Vlaanderen
is wetenschap

14_176_3
WL rapporten

Integraal plan Boven-Zeeschelde
Veiligheidstoets B- en C-alternatieven

Deelrapport 3 – Veiligheidstoets C-alternatieven

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Integraal Plan Boven-Zeeschelde
Veiligheidstoets B- en C-alternatieven

Deelrapport 3 – Veiligheidstoets C-alternatieven

Coen, L.; Vanlede, J.

Waterbouwkundig Laboratorium
Vlaanderen is wetenschap

Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2023
D/2023/3241/078

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Coen, L.; Vanlede, J. (2023). Integraal Plan Boven-Zeeschelde Veiligheidstoets B- en C-alternatieven: Deelrapport 3 – Veiligheidstoets C-alternatieven. Versie 5.0. WL Rapporten, 14_176_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg, Afdeling Regio Centraal	Ref.:	WL2020R14_176_3
Keywords (3-5):	Boven-Zeeschelde, veiligheid, Sigmaplan		
Kennisdomeinen	Waterbeheer > Hydraulica > Hydrodynamische modellen > Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	58	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Coen, L.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vanlede, J.	Getekend door:Joris Vanlede (Signature) Getekend op:2023-04-07 12:10:59 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Joris Vanlede
Projectleider:	Coen, L.	Getekend door:Leen Coen (Signature) Getekend op:2023-03-31 15:28:14 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Leen Coen

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sig Getekend op:2023-03-30 14:48:17 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Abdelkarim Bellafkih

Abstract

In het kader van het project “Zeeschelde en Zuidelijk vak ringvaart. Studie en Technische Ontwerpen. Integraal plan Boven-Zeeschelde” wordt door het WL studiewerk uitgevoerd in opdracht van W&Z Afdeling Zeeschelde. Dit studiewerk wordt uitgevoerd in project 13_131. In aanvulling van project 13_131 wordt door de klant gevraagd de B- en C-alternatieven die in deze studie worden bestudeerd, af te toetsen naar veiligheid. De toetsing van de B-alternatieven werd uitgevoerd in een vorige studie en wordt besproken in (Coen *et al.*, 2017b).

Voor deze studie wordt gewerkt met het geactualiseerde model van de Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren. Dit model wordt aangepast zodat het de situatie in 2050 voorstelt, met inrichting van de Sigmagebieden zoals opgenomen in het ‘Meest Wenselijk Alternatief’, en aangepaste bathymetrie en topografie.

Voor de veiligheidstoets worden de alternatieven geanalyseerd op basis van het effect van de ingreep op het maximum waterpeil in de Boven-Zeeschelde. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het maximum waterpeil bij storm en het maximum waterpeil bij was.

In de multicriteria-analyse worden de alternatieven getoetst op: 1) stijging van het maximum waterpeil en het ruimtelijk effect, 2) het effect op de afwatering van de nevengebieden, 3) het effect op de afwatering van de Ringvaart.

In dit rapport worden de resultaten van de veiligheidstoets besproken voor de C-alternatieven. De verruiming van de waterweg in de C-alternatieven zorgt bijna steeds voor een daling van het maximum waterpeil in de Zeeschelde. Bij de multicriteria-analyse zijn voornamelijk de beschouwde effecten van het C2- en het C3-alternatief positief.

Inhoudstafel

Abstract III
Inhoudstafel V
Lijst van de tabellen VIII
Lijst van de figuren IX
Lijst van afkortingen XI
1 Inleiding 1
1.1 Kader 1
1.2 Opbouw van het rapport 1
2 Methodiek 2
2.1 Doorrekenen alternatieven 2
2.2 Analyse over de verschillende terugkeerperiodes 2
2.3 Multicriteria-analyse 3
2.3.1 Stijging Hmax en ruimtelijk effect 3
2.3.2 Effect op afwatering nevengebieden (incl. Dender) 3
2.3.3 Effect op afwatering Ringvaart 3
3 Modelinstrumentarium 4
3.1 Basismodel Zeeschelde 4
3.2 Randvoorwaarden 6
3.2.1 Composietstormen en zeespiegelstijging 2050 6
3.2.2 Gemiddeld getij 6
3.3 Gebruikte software 7
3.4 Geografische referentie en tijdszone 7
3.5 Versiebeheer 7
4 C-alternatieven 8
4.1 REF-2050-C 8
4.2 C1 8
4.2.1 Ontpoldering Melleham 8
4.2.2 Vaargeul Voorde 8
4.2.3 Vaargeul en ontpoldering Wetteren 8
4.2.4 Bochtafsnijding Hoogland (Wijmeers) 10
4.2.5 Bochtafsnijding Uitbergen 10
4.2.6 Scheldebroek 11

4.2.7 Bocht Kasteeltje ... 11
4.2.8 Bocht Waterleiding ... 12
4.2.9 Bocht Kramp ... 12
4.2.10 Blankaart ... 13
4.2.11 Durmemonding ... 14
4.2.12 Bornem ... 15
4.3 C2 ... 16
4.3.1 Veerhoek ... 16
4.3.2 Ontpoldering Melleham ... 16
4.3.3 Bommels ... 17
4.3.4 Vaargeul Wetteren ... 17
4.3.5 GOG Wijmeers ... 18
4.3.6 Bochtafsnijding Hoogland ... 18
4.3.7 Bochtafsnijding Uitbergen ... 18
4.3.8 Oude Broekmeer en Sint-Onolfspolder ... 19
4.3.9 Bocht Kasteeltje ... 19
4.3.10 Bocht Dender ... 19
4.3.11 Ontpoldering Grembergenbroek, Armenput en Roggeman ... 21
4.3.12 Bocht Kramp ... 21
4.3.13 Blankaart ... 22
4.3.14 Bornem ... 23
4.4 C3 ... 24
4.4.1 Ontpoldering Melleham ... 24
4.4.2 GOG Wijmeers en bochtafsnijding Hoogland, Uitbergen en Paardeweide ... 25
4.4.3 Oude Broekmeer, Sint-Onolfspolder en bocht Kasteeltje ... 26
4.4.4 Ontpoldering Roggeman ... 26
4.4.5 Blankaart en Akkershoofd ... 28
4.4.6 Ontpoldering Weert ... 29
4.4.7 Bornem ... 29
5 Veiligheidstoets – Analyse over de verschillende terugkeerperiodes ... 31
5.1 REF-2050-C ... 32
5.2 C1 ... 36
5.3 C2 ... 41
5.4 C3 ... 46
6 Veiligheidstoets – Multicriteria-analyse ... 51
6.1 Stijging Hmax en ruimtelijk effect ... 51
6.2 Effect op afwatering nevengebieden ... 53

6.3 Effect op afwatering Ringvaart 55
7 Conclusies en aanbevelingen 56
7.1 Conclusies 56
7.2 Aanbevelingen 57
8 Referenties 58
Bijlage 1 Technische samenvatting implementatie C-alternatieven B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht stijging Hmax boven TAW +7,0/7,5/8,0 m per alternatief en per terugkeerperiode..... 51

Tabel 2 – Stijging Hmax en ruimtelijk effect: aantal kilometers dat maximum waterpeil Boven-Zeeschelde boven TAW +7,0/7,5/8,0 m stijgt 52

Tabel 3 – Gemiddeld laagwater (GLW) tijposten obv berekening bij gemiddeld tij voor REF-2050-C..... 53

Tabel 4 – Effect afwatering nevengebieden obv GLW: tijd onder GLW en relatieve oppervlakte grafiek onder GLW tov REF-2050 – gesommeerd over 5 tijposten 54

Tabel 5 – Effect afwatering Ringvaart: stijging/daling maximum waterpeil bij was in Melle: gemiddeld over beschouwde terugkeerperioden 55

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Modelschematisatie hydrodynamisch 1D-model van het volledige getijonderhevige Zeescheldebekken 5
Figuur 2 – Combinatie van op- en afwaartse randvoorwaarden voor 2050 – QN scenario 7
Figuur 3 – Situering ingreep Vaargeul Voorde – C1 9
Figuur 4 – Situering ingreep vaargeul en ontpoldering Wetteren – C1 9
Figuur 5 – Situering bochtafsnijding Hoogland en Uitbergen – C1 10
Figuur 6 – Situering Scheldebroek en bocht Kasteeltje – C1 11
Figuur 7 – Situering bocht Waterleiding en Kramp – C1 12
Figuur 8 – Situering Blankaart – C1 13
Figuur 9 – Situering ingreep Durmemonding – C1 14
Figuur 10 – Situering ingreep Bornem – C1 15
Figuur 11 – Situering ingreep Veerhoek, ontpoldering Melleham en ingreep Bommels – C2 16
Figuur 12 – Situering vaargeul en ontpoldering Wetteren – C2 17
Figuur 13 – Situering GOG Wijmeers, bochtafsnijding Hoogland en bochtafsnijding Uitbergen – C2 18
Figuur 14 – Situering Oude Broekmeer – C2 19
Figuur 15 – Situering Sint-Onolfspolder, bocht Kasteeltje en bocht Dender – C2 20
Figuur 16 – Situering ontpoldering Grembergenbroek, Armenput en Roggeman, en bocht Kramp – C2 21
Figuur 17 – Situering Blankaart – C2 22
Figuur 18 – Situering ingrepen Bornem – C2 23
Figuur 19 – Situering ontpoldering Melleham – C3 24
Figuur 20 – Situering GOG Wijmeers en bochtafsnijdingen Hoogland, Uitbergen en Paardeweide – C3 25
Figuur 21 – Situering Oude Broekmeer – C3 26
Figuur 22 – Situering Sint-Onolfspolder en bocht Kasteeltje – C3 27
Figuur 23 – Situering ontpoldering Roggeman – C3 27
Figuur 24 – Situering ontpoldering Blankaart en Akkershoofd – C3 28
Figuur 25 – Situering ontpolderingen Weert – C3 29
Figuur 26 – Situering ingrepen Bornem – C3 30
Figuur 27 – Waterpeil te Melle (REF-2050-C, T1) met aanduiding van storm- en wasperiode 31
Figuur 28 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-B en REF-2050-C bij T1 32
Figuur 29 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T10 . 33
Figuur 30 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T50 . 33
Figuur 31 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T100 34
Figuur 32 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T1000 34
Figuur 33 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T4000 35

Figuur 34 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T1 36
Figuur 35 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T10 37
Figuur 36 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T50 37
Figuur 37 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T100 38
Figuur 38 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T1000 38
Figuur 39 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T4000 39
Figuur 40 – Overzicht maximum waterpeilen in mTAW in overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde bij verschillende terugkeerperioden voor C1-alternatief t.o.v. REF-2050-C 40
Figuur 41 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T1 41
Figuur 42 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T10 42
Figuur 43 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T50 42
Figuur 44 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T100 43
Figuur 45 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T1000 43
Figuur 46 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T4000 44
Figuur 47 – Overzicht waterstanden in mTAW in gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde bij verschillende terugkeerperioden voor C2-alternatief t.o.v. REF-2050-C 45
Figuur 48 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T1 46
Figuur 49 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T10 47
Figuur 50 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T50 47
Figuur 51 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T100 48
Figuur 52 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T1000 48
Figuur 53 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T4000 49
Figuur 54 – Overzicht waterstanden in mTAW in gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde bij verschillende terugkeerperioden voor C3-alternatief t.o.v. REF-2050-C 50
Figuur 55 – Effect afwatering nevengebieden obv GLW: voorbeeld Melle 54

Lijst van afkortingen

GGG	Gecontroleerd gereduceerd getij
GLW	Gemiddeld laagwaterpeil
GOG	Gecontroleerd overstromingsgebied
Hmax	Maximum waterpeil
MWeA	Meest Wenselijk Alternatief
TAW	Tweede Algemene Waterpassing

1 Inleiding

1.1 Kader

In het kader van het project “Zeeschelde en Zuidelijk vak ringvaart. Studie en Technische Ontwerpen. Integraal plan Boven-Zeeschelde” wordt door het WL studiewerk uitgevoerd in opdracht van W&Z Afdeling Zeeschelde. Dit studiewerk wordt uitgevoerd in project 13_131.

In aanvulling van project 13_131 wordt door de klant gevraagd de B- en C-alternatieven die in deze studie worden bestudeerd, af te toetsen naar veiligheid. De toetsing van de B-alternatieven wordt besproken in (Coen *et al.*, 2017b).

1.2 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de methodiek van de veiligheidstoets.

In hoofdstuk 3 wordt het gebruikte modelinstrumentarium besproken.

Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de C-alternatieven en de implementatie ervan in het model.

In hoofdstuk 5 wordt de analyse van REF-2050-C en de C-alternatieven besproken.

In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de multicriteria-analyse weergegeven.

Hoofdstuk 7 besluit met de conclusies.

2 Methodiek

De gebruikte methodiek voor de veiligheidstoets is analoog aan deze toegepast voor de veiligheidstoets in het project 'Bevaarbaarheid Boven-Zeeschelde en Zuidelijk vak Ringvaart voor klasse Va-schepen', zoals beschreven in (Coen *et al.*, 2012). Voor de verschillende alternatieven wordt het effect over verschillende terugkeerperiodes beschouwd, en gebeurt een toetsing door middel van een multicriteria-analyse.

2.1 Doorrekenen alternatieven

Als eerste wordt het alternatief 'ongewijzigd beleid 2050' geïmplementeerd en doorgerekend. Hierin is de inrichting van de Sigmagebieden volgens Meest Wenselijk Alternatief (MWeA) tot 2025 opgenomen. De zogenaamde reservegebieden worden niet meegenomen. Dit alternatief werd als referentie beschouwd voor de vergelijking van de effecten van de B-alternatieven en wordt uitgebreid beschreven in (Coen *et al.*, 2017b), met als naam REF-2050. Verder in dit rapport zal dit genoemd worden als REF-2050-B. In de referentie voor de vergelijking van de C-alternatieven werd één voorname aanpassing doorgevoerd in ter hoogte van de Ringvaart ten opzichte van REF-2050-B. Dit resulteert in het REF-2050-C-alternatief. Dit alternatief wordt verder beschreven in §4.1.

Volgende C-alternatieven worden doorgerekend:

- REF-2050-C
- C1
- C2
- C3

Voor elk alternatief worden acht berekeningen uitgevoerd:

- Zes composietstormen: T1, T10, T50, T100, T1000 en T4000.
- Twee synthetische waterstands- en debietreeksen voor gemiddeld getij (QN en QE).

De opgelegde randvoorwaarden worden verder besproken in §3.2

2.2 Analyse over de verschillende terugkeerperiodes

De verschillende alternatieven worden ingebouwd in het referentiemodel. Dit wordt doorgerekend voor maatgevende condities, zijnde de composietstormen en de synthetische events. Bij de analyse van de verschillende alternatieven worden voornamelijk gekeken naar het effect van een ingreep op het maximum waterpeil in de Boven-Zeeschelde. Er worden geen risicoberekeningen uitgevoerd. Wel worden de waterstanden in de gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG) bij de verschillende alternatieven vergeleken ten opzichte van de referentie, het REF-2050-C-alternatief, wat een maat is voor mogelijkse wijzigingen in het risico in het Sigmagebied.

Voor de analyse worden de maximale waterpeilen op de Zeeschelde weergegeven op lengteprofielen en de maximale waterpeilen in de bestaande gecontroleerde overstromingsgebieden in H-H-plots[1], voor de verschillende terugkeerperioden.

2.3 Multicriteria-analyse

Naar analogie met vorige studies met betrekking tot de bevaarbaarheid van de Boven-Zeeschelde werd een multicriteria-analyse uitgevoerd voor de bestudeerde alternatieven. In het kader van veiligheid werden hiervoor drie criteria bekeken:

- Stijging maximum waterpeil (Hmax) en ruimtelijk effect
- Effect op afwatering nevengebieden (incl. Dender)
- Effect op afwatering Ringvaart

De methode wordt in volgende paragrafen verder beschreven.

2.3.1 Stijging Hmax en ruimtelijk effect

Er wordt gekeken naar het aantal kilometers dat de maximale waterstand op de Boven-Zeeschelde boven TAW +7,0/7,5/8,0 m stijgt, gesommeerd over de verschillende terugkeerperioden. Hier wordt voornamelijk het effect van de alternatieven op de maximale waterstanden bij storm beoordeeld.

Een toename van het totaal aantal km betekent dus een toename van de belasting van de Sigmadijken alsook (mogelijks) sterkere vulling van de GOG's.

Bij de berekening van het totaal per alternatief worden volgende gewichten toegepast:

1 per kilometer Hmax > TAW +7,0 m
2 per kilometer Hmax > TAW +7,5 m
4 per kilometer Hmax > TAW +8,0 m

2.3.2 Effect op afwatering nevengebieden (incl. Dender)

Voor de inschatting van het effect van een alternatief op de afwatering van de nevengebieden wordt gekeken naar de tijd dat het waterpeil op een locatie daalt beneden het Gemiddeld Laag Water (GLW). Hiervoor worden gemiddelde condities genomen met een terugkeerperiode van 1 jaar. Het GLW wordt bepaald op basis van de berekening van het REF-2050-C-alternatief.

Verder wordt ook de oppervlakte van de grafiek onder het GLW berekend.

Dit wordt bekeken voor de tijposten van Sint-Amands, Dendermonde, Schoonaarde, Wetteren en Melle. De resultaten worden gesommeerd over de vijf tijposten.

2.3.3 Effect op afwatering Ringvaart

Voor de verschillende scenario's wordt gekeken naar de maximale waterstand bij was te Melle. Het verschil wordt berekend ten opzichte van het REF-2050-C-alternatief per terugkeerperiode. Er wordt een gemiddelde genomen over de verschillende terugkeerperioden. Een negatieve waarde wil zeggen dat het maximum waterpeil daalt, wat de uitwatering van de Ringvaart ten goede komt.

[1] H-H-plots geven de maximum waterpeilen weer in de overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde. Elk punt in de plot geeft voor één overstromingsgebied het maximum waterpeil weer bij een C-alternatief ten opzichte van het waterpeil bij de referentie, REF-2050-C. Punten boven dan wel onder de bissectrice geven respectievelijk een stijging of daling aan van het maximum waterpeil in het overstromingsgebied, in het beschouwde alternatief ten opzichte van de referentie. Zie bijvoorbeeld Figuur 40.

3 Modelinstrumentarium

3.1 Basismodel Zeeschelde

Het numeriek 1D-model van de Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren werd in de loop van 2015 en 2016 geactualiseerd. Een uitgebreide beschrijving van de modelopbouw van het numeriek 1D-model van de Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren wordt gegeven in (Coen *et al.*, 2018). Na de actualisatie werd het hydrodynamisch model van de Zeeschelde opnieuw gekalibreerd. De kalibratie- en validatieresultaten worden beschreven in (Coen *et al.*, 2017a).

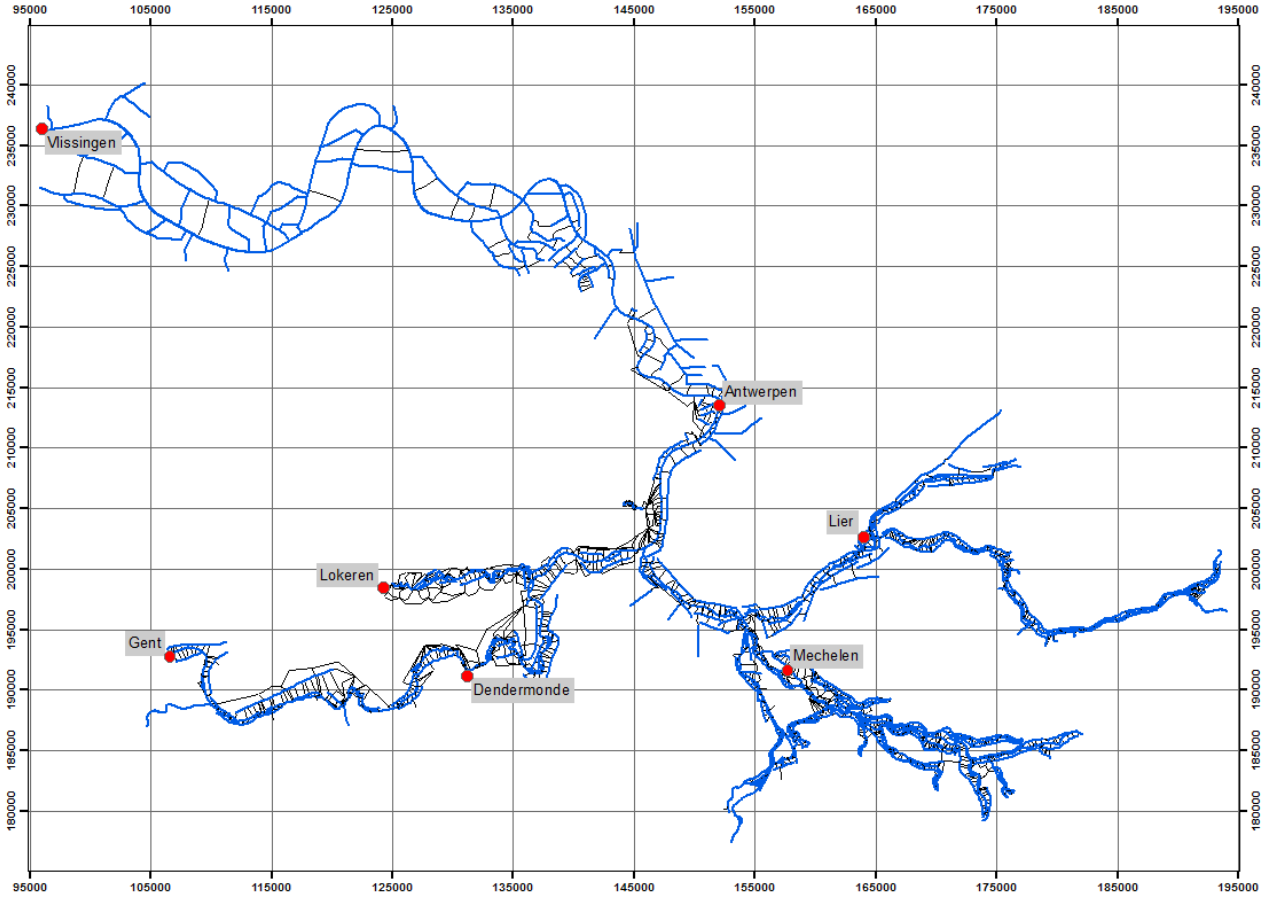
Het opgebouwd hydrodynamisch model omvat:

- De volgende rivieren en rivierpanden:
    - Westerschelde vanaf Vlissingen tot de Belgische grens
    - Zeeschelde vanaf Belgische grens tot Gent
    - Zuidervak van de Ringvaart rond Gent
    - Tijarm tot in Zwijnaarde
    - Durme afwaarts dam te Lokeren
    - Rupel en Benedennete
    - Kleine Nete afwaarts limnigraaf te Grobbendonk (opwaarts duiker onder Albertkanaal)
    - Grote Nete afwaarts duiker onder Albertkanaal
    - Dijle afwaarts limnigraaf te Wilsele-Wijgmaal
    - Zenne afwaarts Vilvoorde
    - Demer afwaarts limnigraaf te Aarschot
- Alle kunstwerken binnen dit gebied die een hydraulische invloed kunnen hebben;
- Alle bestaande gecontroleerde overstromingsgebieden
- Alle MWeA-gebieden (zie (Coen *et al.*, 2017b))
- Alle natuurlijk overstroombare gebieden binnen het studiegebied

Hoewel de gebruikte software (Mike11, DHI) een ééndimensionale modellering vereist, is het model toch dusdanig opgebouwd dat men een quasi-tweedimensionale structuur krijgt. Er werd voor geopteerd het hele traject van de Schelde vanaf Liefkenshoek tot aan de monding in de Noordzee (Vlissingen) voor te stellen volgens een quasi-2D-model waarbij de vloedscharen en de ebgeulen als afzonderlijke takken worden gemodelleerd onderling verbonden met zogenaamde ‘link channels’. De ‘link channels’ stellen dan de dwarse geultjes voor die (via de zandplaten) de verschillende geulen onderling verbinden. Door deze quasi-2D aanpak kan expliciet rekening gehouden worden met de verschillende typische hydrodynamische fenomenen in het Westerschelde-estuarium. Ook de andere waterlopen en valleigebieden zijn quasi-2D in het model ingebouwd, waarbij de waterlopen via ‘link channels’ verbonden zijn met de achterliggende valleigebieden (Figuur 1).

Na de actualisatie werd het hydrodynamisch model van de Zeeschelde opnieuw gekalibreerd. Het model werd gekalibreerd op basis van de ruwheid van de rivierbodem, voor drie kalibratieperioden, waaronder één periode met gemiddeld getij en twee perioden met stormtij. De kwaliteit van het gekalibreerde model is beschreven aan de hand van de RMSE- en bias-waarden van de gemodelleerde waterpeilen ten opzichte van de gemeten waterpeilen, zowel voor volledige tijdreeksen als voor hoog- en laagwaters. Voor deze kalibratieperioden bedraagt de RMSE-waarde voor de Westerschelde maximum 10 cm, voor de Beneden-Zeeschelde 3 tot 18 cm, voor de Boven-Zeeschelde 3 tot 23 cm en voor het Rupelbekken 1 tot 21 cm. Bijkomend werd het verschil in de amplitude van de harmonische M2 component beschouwd van de finale modelrun ten opzichte van de metingen. Dit verschil is voor de periode met gemiddeld getij kleiner dan 3 cm langs de Westerschelde en Zeeschelde, en kleiner dan 8 cm in het Rupelbekken.

Figuur 1 – Modelschematisatie hydrodynamisch 1D-model van het volledige getijonderhevige Zeescheldebekken



Voor de validatie van het model werden drie extra simulatieperioden in beschouwing genomen en werden ook de debieten langs de Zeeschelde en Rupel voor de periode met gemiddeld getij geanalyseerd. De drie validatieperioden betreffen een periode met verhoogde bovenafvoer en twee stormperioden met maximum hoogwater in Antwerpen boven TAW +6,70 m. Tijdens de periode met verhoogde bovenafvoer liggen de RMSE-waarden voor de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde binnen dezelfde orde van grootte als bij de kalibratieperioden. De RMSE-waarden voor de Boven-Zeeschelde en het Rupelbekken zijn iets groter. Tijdens de stormperioden zijn de RMSE-waarden verhoogd ten opzichte van de kalibratieperioden. Voornamelijk tijdens het stormtij zijn de afwijkingen het grootst. Dit is mogelijk te wijten aan de implementatie van de wind in het model. Deze werd tijdens de huidige kalibratie niet gewijzigd. De windsnelheid en windrichting zijn tijdens de stormen gebruikt bij de kalibratie vrij gelijkaardig. Bij de stormen gebruikt bij de validatie is de windsnelheid hoger, en is de variatie van de windrichting tijdens de storm groter. Dit gaat gepaard met een sterkere afwijking van de gemodelleerde versus de gemeten waarden. Voor de validatieperiodes met de twee stormen bedraagt de RMSE-waarde voor de Westerschelde maximum 13 cm, voor de Beneden-Zeeschelde 6 tot 19 cm, voor de Boven-Zeeschelde 6 tot 28 cm, tot lokaal 40 cm, en voor het Rupelbekken 2 tot 30 cm, tot lokaal 45 cm. Lokaal grotere afwijkingen zijn mogelijk te wijten aan invloeden van plantengroei, zoals opwaarts op de Grote en Kleine Nete, of aan het opleggen van een daggemiddeld debiet te Merelbeke. Vergelijking met 2D- en 3D-modellen toont aan dat deze RMSE-waarden vergelijkbaar of kleiner zijn, dan de RMSE-waarden die bekomen zijn na kalibratie van de 2D- of 3D-modellen van het Schelde-estuarium.

3.2 Randvoorwaarden

Het hydrodynamische model heeft drie types randvoorwaarden nodig:

- Afwaartse getijrandvoorwaarde (limnigram), opgelegd te Vlissingen;
- Windrandvoorwaarde (anemogram), op de Westerschelde;
- Opwaartse debietrandvoorwaarden (hydrogrammen), opgelegd te Gent, Dendermonde en langs de zijrivieren.

3.2.1 Composietstormen en zeespiegelstijging 2050

Voor de berekening van de composietstormen worden composietrandvoorwaarden opgelegd. Deze composieten zijn opgesteld in het kader van actualisatie Sigmaplan (Blanckaert *et al.*, 2005). De afwaartse rand bestaat uit ontwerplimnigrammen en –anemogrammen voor Vlissingen en de opwaartse randen uit ontwerphydrogrammen.

De composietrandvoorwaarden houden rekening met alle statistische variabelen en ook vereenvoudigend met de correlaties tussen de randvoorwaarden. Een zeer belangrijke eigenschap van de composietrandvoorwaarden is dat ze bij doorrekening met een hydrodynamisch model ervoor zorgen dat de terugkeerperiode op alle locaties in het studiegebied gelijk is.

Het waterpeil te Vlissingen wordt verhoogd met 30 cm, om een zeespiegelstijging tegen 2050 in rekening te brengen.

3.2.2 Gemiddeld getij

Voor de berekening met gemiddeld getij worden de randvoorwaarden gebruikt van de QN- en QE-scenario's, die ook met het 3D-model doorgerekend worden (Smolders *et al.*, 2017). QN staat voor 'normal discharge', waarbij zowel de af- als opwaartse een normale situatie met gemiddeld getij en gemiddelde bovenafvoer voorstellen. QE staat voor 'events discharge', waarbij de op- en afwaartse rand een meer extreme situatie voorstellen.

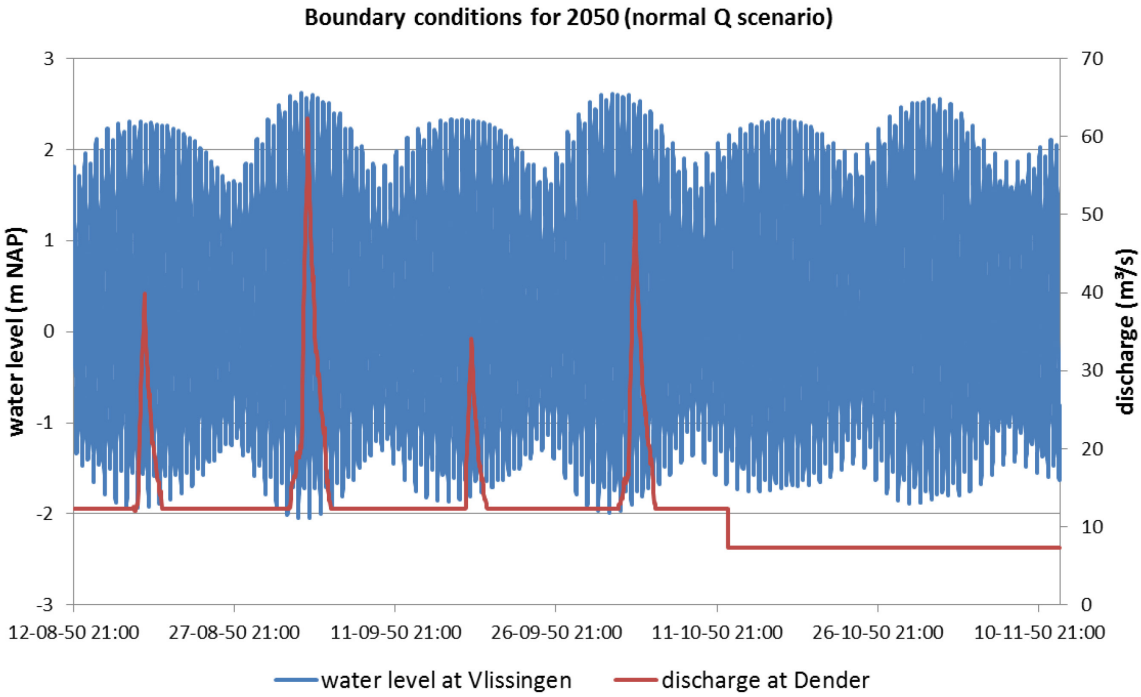
Voor het QN-scenario wordt aan de afwaartse rand een harmonische tijdreeks opgelegd zonder stormopzet. Dit waterstandsverloop voor Vlissingen is afkomstig uit het Scaldis-model voor 2013 of 2050. Aan de opwaartse randen wordt een synthetische debietreeks opgelegd waarvan de events een terugkeerperiode hebben gelijk aan of kleiner dan ¼ jaar. De opwaartse debietsreeksen worden zo opgelegd dat het maximale debiet 15 uur na het maximum hoogwater te Vlissingen voorkomt. Het maximum hoogwater is geselecteerd op basis van de analyse van één jaar harmonische tijdreeksen voor 2050. De combinatie van de opwaartse randvoorwaarde voor de Dender en de afwaartse randvoorwaarde te Vlissingen is weergegeven in Figuur 2 voor 2050. De simulatieperiode heeft een duur van 3 maanden.

