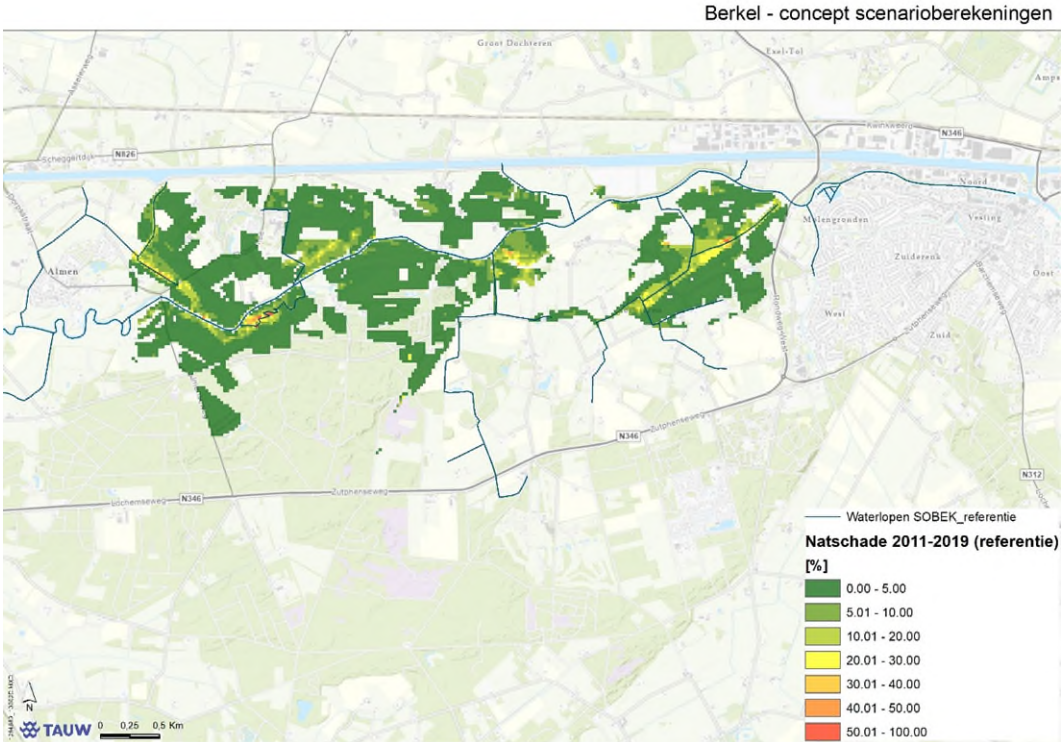
Figuur B5.8 Droogteschade DO in % over periode 2011-2019



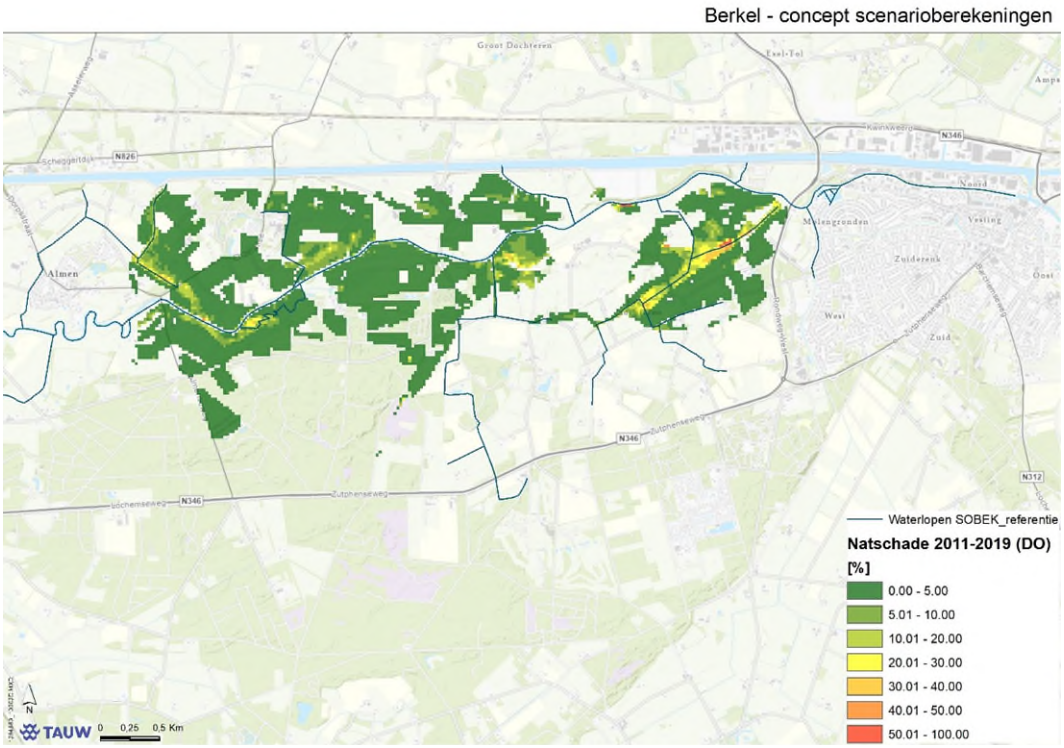
Figuur B5.9 Indirecte natschade referentie in % over periode 2011-2019



