



Vlaanderen
is wetenschap

Oudegem

Denderbelle

Mespelare

Molenstraat

15_062_2
WL rapporten

Ondersteuning ontwerp stuwsluis Denderbelle

Bundeling memo's deelopdrachten (DO) 1, 2, 6, 8 en 12

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Ondersteuning ontwerp stuwsluis Denderbelle

Bundeling memo's deelopdrachten (DO) 1, 2, 6, 8 en 12

Boey, I.; Verelst, K.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

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 2017
D/2017/3241/20

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Boey, I.; Verelst, K.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Ondersteuning ontwerp stuwsuis Denderbelle: Bundeling memo's deelopdrachten (DO) 1, 2, 6, 8 en 12. Versie 3.0. WL Rapporten, 15_062_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

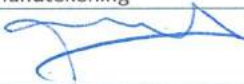
Overname uit of verwijzen naar deze publicatie kan enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of van het Waterbouwkundig Laboratorium.

Documentidentificatie

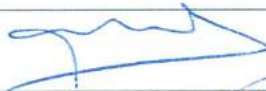
Opdrachtgever:	Waterwegen & Zeekanaal, Afdeling Bovenschelde	Ref.:	WL2017R15_062_2
Keywords (3-5):	Denderbelle, vernieuwing, stuw, sluis, scheepvaart		
Tekst (p.):	64	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2020
		Uitzondering:	☐ Vlaamse overheid

Auteur(s):	Boey, I.
------------	----------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwaest, T.	
Projectleider:	Verelst, K.	

Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Verwaest, T.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	



Abstract

Bij het ontwerp en de bouw van de nieuwe stuwsuis van Denderbelle was er een diverse ondersteuning noodzakelijk door het Waterbouwkundig Laboratorium voor verschillende studieaspecten. Het geheel van het studiepakket werd opgedeeld in deelopdrachten. Een aantal van deze opdrachten werden ingediend als memo, een ander deel als reeds volwaardige rapporten.

Dit rapport bundelt een reeks van 5 reeds ingediende en door WenZ goedgekeurde memo's in 1 rapport om zo een duidelijke rapportage en archivering mogelijk te maken.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VIII
Lijst van de figuren	IX
Overzicht van de gebundelde memo's met hun goedkeuringsdatum	1
1 DO1: Invloed van het verlagen van het afwaarts streefpeil op het tijdspercentage van de beschikbare doorvaarthoogte	2
1.1 Inleiding	2
1.2 Werkwijze en gebruikt model	2
1.3 Berekeningen.....	4
1.3.1 Huidige situatie (streefpeil van 3.85 m TAW).....	4
1.3.2 Streefpeil van 3.65 m TAW	5
1.3.3 Streefpeil 3.45 m TAW.....	6
1.3.4 Streefpeil 3.25 m TAW.....	7
1.3.5 Streefpeil 3.05 m TAW.....	8
1.3.6 Berekening op basis van gemeten waarden in Denderbelle en Dendermonde.....	8
1.3.7 Bespreking resultaten.....	10
1.4 Beschouwingen omtrent het kiezen van een hoger debiet dan 45 m ³ /s voor het toelaten van scheepvaart op de Dender	11
1.4.1 Debiet te Erembodegem, frequentie	11
1.5 Berekening van debieten en bijhorende waterpeilen door het M11-model	12
1.6 Besluit	14
1.7 Bibliografie.....	14
2 DO2: Opmaak 2D-detailstromingsmodel sluisomgeving.....	15
2.1 Inleiding	15
2.2 Modelopzet	15
2.2.1 Modeldomein, rooster en bathymetrie.....	15
2.2.2 Randvoorwaarden	17
2.2.3 Beginvoorwaarden	18
2.2.4 Bodemruwheid	18
2.2.5 Simulatieperiode en gebruikte tijdstap.....	18
2.2.6 Resultaten.....	18
2.3 Referenties	18
Appendix: kwaliteit van het grid.....	19

Orthogonaliteit	20
Gladheid van het rooster in de langsrichting	22
Gladheid van het rooster in de dwarsrichting	24
Aspectratio	26
3 DO6: Noodscenario afvoer was te Denderbelle	28
3.1 Inleiding	28
3.2 Implementatie scenario's	28
3.2.1 Bestaande toestand (S0).....	28
3.2.2 SF1	29
3.2.3 SF1nood1	29
3.2.4 SF1nood2	29
3.3 Resultaten.....	29
3.3.1 Overzicht van de bekomen waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle	30
3.3.2 T10: S0 tov SF1nood1 en SF1nood2	30
3.3.3 T100: S0 tov SF1nood1 en SF1nood2	35
3.3.4 T1000: S0 tov SF1nood1 en SF1nood2	38
3.4 Conclusie.....	41
3.5 Additionele berekeningen: Openen deuropeningen van sluis in noodsituatie (1 stuw in werking).....	42
4 DO8: Doorrekenen van de impact van de volume reductie van het Denderbellebroek.....	43
4.1 Inleiding	43
4.2 Gebruikte gegevens	43
4.3 Uitvoering	43
4.4 Inschatting van de volume verandering in de Dender	49
4.5 Overstromingskaarten voor verschillende terugkeerperiodes	50
4.6 Conclusie.....	55
4.7 Bibliografie.....	55
5 DO12: Berekenende en gemeten op- en afwaartse waterpeilen voor de stuw van Denderbelle	56
5.1 Inleiding	56
5.2 Terugkeerperiodes- modelberekeningen.....	56
5.3 Resultaten.....	57
5.3.1 Overzicht van de bekomen waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle	57
5.3.2 T100, S0 (huidige toestand).....	57
5.3.3 T100, voorontwerptoestand.....	58
5.3.4 T500, S0 (huidige toestand).....	58
5.3.5 T500, voorontwerptoestand.....	59
5.4 Historische reeksen	59
5.4.1 Validatie van de meetreeksen	59

5.4.2	Grafische analyse van de recentste hoogwaterpeilen (december 1999 tot januari 2015), op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle	60
5.5	Besluit	64

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de gebundelde memo's met hun goedkeuringsdatum	1
Tabel 2 - Overzicht tijdpercentages van de beschikbare doorvaarthoogte van 5.2 m voor verschillende streefpeilen.....	10
Tabel 3 – Overzicht van de berekende waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle (m TAW)	30
Tabel 4 – Berekening van het volume verlies in het Denderbellebroek ten gevolge van de opwaardering van de Dender.	49
Tabel 5 – Volume vergelijking van de Dender tussen huidige toestand (S0) en opwaardering (SE1)	50
Tabel 6 – Overzicht van de berekende waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle (m TAW)	57