Voor het QE-scenario wordt aan de afwaartse rand een harmonische tijdreeks opgelegd met stormopzet die bepaald is op basis van statistische berekeningen. Deze worden beschreven in (IMDC, 2015). Aan de opwaartse rand wordt een debietreeks opgelegd die twee events van bovenafvoer bevat met terugkeerperiodes van 1 jaar en ½ jaar. De simulatieperiode heeft een duur van twee weken.

Bij de scenarioberekeningen wordt aan de afwaartse rand geen wind opgelegd.

Een scenarioberekening wordt eenmaal uitgevoerd voor QN en eenmaal voor QE. Bij de verwerking van de resultaten wordt rekening gehouden met 4 x QN en 1 x QE om de getijparameters te bepalen, naar analogie met de uitgevoerde analyses in 'Integraal Plan Boven-Zeeschelde'. Deze combinatie heeft een terugkeerperiode van 1 jaar en is dus representatief voor een gemiddeld jaar.

Figuur 2 – Combinatie van op- en afwaartse randvoorwaarden voor 2050 – QN scenario (Smolders *et al.*, 2017)



3.3 Gebruikte software

De software gebruikt voor de 1D-hydrodynamische berekeningen is Mike11, versie 2017 SP2 (DHI, 2017).

Voor de verwerking van de gegevens in GIS wordt gebruik gemaakt van ArcMAP 10.4 (ESRI, 2015).

3.4 Geografische referentie en tijdszone

Het verticaal referentievlak is TAW, en als coördinatenstelsel wordt voor het 1D-model Lambert 1972 gebruikt.

De gebruikte tijdsreferentie is GMT+1 (winteruur).

3.5 Versiebeheer

De modelbestanden gebruikt voor de scenarioberekeningen zijn opgeslagen in het versiebeheersysteem onder: https://wl-subversion.vlaanderen.be/svn/repoSpNumMod/MIKE11/Sigma/SIGMA20200910_14_176 revisie 4396

4 C-alternatieven

In dit hoofdstuk worden de ingrepen die uitgevoerd worden in de C-alternatieven kort besproken. Hierbij wordt voornamelijk gefocust op de implementatie in het 1D-numeriek model. In Bijlage 1 wordt een technische samenvatting van de implementatie gegeven. De figuren in het hoofdstuk geven de gemodelleerde riviertakken en link channels in het 1D-model weer, evenals de rekenpunten (chainages) van de riviertak van de Zeeschelde, de toegevoegde overlaten (weirs), reservoirs met 'Additional Storage' en inwateringskokers. Overige modelelementen en rekenpunten worden niet weergegeven, ter vereenvoudiging van de figuren. Als achtergrond wordt de bathymetrie van het betreffende alternatief gebruikt, zoals aangeleverd door IMDC. Deze bathymetrie wordt gebruikt voor het afleiden van de dwarsdoorsneden en de oppervlakte-hoogte relaties van de reservoirs.

De C-alternatieven worden uitgebreid besproken in de nota van IMDC (IMDC, 2020).

4.1 REF-2050-C

In het REF-2050-C alternatief wordt één voorname wijziging toegevoegd ten opzichte van REF-2050-B: de rivierbedding van de Ringvaart wordt verdiept en verbreed zoals in de B-alternatieven. Hiertoe worden de nodige dwarsdoorsneden van de Zeeschelde aangepast.

Hiernaast worden de GGG-inwateringssluizen van de GOG's Wal en Zwijn gesloten. De introductie van gecontroleerd gereduceerd getij (GGG) in deze gebieden is een ingreep die behoort tot het C1-alternatief.

4.2 C1

4.2.1 Ontpoldering Melleham

Deze ontpoldering wordt gerealiseerd door een aantakking van het gebied aan de Zeeschelde door middel van een beperkt aantal kokers. Deze zouden echter gesloten worden bij hoogwater events. Deze ingreep is dus niet geïmplementeerd in het 1D-model.

4.2.2 Vaargeul Voorde

Voor de Vaargeul worden dezelfde aanpassingen geïmplementeerd als in het VaG-model. Hierbij worden de dwarsdoorsneden van Zeeschelde chainage 94500 tot en met 95500 aangepast (zie Figuur 3).

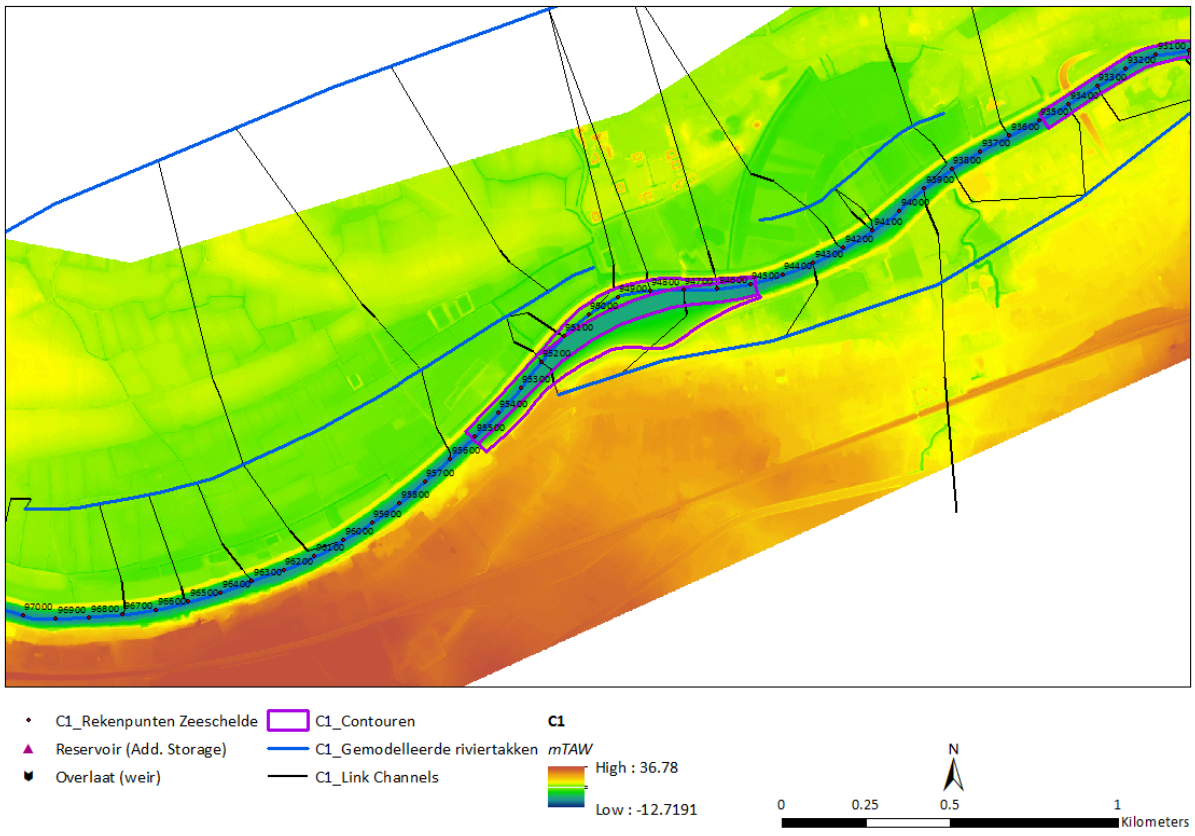
4.2.3 Vaargeul en ontpoldering Wetteren

Ter hoogte van Wetteren is de rivierdoorsnede erg smal, onder andere omwille van de aanwezigheid van een platform. In het C1-alternatief wordt dit platform verwijderd. Aangezien dit niet opgenomen is in de bathymetrie zal dit geen impact hebben.

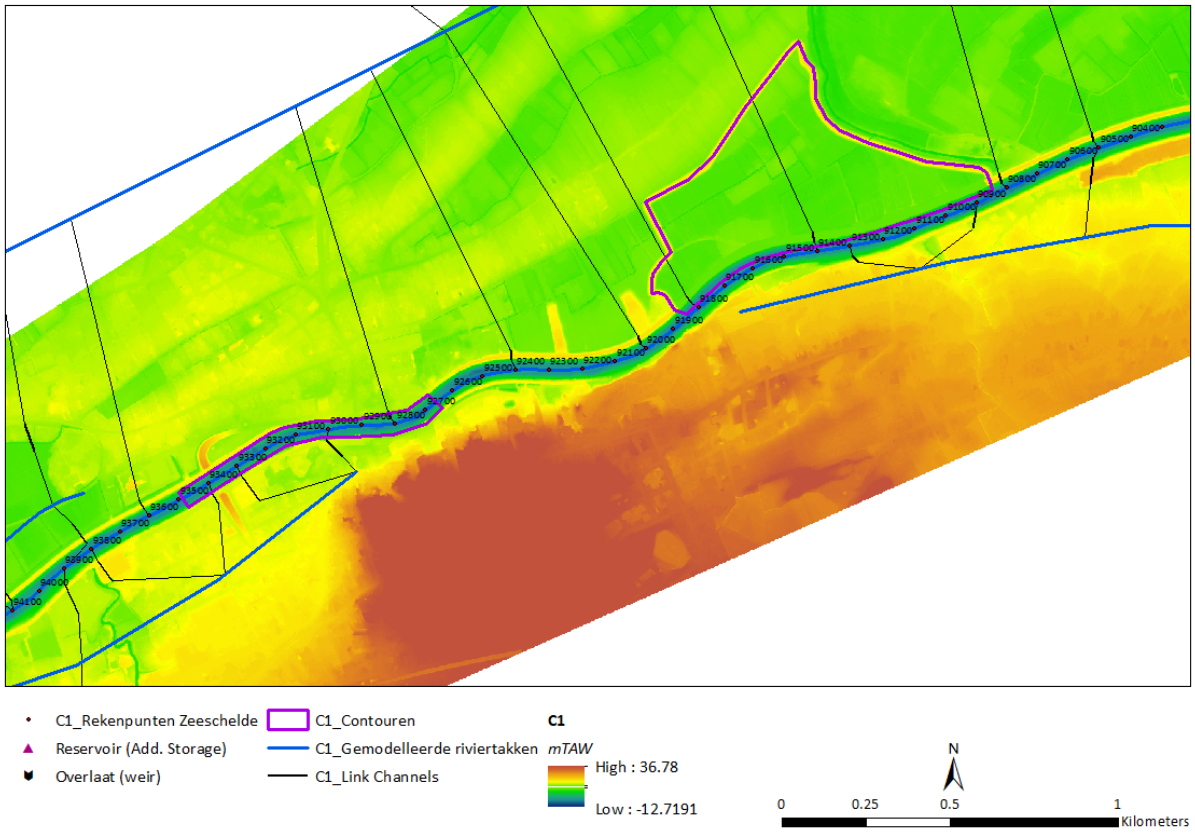
Een deel van het wetland van de Kalkense Meersen wordt ontpolderd. Deze ontpoldering wordt in het model geïmplementeerd als een verbreding van de dwarsdoorsneden van de Zeeschelde tussen chainages 92700 en 93400 (zie Figuur 4). De ontpoldering afwaarts Wetteren wordt in het model geïmplementeerd als verbrede secties van Zeeschelde van chainage 90900 tot en met 91800.

In dit gedeelte van de Zeeschelde worden de Scheldedijken verhoogd tot 8 mTAW. Dit is waar nodig manueel aangepast in de dwarsdoorsneden.

Figuur 3 – Situering ingreep Vaargeul Voorde – C1



Figuur 4 – Situering ingreep vaargeul en ontpoldering Wetteren – C1



4.2.4 Bochtafsnijding Hoogland (Wijmeers)

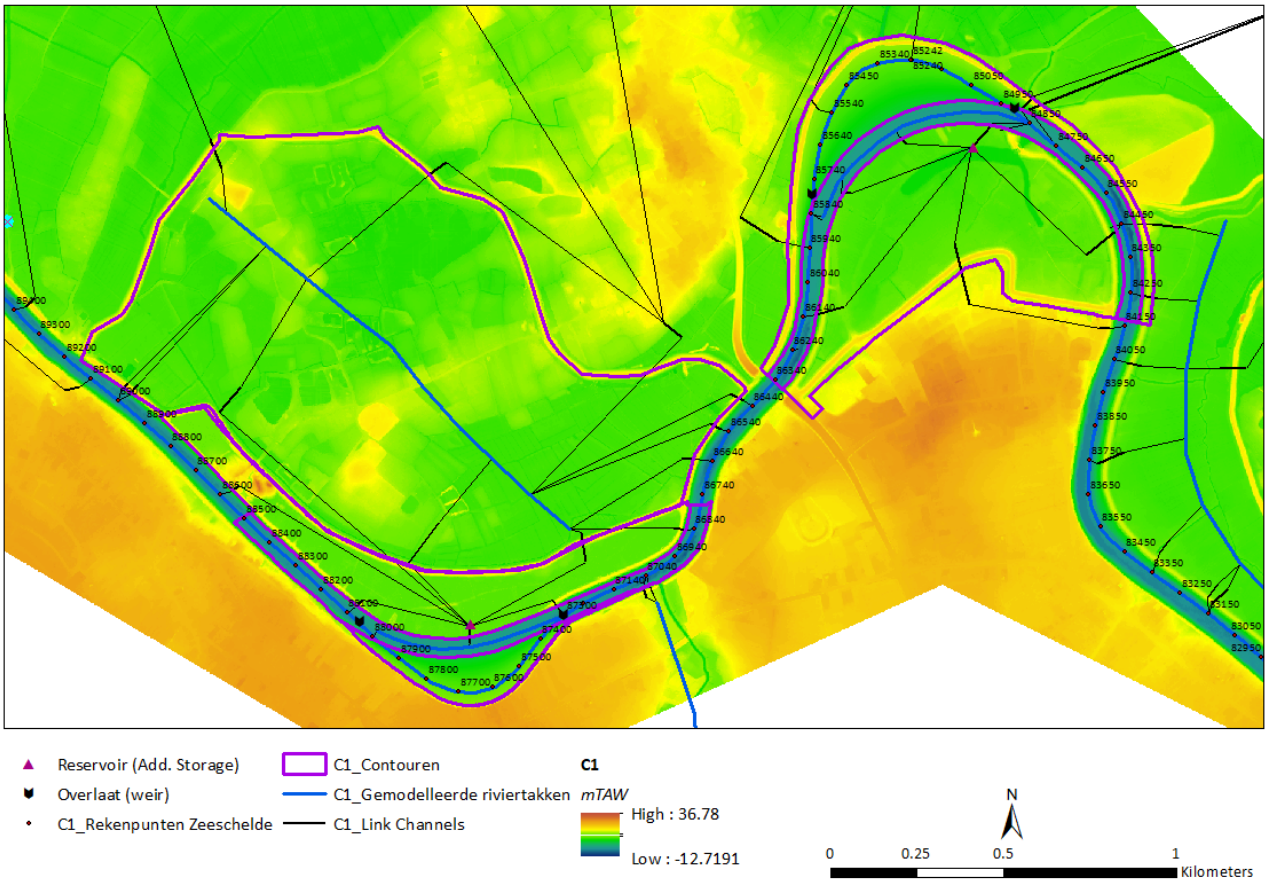
De nieuwe bochtafsnijding ter hoogte van Hoogland ligt in het reeds ontpolderde gebied van Wijmeers. De oude rivierbedding zal opgevuld worden en gebruikt worden voor ontwikkeling van intertidale natuur. De bochtafsnijding wordt geïmplementeerd als een nieuwe parallelle tak (zie Figuur 5). De oude tak van de Zeeschelde wordt afgesloten door middel van hoge overlaten. De ontpoldering van Wijmeers is geïmplementeerd in het model als een reservoir. De oppervlakte-hoogterelatie voor dit reservoir wordt aangepast.

4.2.5 Bochtafsnijding Uitbergen

De bocht van Uitbergen wordt afgesneden door middel van een nieuw kanaal in het GOG-GGG Bergenmeersen. Dit gebied zal volledig ontpolderd worden. De bochtafsnijding wordt in het model geïmplementeerd door middel van een nieuwe parallelle tak (zie Figuur 5). De oude tak van de Zeeschelde wordt in het model afgesloten door middel van hoge overlaten. Deze tak zal opgevuld worden voor de creatie van estuariene natuur. De berging is opgenomen in de dwarsdoorsneden van de riviertak van de bochtafsnijding.

De schematisatie van het gebied Bergenmeersen wordt gewijzigd van parallelle takken naar reservoir. De in- en uitwateringsconstructies worden verwijderd.

Figuur 5 – Situering bochtafsnijding Hoogland en Uitbergen – C1



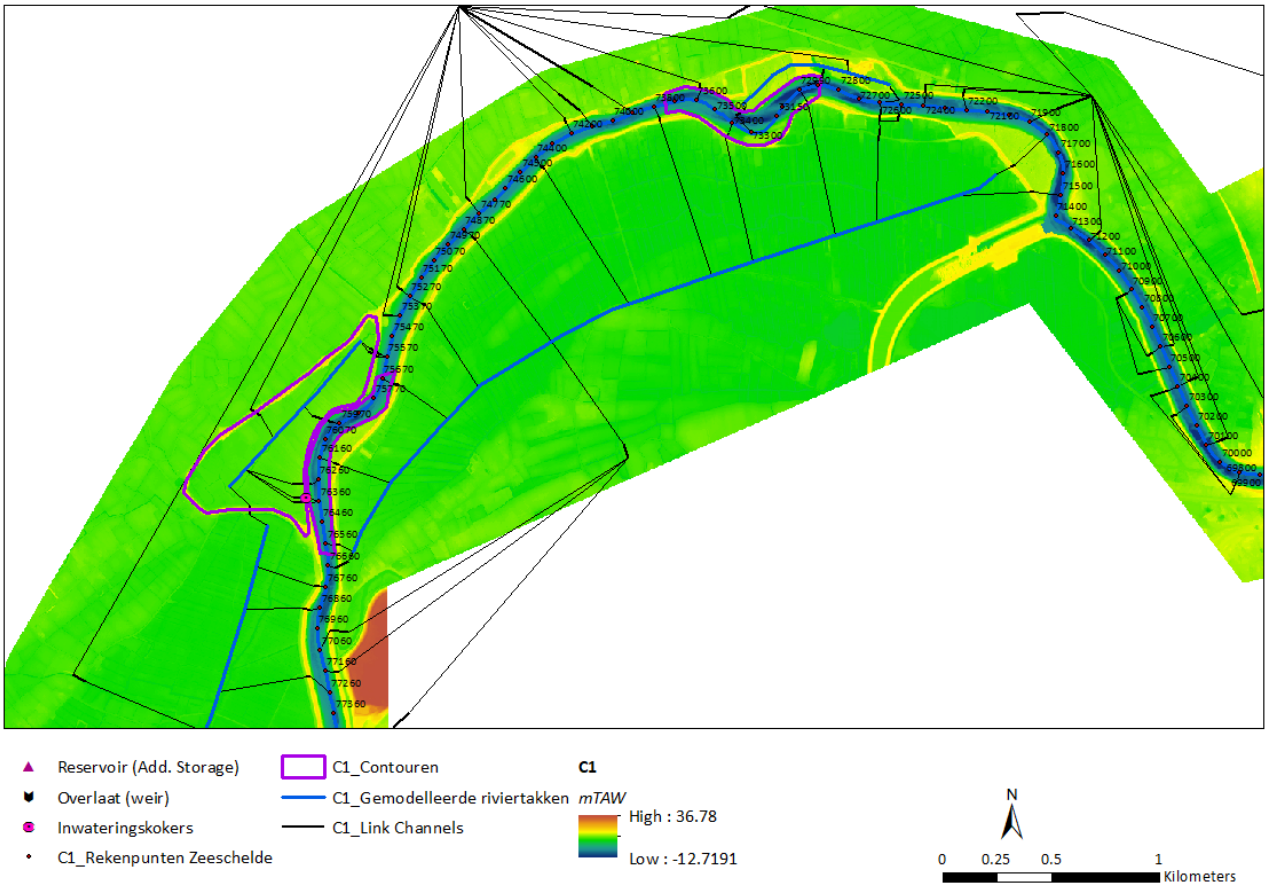
4.2.6 Scheldebroek

GOG Scheldebroek wordt ingericht als GOG met GGG. Hiertoe worden vier inwateringskokers voorzien met een drempelpeil op 4,4 mTAW. Er worden voor het gebied nieuwe dwarsdoorsneden afgeleid. De dwarsdoorsneden van Zeeschelde ter hoogte van het gebied, tussen chainage 75770 en 76360 worden eveneens aangepast op basis van de aangeleverde bathymetrie (zie Figuur 6).

4.2.7 Bocht Kasteeltje

Ter hoogte van de Bocht Kasteeltje wordt in het C1-alternatief de rivierbedding aangepast zoals in het Schaaf-alternatief. Hiertoe worden de dwarsdoorsneden van Zeeschelde van chainage 72900 tot 73700 aangepast (zie Figuur 6).

Figuur 6 – Situering Scheldebroek en bocht Kasteeltje – C1



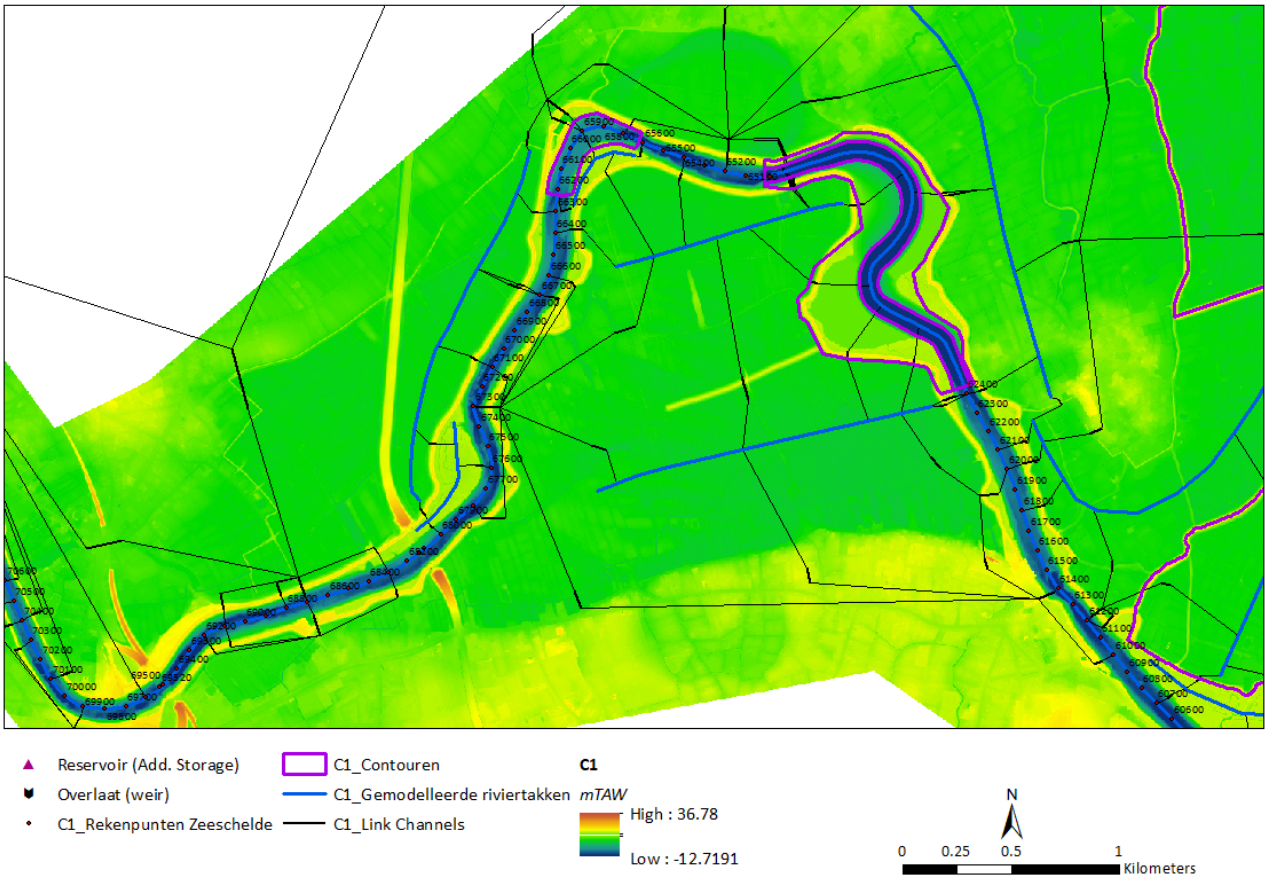
4.2.8 Bocht Waterleiding

Ter hoogte van de bocht Waterleiding wordt in het C1-alternatief de rivierbedding aangepast zoals in het Schaaf-alternatief. Hiertoe worden de dwarsdoorsneden van Zeeschelde van chainage 65700 tot 66200 aangepast (zie Figuur 7).

4.2.9 Bocht Kramp

In het C1-alternatief wordt de bocht de Kramp gedeeltelijk rechtgetrokken. Hierdoor verdwijnt het GOG Uiterdijk. De rechttrekking wordt in het model geïmplementeerd door middel van een nieuwe riviertak. Het deel van de riviertak Zeeschelde tussen chainage 62400 en 64990 wordt verwijderd (zie Figuur 7). De overloopdijken naar het GOG Vlassenbroek blijven wel behouden.

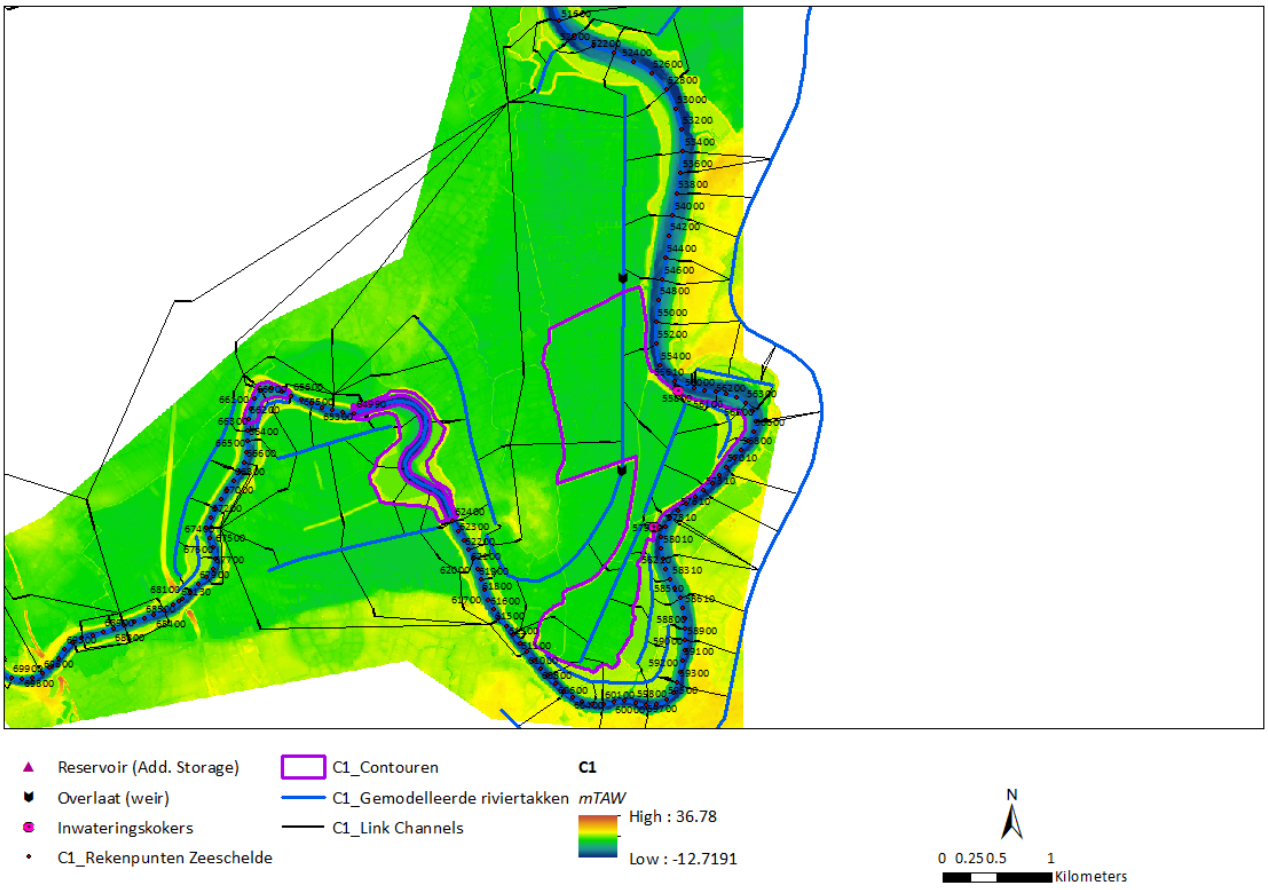
Figuur 7 – Situering bocht Waterleiding en Kramp – C1



4.2.10 Blankaart

In het C1-alternatief wordt het gebied 'Blankaart' aangetakt aan het GOG-GGG Wal-Zwijn. Er wordt geen tussendijk voorzien. Voor GOG Blankaart wordt gebruik gemaakt van een bestaande riviertak die afgesloten wordt door hoge overlaten. Het GOG Blankaart wordt verbonden met de Zeeschelde door middel van een overloopdijk (link channel) op een hoogte van 6,7 mTAW. Voor de gebieden Wal en Zwijn worden respectievelijk drie en vier GGG-inwateringskokers voorzien, met een drempelpeil op 4 mTAW en verschillende hoogtes van schotbalken, en evenveel uitwateringskokers met een drempelpeil op 1,5 mTAW. Voor GOG Blankaart worden drie uitwateringskokers voorzien met een drempelpeil op 1,5 mTAW.