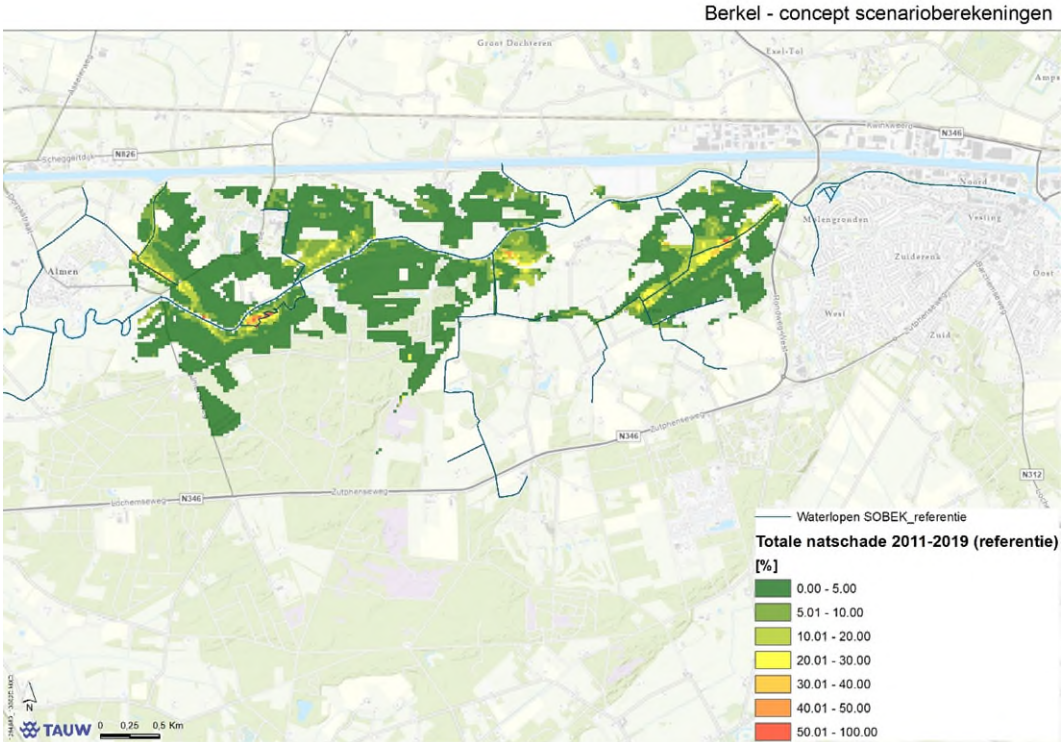
Figuur B5.10 Indirecte natschade DO in % over periode 2011-2019