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Aanduiding van brug van Oudegem	3
Figuur 2 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.85 m TAW.....	4
Figuur 3 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.65 m TAW.....	5
Figuur 4 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.45 m TAW.....	6
Figuur 5 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.25 m TAW.....	7
Figuur 6 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.05 m TAW.....	8
Figuur 7 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte aan de brug van Oudegem (gemeten-berekende waterstanden)	9
Figuur 8 – Opvulling van buffer pand Denderbelle-Dendermonde voor streefpeil van 3.45 m TAW.....	11
Figuur 9 – Weergave van gemeten debieten te Erembodegem voor de periode van 2013-2015.....	12
Figuur 10 – Lage debieten, huidige toestand	13
Figuur 11 – Hoge debieten, huidige toestand	13
Figuur 12 – Overzichtsfoto van het te modelleren gebied.....	16
Figuur 13 – Geroteerde weergave van het gehele modeldomein	16
Figuur 14 – Detailweergave van modelschematisatie nabij de stuw voor model "Noord" (links) en model "Zuid" (rechts).....	17
Figuur 15 – Orthogonaliteit van het rooster van het "Noord"-model.	20
Figuur 16 – Orthogonaliteit van het rooster van het "Zuid"-model.....	21
Figuur 17 – Roostergladheid in de langsrichting voor het "Noord"-model.....	22
Figuur 18 – Roostergladheid in de langsrichting voor het "Zuid"-model.....	23
Figuur 19 – Roostergladheid in de dwarsrichting voor het "Noord"-model.	24
Figuur 20 – Roostergladheid in de dwarsrichting voor het "Zuid"-model.	25
Figuur 21 – Aspectratio voor het rooster van het "Noord"-model.	26
Figuur 22 – Aspectratio voor het rooster van het "Zuid"-model.....	27
Figuur 23 – Waterpeil [mTAW] bij T10 opwaarts de stuwsuis in Denderbelle	31
Figuur 24 – Waterpeil [mTAW] bij T10 afwaarts de stuwsuis in Denderbelle	31
Figuur 25 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T10 langs de Dender	32
Figuur 26 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T10 langs de Dender	32
Figuur 27 – Debiet over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T10	33

Figuur 28 – Cumulatief volume over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T10.....	34
Figuur 29 – Waterpeil [mTAW] bij T100 opwaarts de stuwsuis in Denderbelle	35
Figuur 30 – Waterpeil [mTAW] bij T100 afwaarts de stuwsuis in Denderbelle	35
Figuur 31 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T100 langs de Dender	36
Figuur 32 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T100 langs de Dender	36
Figuur 33 – Debiet over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T100	37
Figuur 34 – Cumulatief volume over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T100.....	37
Figuur 35 – Waterpeil [mTAW] bij T1000 opwaarts de stuwsuis in Denderbelle	38
Figuur 36 – Waterpeil [mTAW] bij T1000 afwaarts de stuwsuis in Denderbelle	38
Figuur 37 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T1000 langs de Dender	39
Figuur 38 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T1000 langs de Dender	39
Figuur 39 – Debiet over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T1000	40
Figuur 40 – Cumulatief volume over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T1000...	40
Figuur 41 – Planzicht met aanduiding van de typeprofielen die bij de herwaardering zullen gebruikt worden..	44
Figuur 42 – Overzichtsplan met aanduiding van dwarssecties	45
Figuur 43 – Typedwarsprofielen segment 18-A	46
Figuur 44 – Typedwarsprofielen segment 18-B.....	46
Figuur 45 – Typedwarsprofielen segment 18-C-E	46
Figuur 46 – Typedwarsprofielen segment 18-D	46
Figuur 47 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 A	47
Figuur 48 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 B	47
Figuur 49 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 C en E	47
Figuur 50 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 D	47
Figuur 51 – Overlay van detail van plan 7309-V00-D-Overzichtsplan op google-earth	48
Figuur 52 – Overstromingsdiepte-kaart huidige toestand (S0)- T1.....	51
Figuur 53 – Overstromingsdiepte-kaart nieuwe toestand (SE1)- T1	51
Figuur 54 – Overstromingsdiepte-kaart huidige toestand (S0)- T10.....	52
Figuur 55 – Overstromingsdiepte-kaart nieuwe toestand (SE1)- T10.....	52
Figuur 56 – Overstromingsdiepte-kaart huidige toestand (S0)- T100.....	53
Figuur 57 – Overstromingsdiepte-kaart nieuwe toestand (SE1)- T100.....	53
Figuur 58 – Overstromingsverschil diepte-kaart huidige toestand, nieuwe toestand (S0-SE1)- T100	54
Figuur 59 – Verloop van waterstanden voor T100, huidige toestand.....	57
Figuur 60 – Verloop van waterstanden voor T100, voorontwerp toestand	58
Figuur 61 – Verloop van waterstanden voor T500, huidige toestand.....	58
Figuur 62 – Verloop van waterstanden voor T500, voorontwerptoestand	59
Figuur 63 – Gemeten waterstanden januari 2000	60

Figuur 64 – Gemeten waterstanden januari 2003	61
Figuur 65 – Gemeten waterstanden maart 2010	61
Figuur 66 – Gemeten waterstanden november 2011	62
Figuur 67 – Gemeten waterstanden december 2012	62
Figuur 68 – Gemeten waterstanden januari 2013	63
Figuur 69 – Gemeten waterstanden januari 2015	63

Overzicht van de gebundelde memo's met hun goedkeuringsdatum

Tabel 1 – Overzicht van de gebundelde memo's met hun goedkeuringsdatum

Deelopdrachten volgens het projectplan	Goedkeuringsdatum WenZ
DO1: Invloed van het verlagen van het afwaarts streefpeil op het tijdpercentage van de beschikbare doorvaarthoogte	18/8/2015 (goedkeuring door Gorik Noynaert)
DO2: Opmaak 2D-detailstromingsmodel sluisomgeving	Intern voor opmaak DO3
DO6: Noodscenario afvoer was te Denderbelle	18/8/2016
DO8: Doorrekenen van de impact van de volume reductie van het Denderbellebroek	18/8/2016 (goedkeuring Lien Vanhoutte)
DO12 (additioneel, niet vervat in projectplan): Op-en afwaartse waterpeilen	November 2015

1 DO1:Invloed van het verlagen van het afwaarts streefpeil op het tijdspercentage van de beschikbare doorvaarthoogte

MEMO

Titel	Invloed van verlaging van het streefpeil van het pand Denderbelle-Dendermonde op de doorvaarthoogte/ Beschouwingen bij verhoging van het maximaal debiet waarbij scheepvaart toegelaten is
Datum	7/08/2015
Auteur(s)	Boey, I.
Ref.:	WL2013M15_062_1

1.1 Inleiding

In het kader van de vernieuwing van de stuwsuis van Denderbelle vraagt W&Z om de volgende aspecten te bestuderen:

1. Het effect van een streefpeilverlaging van het pand Denderbelle-Dendermonde op het percentage van de tijd dat een minimum doorvaarthoogte beschikbaar is van 5.2 m ter hoogte van de brug van Oudegem.
2. Aanreiken van informatie die toelaat te beoordelen of een hoger debiet dan $45 \text{ m}^3/\text{s}$ waarbij scheepvaart toegelaten wordt zinvol is met het oog op het nautisch aanpassen van de stuwsuis hieraan.