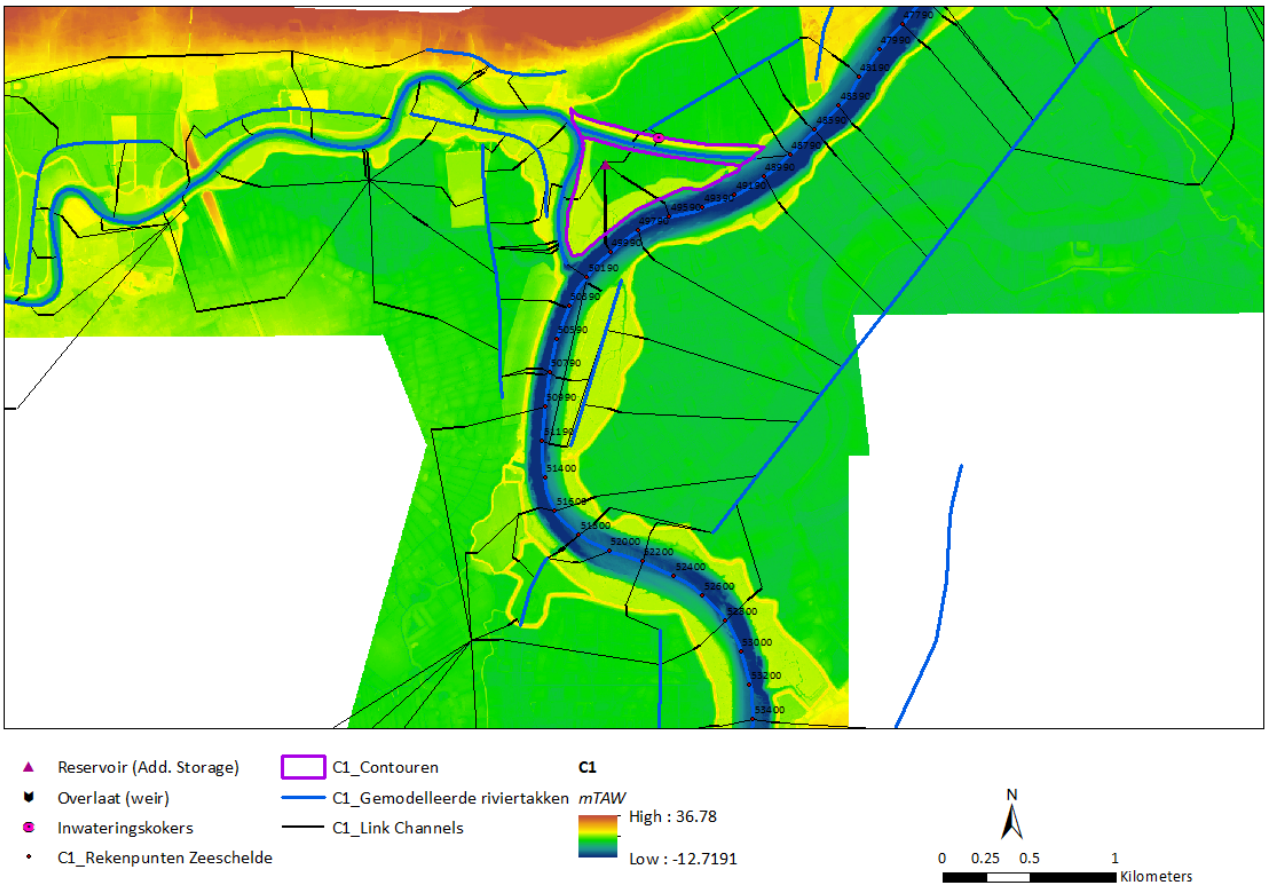
Figuur 8 – Situering Blankaart – C1



4.2.11 Durmemonding

Aan de monding van de Durme wordt in de C-alternatieven een bijkomende geul voorzien die de Durme en de Zeeschelde verbindt. Deze geul loopt door het GOG-GGG Tielrodebroek. Aan de linkeroever van de geul wordt een nieuwe overloopdijk voorzien naar het GOG met een hoogte van 6,6 mTAW. Langs de rechteroever ligt een eiland tussen de geul, de Zeeschelde en de Durme. De bestaande overloopdijk op dit eiland wordt afgegraven. Deze geul wordt in het model geïmplementeerd als nieuwe riviertak tussen de Zeeschelde en de Durme. Het eiland tussenin wordt gemodelleerd als reservoir. De voorziene in- en uitwateringsconstructie voor GOG-GGG Tielrodebroek blijft behouden.

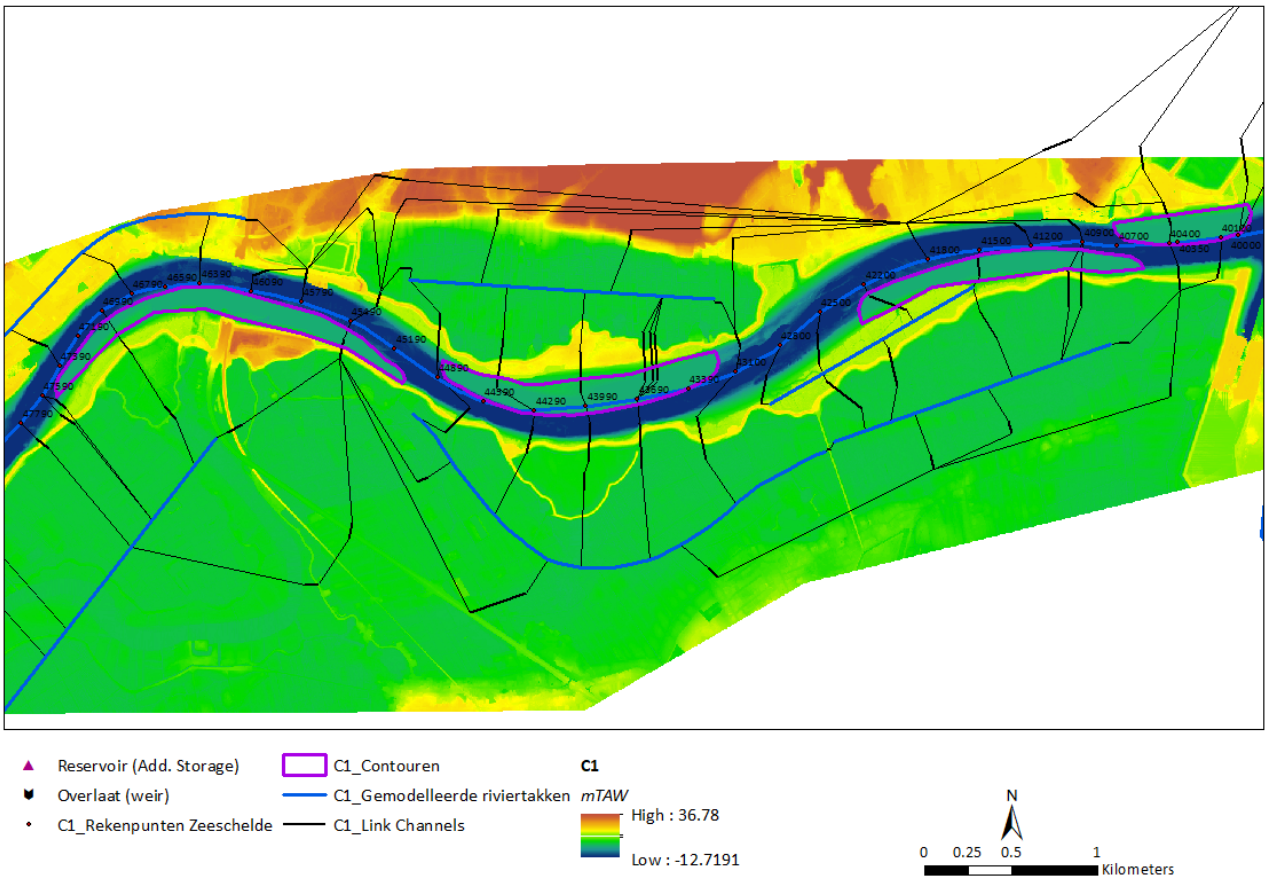
Figuur 9 – Situering ingreep Durmemonding – C1



4.2.12 Bornem

Tussen Temse en Rupelmonde worden lokale verondiepingen voorzien, tot een peil dat niet hoger is dan 0,5 m onder het gemiddeld laagwaterpeil. De dwarsdoorsneden van Zeeschelde worden aangepast van chainage 40000 tot en met 47590 (zie Figuur 10).

Figuur 10 – Situering ingreep Bornem – C1



4.3 C2

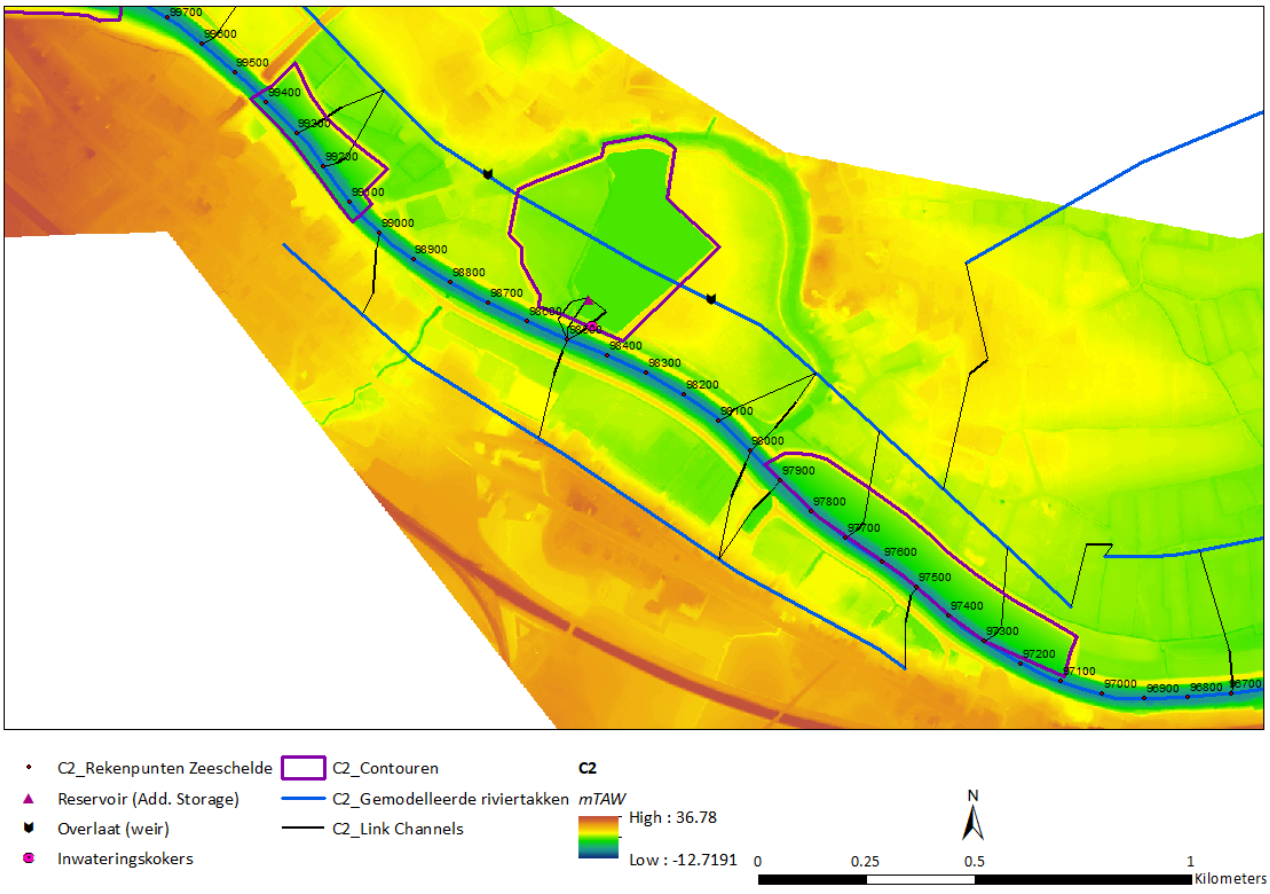
4.3.1 Veerhoek

Ter hoogte van Veerhoek zijn enkele dijken langs de linkeroever nog niet opgehoogd tot Sigmahoogte. Dit biedt de mogelijkheid om de nieuwe dijken meer landinwaarts aan te leggen. Door deze ingreep wordt ruimte gemaakt voor de ontwikkeling van schorren en wordt de rivierdoorsnede eveneens verbreed ten voordele van de bevaarbaarheid. De dwarsdoorsneden van Zeeschelde van chainage 99100 tot en met 99400 worden aangepast in het model (zie Figuur 11).

4.3.2 Ontpoldering Melleham

Het gebied Melleham wordt ingericht met gecontroleerd gereduceerd getij (GGG). Hiertoe worden twee inwateringskokers voorzien met een drempelpeil op 4,4 mTAW, en twee uitwateringskokers met een drempelpeil op 2,5 mTAW. Het gebied wordt in het model geïmplementeerd als een reservoir (zie Figuur 11).

Figuur 11 – Situering ingreep Veerhoek, ontpoldering Melleham en ingreep Bommels – C2



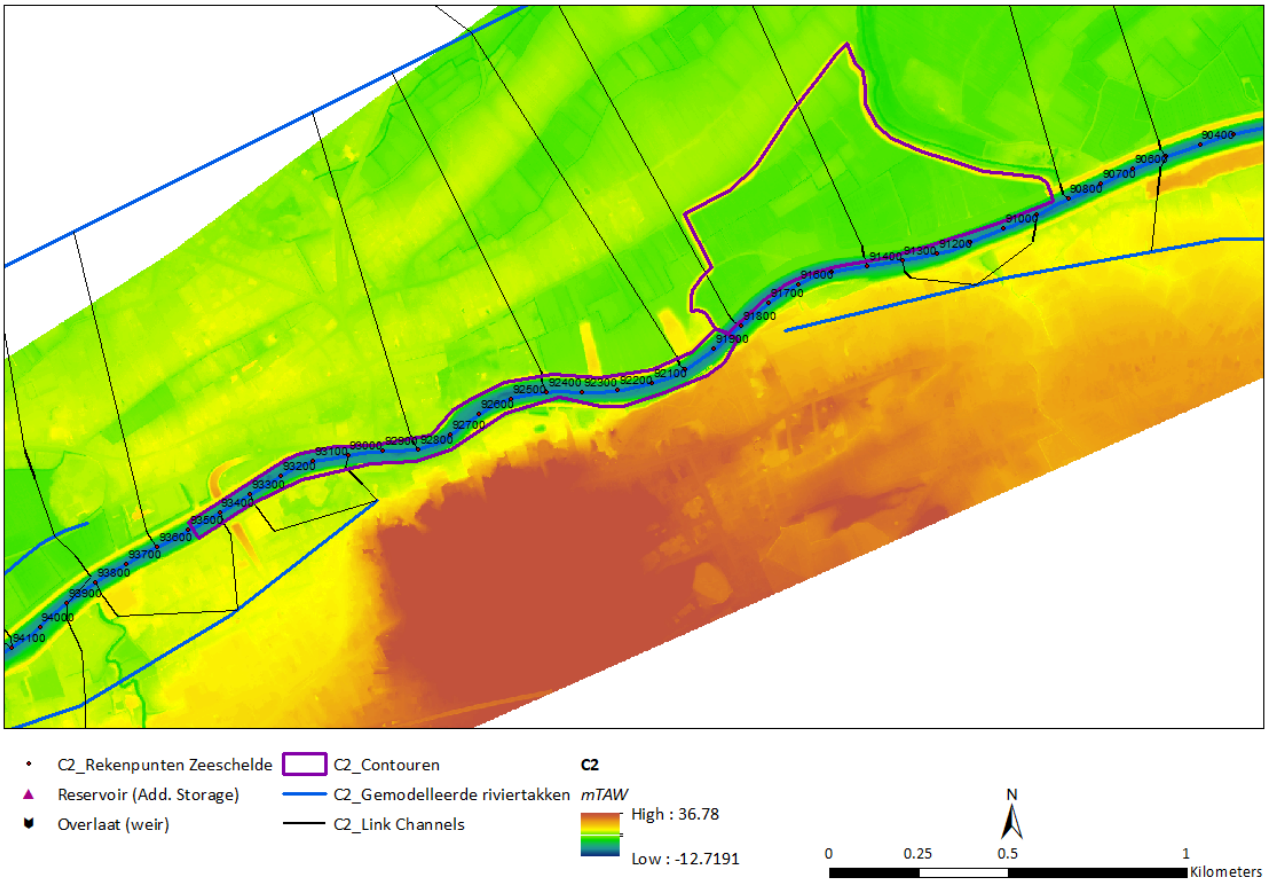
4.3.3 Bommels

Ter hoogte van Bommels is de hoogte van de huidige Scheldedijk langs linkeroever nog niet gelijk aan de Sigmahoogte. Dit geeft de mogelijkheid om de nieuwe dijk meer landinwaarts te bouwen. Hierdoor kan er ruimte gemaakt worden voor de ontwikkeling van schorren in combinatie met een verbreding van de rivierbedding ten behoeve van de navigatie. De aanpassing van de rivierbedding en de dijkverplaatsing worden in het model geïmplementeerd door middel van aangepaste dwarsdoorsneden van Zeeschelde 97100 tot 97900 (zie Figuur 11).

4.3.4 Vaargeul Wetteren

Ter hoogte van Wetteren wordt een aanpassing van de vaargeul voorzien. Hiertoe worden de dwarsdoorsneden van Zeeschelde 91900 tot 93400 aangepast in het model (zie Figuur 12). De dijkhoogte wordt waar nodig manueel aangepast naar 8 mTAW. De ontpoldering ter hoogte van Wetteren blijft behouden (zie §4.2.3).

Figuur 12 – Situering vaargeul en ontpoldering Wetteren – C2



4.3.5 GOG Wijmeers

GOG Wijmeers wordt uitgebreid met een gebied ten noorden van het GOG. Het extra gebied wordt verbonden, aan het westelijk deel van GOG Wijmeers met overloopdijk op 7,05 mTAW, door een verlaging in de ringdijk van GOG Wijmeers tot 3,8 mTAW. Dit extra gebied wordt in het model geïmplementeerd als extra parallelle tak. De uitwatering van GOG Wijmeers west wordt verdubbeld om beide gebieden voldoende snel te laten uitwateren. Bij het oostelijk deel van het GOG blijft de overloopdijkhoogte behouden op 6,85 mTAW.

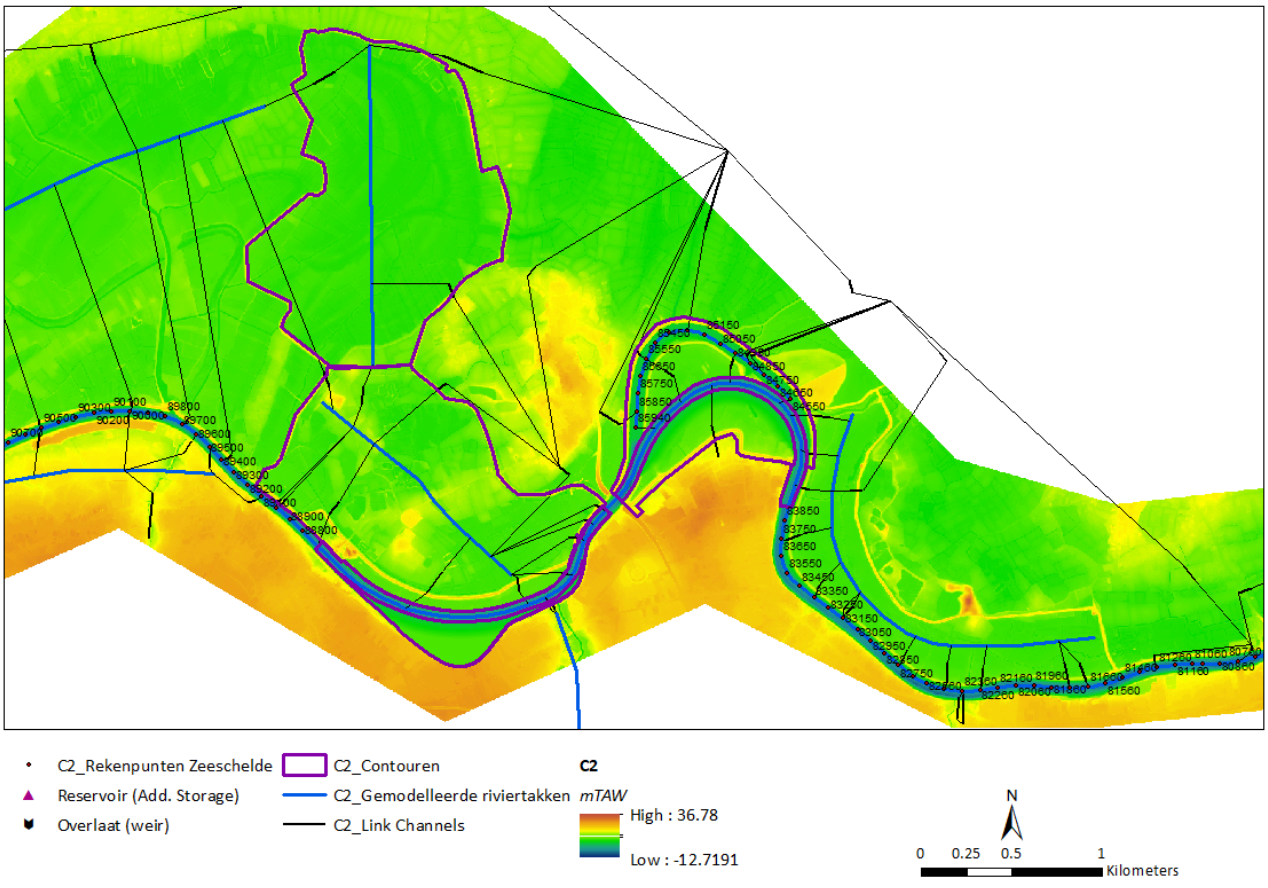
4.3.6 Bochtafsnijding Hoogland

De bochtafsnijding ter hoogte van Hoogland wordt verplaatst tot de noordelijke dijk van de ontpoldering van Wijmeers. De bochtafsnijding wordt in het model geïmplementeerd als nieuwe riviertak. Zowel de ontpoldering van Wijmeers als de oude riviertak van de Zeeschelde worden opgenomen in de brede dwarsdoorsneden van de nieuwe riviertak.

4.3.7 Bochtafsnijding Uitbergen

De bochtafsnijding ter hoogte van Uitbergen wordt verder naar zuiden verplaatst doorheen het GOG-GGG Bergenmeersen, volgens de oude meander. De huidige riviertak van de Zeeschelde blijft behouden, maar wordt opgevuld tot 0,5 m onder gemiddeld laagwaterpeil. Het resterend gebied van Bergenmeersen wordt ontpolderd. De bochtafsnijding wordt in het model geïmplementeerd als een nieuwe riviertak. De ontpoldering wordt hierin meegenomen als brede dwarsdoorsneden op deze riviertak. De dwarsdoorsneden op het deel van de riviertak Zeeschelde die behouden blijft, worden aangepast (84550-85940).

Figuur 13 – Situering GOG Wijmeers, bochtafsnijding Hoogland en bochtafsnijding Uitbergen – C2



4.3.8 Oude Broekmeer en Sint-Onolfspolder

De gebieden Oude Broekmeer en Sint-Onolfspolder worden ontpolderd met een nevengeul doorheen het gebied. Deze gebieden worden in het model geïmplementeerd als nieuwe parallelle takken (zie Figuur 14 en Figuur 15). De dijken van de Zeeschelde ter hoogte van de gebieden worden verlaagd, tot 3,1 mTAW ter hoogte van Oude Broekmeer, en tot 2,88 mTAW ter hoogte van Sint-Onolfspolder.

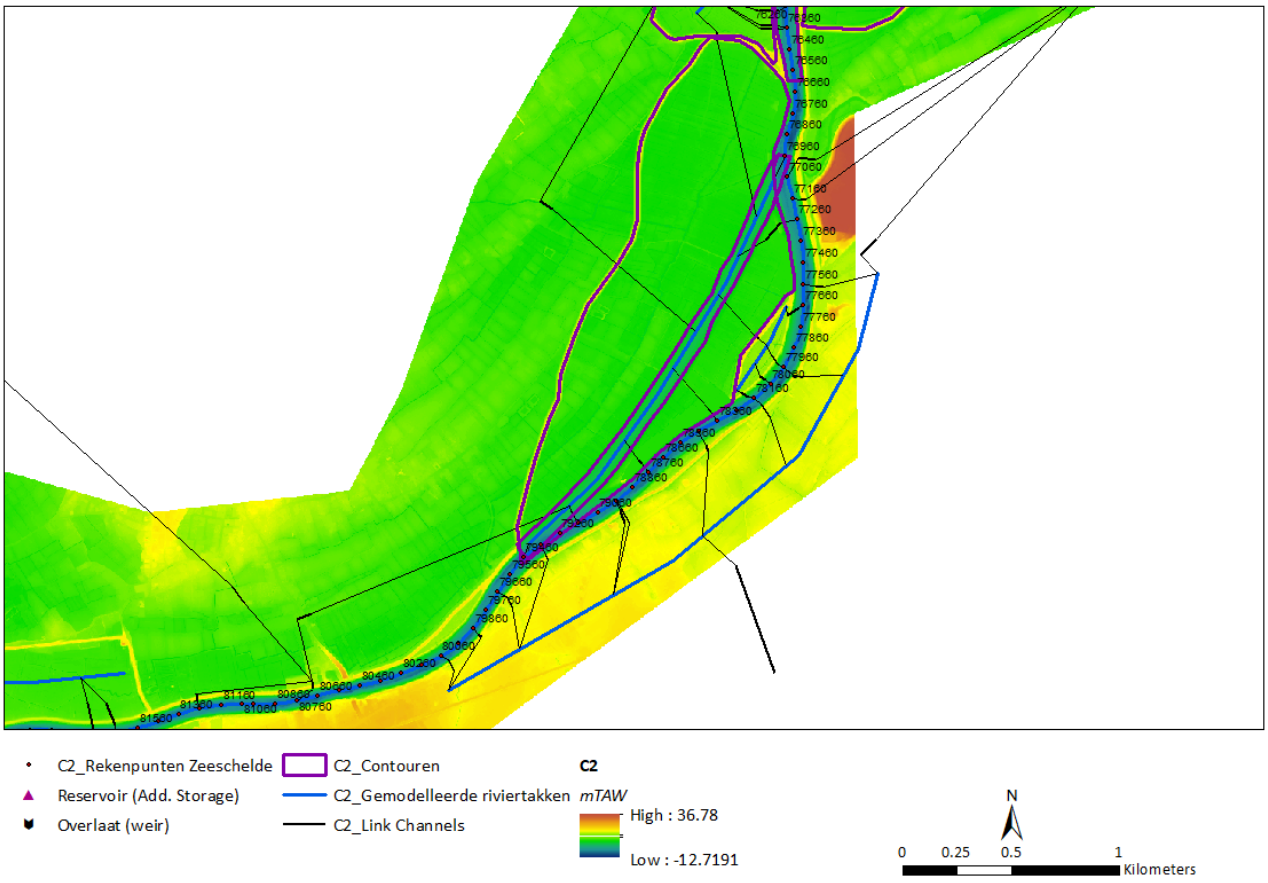
4.3.9 Bocht Kasteeltje

De bocht nabij Kasteeltje wordt verbreed, waarbij ook omstandigheden gecreëerd worden voor de ontwikkeling van slikken en schorren. Hiertoe wordt een nieuwe riviertak geïmplementeerd in het model tussen Zeeschelde 72900 en 73900 (zie Figuur 15).

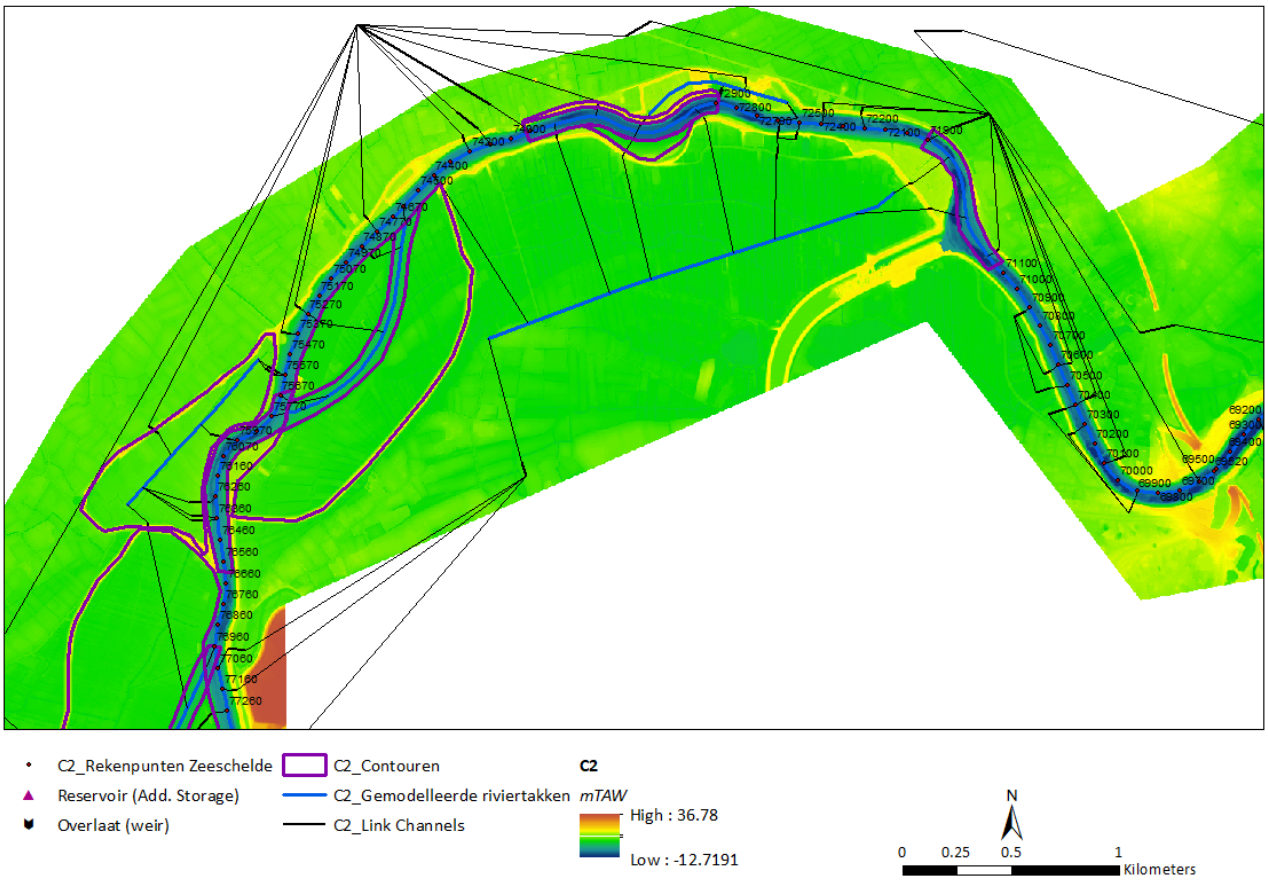
4.3.10 Bocht Dender

De bocht nabij de monding van de Dender wordt rechtgetrokken. Het bestaande schor opwaarts langs de rechteroever wordt hierbij behouden. De bocht wordt geïmplementeerd in het model als een nieuwe riviertak tussen Zeeschelde 71100 en 71900 (zie Figuur 15).

Figuur 14 – Situering Oude Broekmeer – C2



Figuur 15 – Situering Sint-Onolfspolder, bocht Kasteeltje en bocht Dender – C2



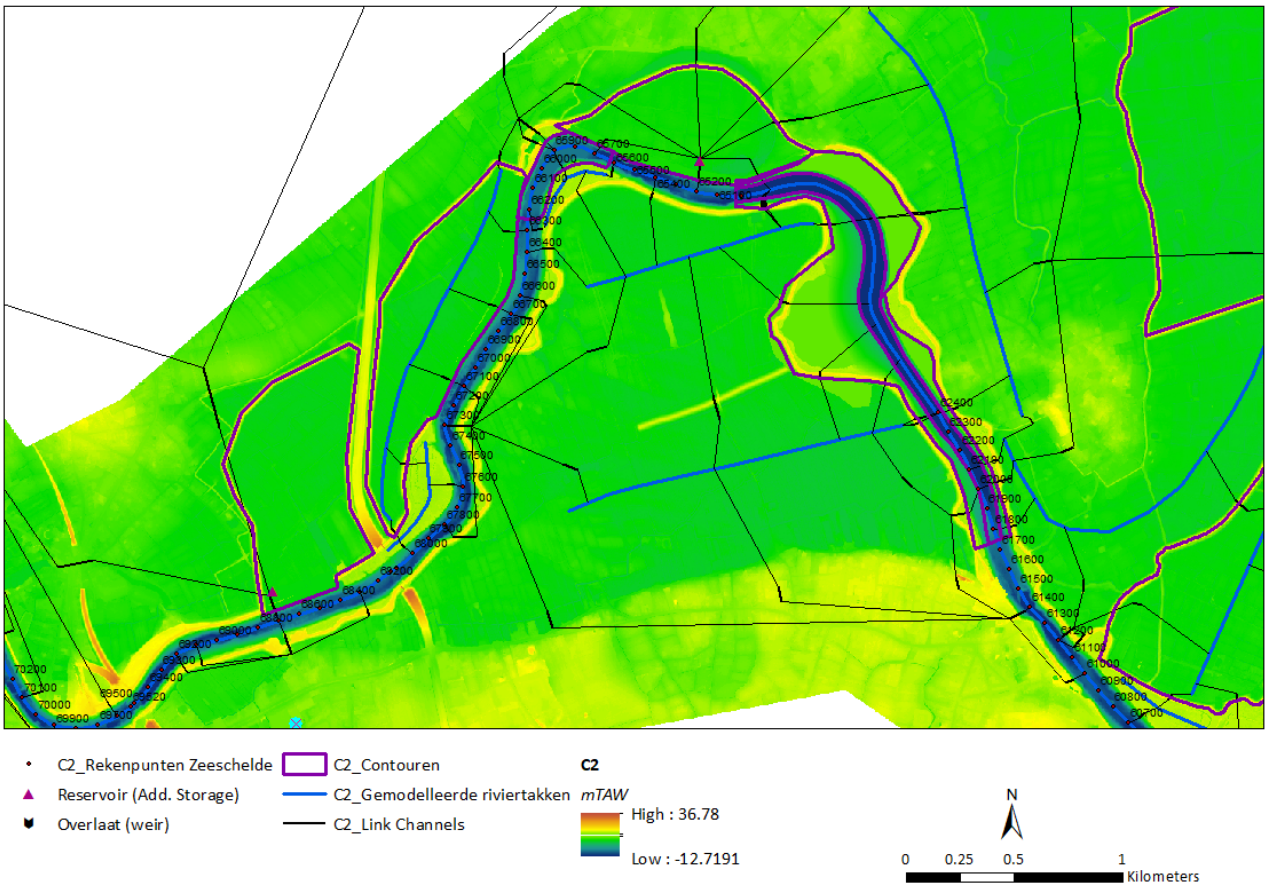
4.3.11 Ontpoldering Grembergenbroek, Armenput en Roggeman

Drie nieuwe gebieden worden ontpolderd: Grembergenbroek, Armenput en Roggeman. De ontpolderingen van Grembergenbroek en Roggeman worden geïmplementeerd als reservoir. De ontpoldering van Armenput wordt geïmplementeerd als parallelle tak (zie Figuur 16).