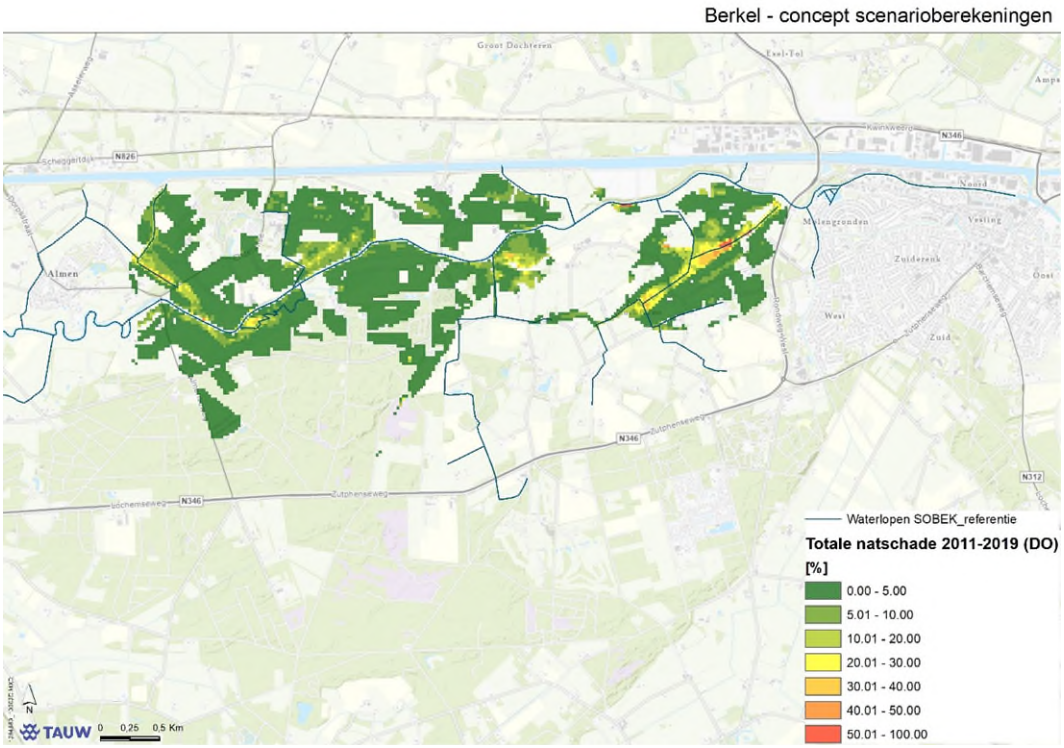
Figuur B5.11 Natschade referentie in % over periode 2011-2019



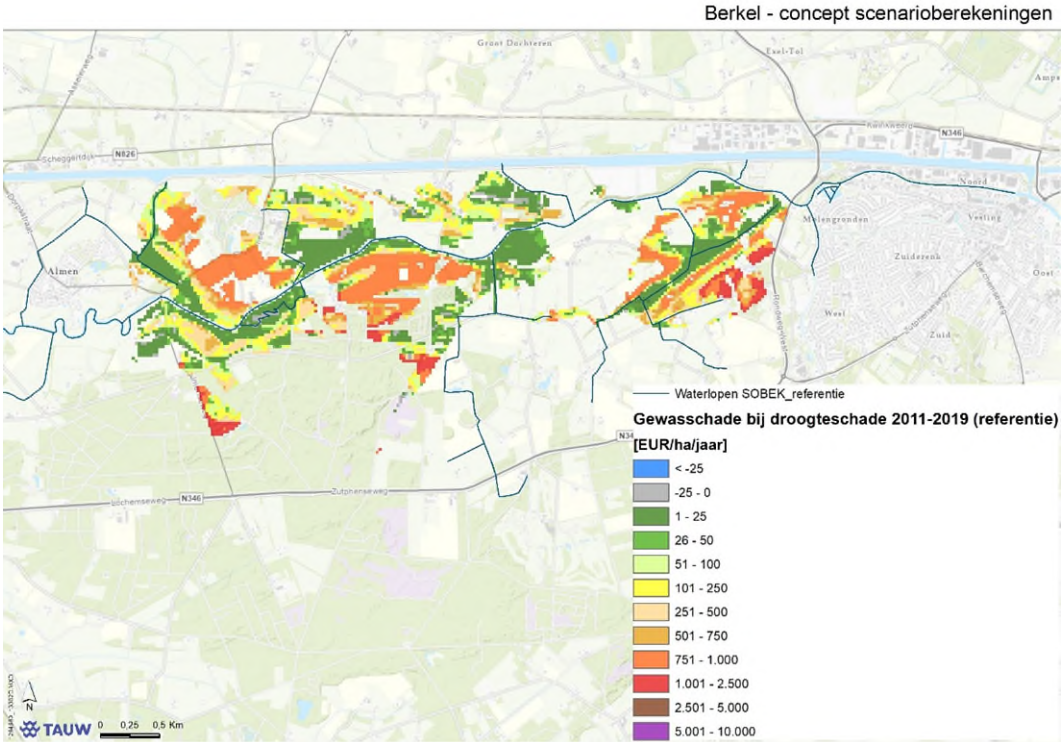
Figuur B5.12 Natschade DO in % over periode 2011-2019