Beide aspecten worden hierna besproken.

1.2 Werkwijze en gebruikt model

Gebruik wordt gemaakt van het hydraulisch model (Mike11) van de Dender (13_098_S0_huidige-toestand) met de randvoorwaarden opgesteld in het kader van het project "ORBP". Voor dit project werden er lange tijdreeksen doorgerekend die ook in deze studie aangewend kunnen worden.

De dwarssecties zoals die nu bestaan blijven behouden in het berekeningsmodel. De uitdieping van de Denderbedding die eventueel uitgevoerd zal worden zal immers beperkt zijn en weinig invloed hebben op de hydraulische berekeningen. Eveneens zijn alle wijzigingen nog niet gekend.

Het model bevat ter hoogte van Dendermonde een "control structure" bestaande uit een hef en een wipschuif. Deze structuren simuleren de werking van de stuw te Dendermonde. In de huidige toestand is deze (zowel in het model als in situ) zodanig geregeld dat een streefpeil van rond de 3.85 mTAW gehandhaafd wordt opwaarts de stuw (dus in het pand Denderbelle-Dendermonde).

Bij hogere debieten (ongeveer vanaf $45 \text{ m}^3/\text{s}$) zal de sturing wijzigen en de stuw maximaal opengaan om zoveel en zo snel mogelijk water te evacueren vanuit het Denderbekken naar de Schelde. In zulke periodes zal het

waterpeil bij laagtij gewoonlijk zelf lager zijn dan het streefpeil. Bij hoogtij zal het peil ver boven het streefpeil stijgen. Enkel bij zeer hoge debieten kan dit streefpeil bij laagtij niet behouden blijven.

Om na te gaan welk streefpeil optimaal zou zijn om het tijdsvenster te maximaliseren/optimaliseren waarbij een doorvaarthoogte van 5.20 m ter hoogte van Oudegem gehaald kan worden, zal in de het model de "control structure" aangepast worden zodat een streefpeil van respectievelijk 3.65 m TAW, 3.45 m TAW, 3.25 m TAW, 3.05 m TAW gehaald wordt. Het percentage van de tijd wordt berekend waar er een theoretische vrije doorvaarthoogte van 5.20 m ter hoogte van de brug van Oudegem gehaald wordt.

Er wordt bewust gerekend met afgeronde waarden (tot op 5 cm) voor de streefpeilen, omdat een regeling tot op één cm niet mogelijk is, niet in het M11 model, en ook niet in situ.

De situering van de brug van Oudegem is weergegeven in Figuur 1. Deze is gelegen op ongeveer 1900 m van de sluis van Denderbelle. In het Dendermodel komt deze locatie overeen met *Chainage Dender46062*.

Figuur 1 – Aanduiding van brug van Oudegem



In de studie (Viaene, 2009), werd de onderkant van de brug vastgelegd op 9.01 m TAW. Indien hiervan 5.20 m vrije doorvaarthoogte afgetrokken wordt bekomt men een maximale waterhoogte ter hoogte van de brug van 3.81 m TAW. De vraag wordt dan gesteld welk percentage van de tijd deze minimale doorvaarthoogte bekomen wordt bij verschillende streefpeilen.

Om dit percentage te berekenen wordt gebruik gemaakt van de Mike11-tool: *duration curve*. Deze tool maakt een eenvoudige sommatie van de periodes (uitgedrukt in uur) dat het ingesteld waterniveau ONDERchreden wordt (hier 3.81 m TAW). Hieruit kan dan het percentage van de totaal gemodelleerde tijd berekend worden.

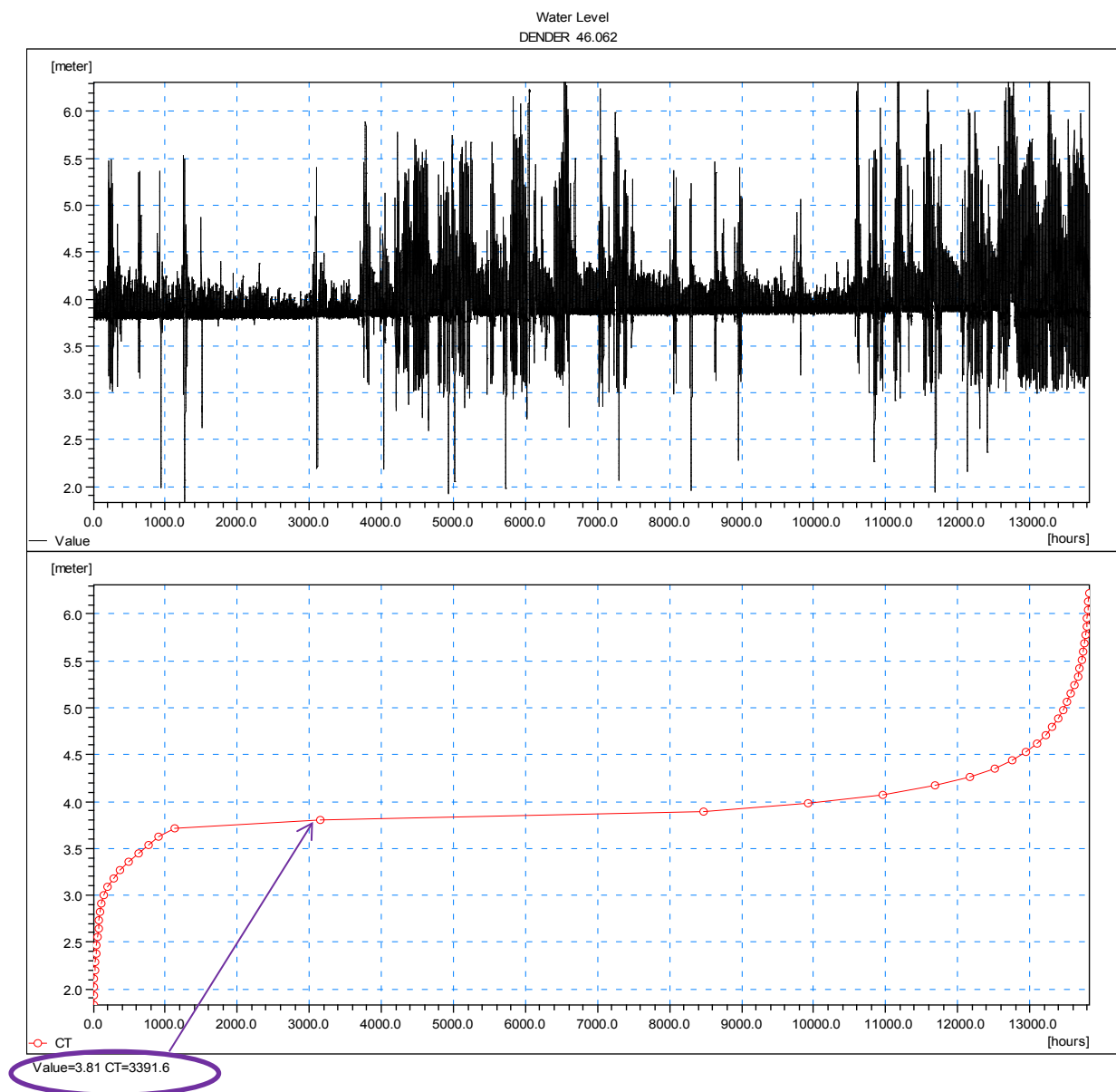
De gemodelleerde tijdreeks bestaat uit een simulatie van 1-6-2009 tot 29-12-2010.