4.3.12 Bocht Kramp

De bochtafsnijding van de Kramp wordt geïmplementeerd als een nieuwe riviertak tussen Zeeschelde 62400 en 64990 (zie Figuur 16). Enkele dwarsdoorsneden van Zeeschelde net afwaarts deze nieuwe tak worden eveneens aangepast.

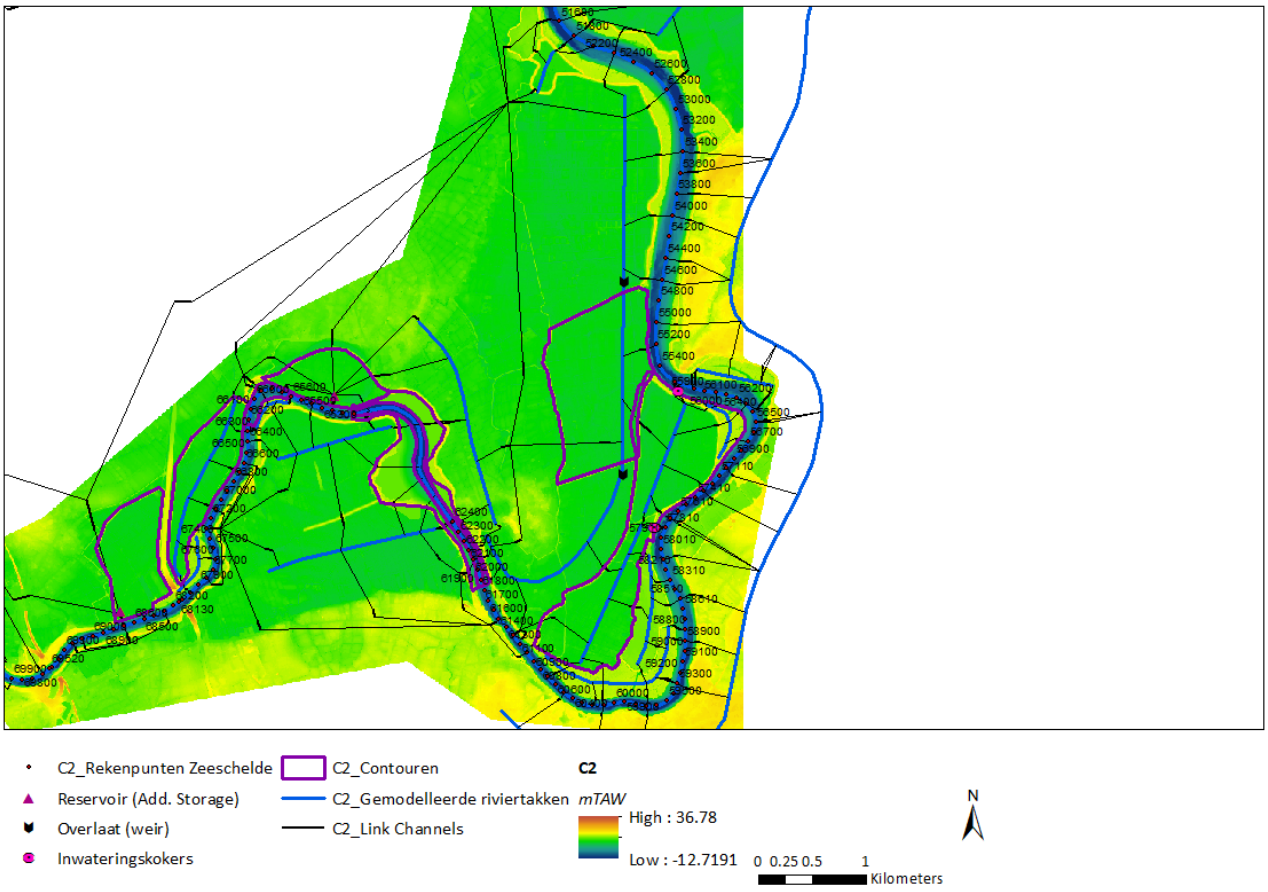
Figuur 16 – Situering ontpoldering Grembergenbroek, Armenput en Roggeman, en bocht Kramp – C2



4.3.13 Blankaart

Het gebied Blankaart wordt ontpolderd. De schematisatie van het gebied blijft ongewijzigd (zie Figuur 17). Tussen Blankaart en GOG Zwijn wordt een dijk geplaatst met een hoogte van 8 mTAW. De dijk tussen de Zeeschelde en Blankaart wordt verlaagd tot 2,24 mTAW. De uitwatering van Blankaart wordt verwijderd.

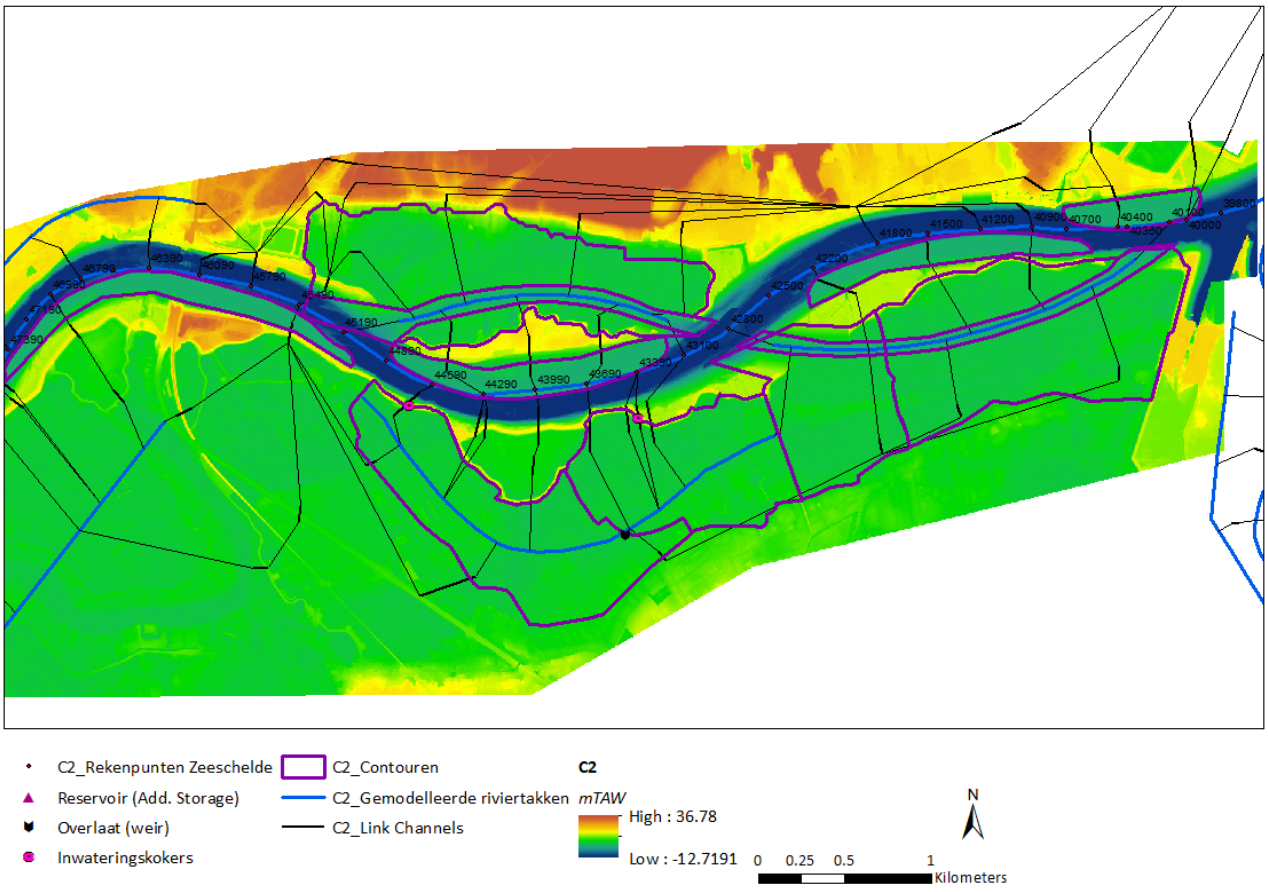
Figuur 17 – Situering Blankaart – C2



4.3.14 Bornem

De verondiepingen tussen Temse en Rupelmonde worden gecombineerd met twee nevengeulen: één door Schouselbroek en één door Oudbroekpolder. Deze nevengeulen worden geïmplementeerd als nieuwe riviertakken (zie Figuur 18). Om het verlies van de GOG's te compenseren worden de gebieden Hingene Broekpolder en Spierbroekpolder ingericht als GOG-GGG, met een overloopdijk op 6,85 mTAW. De bestaande riviertak voor deze gebieden blijft behouden in het model, en de dwarsdoorsneden worden aangepast. De gebieden worden gescheiden door een overlaat op 8,35 mTAW. Er wordt GGG-inwatering en GOG-uitwatering voorzien met vier kokers voor Hingene Broekpolder en vijf kokers voor Spierbroekpolder.

Figuur 18 – Situering ingrepen Bornem – C2

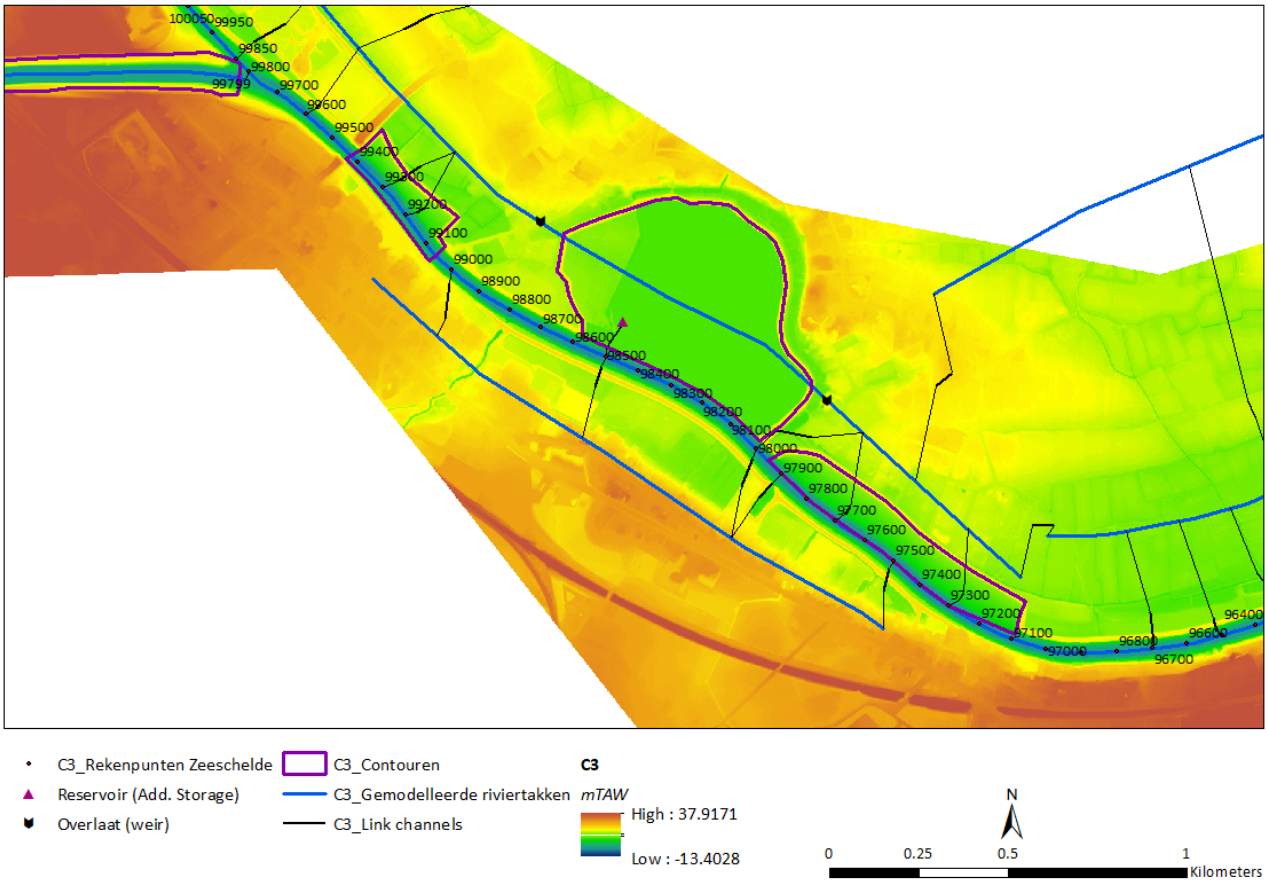


4.4 C3

4.4.1 Ontpoldering Melleham

De ontpoldering van Melleham wordt verder uitgebreid. Hiertoe wordt de hoogte-oppervlakte van het reservoir aangepast (zie Figuur 19). De verbinding met de Zeeschelde wordt gerealiseerd door een verlaging van de Scheldedijk tot 4 mTAW over 500 m. Hiertoe wordt een link channel aangepast. De in- en uitwateringskokers worden verwijderd.

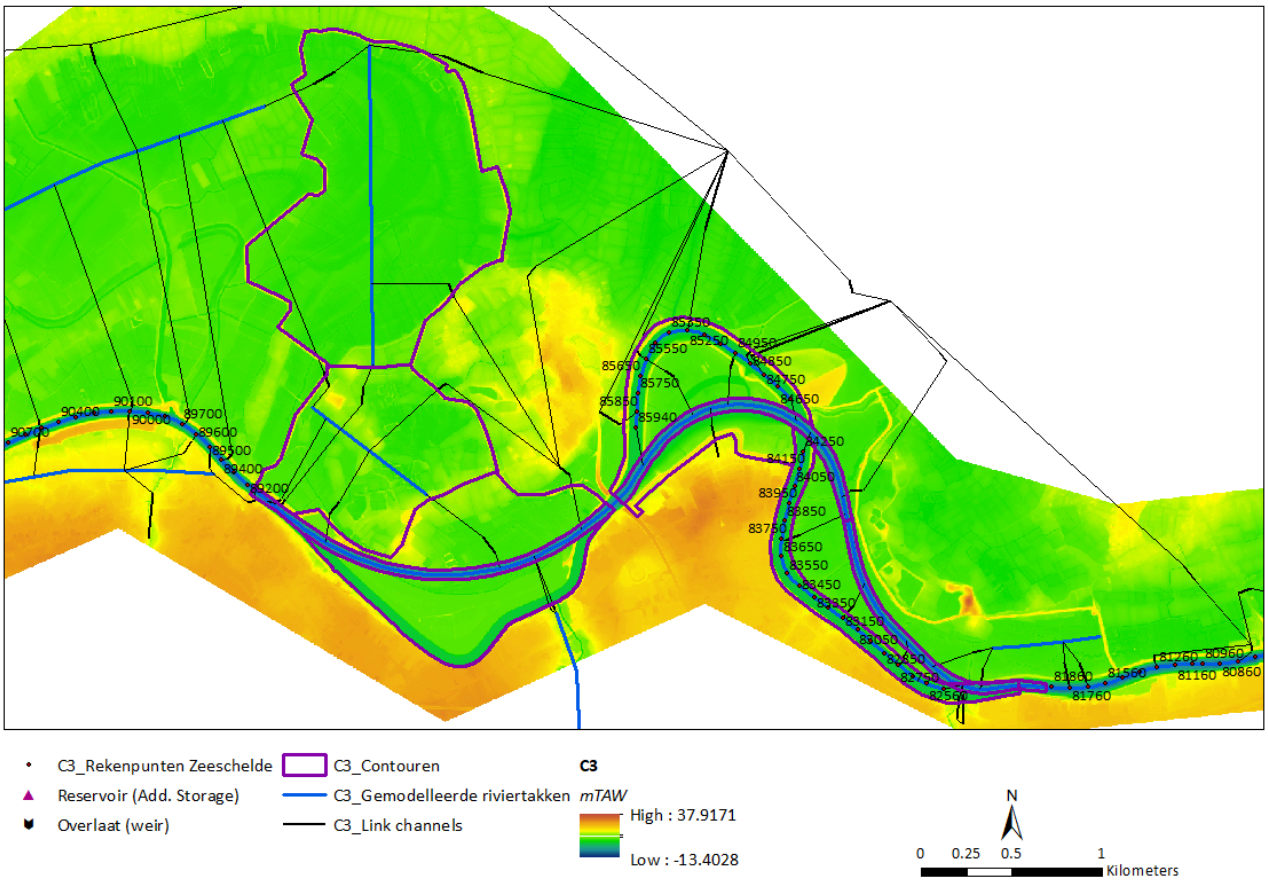
Figuur 19 – Situering ontpoldering Melleham – C3



4.4.2 GOG Wijmeers en bochtafsnijding Hoogland, Uitbergen en Paardeweide

Er wordt een nieuwe bochtafsnijding gerealiseerd door een combinatie van de bochtafsnijdingen van Hoogland, Uitbergen en Paardeweide. Deze loopt door de GOG's Wijmeers, Bergenmeersen en Paardeweide en wordt geïmplementeerd als één nieuwe riviertak (zie Figuur 20). GOG Wijmeers wordt sterk verkleind. Voor het overblijvende westelijk deel wordt een nieuwe parallelle tak getekend. Het oostelijke deel van het GOG wordt ontpolderd. Deze ontpoldering is geïmplementeerd als verbrede dwarsdoorsneden op de nieuwe riviertak. Ook het overige deel van GOG Bergenmeersen wordt ontpolderd. Dit wordt op dezelfde wijze geïmplementeerd als ontpoldering Wijmeers. Een deel van de oude geul van de Zeeschelde ter hoogte van Bergenmeersen en Paardeweide blijft behouden als nevengeul, met verondiepte bodem. Hiertoe blijven twee stukken van de riviertak van de Zeeschelde behouden met aangepaste dwarsdoorsneden. Ook GOG Paardeweide wordt ontpolderd naast de nieuwe geul. Een deel van de ontpoldering wordt geïmplementeerd als verbrede dwarsdoorsneden op de nieuwe riviertak. Het meest oostelijk deel wordt geïmplementeerd als een nieuwe parallelle tak die op maaiveldhoogte verbonden is met de nieuwe riviertak.

Figuur 20 – Situering GOG Wijmeers en bochtafsnijdingen Hoogland, Uitbergen en Paardeweide – C3



4.4.3 Oude Broekmeer, Sint-Onolfspolder en bocht Kasteeltje

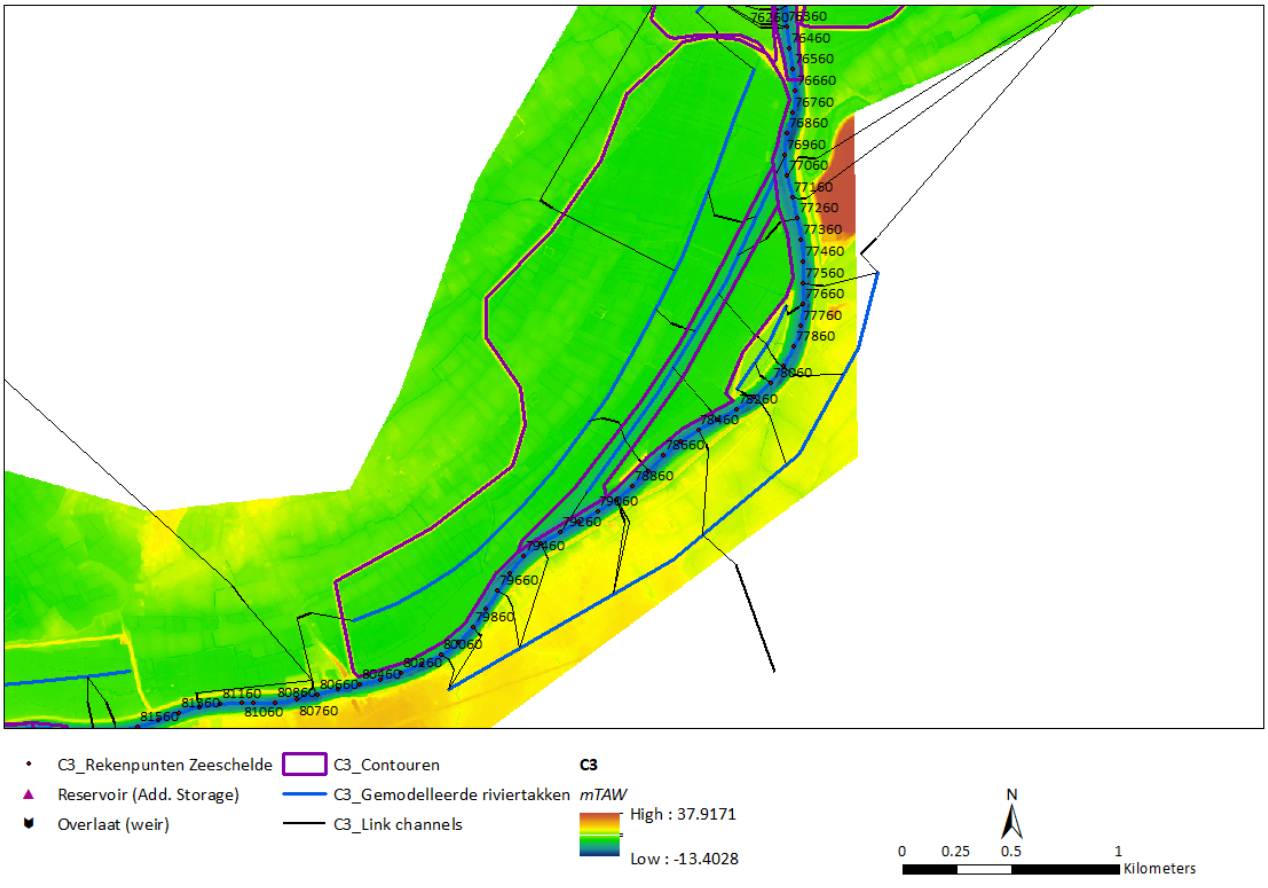
De ontpolderingen van Oude Broekmeer en Sint-Onolfspolder worden verder uitgebreid. Door beide gebieden loopt een nevengeul. Voor deze nevengeul wordt in beide gebieden een nieuwe riviertak voorzien en een bijkomende parallelle tak voor het overstromingsgebied aan de andere zijde ten opzichte van de Zeeschelde (zie Figuur 21 en Figuur 22).

De nevengeul van Sint-Onolfspolder takt aan op de bochtafsnijding ter hoogte van Kasteeltje. Deze bochtafsnijding wordt geïmplementeerd als een nieuwe riviertak met aangepaste dwarsdoorsneden, tussen Zeeschelde 72500 en 74000 (zie Figuur 22).

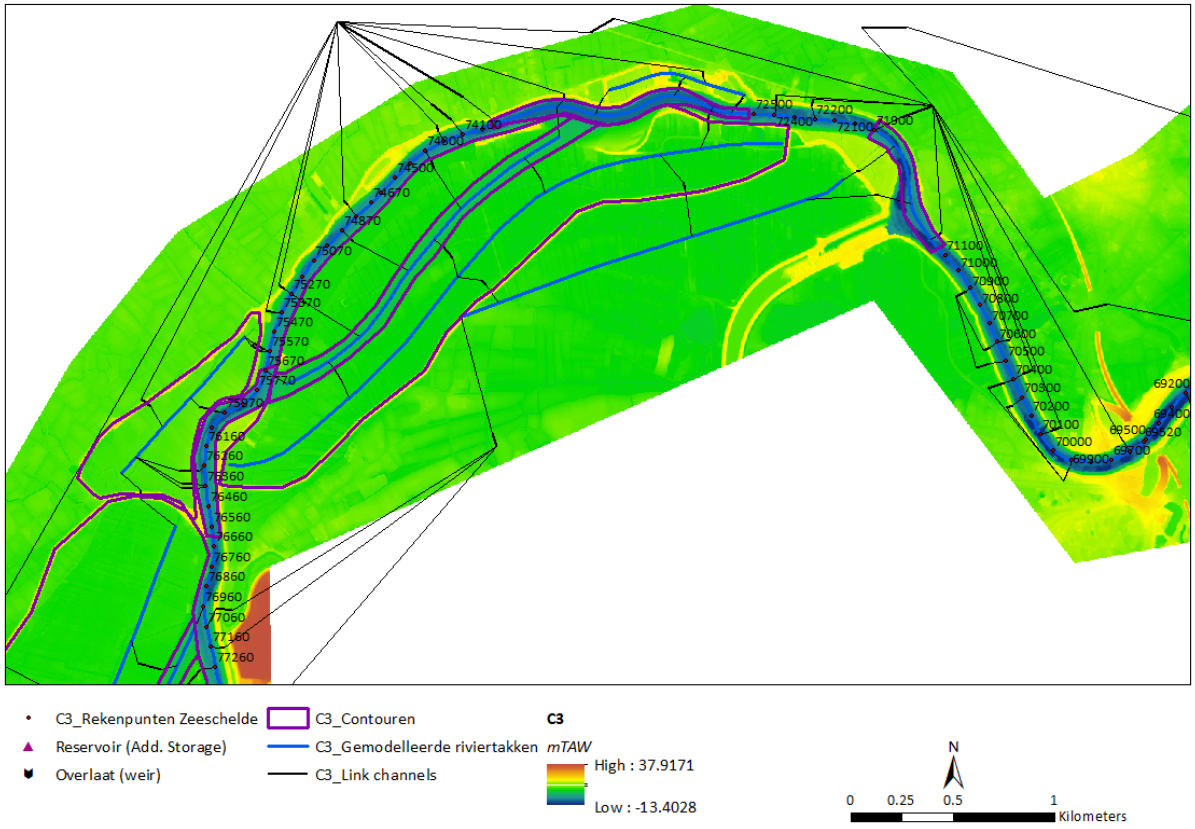
4.4.4 Ontpoldering Roggeman

De ontpoldering van Roggeman wordt verder uitgebreid. Hiertoe wordt de hoogte-oppervlakte van het reservoir aangepast (zie Figuur 23).

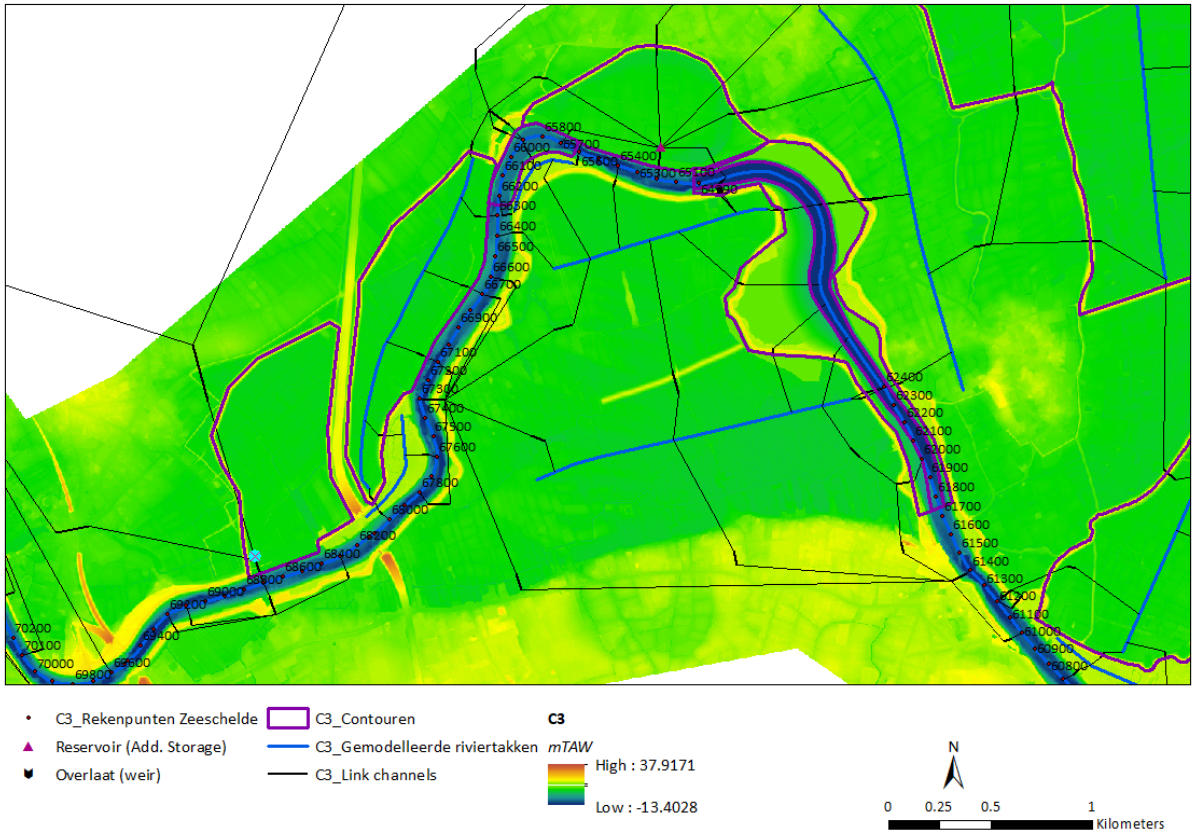
Figuur 21 – Situering Oude Broekmeer – C3



Figuur 22 – Situering Sint-Onolfspolder en bocht Kasteeltje – C3



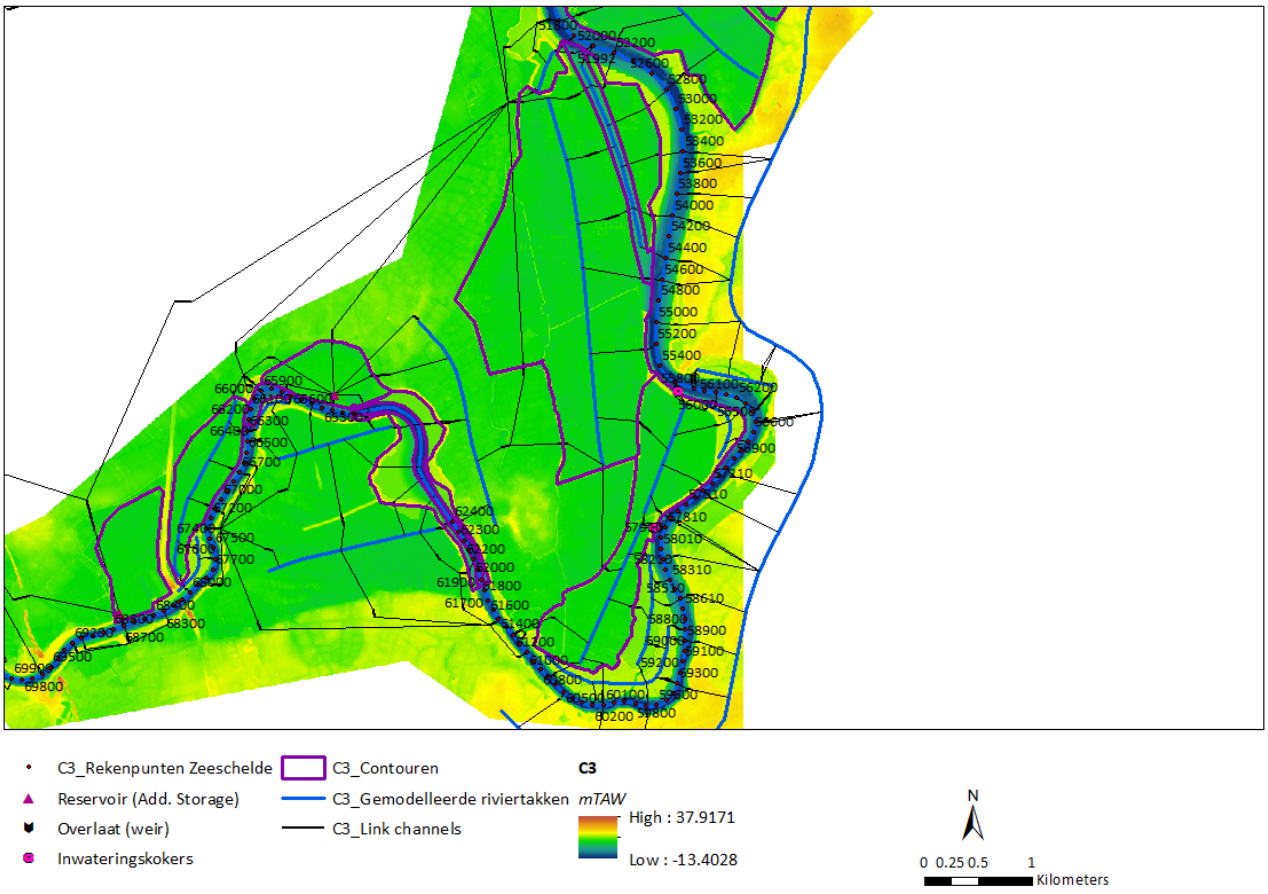
Figuur 23 – Situering ontpoldering Roggeman – C3



4.4.5 Blankaart en Akkershoofd

Ter hoogte van de Blankaart en het noordelijker gelegen Akkershoofd wordt een grote ontpoldering gerealiseerd met een nevengeul door het gebied. Deze nevengeul wordt geïmplementeerd als een nieuwe riviertak en een bijkomende parallelle tak voor het overstromingsgebied aan de andere zijde ten opzichte van de Zeeschelde (zie Figuur 24). GOG-GGG Wal-Zwijn blijft ongewijzigd ten opzichte van het C2-alternatief.