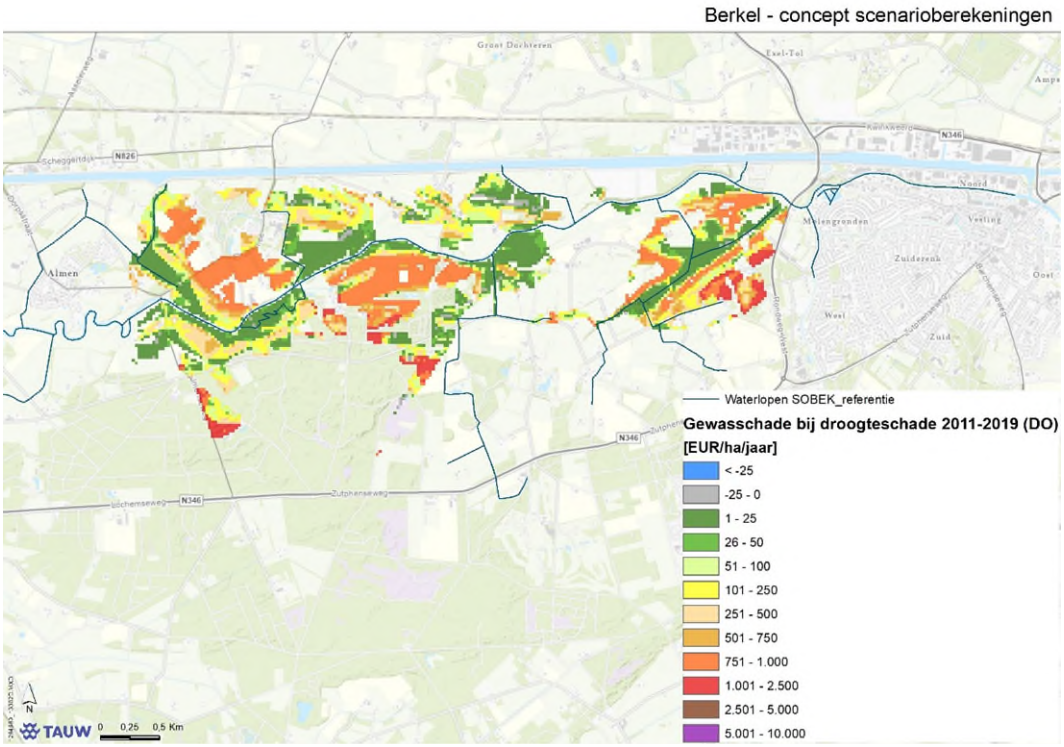
Figuur B5.13 Totale natschade referentie in % over periode 2011-2019