1.3 Berekeningen

Het berekend aantal uren dat het niveau van 3.81 m TAW onderschreden wordt, wordt hieronder weergegeven voor de verschillende beschouwde streefpeilen. Daarna zullen de resultaten samengevat worden door middel van percentages en besproken.

1.3.1 Huidige situatie (streefpeil van 3.85 m TAW)

Figuur 2 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.85 m TAW



Leeswijzer:

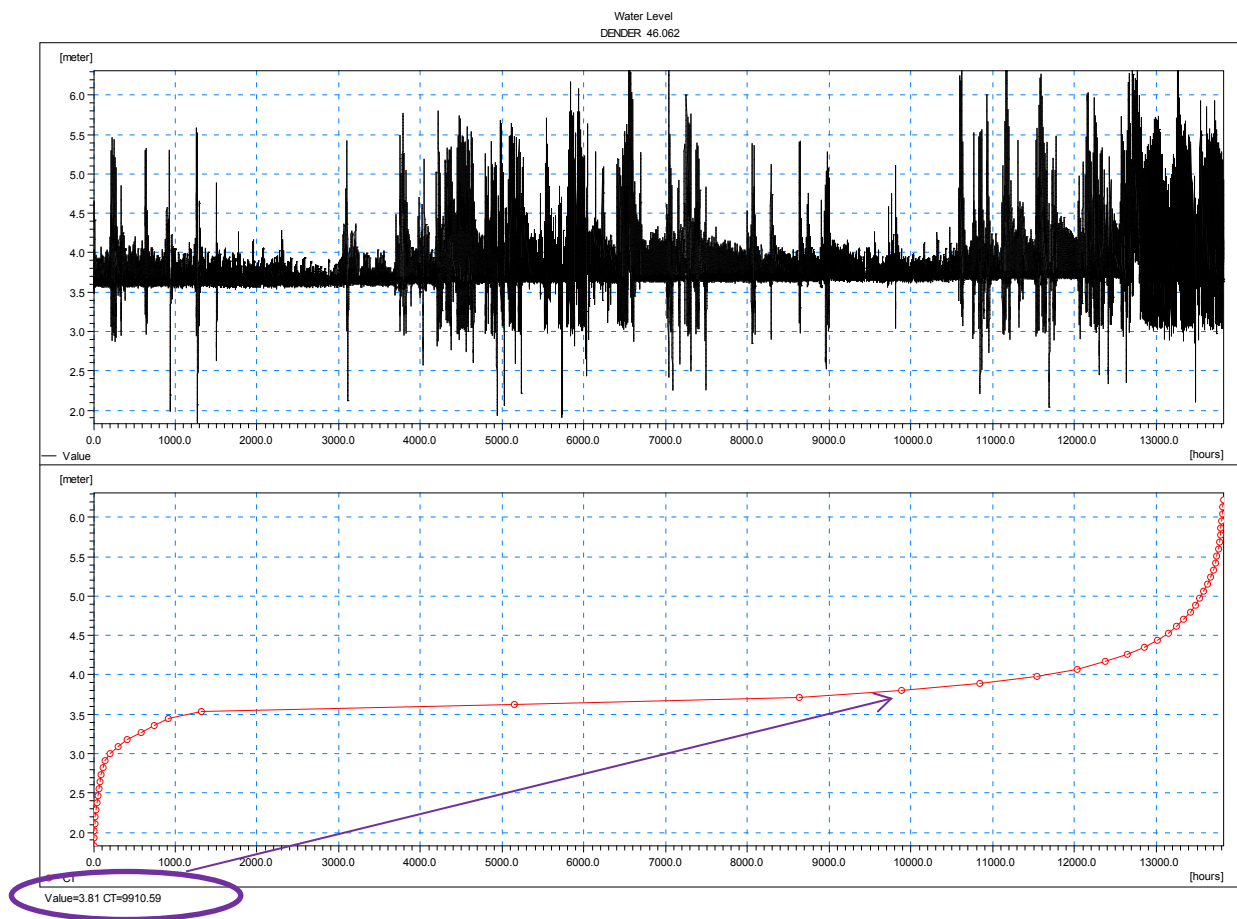
tijdens 0 uur werd een waterstand van minder dan 1.9 mTAW bekomen te Oudegem