Figuur 24 – Situering ontpoldering Blankaart en Akkershoofd – C3



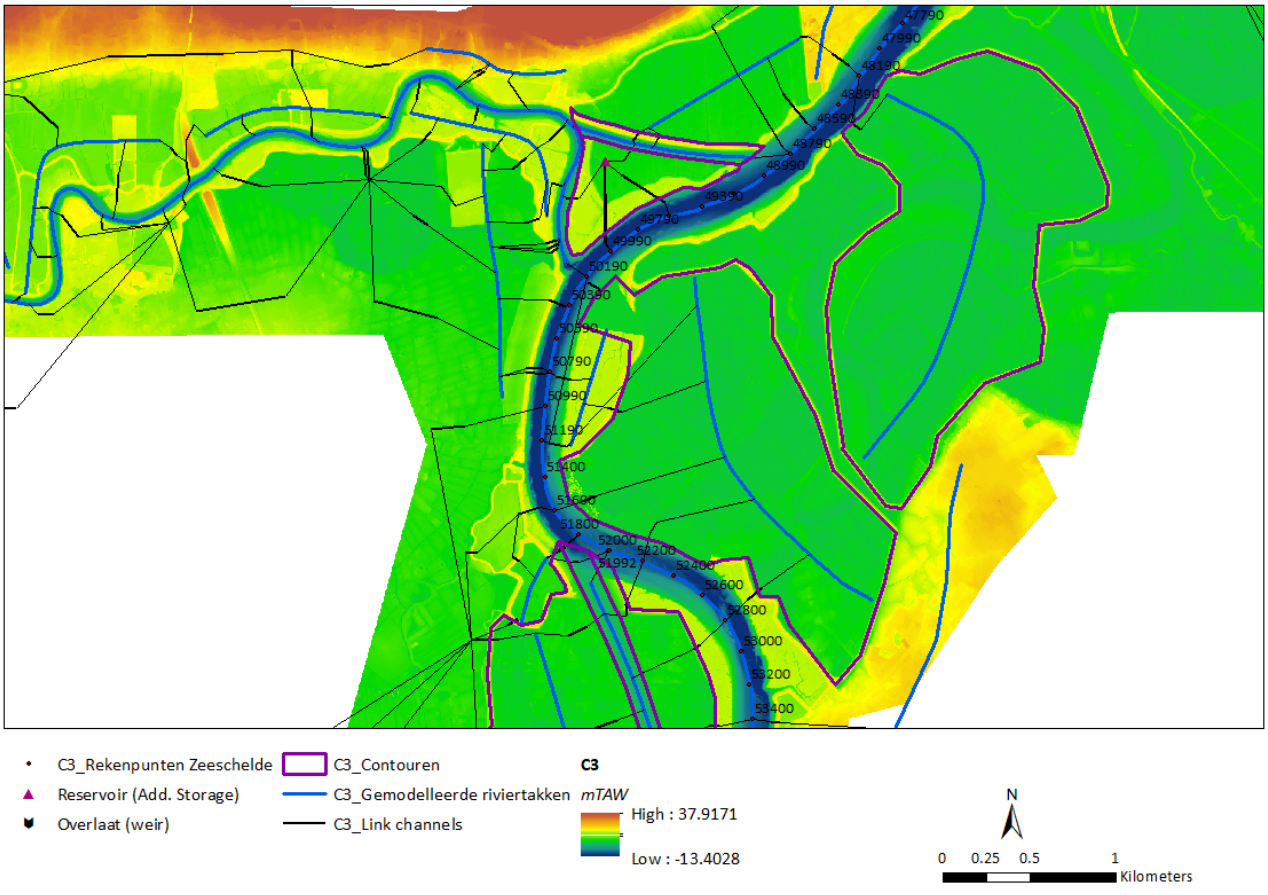
4.4.6 Ontpoldering Weert

Ter hoogte van Weert worden twee grote gebieden ontpolderd. Hiervoor worden twee nieuwe riviertakken geïmplementeerd (zie Figuur 25). De westelijke ontpoldering is op twee locaties verbonden met de Zeeschelde door middel van dijkverlaging tot 1,9 mTAW over 300 en 1000 m. De oostelijke ontpoldering is op één locatie verbonden met de Zeeschelde door middel van een dijkverlaging tot 1,9 mTAW over 400 m.

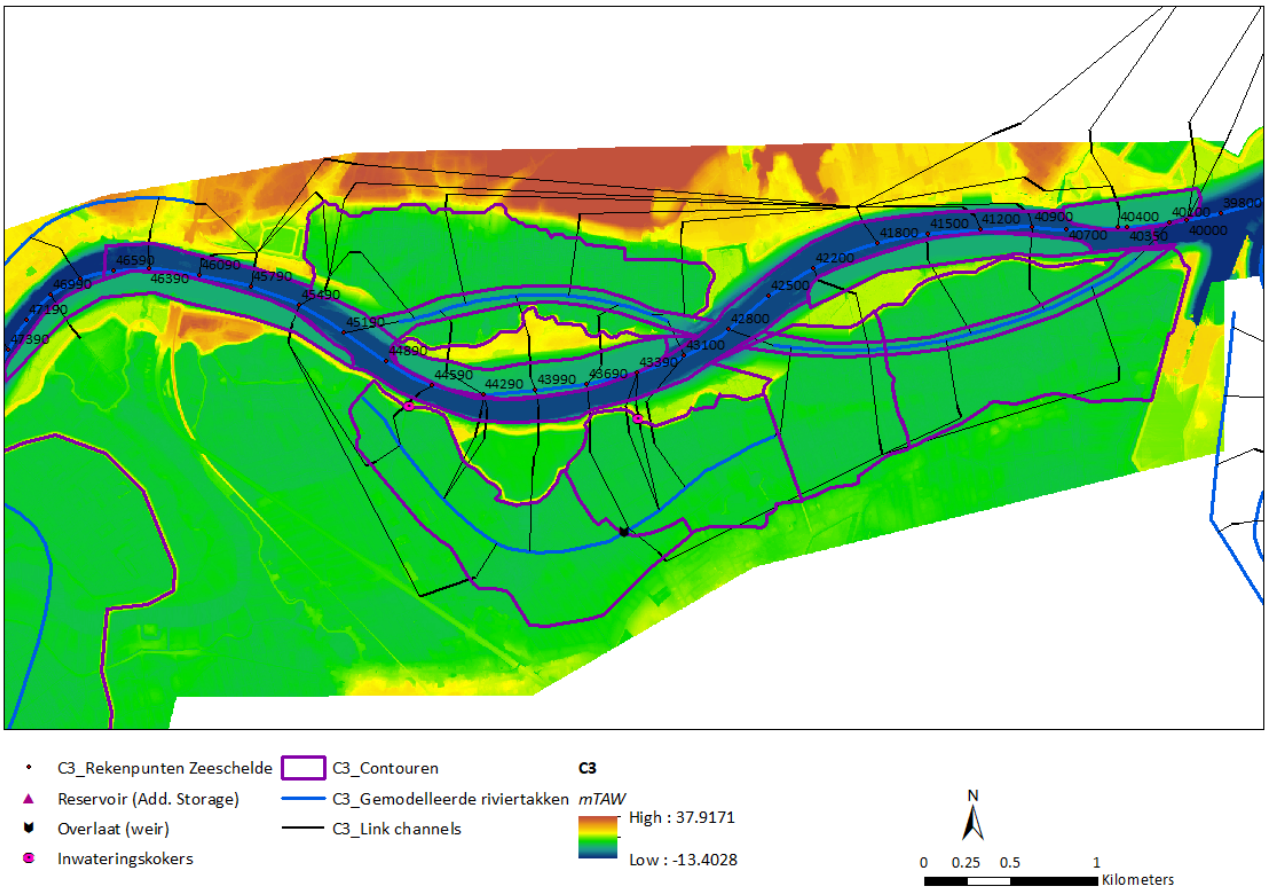
4.4.7 Bornem

De ingrepen uit alternatief C2 tussen Temse en Rupelmonde worden gecombineerd met een verondieping van de hoofdgeul tot een diepte van -5,3 mTAW. Hiertoe worden de dwarsdoorsneden van Zeeschelde 40000 tot 47590 aangepast (zie Figuur 26).

Figuur 25 – Situering ontpolderingen Weert – C3



Figuur 26 – Situering ingrepen Bornem – C3



5 Veiligheidstoets – Analyse over de verschillende terugkeerperiodes

In een eerste stap van de veiligheidstoets worden de verschillende alternatieven geanalyseerd bij stormcondities.

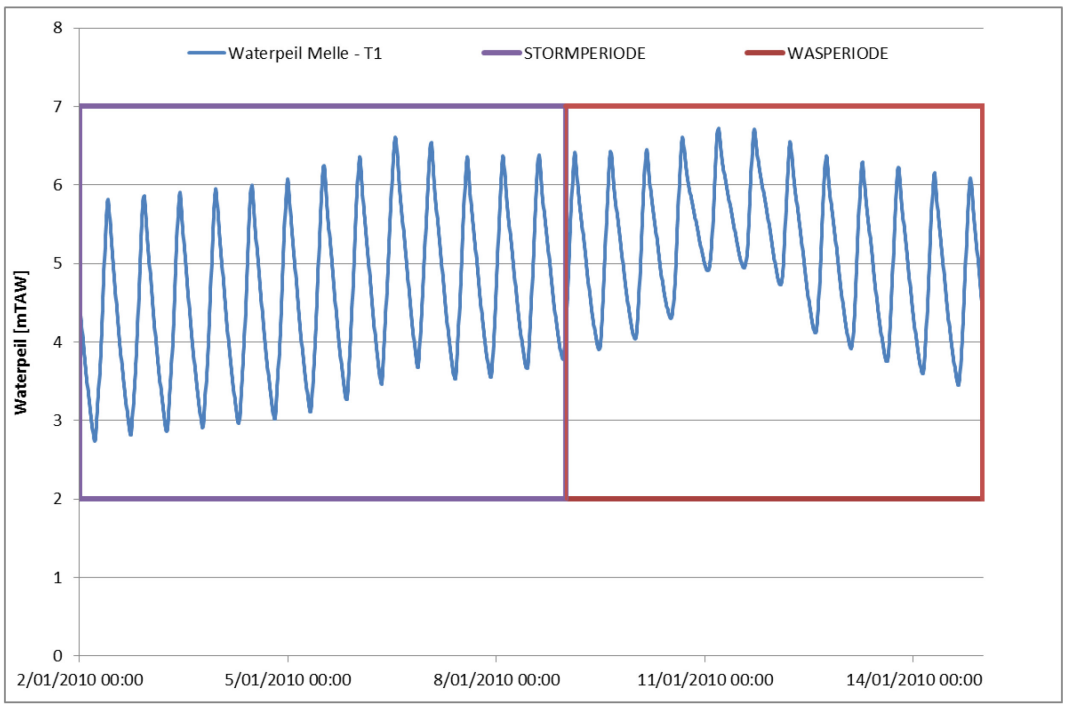
Het REF-2050-C-alternatief wordt vergeleken ten opzichte van het REF-2050-B-scenario. De C-alternatieven worden vergeleken ten opzichte van het REF-2050-C-alternatief op basis van de maximale hoogwaterpeilen op de Zeeschelde, tijdens de composietstormen. Voor alle alternatieven worden de composietstormen met terugkeerperioden van 1, 10, 50, 100, 1000 en 4000 jaar bekeken.

In een composietberekening kan onderscheid gemaakt worden tussen twee perioden, nl. de stormperiode en de wasperiode. Bij de stormperiode worden de hoogwaters opgestuwd door hogere waterstanden en wind in Vlissingen. Tijdens de wasperiode treedt een verhoogd debiet op aan de opwaartse rand van het model, wat leidt tot hogere waterstanden. Omdat bepaalde ingrepen meer effect hebben op getij-indringing (bij storm) dan wel op bovenafvoer, wordt bij de vergelijking van de maximale waterstanden onderscheid gemaakt tussen stormperiode en wasperiode (zie Figuur 20). Op de lengteprofielen wordt het maximum waterpeil bij was enkel weergegeven wanneer dit, in één van beide alternatieven, hoger is dan het maximum waterpeil bij storm.

Op de lengteprofielen staan verschillende locaties langs de Zeeschelde aangegeven. Het label van de GOG's staat op de hoogte van de overloopdijk van deze gebieden.

Bij de verschillende alternatieven wordt eveneens een overzicht gegeven van de maximum waterpeilen in de bestaande gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde, voor het alternatief ten opzichte van REF-2050-C, als H-H-plots[1].

Figuur 27 – Waterpeil te Melle (REF-2050-C, T1) met aanduiding van storm- en wasperiode



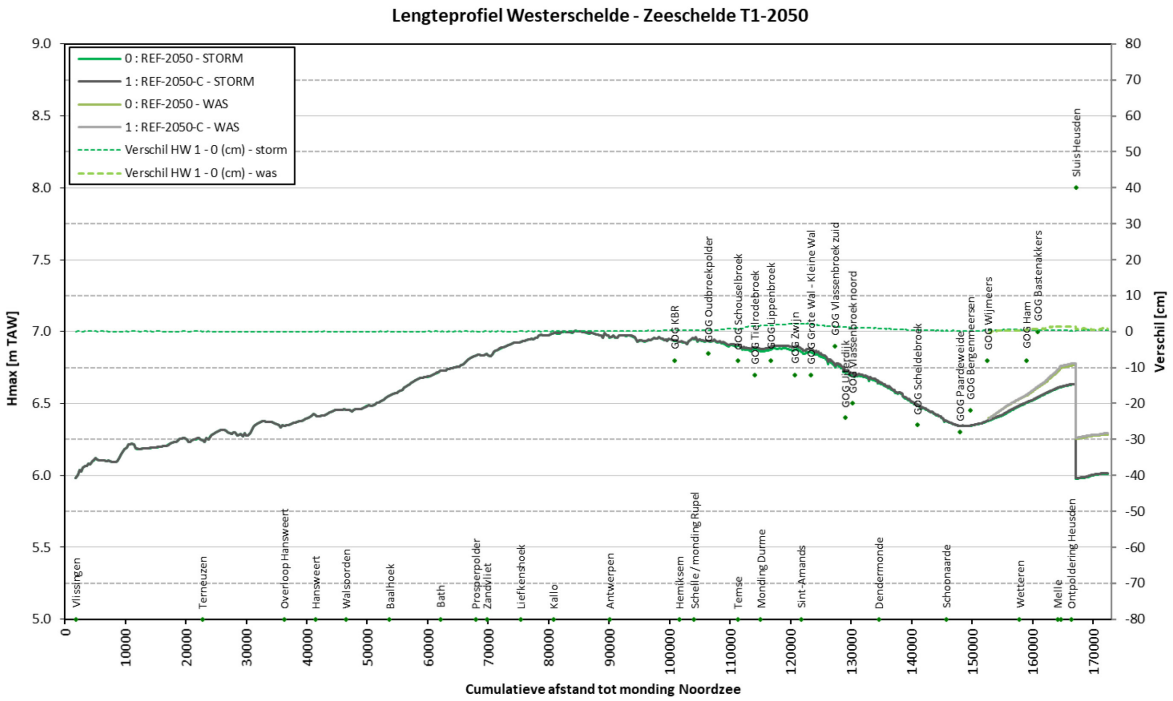
5.1 REF-2050-C

De wijzigingen in REF-2050-C ten opzichte van REF-2050-B worden beschreven in §4.1.

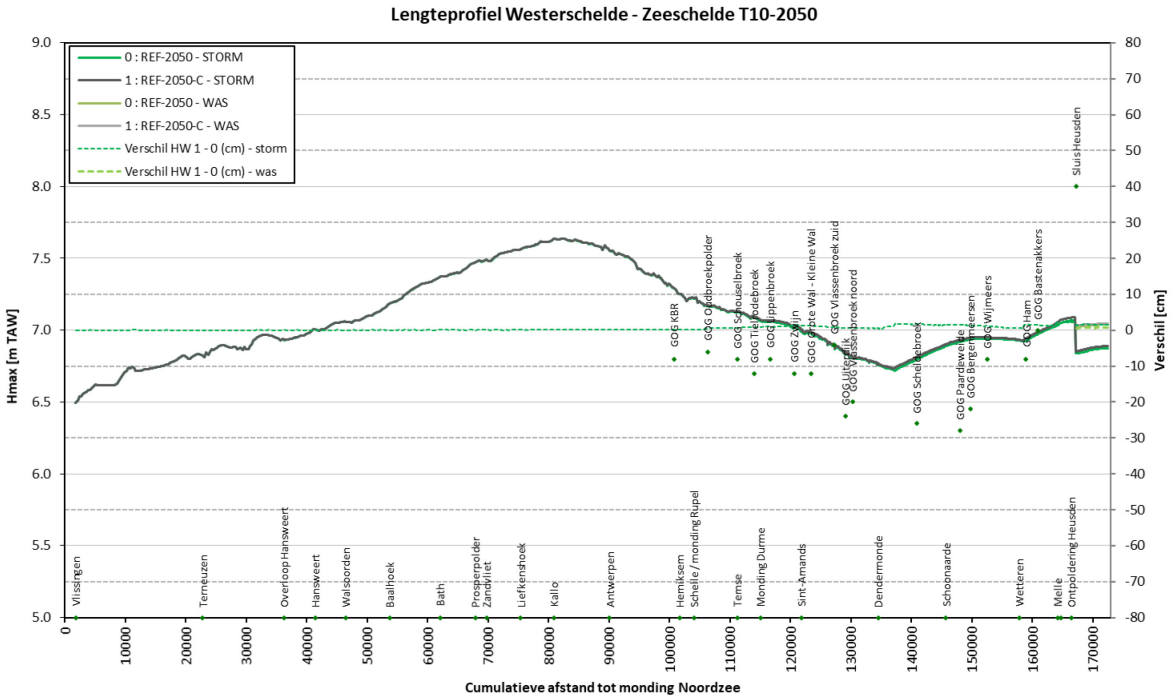
Figuur 28 tot en met Figuur 33 geven de lengteprofielen met maximale waterpeilen op de Zeeschelde voor REF-2050-C ten opzichte van REF-2050-B.

De ingrepen in het REF-2050-C-alternatief hebben slechts een beperkte invloed op het maximum waterpeil in de Zeeschelde bij de composietstormen met terugkeerperioden van 1, 10, 50 en 100 jaar. Het verschil is kleiner dan 10 cm. Bij de stormen met een terugkeerperiode van 1000 en 4000 jaar treedt opwaarts GOG Scheldebroek een stijging op van het maximum waterpeil met respectievelijk maximaal bijna 25 en 40 cm. De verbreding en verdieping van de Ringvaart zorgt vermoedelijk voor een snellere afvoer van de bovenafvoer, die hier op de inkomende tijgolf botst. De meest opwaarts gelegen GOG's zijn bij deze terugkeerperioden reeds volledig gevuld. Voornamelijk bij de GOG's met lagere overloopdijken zoals GOG Paardeweide en Scheldebroek resulteert dit in een stijging van het maximum waterpeil in het GOG en in de Zeeschelde omdat er geen resterende bergingscapaciteit meer is.

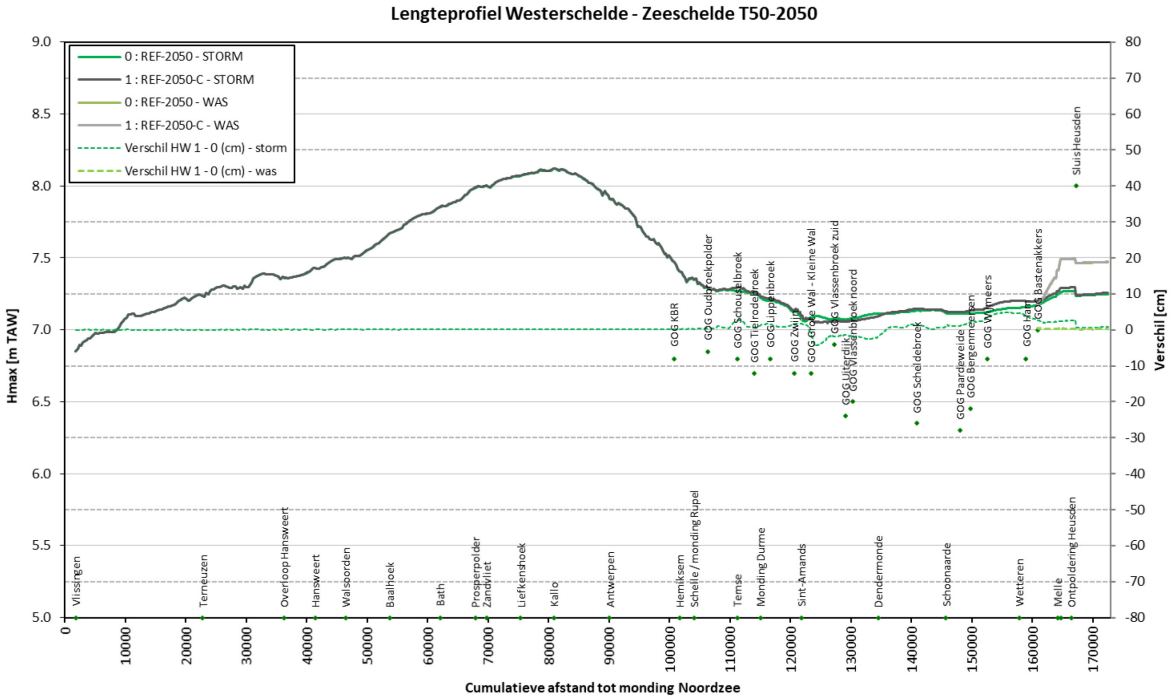
Figuur 28 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-B en REF-2050-C bij T1



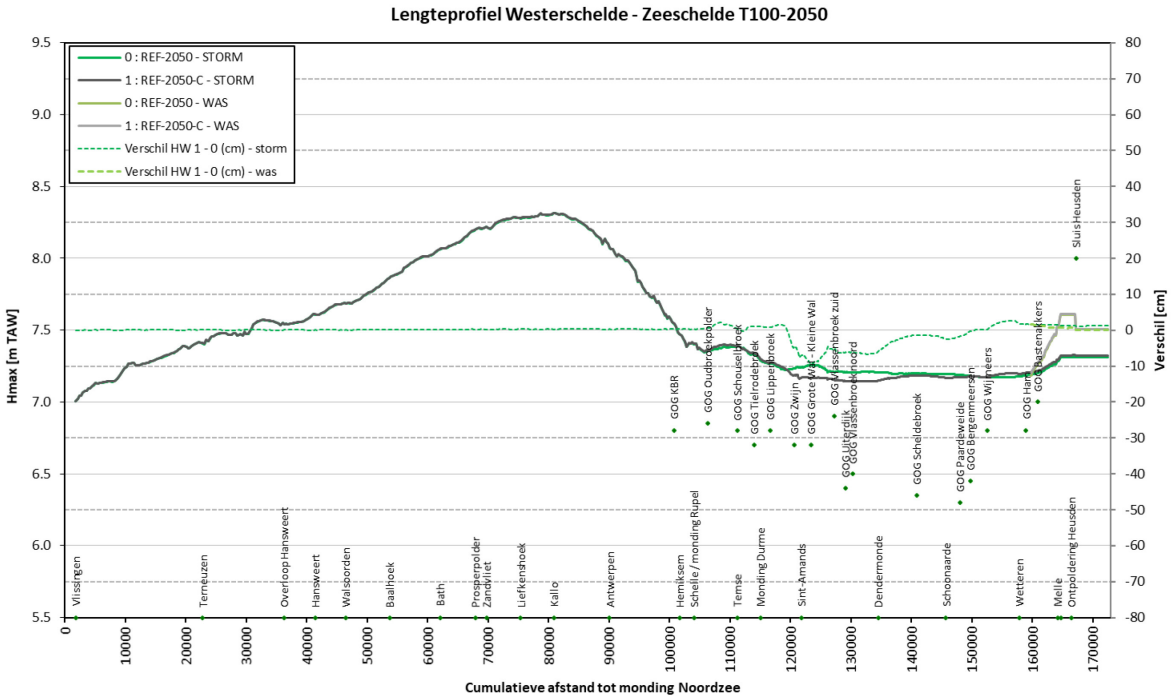
Figuur 29 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T10



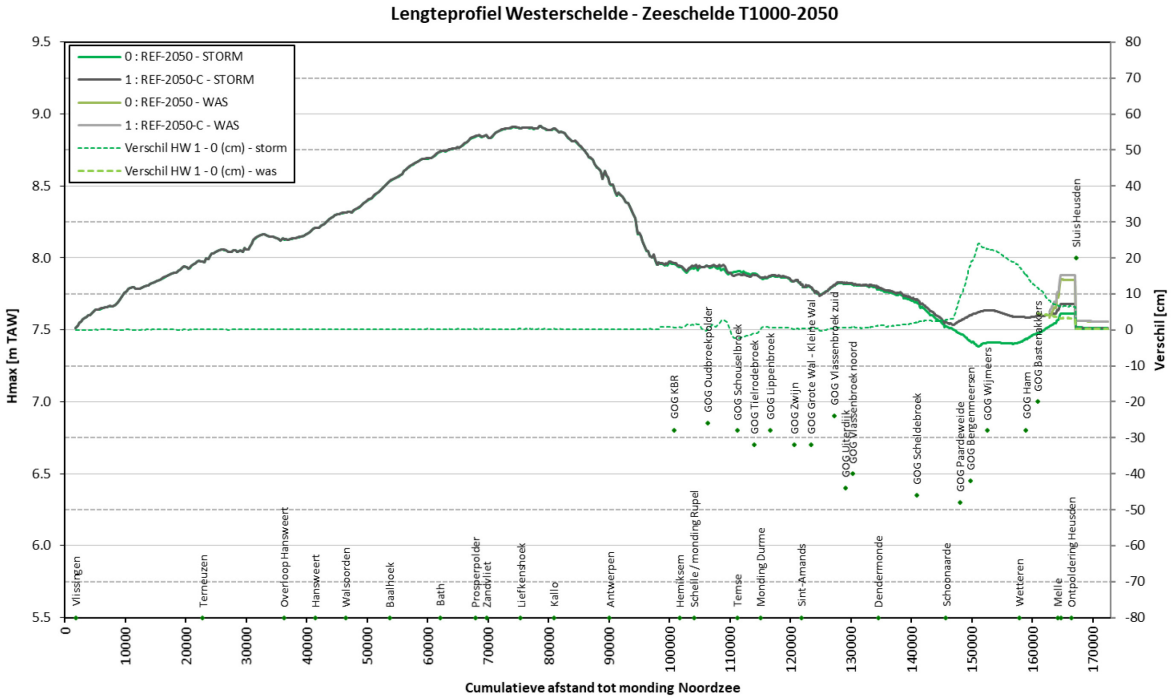
Figuur 30 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T50



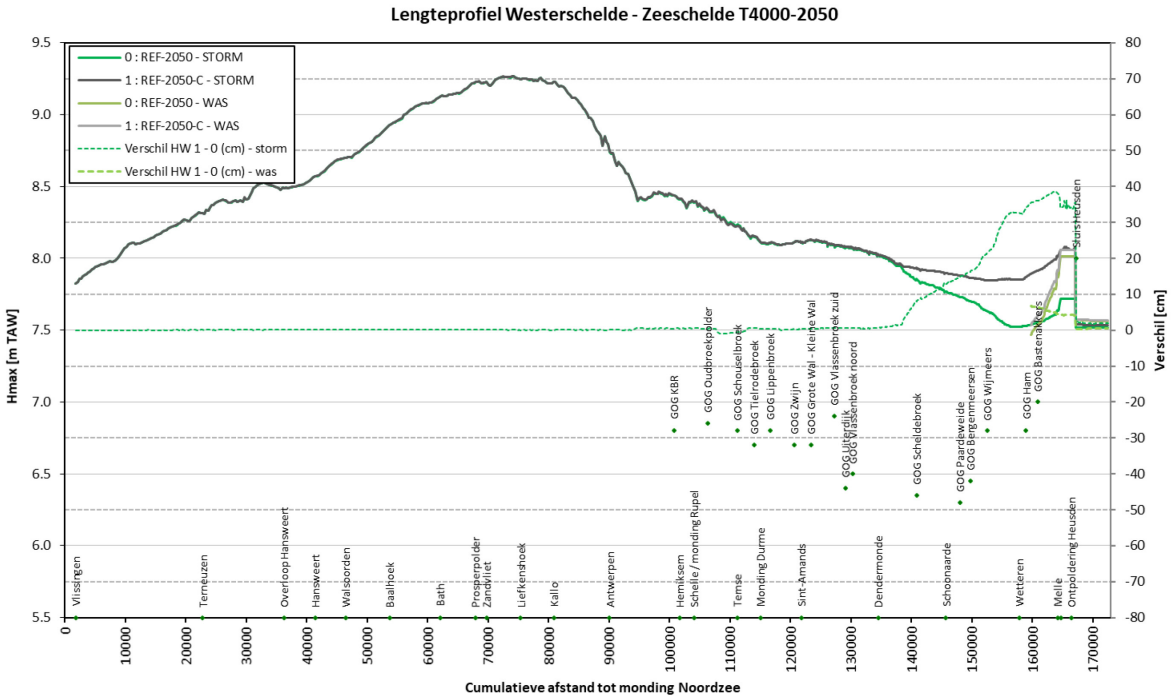
Figuur 31 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T100



Figuur 32 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T1000



Figuur 33 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050 en REF-2050-C bij T4000



5.2 C1

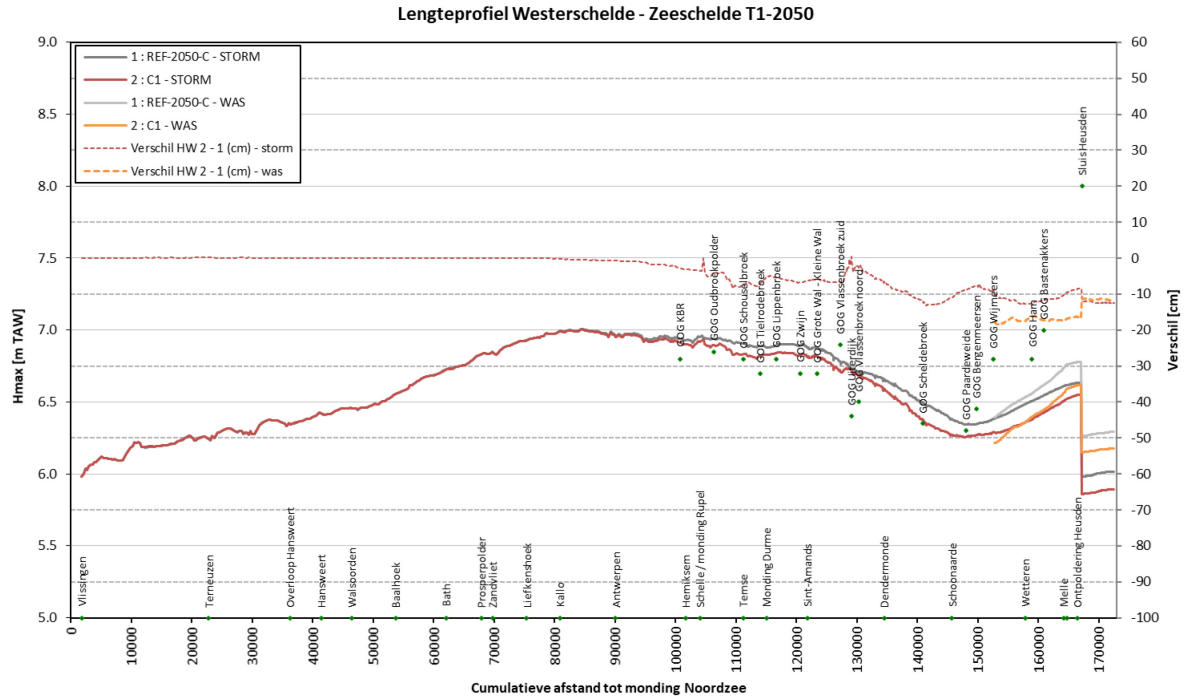
De ingrepen in alternatief C1 worden beschreven in §4.2.