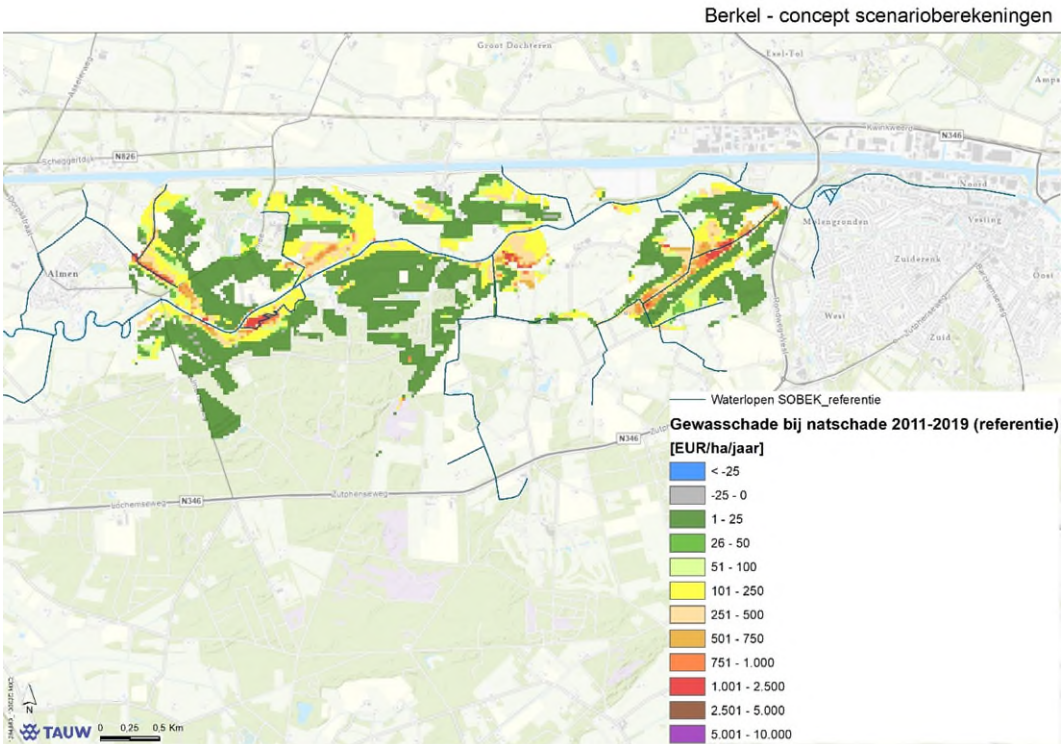
Figuur B5.14 Totale natschade DO in % over periode 2011-2019



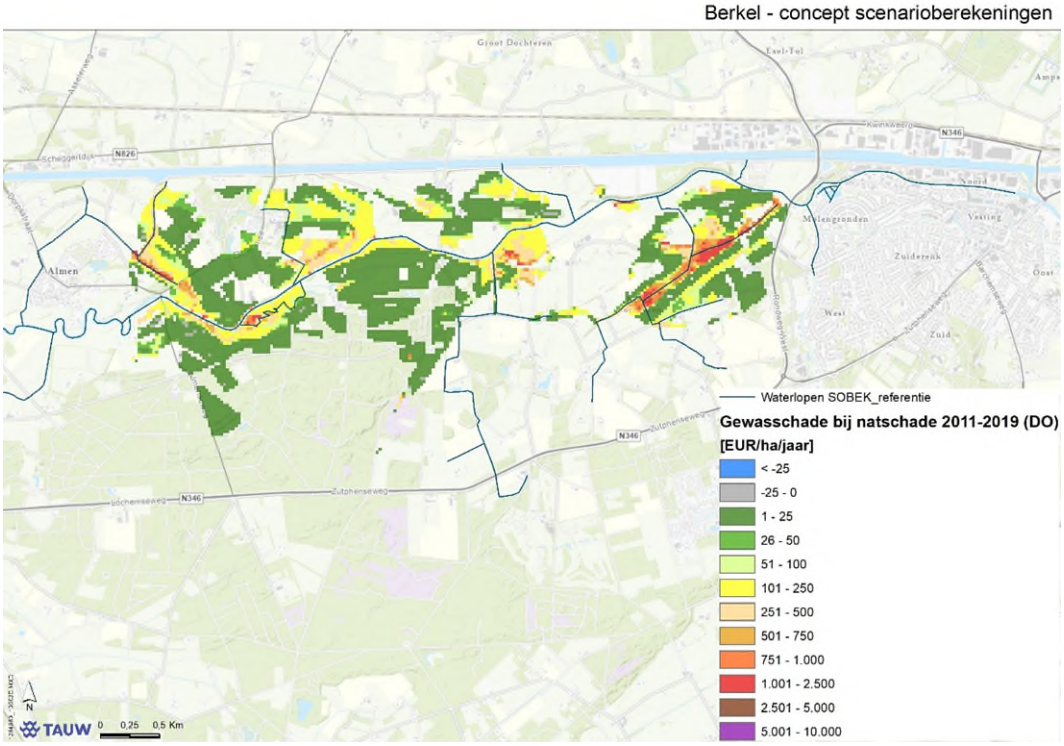
Figuur B5.15 Droogteschade referentie in euro's over periode 2011-2019