tijdens 3391 uur werd een waterstand van minder dan 3.81 mTAW bekomen te Oudegem

tijdens 13000 uur werd een waterstand van minder dan 4.5 uur bekomen

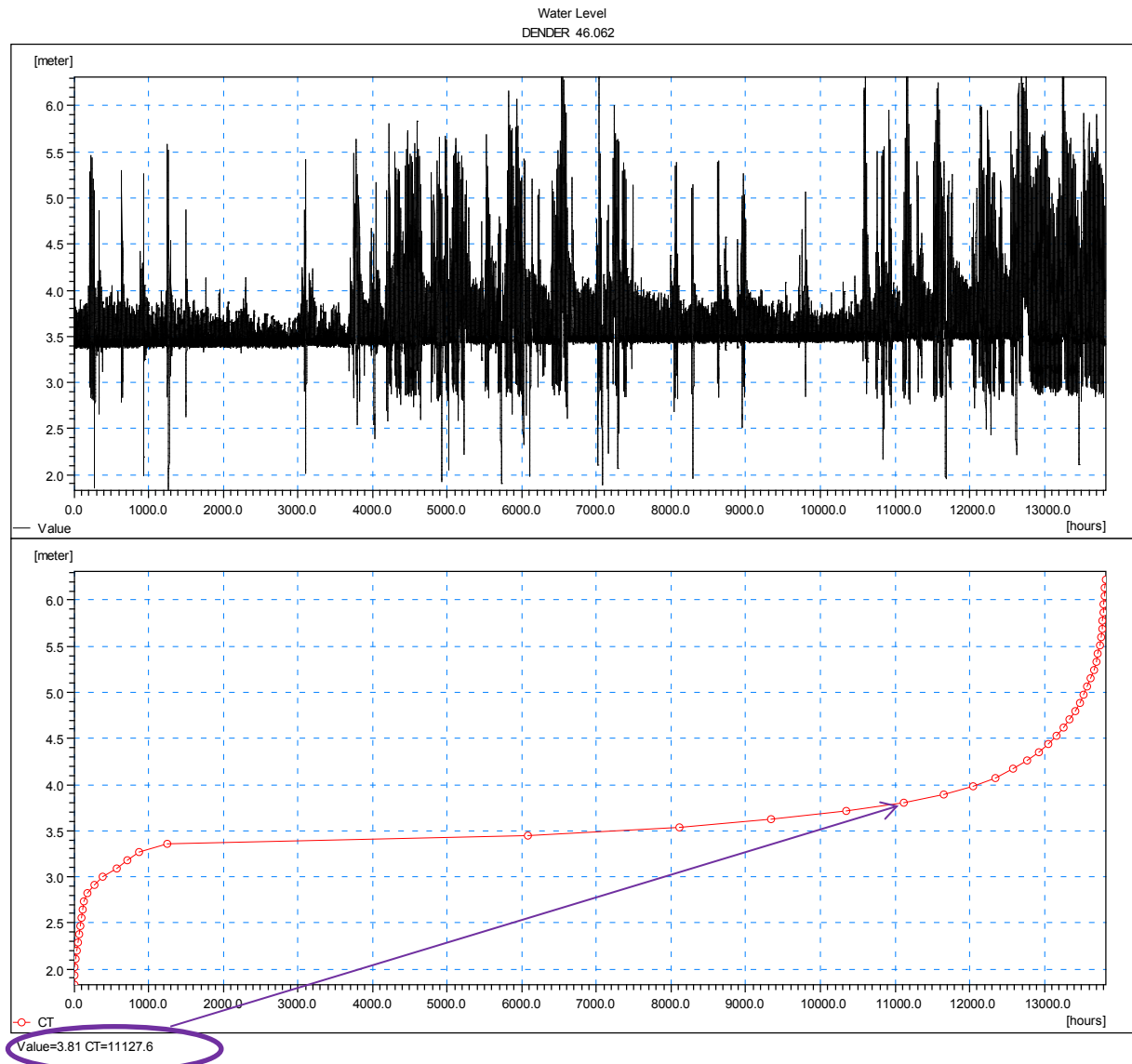
1.3.2 Streefpeil van 3.65 m TAW

Figuur 3 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.65 m TAW



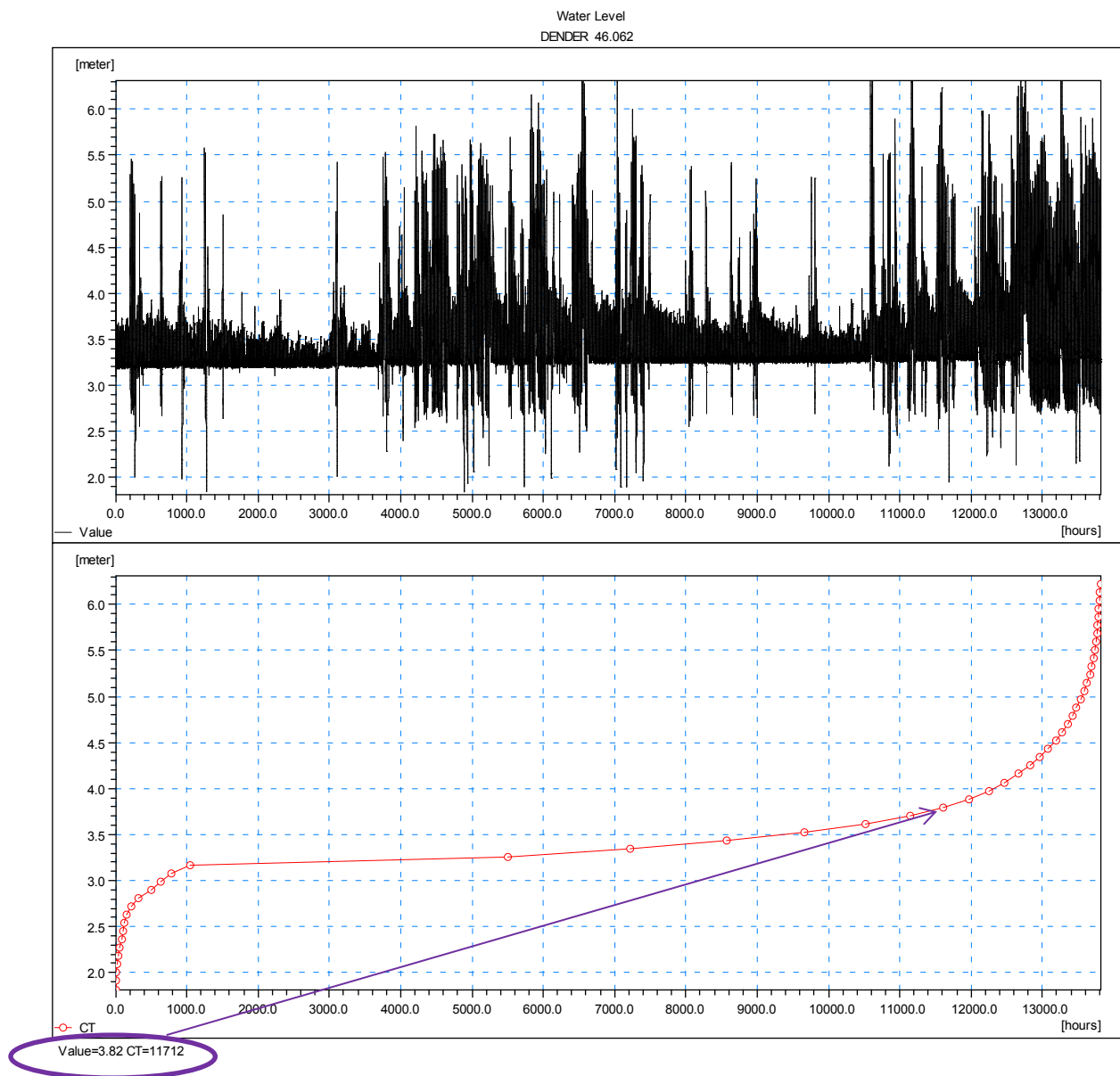
1.3.3 Streefpeil 3.45 m TAW