Figuur 34 tot en met Figuur 39 geven de lengteprofielen met maximale waterpeilen op de Zeeschelde voor het C1-alternatief ten opzichte van REF-2050-C. Figuur 40[1] geeft een overzicht van de maximale waterpeilen in de gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde voor het C1-alternatief ten opzichte van REF-2050-C.

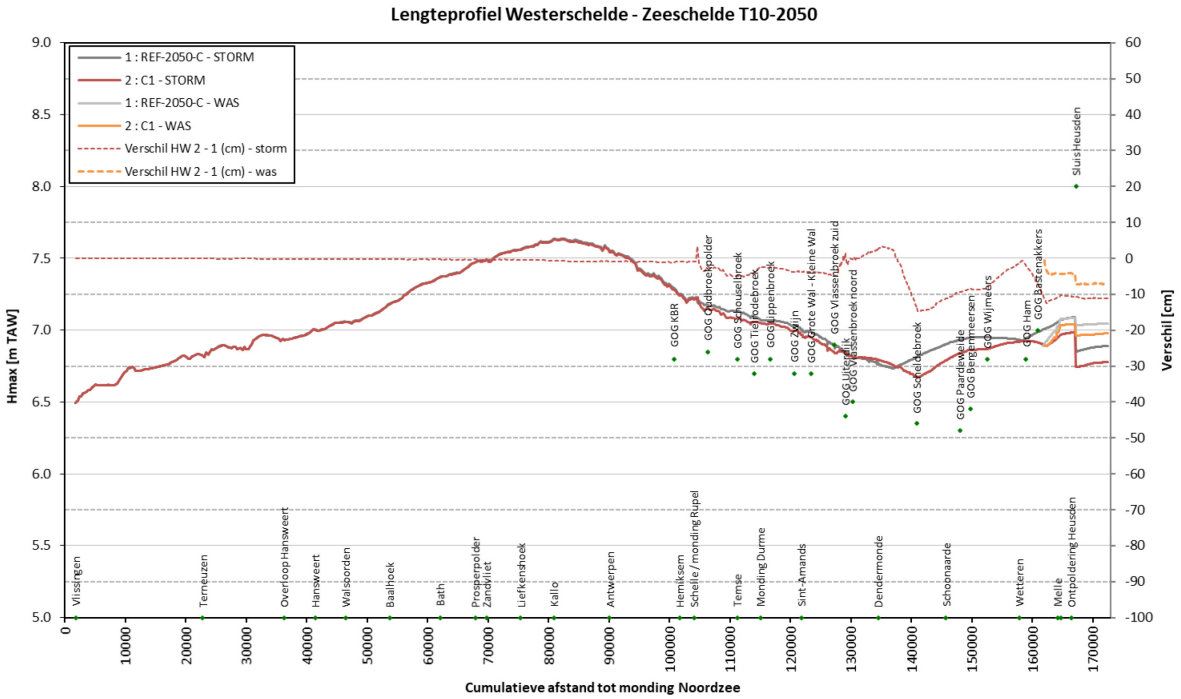
Het effect van het C1-alternatief op het maximum waterpeilen is bij de doorgerekende composietstormen beperkt. Er treedt veelal een daling van het maximum waterpeil op tot 15 cm, en tot 20 cm tijdens de wasperiode bij T1.

De daling van de maximum waterpeilen zorgt vooral bij de composietstormen met een terugkeerperiode tot 100 jaar dat het waterpeil in de bestaande GOG's minder hoog stijgt. Voornamelijk in GOG Zwijn is het maximum waterpeil lager bij C1 ten opzichte van REF-2050-C omwille van de verbinding met de Blankaart. De stijging van het waterpeil in enkele GOG's bij T1 en T10 is te verklaren door de introductie van GGG-werking, zoals in Wal-Zwijn en Scheldebroek, of het verkleinen van het GOG zoals Tielrodebroek.

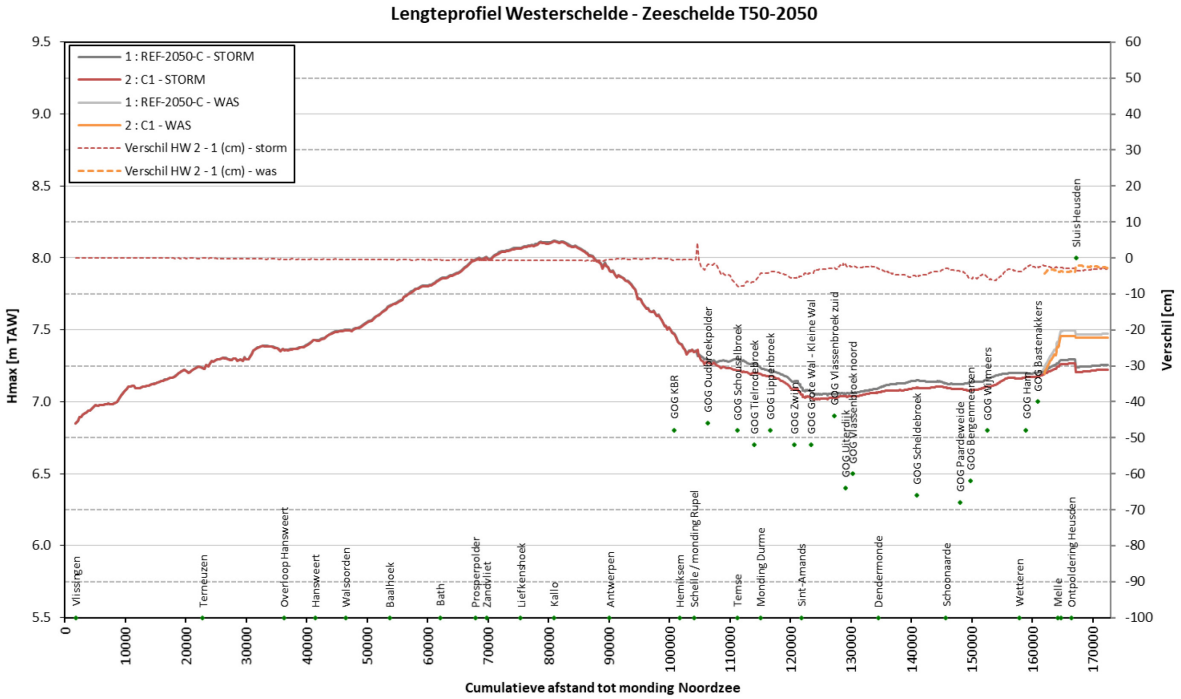
Figuur 34 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T1



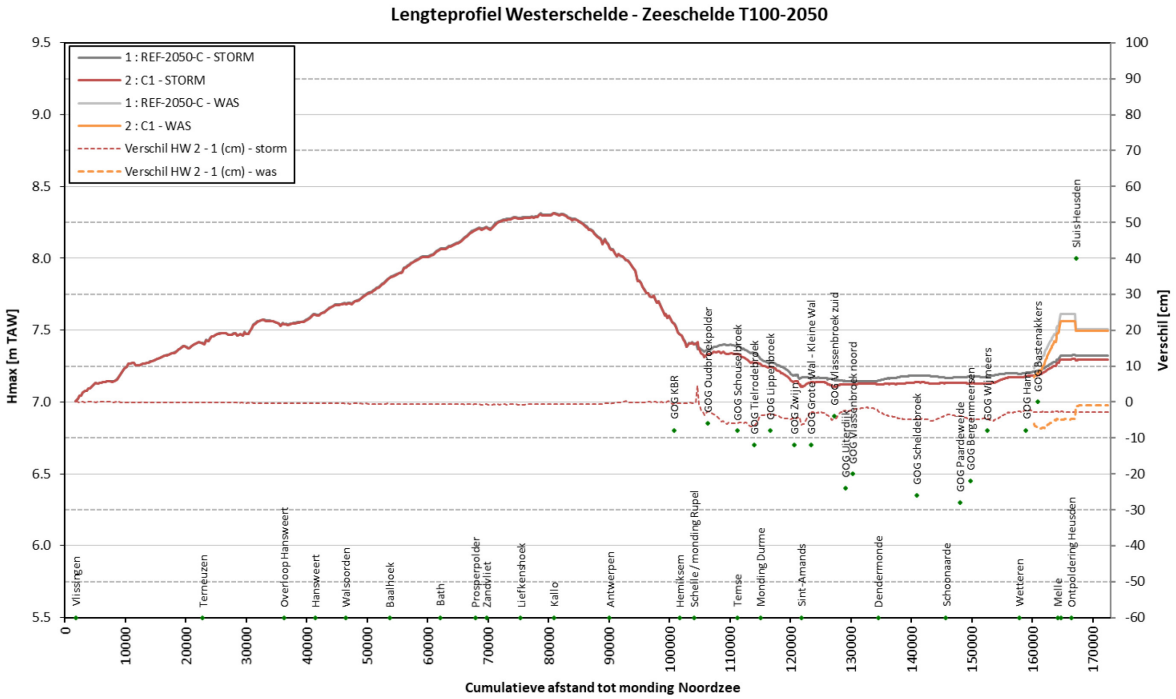
Figuur 35 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T10



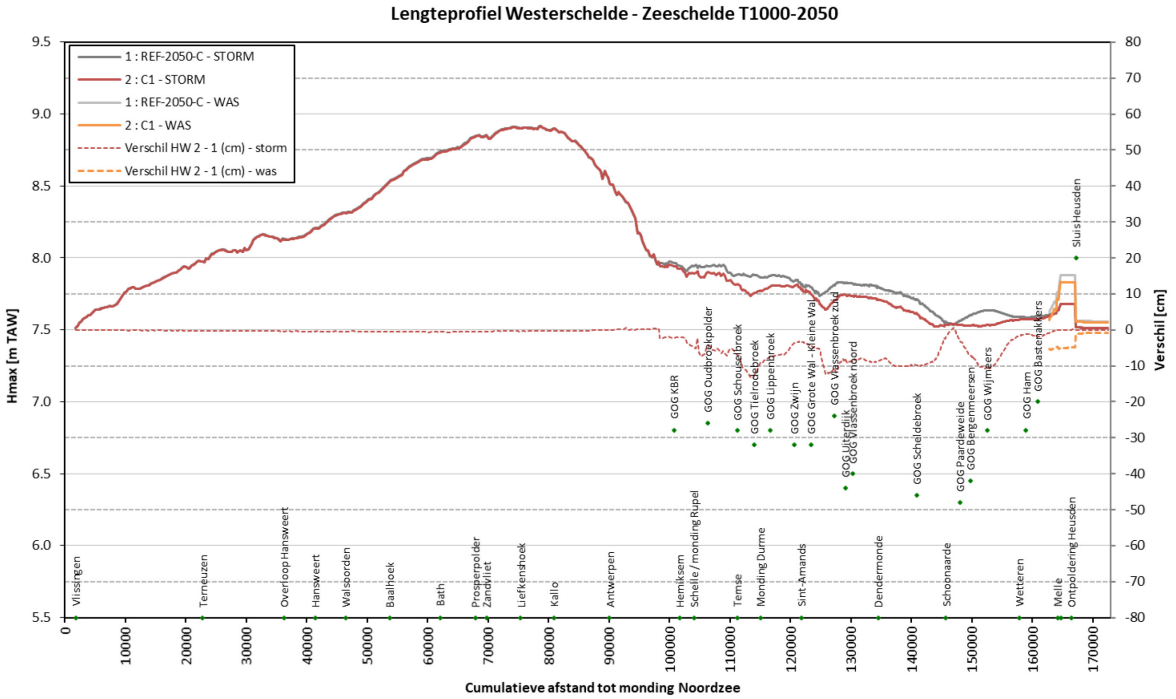
Figuur 36 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T50



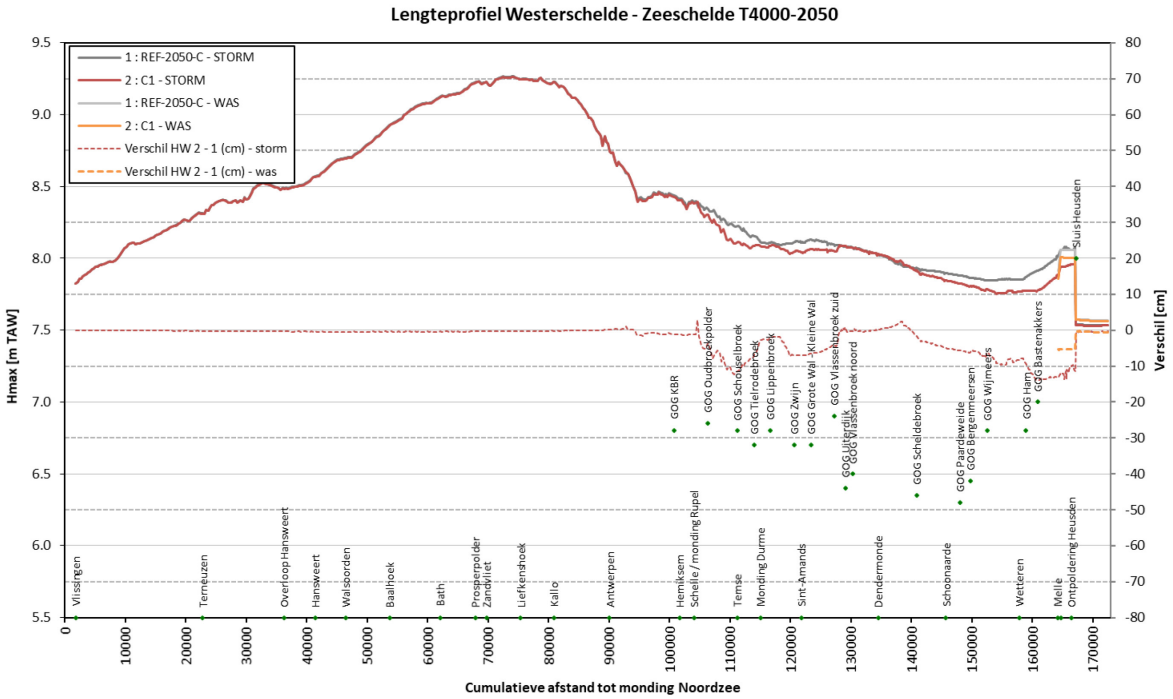
Figuur 37 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T100



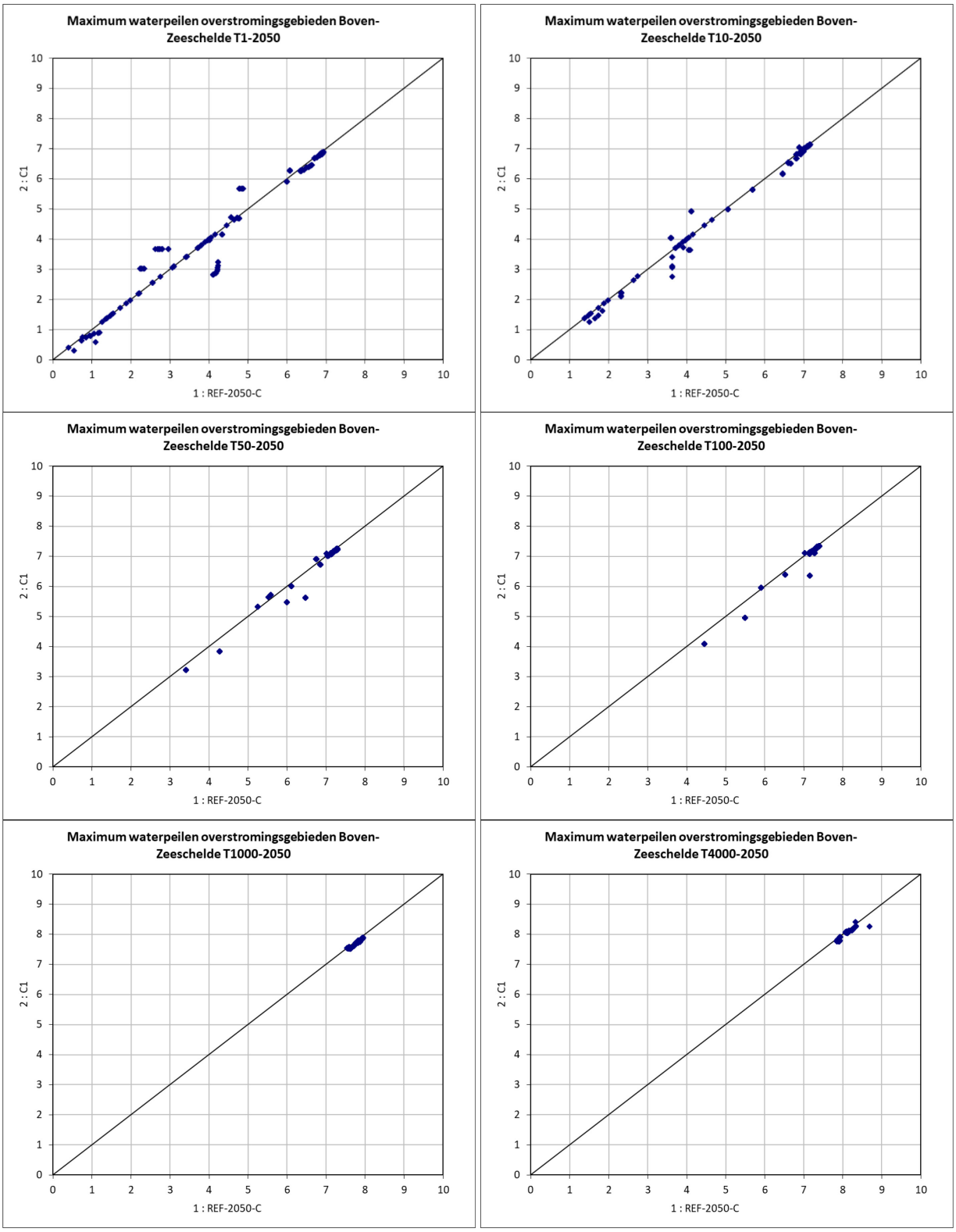
Figuur 38 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T1000



Figuur 39 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C1-alternatief bij T4000



Figuur 40 – Overzicht maximum waterpeilen in mTAW in overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde bij verschillende terugkeerperioden voor C1-alternatief t.o.v. REF-2050-C



5.3 C2

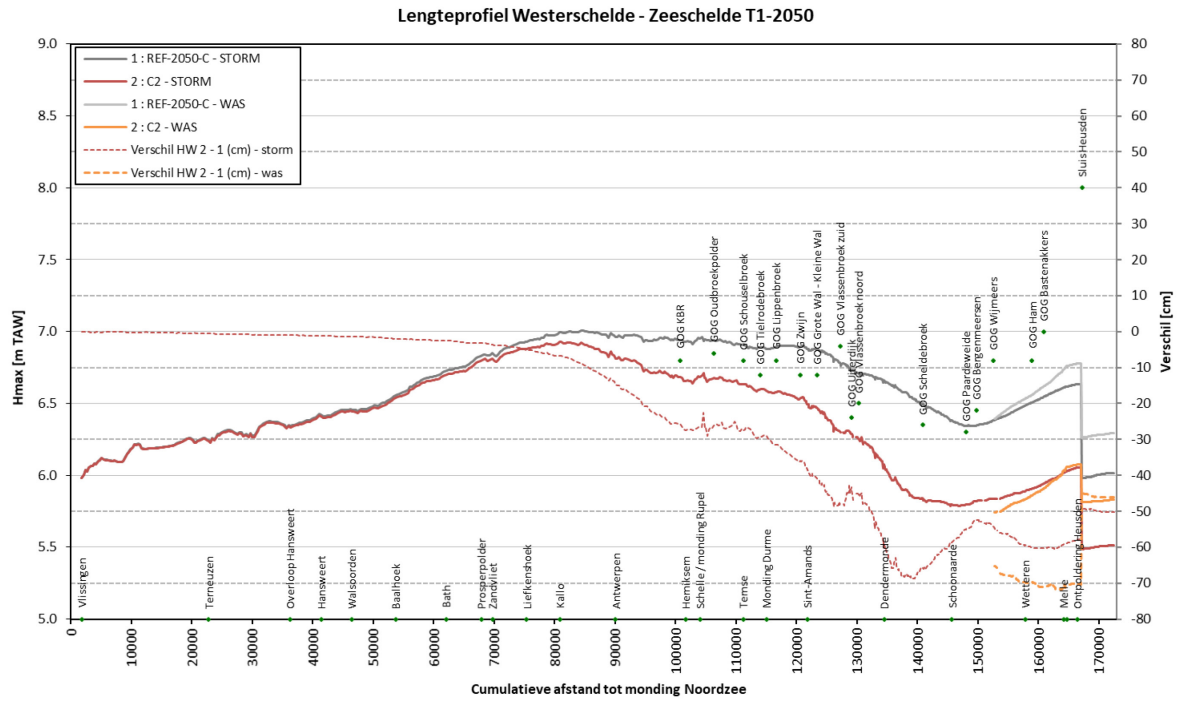
De ingrepen in alternatief C2 worden beschreven in §4.3.

Figuur 41 tot en met Figuur 46 geven de lengteprofielen met maximale waterpeilen op de Zeeschelde voor het C2-alternatief ten opzichte van REF-2050-C. Figuur 47 geeft een overzicht van de maximale waterpeilen in de gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde voor het C2-alternatief ten opzichte van REF-2050-C.

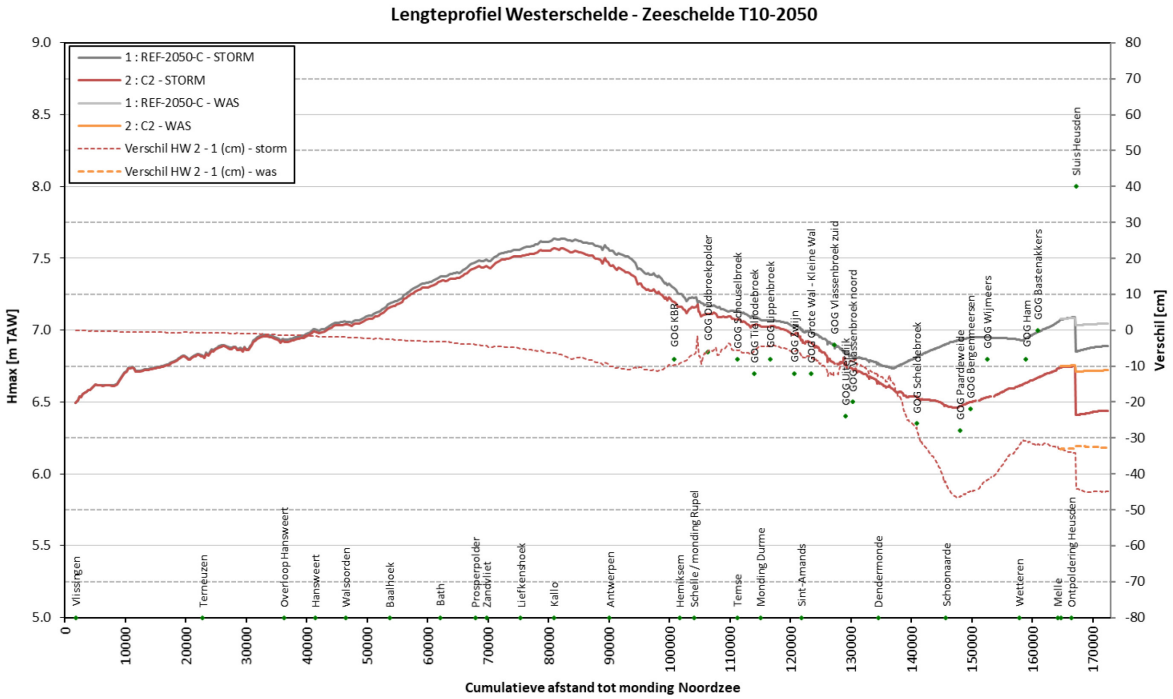
De ingrepen in het C2-alternatief zorgen voor een verruiming van de waterloop, en dus voor een grotere bergingscapaciteit in de rivierbedding. Dit zorgt voor een daling van het maximum waterpeil in de Zeeschelde bij de doorgerekende terugkeerperioden. Deze daling bedraagt maximaal bijna 70 cm net opwaarts Dendermonde bij T1. Bij grotere terugkeerperioden is de toename in bergingscapaciteit ten opzichte van het watervolume bij het maximum waterpeil in de rivierbedding kleiner. Hierdoor is ook het effect van deze ingreep op het maximum waterpeil kleiner. In de overstromingsgebieden met enkel GOG-werking treedt eveneens een daling van het maximum waterpeil op. Hierdoor is extra berging beschikbaar. De gebieden ingericht met GGG of als ontpoldering kennen een stijging van het maximum waterpeil.

GOG Wijmeers, GOG Ham en GOG Bastenakkers kennen pas vanaf T50 GOG-werking bij het C2-alternatief. Hierbij wordt ook het noordelijk deel van GOG Wijmeers aangesproken. Bij T1000 stijgt het waterpeil in GOG Wijmeers niet meer tot de hoogte van de overloopdijk bij het C2-alternatief, waar dit bij REF-2050-C wel zo was.