Figuur B5.16 Droogteschade DO in euro's over periode 2011-2019



Figuur B5.17 Natschade referentie in euro's over periode 2011-2019



Figuur B5.18 Natschade DO in euro's over periode 2011-2019

Kenmerk R006-1284689ENO-V02-pws-NL

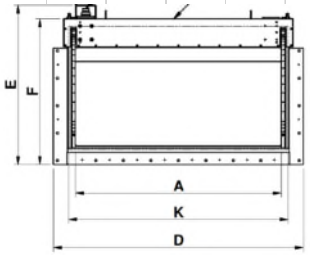
Bijlage 6 Dimensionering stuwen

In deze bijlage wordt de dimensionering van stuw Velhorst en stuw Hoge Weide toegelicht. In de nieuwe situatie zullen er geen wangen worden opgenomen bij de kunstwerken. Om geen afbreuk te doen aan de capaciteit van de stuwen zal de hoogte en breedte van de stuwen moeten worden geoptimaliseerd. In overleg met het waterschap Rijn en IJssel is overeengekomen dat het bereik van de nieuwe stuwkleppen reikt tot de bodemhoogte van de waterloop.

Voor stuw Velhorst betekent dit een drempelhoogte van circa 7,5 m+NAP en voor stuw Hoge Weide betreft dit 8,2 m+NAP. Omdat de afvoer over stuw Velhorst groter is dan de afvoer over stuw Hoge Weide is deze als maatgevend beschouwd.

In onderstaande spreadsheet is de effectieve breedte berekend voor de toekomstige stuw Velhorst, waarbij het uitgangspunt is dat deze bestaat uit twee kleppen van ieder 7,1 m breed, in het midden één (betonnen) pijler, en vier ophangarmen van elk circa 10 cm dik. Dit leidt tot een effectieve breedte van 13,8 m.

Aantal kleppen	2		
Breedte Klep	7,1	m	
Breedte pijler	0,5	m	
Breedte Ophangarmen	0,1	m	(5 cm gevonden bij leverancier voor kleinere klepstuw, daarom iets ruimer genomen)
Aantal pilaren	1		
Aantal ophangarmen	4		
Totale Breedte	14,7		Breedte tussen betonnen wanden (incl pijler(s)), zie "D" in figuur
Effectieve breedte	13,8		Totale breedte minus pijler(s) en ophangarmen, zie "A" in figuur
Lateral contraction coeff	0,938776		Adhv breedte/effectieve breedte, volgens STOWA (https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%201990-2000/STOWA%201
Discharge coefficient	1,3		



Deze breedte is iteratief tot stand gekomen. In onderstaande spreadsheet is gecheckt wat het natte doorstroomoppervlakte wordt bij bovengenoemde dimensies, en vergeleken met het huidige kunstwerk (inclusief wangen):

Waterstand bij T=100 afvoer		10,436			
Stuw Velhorst Referentie		klep	wangen	totaal	
	eff. breedte	10,05	14,5		
	hoogte (m+NAP)	8,2	9,2		
	nat opp.	22,4718	17,922	40,3938	m2
Stuw Velhorst DO		klep	wangen	totaal	
	eff. breedte	13,8	0		
	hoogte (m+NAP)	7,5	0		
	nat opp.	40,5168	0	40,5168	m2