Figuur 4 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.45 m TAW



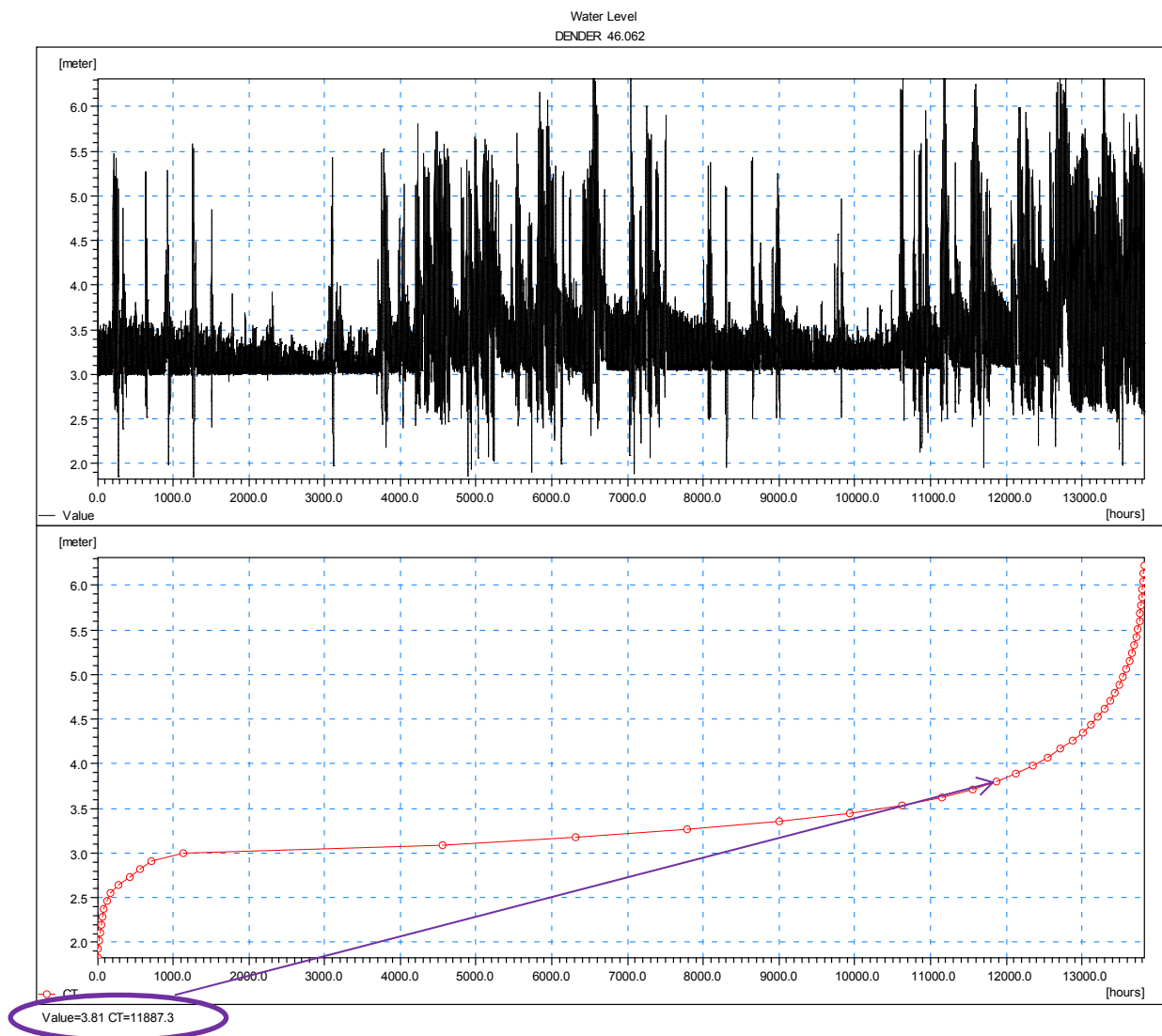
1.3.4 Streefpeil 3.25 m TAW

Figuur 5 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.25 m TAW



1.3.5 Streefpeil 3.05 m TAW

Figuur 6 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte (3.81 m TAW) aan de brug van Oudegem bij een streefpeil van 3.05 m TAW