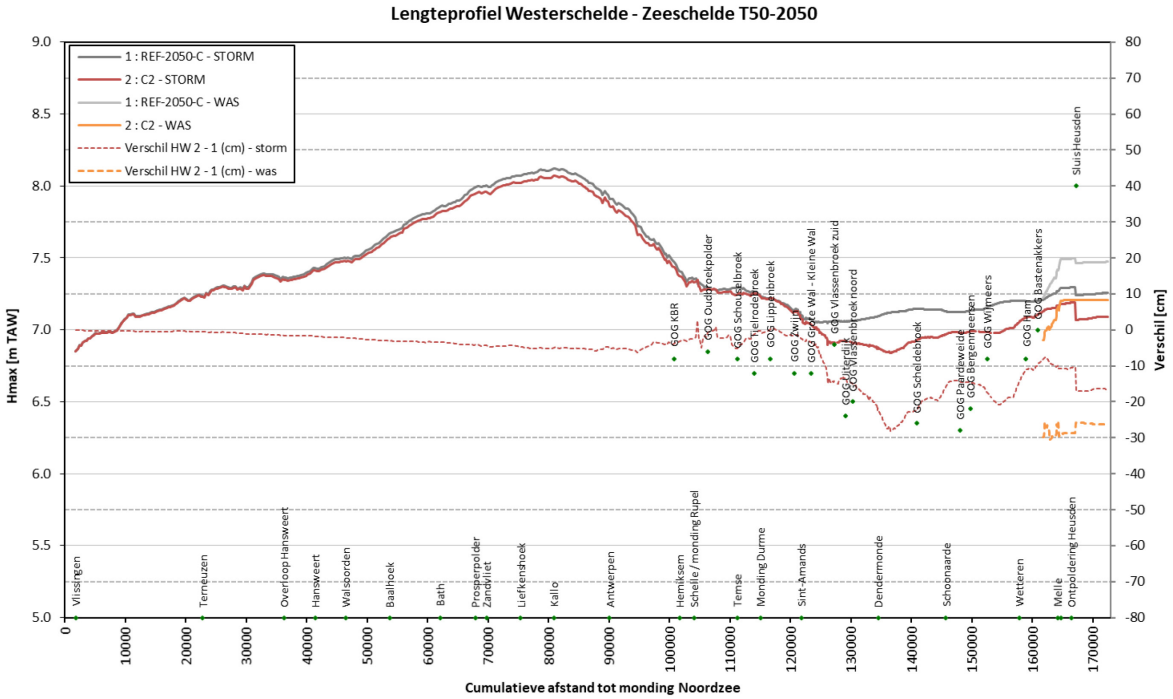
Figuur 41 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T1



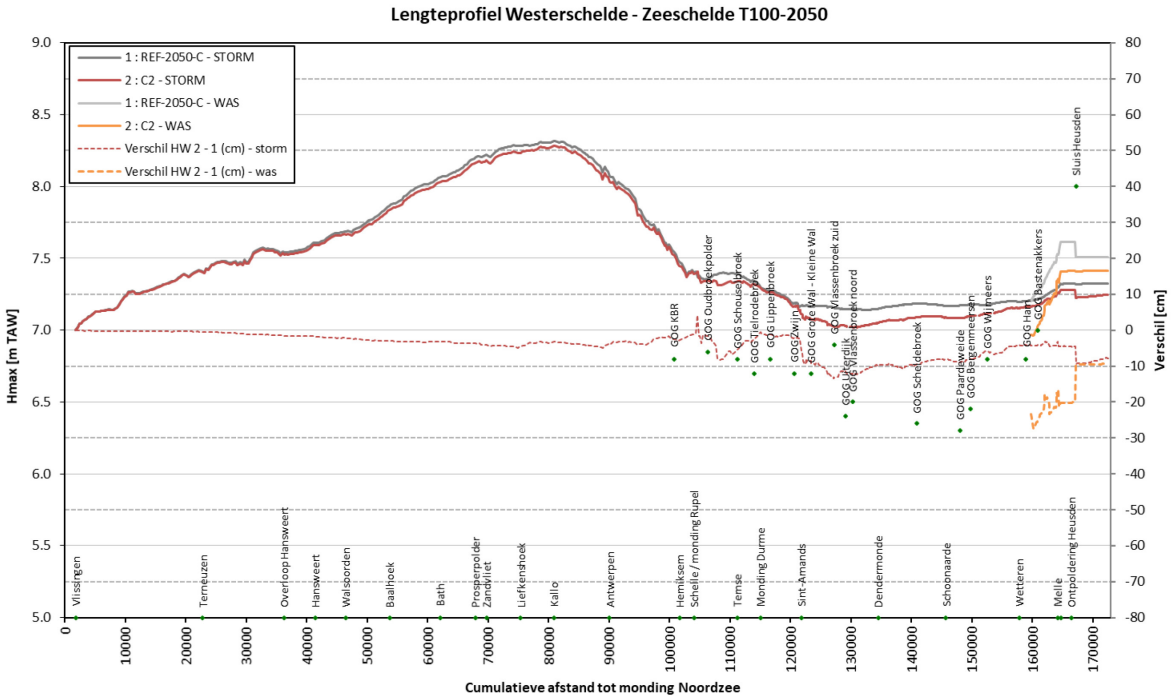
Figuur 42 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T10



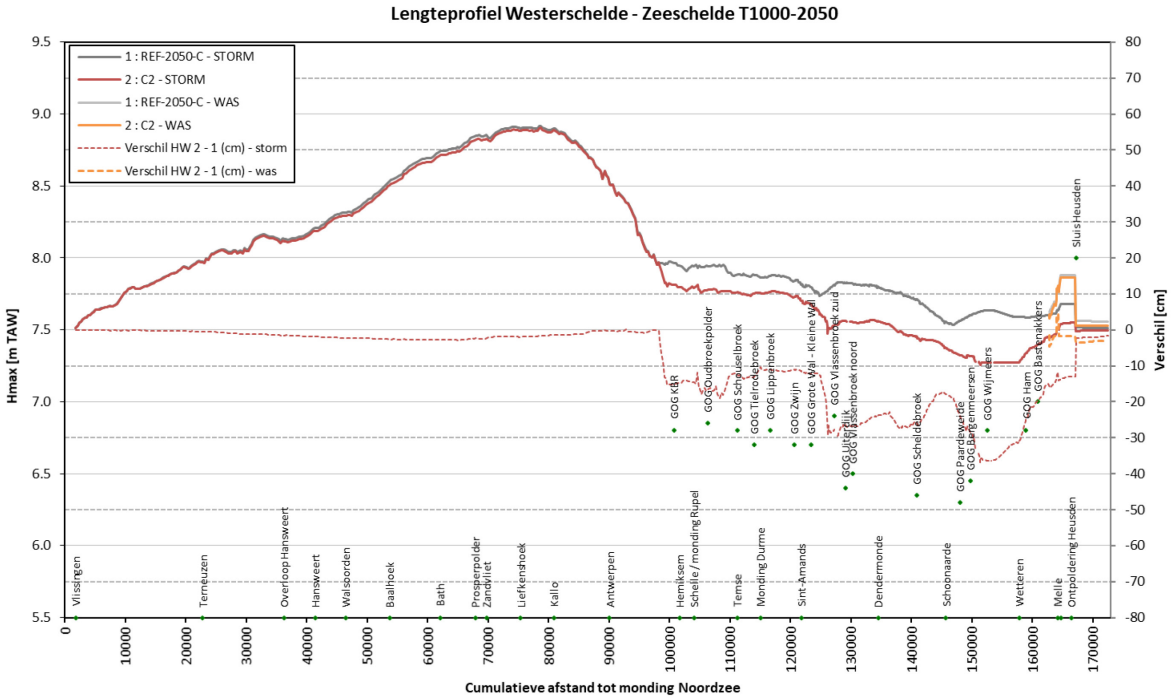
Figuur 43 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T50



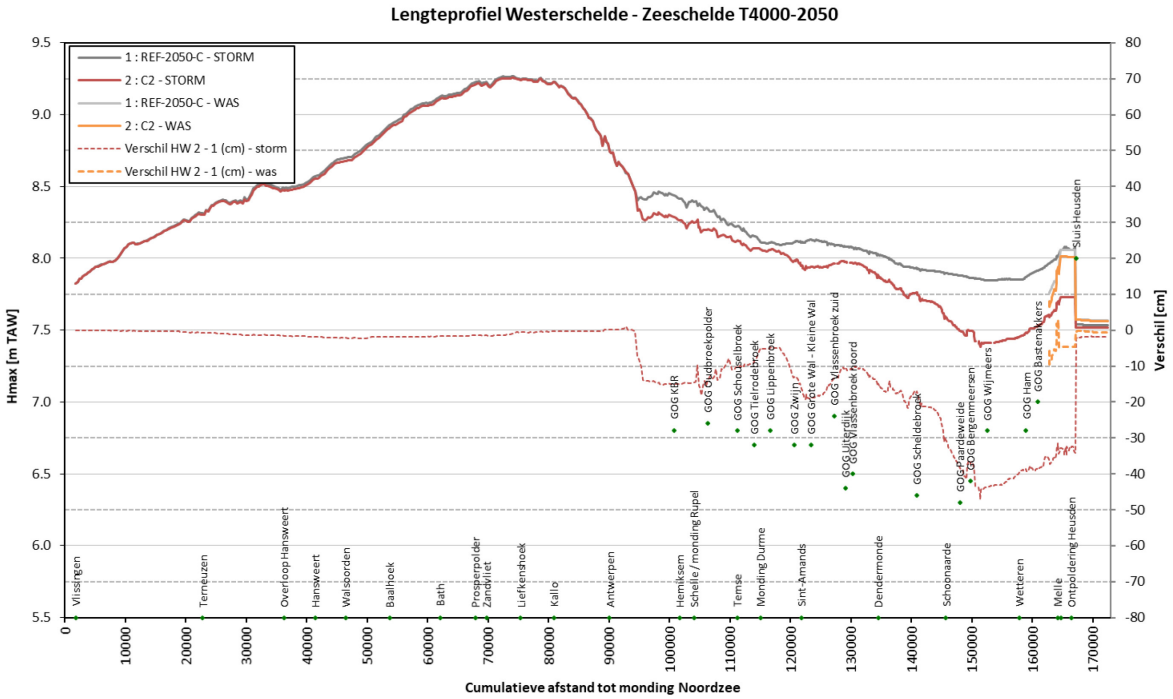
Figuur 44 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T100



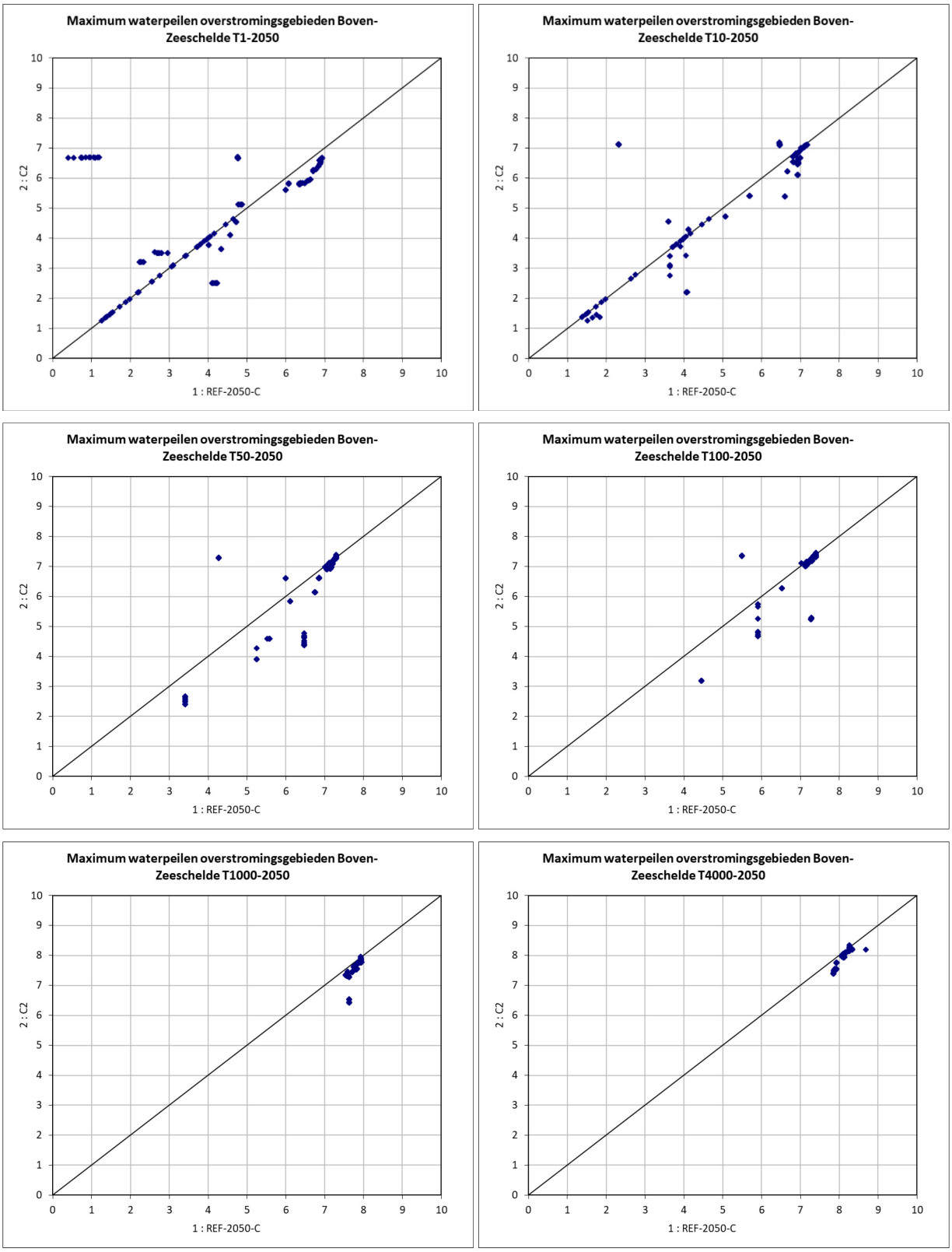
Figuur 45 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T1000



Figuur 46 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C2-alternatief bij T4000



Figuur 47 – Overzicht waterstanden in mTAW in gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde bij verschillende terugkeerperioden voor C2-alternatief t.o.v. REF-2050-C



5.4 C3

De ingrepen van alternatief C3 worden beschreven in §4.4.

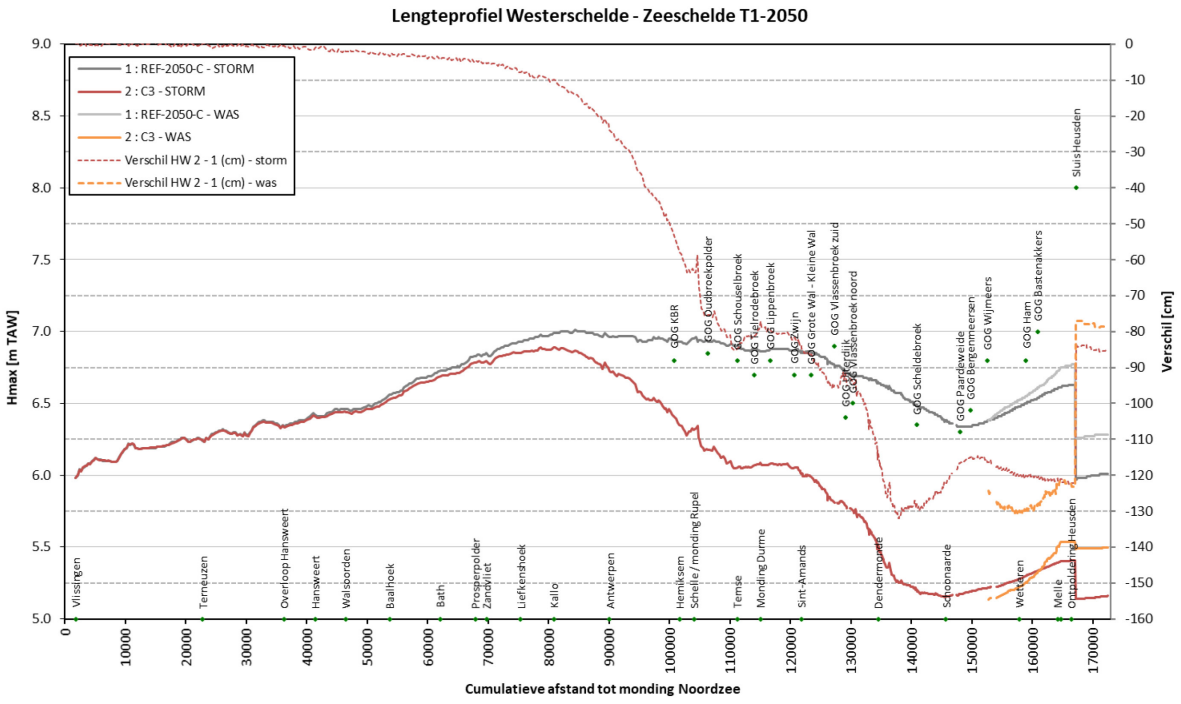
Figuur 48 tot en met Figuur 53 geven de lengteprofielen met maximale waterpeilen op de Zeeschelde voor het C3-alternatief ten opzichte van REF-2050-C. Figuur 54 geeft een overzicht van de maximale waterpeilen in de gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde voor het C3-alternatief ten opzichte van REF-2050-C.

De bijkomende verruiming van de waterweg in het C3-alternatief zorgt voor een sterke daling van het maximum waterpeil in de Zeeschelde. Omdat de toename in bergingscapaciteit ten opzichte van het watervolume bij het maximum waterpeil in de rivierbedding kleiner wordt bij grotere terugkeerperioden, wordt deze daling kleiner naarmate de terugkeerperiode groter wordt. Bij T1 daalt het maximum waterpeil met maximaal circa 130 cm net opwaarts Dendermonde. Bij T10 en T50 bedraagt deze maximale daling respectievelijk nog circa 85 cm en 60 cm.

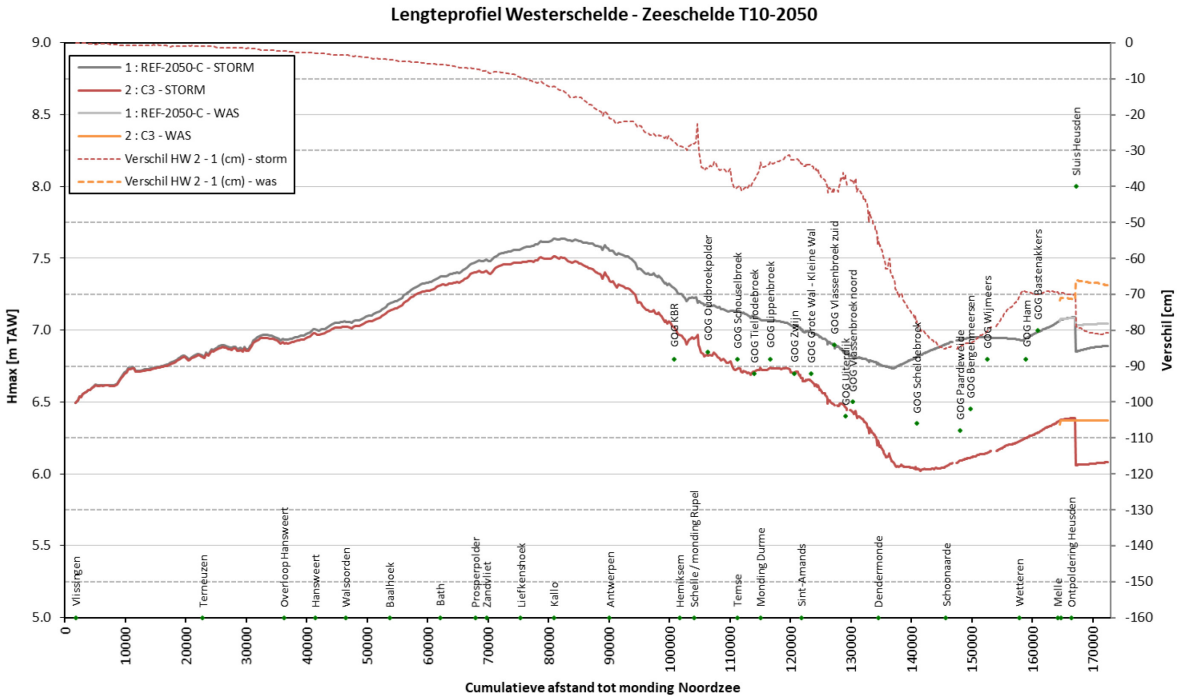
In de overstromingsgebieden met enkel GOG-werking treedt eveneens een daling van het maximum waterpeil op. Hierdoor is extra berging beschikbaar. In de gebieden die ingericht worden met GGG of als ontpoldering stijgt maximum waterpeil.

GOG Wijmeers, GOG Ham en GOG Bastenakkers kennen pas vanaf T100 GOG-werking bij het C3-alternatief. De vulling van GOG Wijmeers is beperkter omwille van de kortere overloopdijk ten opzichte van het C2-alternatief. Hierbij wordt ook het noordelijk deel van GOG Wijmeers aangesproken.

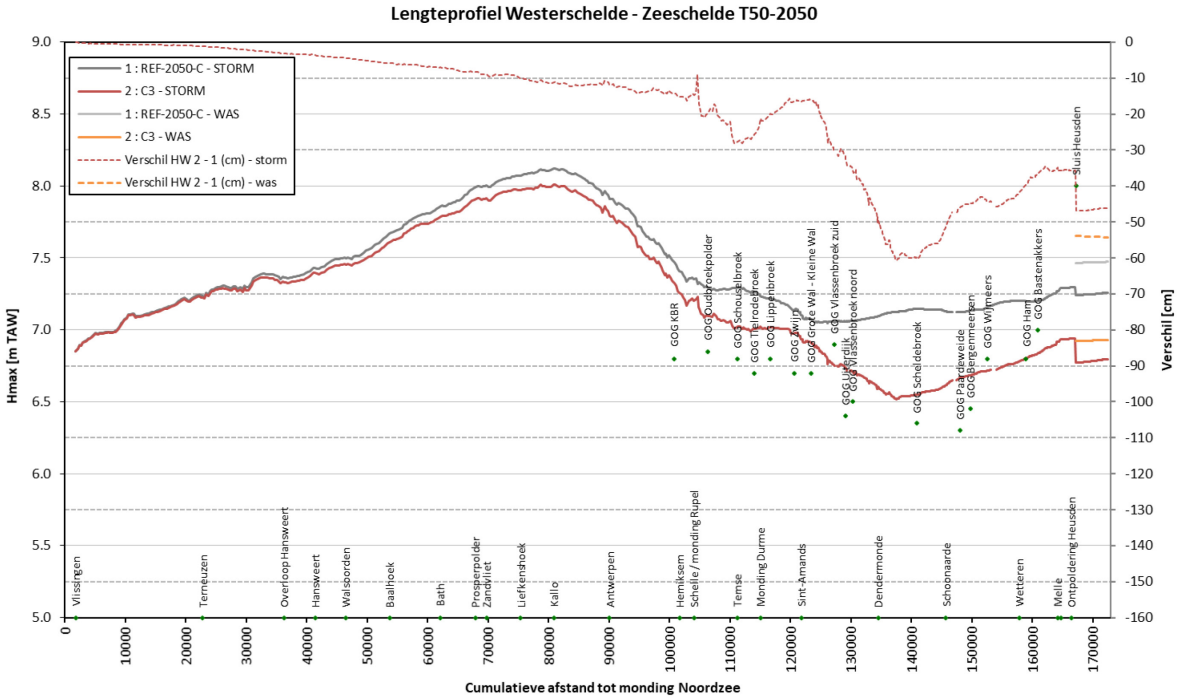
Figuur 48 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T1



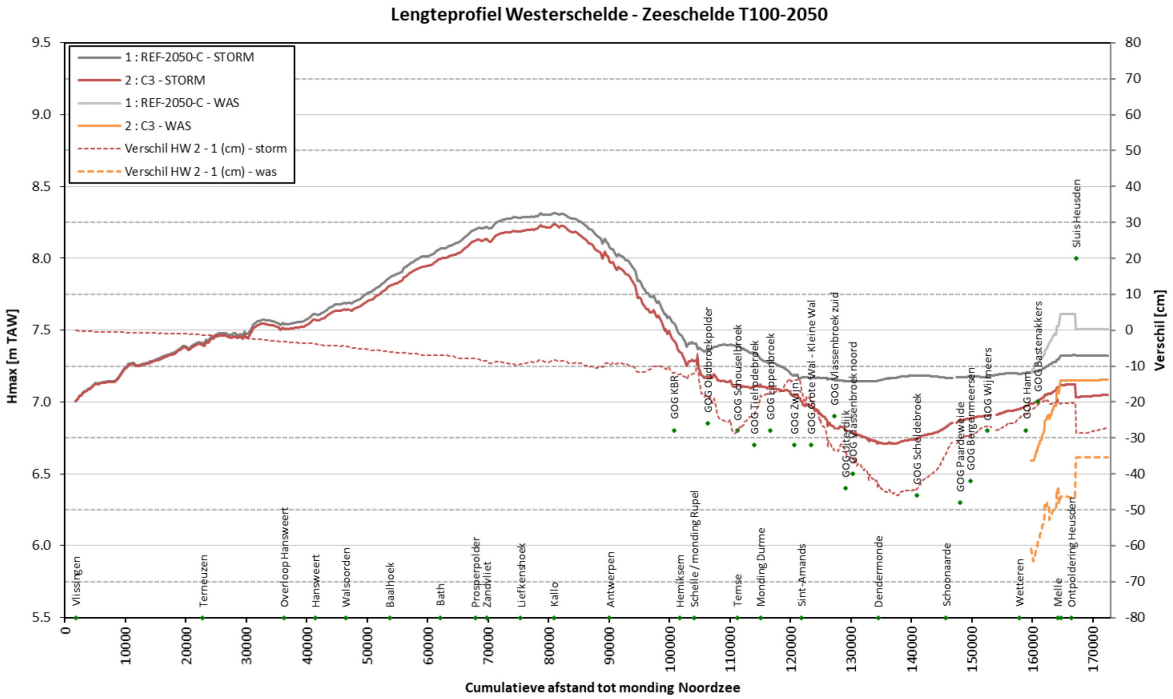
Figuur 49 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T10



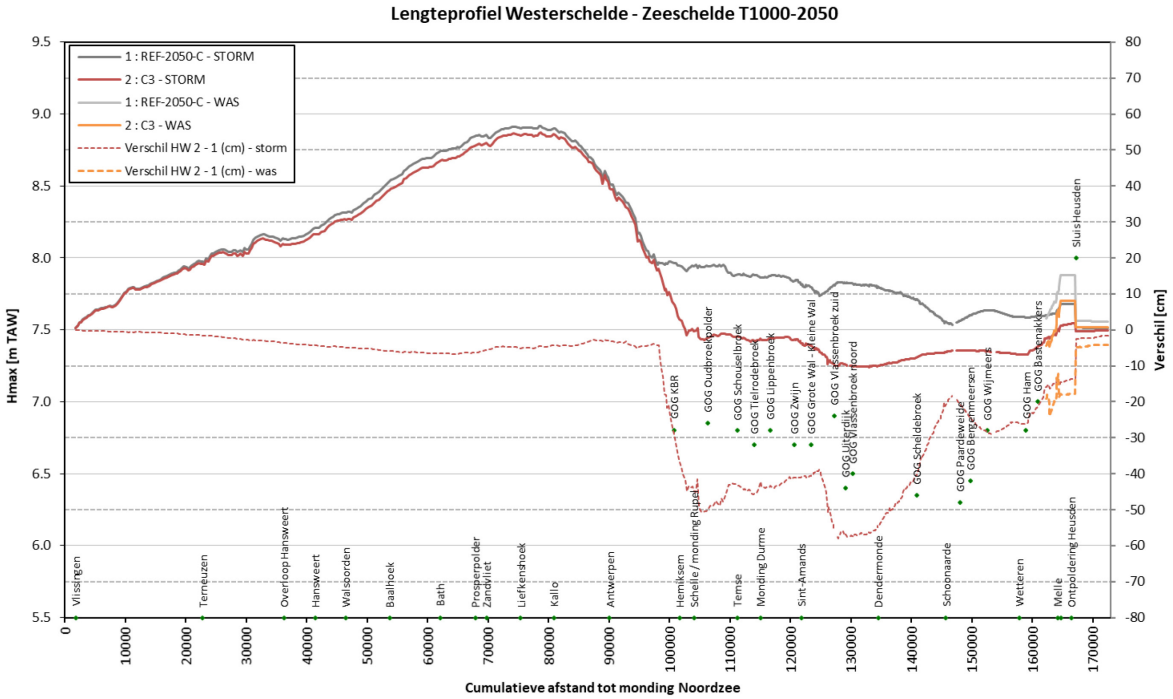
Figuur 50 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T50



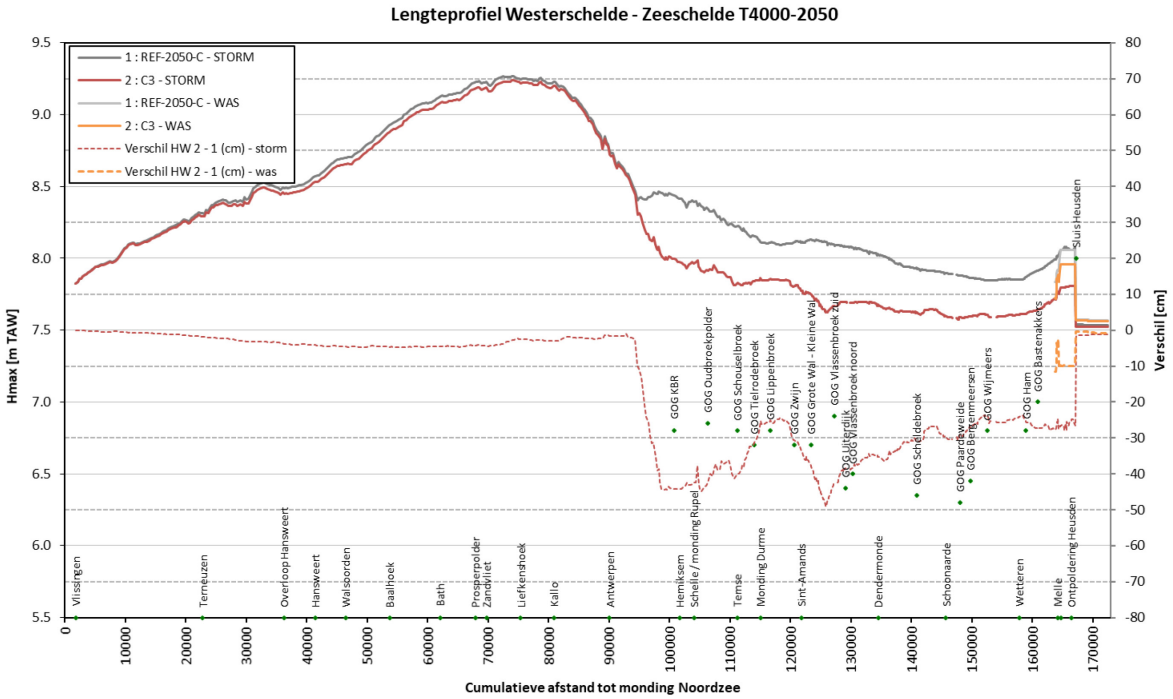
Figuur 51 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T100



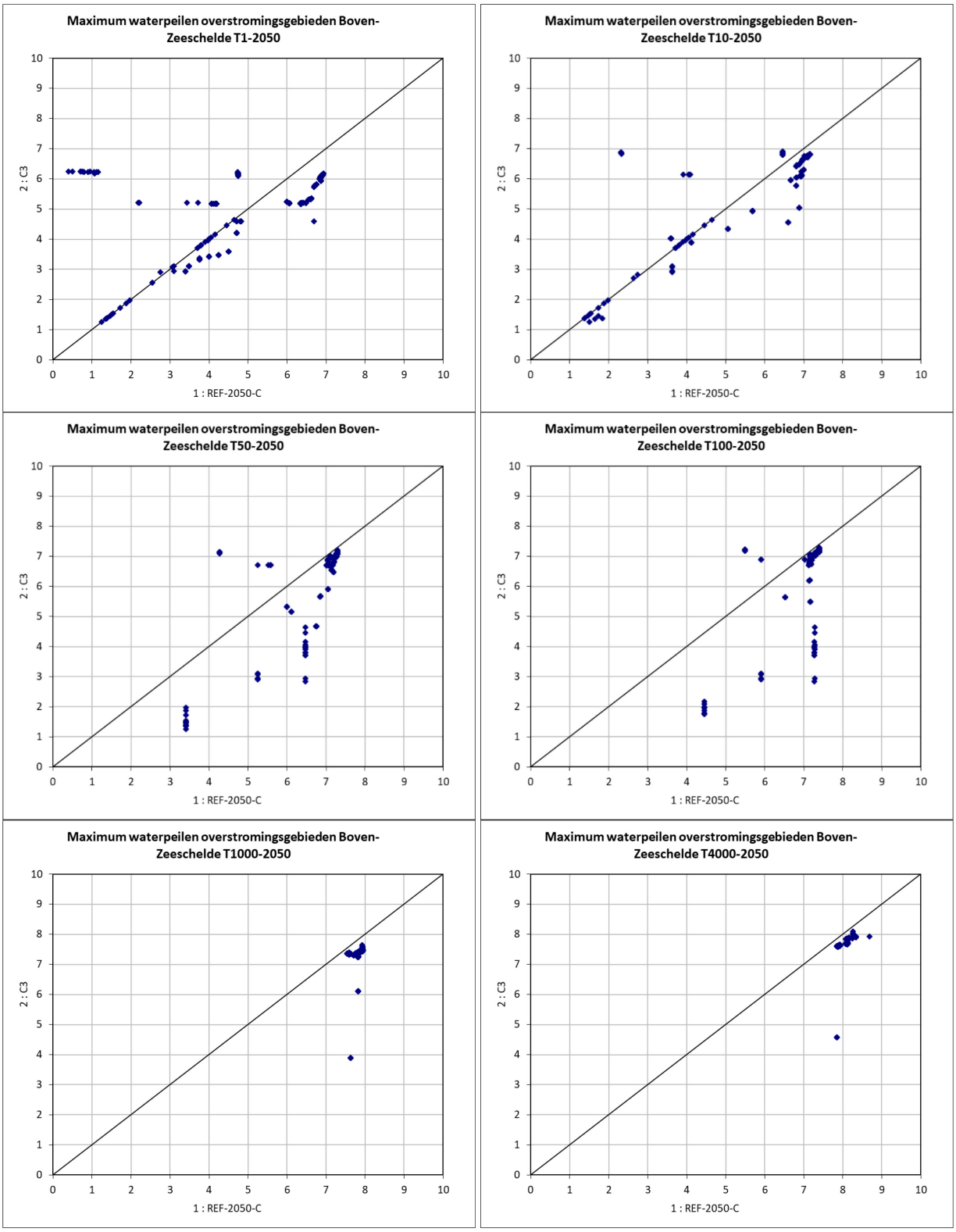
Figuur 52 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T1000



Figuur 53 – Lengteprofiel Zeeschelde met maximale waterstanden voor REF-2050-C en C3-alternatief bij T4000



Figuur 54 – Overzicht waterstanden in mTAW in gecontroleerde overstromingsgebieden langs de Boven-Zeeschelde bij verschillende terugkeerperioden voor C3-alternatief t.o.v. REF-2050-C



6 Veiligheidstoets – Multicriteria-analyse

De tweede stap van de veiligheidstoets betreft de multicriteria-analyse. In de volgende paragrafen worden de drie beschouwde criteria besproken.

6.1 Stijging Hmax en ruimtelijk effect

Er wordt gekeken naar het aantal kilometers dat de maximale waterstand in de Boven-Zeeschelde boven TAW +7,0/7,5/8,0 m stijgt, gesommeerd over de verschillende terugkeerperioden. Hier wordt voornamelijk het effect van de alternatieven op de maximale waterstanden bij storm beoordeeld. Een toename van het aantal km betekent dus een toename van de belasting van de Sigmadijken alsook (mogelijks) sterkere vulling van de GOG's. Bij de berekening van het totaal per alternatief worden met volgende gewichten toegepast:

1 per kilometer Hmax > TAW +7,0 m
2 per kilometer Hmax > TAW +7,5 m
4 per kilometer Hmax > TAW +8,0 m

Tabel 1 geeft een overzicht van het aantal kilometers dat het maximum waterpeil boven TAW +7,0/7,5/8,0 m stijgt per alternatief en per terugkeerperiode. Tabel 2 geeft het totaal aantal kilometers per alternatief, zoals vereist voor de multicriteria-analyse.