1.3.6 Berekening op basis van gemeten waarden in Denderbelle en Dendermonde

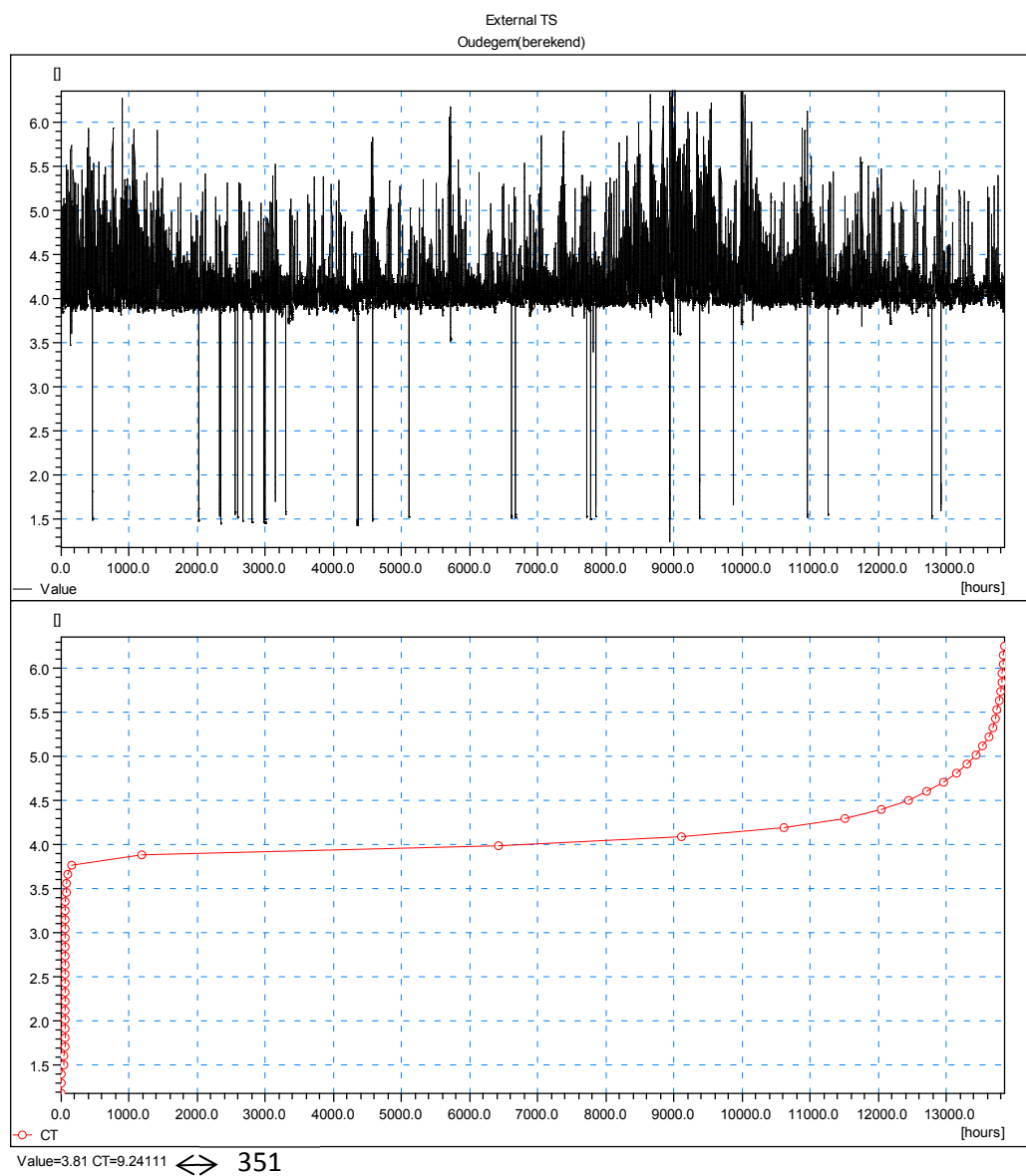
Zowel afwaarts van de stuw van Denderbelle als opwaarts van de stuw van Dendermonde zijn er meetposten geïnstalleerd (respectievelijk den02a-1066 en EMT- OW402-1073). De meetpost in Denderbelle is in tegenstelling tot deze in Dendermonde niet gevalideerd door HIC. Een vermoeden bestaat (moet nog bevestigd worden), dat de meetpost te Denderbelle een te hoge waarde van enkele centimeters weergeeft.

Indien de gegevens gebruikt worden zoals deze geregistreerd staan in de data-base van “waterinfo”, kunnen we de waterstand (WH) in Oudegem als volgt berekenen:

$$WH_{Oudegem} = WH_{Denderbelle} + \left(\frac{1.9}{5.0}\right)(WH_{Dendermonde} - WH_{Denderbelle})$$

Dit rekening houdend met de afstanden tussen meetposten en de brug van Oudegem. (zie (Viaene, 2009)) Voor deze berekeningen werden recente gegevens van 1/1/2014 tot 1/8/2015 gebruikt.

Figuur 7 – Gecumuleerde tijd (in uur) in functie van de niet-overschreden waterhoogte aan de brug van Oudegem (gemeten-berekende waterstanden)



1.3.7 Bespreking resultaten

Tabel 2 - Overzicht tijdpercentages van de beschikbare doorvaarthoogte van 5.2 m voor verschillende streefpeilen

	Percentage tijd met MEER dan doorvaarthoogte 5.2 m (of waterpeil lager dan 3.81 m TAW)	Percentage tijd van MINDER dan doorvaarthoogte 5.2 m (of waterpeil lager dan 3.81 m TAW)
Huidige toestand (3.85 m TAW)*	24.5 %	75.5 %
3.65 mTAW*	71,7 %	28.3 %
3.45 mTAW*	80,6 %	19,4 %
3.25 mTAW*	84,7 %	15,3 %
3.05 mTAW*	85.9 %	14.1 %
Metingen (2014-2015) **	2.5 %	97.5%

*(totaal aantal uur: 13824)

**(totaal aantal uren: 13842)

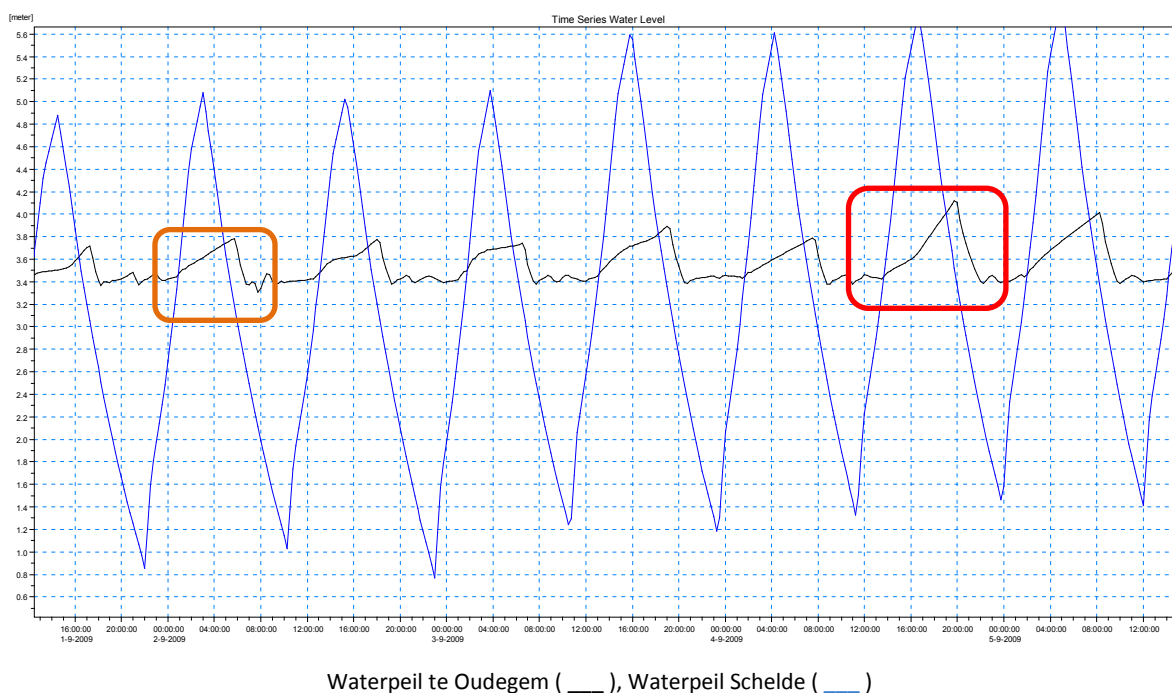
Uit Tabel 2 blijkt dat een verlaging van het streefpeil een positieve invloed heeft op de tijd die beschikbaar is met een voldoende doorvaarthoogte van 5.2 m. Reeds bij een beperkte verlaging met 20 cm (naar 3.65 m TAW) stijgt het beschikbaarheidspercentage naar meer dan 70 %.