Bij T1 stijgt het maximum waterpeil niet boven TAW +7,0 m. Enkel bij T4000 stijgt het maximum waterpeil boven TAW +8,0 m, uitgezonderd bij alternatief C3. Voornamelijk bij het C2- en C3-alternatief daalt het aantal kilometers dat het waterpeil boven TAW +7,5 m stijgt. Deze daling treedt op opwaarts Dendermonde bij T1000, of Schoonaarde bij T4000.

Tabel 1 – Overzicht stijging Hmax boven TAW +7,0/7,5/8,0 m per alternatief en per terugkeerperiode

Aantal km > TAW	REF-2050-C			C1			C2			C3		
	+7,0 m	+7,5 m	+8,0 m	+7,0 m	+7,5 m	+8,0 m	+7,0 m	+7,5 m	+8,0 m	+7,0 m	+7,5 m	+8,0 m
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	29	0	0	18	0	0	15	0	0	0	0	0
T50	68	0	0	68	0	0	38	0	0	15	0	0
T100	60	9	0	65	3	0	67	0	0	30	0	0
T1000	0	68	0	0	68	0	24	43	0	57	9	0
T4000	0	33	35	0	33	35	11	38	18	0	66	0

Tabel 2 – Stijging Hmax en ruimtelijk effect: aantal kilometers dat maximum waterpeil Boven-Zeeschelde boven TAW +7,0/7,5/8,0 m stijgt

Alternatief	**Aantal km > TAW +7.0 m (a)**	**Aantal km > TAW +7.5 m (b)**	**Aantal km > TAW +8.0 m (c)**	**Totaal a+(2xb)+(4xc)**
REF-2050-C	157	220	142	519
C1	151	208	138	497
C2	154	161	73	389
C3	102	150	0	253

6.2 Effect op afwatering nevengebieden

Voor de inschatting van het effect van een alternatief op de afwatering van de nevengebieden wordt gekeken naar de tijd dat het waterpeil op een locatie daalt beneden het gemiddeld laagwater (GLW). Hiervoor worden de tijdreeksen van de simulaties voor het gemiddeld getij genomen (zie 3.2.2). Het GLW wordt per tijpost bepaald op basis van de simulatieresultaten van het REF-2050-C-alternatief, voor 4 maal QN en 1 maal QE (Tabel 3). Hoe langer het waterpeil onder het gemiddeld laagwater daalt, hoe langer de nevengebieden kunnen afwateren. Ook de oppervlakte van de grafiek onder het GLW wordt berekend (Figuur 55).

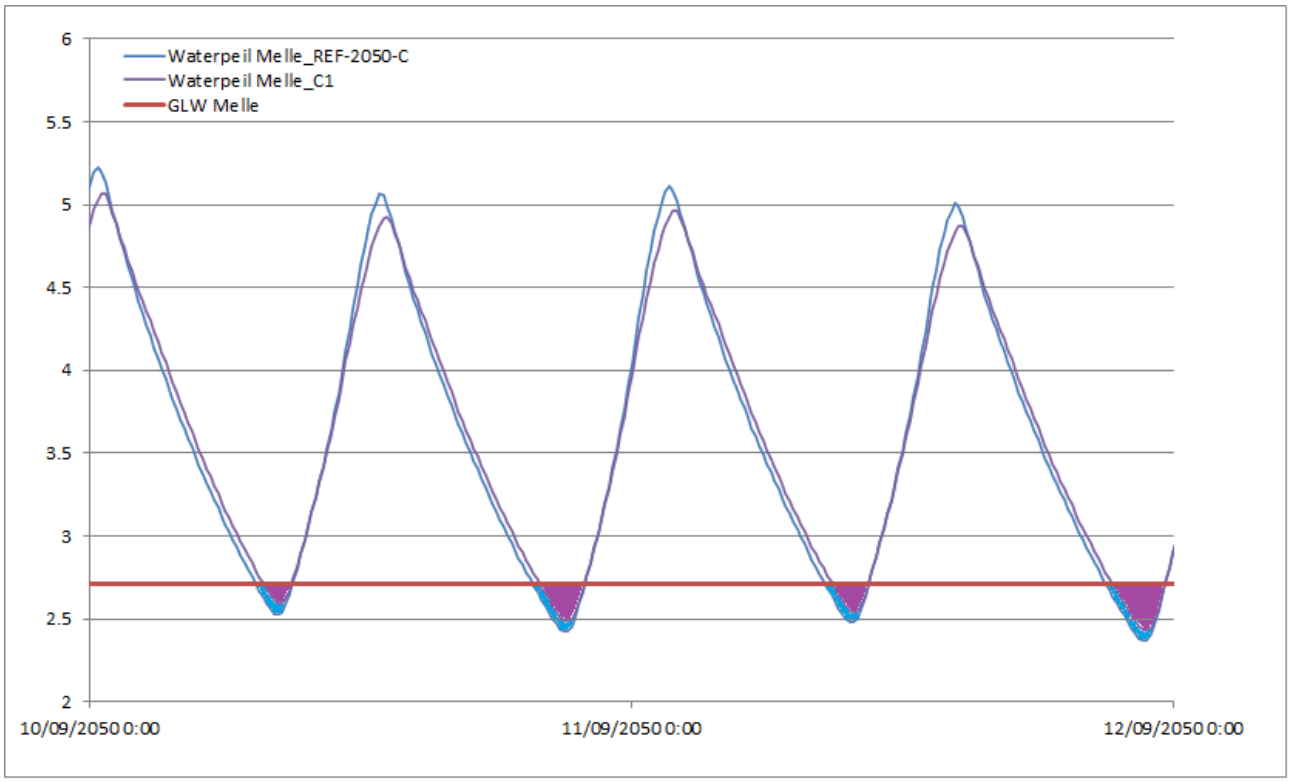
De duur van de daling van het waterpeil onder het GLW en de oppervlakte van de grafiek onder het GLW wordt bepaald voor de tijposten van Sint-Amands, Dendermonde, Schoonaarde, Wetteren en Melle, eveneens voor 4 maal QN en 1 maal QE. De resultaten worden per alternatief gesommeerd over de vijf tijposten. De oppervlakte onder de grafiek wordt relatief ten opzichte van het REF-2050-alternatief weergegeven (Tabel 4).

Zowel bij het C1-alternatief, als C2 en C3, is de tijd dat het waterpeil onder het GLW daalt, gemiddeld over de beschouwde locaties, korter ten opzichte van REF-2050-C. Bij C1 bedraagt de reductie in de tijd iets meer dan 30%. Bij het C2- en het C3-alternatief daalt het waterpeil gedurende minder dan 1% van de tijd onder het GLW.

Tabel 3 – Gemiddeld laagwater (GLW) tijposten obv berekening bij gemiddeld tij voor REF-2050-C

Tijpost	**GLW REF-2050-C**
Sint-Amands	0.64
Dendermonde	1.31
Schoonaarde	2.02
Wetteren	2.50
Melle	2.71

Figuur 55 – Effect afwatering nevengebieden obv GLW: voorbeeld Melle



Oppervlakte grafiek onder GLW: REF-2050-C = blauw; C3 = paars

Tabel 4 – Effect afwatering nevengebieden obv GLW: tijd onder GLW en relatieve oppervlakte grafiek onder GLW tov REF-2050 – gesommeerd over 5 tijposten

Alternatief	**Tijd onder GLW [min] (4*QN+QE)**	**Relatieve oppervlakte grafiek onder GLW tov REF-2050-C**
REF-2050-C	126880	1.0
C1	84820	0.67
C2	11120	0.09
C3	1710	0.01

6.3 Effect op afwatering Ringvaart

Voor de verschillende scenario's wordt gekeken naar de maximale waterstand en het hoogste laagwater bij was te Melle. Het verschil wordt berekend ten opzichte van REF-2050-C per terugkeerperiode. Er wordt een gemiddelde genomen over de verschillende terugkeerperioden. Een negatieve waarde wil zeggen dat het maximum waterpeil of het hoogste laagwater daalt, wat de uitwatering van de Ringvaart ten goede komt.

Tabel 5 geeft een overzicht van de bekomen waarden. Bij de drie C-alternatieven wordt een negatieve waarde bekomen. Zoals te verwachten is het effect bij het C3-alternatief het grootst.

Tabel 5 – Effect afwatering Ringvaart: stijging/daling maximum waterpeil bij was in Melle: gemiddeld over beschouwde terugkeerperioden

Alternatief	**Effect op Hmax bij was te Melle tov REF-2050-C [cm]**	**Effect op hoogste LW bij was te Melle tov REF-2050-C [cm]**
C1	-6	-5
C2	-25	-8
C3	-48	-12

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In aanvulling van het studiewerk dat door WL uitgevoerd wordt in het kader van het Integraal Plan Boven-Zeeschelde werd door de klant gevraagd de B- en C-alternatieven die in deze studie worden bestudeerd, af te toetsen naar veiligheid. Dit rapport bespreekt de methodiek, het gebruikte modelinstrumentarium en de veiligheidstoets van de C-alternatieven.

Voor deze studie is gebruik gemaakt van het geactualiseerde 1D-model van de Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren. Dit model werd aangepast om de referentiesituatie voor 2050 voor te stellen. Dit wil zeggen dat alle gebieden van het Meest Wenselijk Alternatief (MWeA) tot tijdshorizon 2025 aangepast zijn in het model volgens de meest recente inrichtingsvoorstellen of ontwerpplannen. Tevens werd de bathymetrie in de Boven-Zeeschelde en de topografie in de ontpolderingen en gebieden met gecontroleerd gereduceerd getij aangepast. Voor de vergelijking met de C-alternatieven werd bijkomend de verdieping en verbreding van de Ringvaart geïmplementeerd. Zo werd het REF-2050-C alternatief bekomen.

In deze studie werden drie alternatieven beschouwd: C1, C2 en C3.

Bij de analyse van de verschillende alternatieven is voornamelijk gekeken naar het effect van een alternatief op het maximum waterpeil in de Boven-Zeeschelde. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het maximum waterpeil bij storm en het maximum waterpeil bij was in de tijdreeks van de composiet. Dit effect is vergeleken ten opzichte van het REF-2050-C-alternatief. De verruiming van de waterloop in de verschillende alternatieven leidt bijna steeds tot een daling van het maximum waterpeil in de Boven-Zeeschelde. Enkele beperkte stijgingen komen voor bij een verminderde GOG-werking omwille van het verkleinen van de GOG's of de introductie van GGG. De daling van het maximum waterpeil in de Boven-Zeeschelde, evenals het aantakken van extra overstromingsgebieden zorgt ervoor dat de gecontroleerde overstromingsgebieden minder (snel) gevuld worden waardoor bergingscapaciteit beschikbaar blijft. Het inrichten van bestaande gecontroleerde overstromingsgebieden met GGG of als ontpoldering leidt hierdoor weinig of niet tot een stijging van het maximum waterpeil in de Boven-Zeeschelde.

Voor de multicriteria-analyse zijn drie criteria opgesteld. Het effect op het maximum waterpeil en het ruimtelijk effect van het alternatief zijn begroot door, per terugkeerperiode, de som te maken van het aantal kilometers dat het waterpeil op de Boven-Zeeschelde stijgt boven TAW +7,0/+7,5/+8,0 m. Hierbij werd aan de stijging boven TAW +7,5 m en TAW +8,0 m een groter gewicht toegekend. Bij T1 stijgt het maximum waterpeil niet boven TAW +7,0 m. Enkel bij T4000 stijgt het maximum waterpeil boven TAW +8,0 m, uitgezonderd bij alternatief C3. Voornamelijk bij het C2- en C3-alternatief daalt ook het aantal kilometers dat het waterpeil boven TAW +7,5 m stijgt.

Het effect op de afwatering van de nevengebieden, inclusief de Dender, is begroot door een analyse van het gemiddeld laagwater (GLW) ter hoogte van vijf tijposten: Sint-Amands, Dendermonde, Schoonaarde, Wetteren en Melle. Voor elke van deze tijposten werd voor een terugkeerperiode van 1 jaar, (geschematiseerd door 4 maal QN en 1 maal QE), de tijd berekend dat het waterpeil onder het GLW daalt, en werd de oppervlakte van de grafiek onder het GLW berekend. Dit oppervlak is relatief ten opzichte van het REF-2050-C-alternatief weergegeven. Hoe langer de duur onder GLW of hoe groter de oppervlakte van de grafiek onder GLW, hoe langer en/of hoe dieper het waterpeil onder het GLW daalt, met (potentieel) positief effect op de afwatering van de nevengebieden. De drie beschouwde alternatieven, C1, C2 en C3 hebben een potentieel negatief effect op de afwatering van de nevengebieden ten opzichte van REF-2050-C. De reductie in de tijd dat het laagwater onder het GLW daalt, ten opzichte van de referentie, is het kleinst bij C1.

Het effect op de afwatering van de Ringvaart is begroot op basis van het maximum waterpeil te Melle in de wasperiode. Bij de drie C-alternatieven wordt een positief effect op de afwatering van de Ringvaart verwacht. Zoals te verwachten is het effect bij het C3-alternatief het grootst.

Rechtstreekse effecten op de afwatering van zowel de Dender, als de Bovenschelde en Leie kunnen niet in rekening gebracht worden, daar het model niet uitgebreid is met deze waterlopen.

7.2 Aanbevelingen

De aanpassingen in de C-alternatieven leiden tot een gewijzigde werking van de gecontroleerde overstromingsgebieden. Gebieden met een hoge overloopdijk zoals GOG Wijmeers, GOG Bastenakkers en GOG Ham treden pas bij grotere terugkeerperioden in werking. Mogelijk kan een optimalisatie van zowel de breedte, als de hoogte van de overloopdijken tot verhoogde veiligheidsbaten leiden.

Voor de configuratie van de inwateringskokers voor de GGG-gebieden werd waar mogelijk gebruik gemaakt van de bestaande inrichtingsvoorstellen. Voor de gebieden waarvoor nog geen inrichtingsvoorstel beschikbaar was, werd een inschatting gemaakt op basis van de nabije GGG-gebieden, rekening houdend met de oppervlakte en de hoogte van het maaiveld van deze gebieden. De inwateringsconfiguraties zijn echter bepaald op basis van de huidige getijkarakteristieken. De ingrepen in de C-alternatieven zullen echter leiden tot gewijzigde getijkarakteristieken waardoor de gewenste overstromingspercentages bij doodtij, gemiddeld tij, springtij en hoog springtij niet meer behaald zullen worden. Vandaar wordt aanbevolen bij verdere inrichtingsstudies deze inwateringsconfiguraties te herbekijken, rekening houdend met de gewijzigde getijkarakteristieken.

8 Referenties

Blanckaert, J.; Van Looveren, R.; Janssen, S. (2005). Sigmaplan. Maatschappelijke KostenBatenAnalyse: deelopdracht 1. Faserapport 1: composietrandvoorwaarden. Versie 2.0. Waterwegen en Zeekanaal NV. Afdeling Zeeschelde: Antwerpen. 37 pp.+ appendices pp.

Coen, L.; Deschamps, M.; Vanderkimpen, P.; Mostaert, F. (2018). Mike11 model Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren - Beschrijving versie 2015. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14_106_6. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Coen, L.; Peeters, P.; Pereira, F.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2012). Bevaarbaarheid van de Boven-Zeeschelde en Zuidelijk vak Ringvaart voor klasse Va-schepen: deelrapport 25. Ondersteunende 1D-berekeningen - Veiligheidstoets. *WL Rapporten*, 840_02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Coen, L.; Vanderkimpen, P.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017a). Integraal plan Boven-Zeeschelde – Veiligheidstoets B-&C-alternatieven: deelrapport 1. Kalibratie Zeescheldemodel. Versie 5.0. *WL Rapporten*, 14_176_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. XXVII, 54 + 199 p. appendices pp.

Coen, L.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017b). Integraal Plan Boven-Zeeschelde - Veiligheidstoets B- en C-alternatieven: Deelrapport 2 - Veiligheidstoets B-alternatieven. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14_176_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

IMDC. (2015). Bepalen van randvoorwaarden voor de referentiesituatie (2050) m.b.t. debiet en waterstand., I/RA/11448

IMDC. (2020). Definition of the C-alternatives. *I/NO/11448/19.226/JVS/RAD*

Smolders, S.; Maximova, T.; Vandenbruwaene, W.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Integraal Plan Bovenzeeschelde: Deelrapport 5 - Scaldis 2050. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 13_131_5. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage 1 Technische samenvatting implementatie C-alternatieven

Km	Naam	Alternatief	Ingreep	Geimplementeerd als	Naam riviertak/Reservoir (Chainages)	Eigenschappen
0-4	Ringvaart	2050-C, C1-C2-C3	Verdieping en verbreding	Aanpassing secties	Ringvaart	Topo-id: VAG-RV2050
4-4.4	Veerhoek	C2-C3	Dijkverplaatsing	Aanpassing secties	Zeeschelde (99100-99400)	Topo-id: C2_2050
5	Melleham	C1	Aantakking	Niet geïmplementeerd		
5	Melleham	C2	GGG zonder GOG	Reservoir	FC_zeeschelde_98500_L	- Topo-id: 2050_C2 - GGG-inwatering: 2 kokers (3*2.2) op 4.4 mTAW - Uitwatering: 2 kokers (3.*2.2) op 2.5 mTAW - Dijk en ringdijk: 8 mTAW
5	Melleham	C3	Ontpoldering	Reservoir	FC_zeeschelde_98500_L	- Topo-id: 2050_C3 - Scheldedijk verlaagd tot 4 mTAW - Ringdijk: 8 mTAW
6	Bommels	C2	Dijkverplaatsing	Aanpassing secties	Zeeschelde (97100-97900)	- Topo-id: 2050_C2 - Dijken tot 8 mTAW
8-9	Voorde	C1-C2-C3	Aanpassing vaargeul	Aanpassing secties	Zeeschelde (94500-95500)	- Topo-id: 2050_C1/C2/C3
10-11	Wetteren	C1	Aanpassing vaargeul	Aanpassing secties	Zeeschelde (92700-93400)	- Topo-id: 2050_C1 - Dijken tot 8 mTAW
		C2-C3	Aanpassing vaargeul	Aanpassing secties	Zeeschelde (91900-93400)	- Topo-id: 2050_C2 - Dijken tot 8 mTAW
12	Wetteren	C1-C2-C3	Ontpoldering	Verbreding secties	Zeeschelde (90900-91800)	- Topo-id: 2050_C1
13	Wijmeers	C2	Uitbreiding GOG noord	Nieuwe riviertak	C2_wijmeers (0-1770)	- Topo-id: 2050_C2 - Verbinding met GOG Wijmeers op maaiveld hoogte: 100 m op 3.8 mTAW - Ringdijk: 8 mTAW - Uitwatering GOG Wijmeers west verdubbelen: 8 kokers op 2.75 mTAW
13	Wijmeers	C3	Verkleining GOG Wijmeers west	Nieuwe riviertak	C3_Wijmeers (0-800)	- Topo-id: 2050_C3 - Overloopdijk Zeeschelde: 7.1 mTAW, 290 m - Overloopdijk naar GOG noord: 4.5 mTAW, 200 m - Ringdijk: 8 mTAW - Ruwheid: 0.1

Km	Naam	Alternatief	Ingreep	Geimplementeerd als	Naam riviertak/Reservoir (Chainages)	Eigenschappen
14-17	Hoogland	C1	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C1_hoogland (0-568)	- Topo-id: 2050_C1 - Ruwheid: 0.0275
					Zeeschelde (87300-88000)	Afgesloten door weirs
14-17	Hoogland	C2	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C2_hoogland (0-2114)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.0275 - Ontpoldering Wijmeers als brede secties op C2_hoogland - Overloopdijk Wijmeers ongewijzigd
					Zeeschelde (86440-88000)	Verwijderd
14-17	Hoogland	C3	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C3_uitbergen (0-5836)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.0275 - Ontpoldering Wijmeers als brede secties
					Zeeschelde (88000-89200)	Verwijderd
17-19	Uitbergen	C1	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C1_uitbergen 0-738	- Topo-id: 2050_C1 - Ontpoldering Bergenmeersen als reservoir, met in- en uitwateringen verwijderd
					Zeeschelde (84850-85840)	Afgesloten door weirs
17-19	Uitbergen	C2	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C2_uitbergen 0-2028	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid 0.0275 - Tussendijk op 6.4 mTAW, 2*200 m - Ontpoldering Bergenmeersen als brede secties op C2_uitbergen
					Zeeschelde (83850-84450) Zeeschelde (84550-85940) Zeeschelde (86040-86340)	Verwijderd Als nevengeul met nieuwe secties Verwijderd
17-19	Uitbergen	C3	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C3_Uitbergen (0-5836)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.0275 - Ontpoldering Bergenmeersen als brede secties
					Zeeschelde (84550-85940)	Als nevengeul met nieuwe secties
19-22	Paardeweide	C3	Bochtafnsijding	Nieuwe riviertak	C3_Uitbergen (05836)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.0275 - Ontpoldering Paardeweide als brede secties

Km	Naam	Alternatief	Ingreep	Geimplementeerd als	Naam riviertak/Reservoir (Chainages)	Eigenschappen
						- Overloopdijk Paardeweide langs Zeeschelde behouden - Uitwateringen Paardeweide verwijderd
					C3_Paardeweide (0-600)	- Oostelijke deel GOG Paardeweide - Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.1 - Dijk verlagen tot maaiveldhoogte 3.7 mTAW, 150 m - Overloopdijk en uitwateringen Paardeiweid langs Zeeschelde behouden
					Zeeschelde (81860-82360) Zeeschelde (82460-84250)	Verwijderd Als nevengeul met nieuwe secties
23-27	Oude Broekmeer	C2	Ontpoldering	Nieuwe riviertak	C2_broekmeer (0-2056)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.05 - Ringdijk: 8 mTAW - Dijk verlagen tot 3.1 mTAW, 400+600 m
23-27	Oude Broekmeer	C3	Ontpoldering	Nieuwe riviertak	C3_broekmeer (0-1700)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.05 - Ringdijk: 8 mTAW - Dijk verlagen tot 3.1 mTAW, 300+700 m
				Nieuwe riviertak	FB_C3_broekmeer_L (0-3256)	- Topo-id: 2050_C3 - Ringdijk 8 mTAW - Verbinding met C3_broekmeer op 2.8 mTAW, 3*500 m
				Aanpassing secties	Zeeschelde (76560-80460)	Topo-id: 2050_C3
27-28	Scheldebroek	C1-C2-C3	GOG-GGG	Riviertak	GOGScheldebroek	- Nieuwe dwarssecties, topo-id: 2050_C2 - GGG-inwatering: 4 kokers op 4.4 mTAW
			Aanpassing vaargeul	Aanpassing secties	Zeeschelde (75770-76360)	- Topo-id: 2050_C2
27-31	Sint-Onolfspolder	C2	Ontpoldering	Nieuwe riviertak	C2_onolf (0-1098)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.05 - Dijk verlagen tot 2.88 mTAW
27-31	Sint-Onolfspolder	C3	Ontpoldering	Nieuwe riviertak	C3_Onolf (0-1834)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.05 - Ringdijk 8 mTAW - Dijk verlagen tot 2.88 mTAW, 3*500 m

Km	Naam	Alternatief	Ingreep	Geimplementeerd als	Naam riviertak/Reservoir (Chainages)	Eigenschappen
				Nieuwe riviertak	FB_C3_Onolf_L (0-3298)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.1 - Dijk Zeeschelde en ringdijk: 8 mTAW - Verbinding met C3_onolf op 2.5 mTAW, 3*600 m
				Aanpassing secties	Zeeschelde (74000-76360)	Topo-id: 2050_C3
30	Kasteeltje	C1	Bochtafsnijding	Aanpassing secties	Zeeschelde (72900-73700)	Topo-id: 2050_C2
30	Kasteeltje	C2	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C2_Kasteeltje (0-906)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.03 - Dijken op 8 mTAW
					Zeeschelde (72900-73900)	Verwijderd
30	Kasteeltje	C3	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C3_kasteeltje (0-1368)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.03 - Dijken op 8 mTAW
				Aanpassing riviertak	FM_zeeschelde_L02 (0-692)	- Topo-id: 2050_C3 - Ringdijk op 8 mTAW
					Zeeschelde (72500-74000)	Verwijderd
34	Dender	C2-C3	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C2_Dender (0-712)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid - Dijken: 8 mTAW - Boundary Dender op C2_Dender 300
					Zeeschelde (71100-71900)	Verwijderd
35	Grembergenbroek	C2-C3	Ontpoldering	Reservoir	FC_zeeschelde_68700_L (10)	- Topo-id: 2050_C2 - Inlaat via dijkverlaging: 2.4 mTAW, over 300 m - Ringdijk: 8 mTAW
35-37	Armenput	C2-C3	Ontpoldering	Parallelle tak	C2_armenput (0-1748)	- Vervangt FB_zeeschelde_L06 - Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.05 - Dijk verlagen tot 2.6 mTAW over 1200 m - Ringdijk: 8 mTAW
37-38	Waterleiding	C1-C2-C3	Bochtafsnijding	Aanpassing secties	Zeeschelde (65700-66200)	Topo-id: 2050_C1
38-39	Roggeman	C2	Ontpoldering	Reservoir	FC_zeeschelde_65200_L	- Topo-id: 2050_C2 - Inlaat via dijkverlaging: 2.9 mTAW, over 1000 - Ringdijk: 8 mTAW

Km	Naam	Alternatief	Ingreep	Geimplementeerd als	Naam riviertak/Reservoir (Chainages)	Eigenschappen
38-39	Roggeman	C3	Ontpoldering	Reservoir	FC_zeeschelde_65200_L	- Topo-id: 2050_C3 - Inlaat via dijkverlaging: 2.9 mTAW, over 1000 - Ringdijk: 8 mTAW
40-42	Kramp	C1	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C1_kramp (0-1962)	- Topo-id: 2050_C1 - Ruwheid: 0.0335 - Overloopdijken naar Vlassenbroek blijven behouden
					Zeeschelde (62400-64990) GOGuiterdijk FC_zeeschelde_62900_R	Verwijderen
40-42	Kramp	C2-C3	Bochtafsnijding	Nieuwe riviertak	C2_kramp (0-1626)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.0335 - Overloopdijken naar Vlassenbroek blijven behouden
				Aanpassing secties	Zeeschelde (61800-62300)	- Topo-id: 2050_C2
42-48	Wal-Zwijn	C1	GOG-GGG	Riviertak	GOGWal - GOGZwijn	- Drempelpeil 3 GGG-inwateringskokers Wal: 1 op 4.3 mTAW + 1 op 4.5 mTAW + 1 op 4.6 mTAW - Drempelpeil 4 GGG-inwateringskokers Zwijn op 4.3 mTAW
42-48	Wal-Zwijn	C2-C3	GOG-GGG	Riviertak	GOGWal - GOGZwijn	- Drempelpeil 3 GGG-inwateringskokers Wal: 1 op 4.3 mTAW + 1 op 4.5 mTAW + 1 op 4.6 mTAW - Drempelpeil 4 GGG-inwateringskokers Zwijn: 1 op 4.3 mTAW + 2 op 4.6 mTAW + 1 op 4.8 mTAW
48-49	Blankaart	C1	GOG	Riviertak	FB_zeeschelde_L08 (2000-3200)	- Overloopdijk op 6.7 mTAW, 600 m - Tussendijk naar GOG Zwijn op 2.1 mTAW, 600 m - Uitwatering: 3 kokers op 1.5 mTAW - Ringdijk: 8 mTAW
48-49	Blankaart	C2	Ontpoldering	Riviertak	FB_zeeschelde_L08 (2000-3200)	- Inlaat langs Zeeschelde op maaiveldhoogte: 2.24 mTAW, 600 m - Tussendijk naar GOG Zwijn op 8 mTAW - Geen uitwateringskokers

Km	Naam	Alternatief	Ingreep	Geimplementeerd als	Naam riviertak/Reservoir (Chainages)	Eigenschappen
48-52	Blankaart-Akkershoofd	C3	Ontpoldering met nevengeul	Nieuwe riviertak	C3_Akkershoofd (0-1760)	
				Nieuwe riviertak	FB_C3_akkershoofd_L (0-3436)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.1 - Dijk Zeeschelde en ringdijk: 8 mTAW - Verbinding met C3_akkershoofd op 2.2-2.6 mTAW (1+2)*600 m
				Aanpassing secties	Zeeschelde (51800-52000) Zeeschelde (54200-55000)	Topo-id: 2050_C3
50-57	Weert	C3	Ontpoldering	Nieuwe riviertak	C3_weert_west (0-2250)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.05 - Verbinding met Zeeschelde op 1.9 mTAW (2*500 m)+300 m - Ringdijk 8 mTAW
				Aanpassing riviertak	FM_zeeschelde_R03 (300-1002)	Topo-id: 2050_C3
				Aanpassing secties	Zeeschelde (50190-52400)	Topo-id: 2050_C3
			Ontpoldering	Nieuwe riviertak	C3_Weert_oost (0-2564)	- Topo-id: 2050_C3 - Ruwheid: 0.05 - Verbinding met Zeeschelde op 1.9 mTAW, 400 m - Ringdijk: 8 mTAW
				Aanpassing secties	Zeeschelde (48190-48390)	Topo-id: 2050_C3
53-55	Durmemonding	C1-C2-C3	Nevengeul	Nieuwe riviertak	C1_Durme (0-1060)	- Topo-id: 2050_C1 - Ruwheid: 0.03 - Overloopdijk naar GOGtielrode op 6.6 mTAW, 800 m - Tussendijk naar schor op 2.5 mTAW (600 m) - Schorrand Zeeschelde en Durme op 5.8 mTAW
				Riviertak	GOGtielrode (0-1000) GOGtielrode (1200-1364)	- Secties aangepast; topo-id: 2050_C1 - Ringdijk op 8 mTAW - In- en uitwateringen behouden - Verwijderd
				Aanpassing secties	Zeeschelde (49190-49990)	- Topo-id: 2050_C1

Km	Naam	Alternatief	Ingreep	Geimplementeerd als	Naam riviertak/Reservoir (Chainages)	Eigenschappen
56-63	Bornem	C1	Lokale verondieping	Aanpassing secties	Zeeschelde (40000-47590)	- Topo-id: 2050_C1
56-63	Bornem	C2	Lokale verondieping + nevengeulen + GOG	Aanpassing secties	Zeeschelde (40000-47590)	- Topo-id: 2050_C2
				Nieuwe riviertak	C2_oudbroek (0-2204)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.05 - Ringdijk: 8.35 mTAW - Overloopdijk tussen aantakkingen geul op 6.85 mTAW, 1500 m - Uitwatering verwijderd
				Nieuwe riviertak	C2_schousel (0-1598)	- Topo-id: 2050_C2 - Ruwheid: 0.05 - Ringdijk: 8.35 mTAW - Overloopdijk tussen aantakkingen geul op 6.8 mTAW, 1500 m - In- en uitwatering verwijderd
				Riviertak	C2_hingene (0-2954)	- Vervangt GOGhingeneb - Topo-id: 2050_C2 – nieuwe secties - Ruwheid: 0.1 - Ringdijk op 8.35 mTAW - Tussendijk Hingene en Spierbroek op 8.35 mTAW (C2_hingene 1100) - Overloopdijk op 6.85 mTAW - Zelfde in- en uitwateringskokers als voor Schouselbroek: 5 IN/UIT voor Spierbroek (W) + 4 IN/UIT voor Hingenebroek (O) o 2 in op 4.45 mTAW o 7 in op 4.6 mTAW o 9 uit op 0.5 Mtaw
56-63	Bornem	C3	Verdere verondieping vaargeul	Aanpassing secties	Zeeschelde (40000-47590)	- Topo-id: 2050_C3

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
T +32 (0)3 224 60 35
F +32 (0)3 224 60 36
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.waterbouwkundiglaboratorium.be