Opvallend is dat het percentage van minder dan 5.2 m doorvaarthoogte voor de periode 2014-2015 slechts 2.5 % bedraagt (in vergelijking met 24.5 % model-huidige toestand). Dit is ofwel te wijten aan een instelling van de stuwregeling die in de praktijk wat hoger is dan 2.85 m TAW of door de meting in Denderbelle waarvoor de nauwkeurigheid niet gekend is, maar een aantal centimeters te hoog wordt ingeschat. Bij het bekijken van de bijhorende grafiek valt immers op dat de streefwaarde van 3.81 m TAW opnieuw op een plateau ligt met zeer vlakke richtingscoëfficiënt waarbij bij het toelaten van enkele extra centimeters meer hoogte (bijv 3.90 m TAW), het resultaat totaal anders is. Dit resultaat wordt om deze redenen niet verder in beschouwing genomen in de hieronder volgende besprekingen.

Een reden waarom een beperkte verlaging reeds zo een groot effect geeft is omdat de stuwsturing in Dendermonde het waterpeil regelt binnen een bepaalde range. Bij een instelling op 3.85 m TAW verkrijgt men een schommeling rond dit peil. Dit is eveneens te zien in Figuur 2. Het vlakke plateau voor waterstanden tussen 3.70 en 3.90 m TAW wijst op een grote variabiliteit. Indien men een doorvaarthoogte van 5.0 m zou kiezen (corresponderend met toegelaten waterpeil 3.90 m TAW) bekomt men reeds een percentage van meer dan 60% waarbij deze doorvaarthoogte wel gehaald wordt.

Een tweede reden voor het grote effect van een beperkte verlaging is dat het buffervolume tijdens het sluiten van de stuw in Dendermonde wegens hoog tij op de Schelde dan toeneemt. Bij een streefpeil van 3.85 m TAW zal bij het sluiten van de stuw het peil in het pand stijgen wegens het opwaartse aangevoerd debiet dat het pand vult. Het peil stijgt dan tot wanneer de sluis in Dendermonde weer opengaat. Indien het streefpeil verlaagd wordt is er meer buffer voorhanden en kan ook bij lage aanvoer het waterpeil onder het streefpeil van 3.81 m TAW behouden blijven. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 8. Het oranje kader geeft een situatie weer waar zelfs tijdens hoog tij en het sluiten van de stuw van Dendermonde, het waterpeil van 3.81 m TAW niet bereikt wordt. In het rode kader wordt de situatie weergegeven dat het peil van 3.81mTAW wel bereikt wordt.

Figuur 8 – Opvulling van buffer pand Denderbelle-Dendermonde voor streefpeil van 3.45 m TAW



1.4 Beschouwingen omtrent het kiezen van een hoger debiet dan $45 \text{ m}^3/\text{s}$ voor het toelaten van scheepvaart op de Dender

In het voorontwerp werd het maximum debiet van de Dender waarbij scheepvaart toegelaten wordt vastgelegd op $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit komt overeen met de nu gebruikelijke grenswaarde waarbij overgegaan wordt naar “wasregime”. Bij dit debiet wordt de scheepvaart stilgelegd en de stuwen worden prioritair bediend om de afvoer van de Dender te maximaliseren en niet meer om minimale streefpeilen te behouden.

Bij het ontwerp van de nieuwe sluis kan eventueel overwogen worden om een hoger debiet toe te laten dan $45 \text{ m}^3/\text{s}$. De nautische berekeningen moeten dan ook gedaan worden voor dit debiet en zouden kunnen resulteren in noodzakelijke aanpassingen aan het ontwerp.

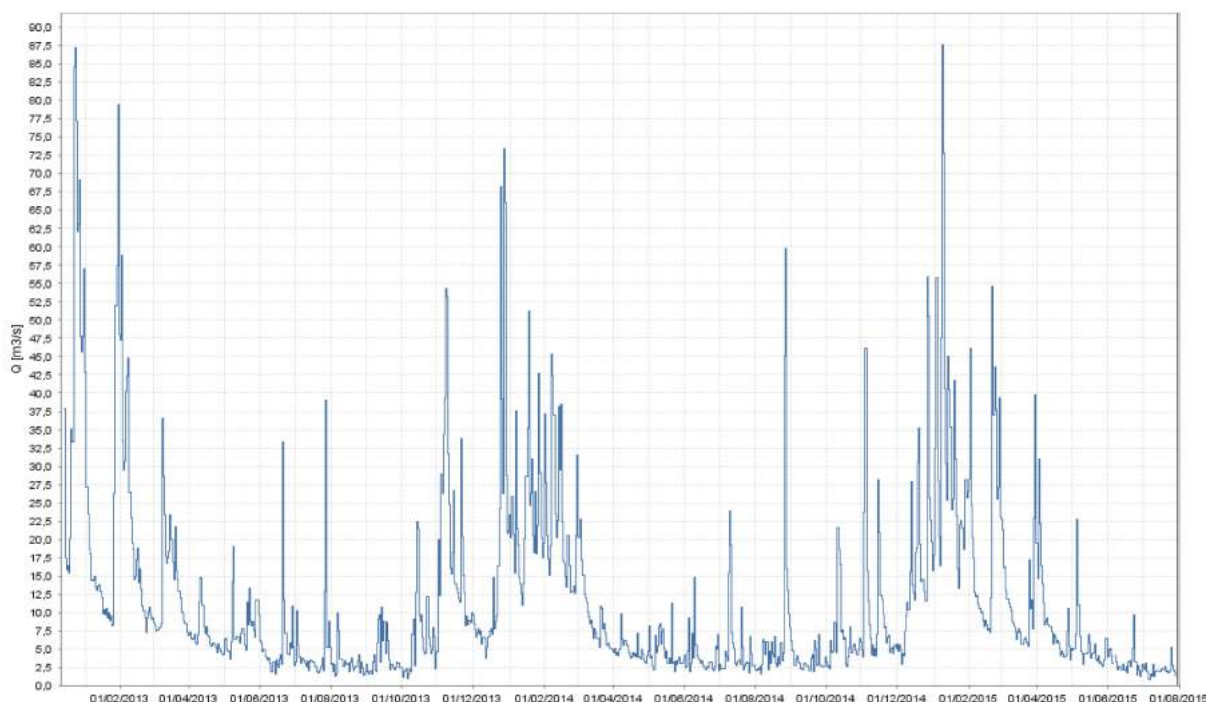
Om te evalueren of dit hogere debiet inderdaad een interessante optie is worden hieronder een aantal grafieken weergegeven.

1.4.1 Debiet te Erembodegem, frequentie

Een aantal jaren geleden werd er een debietmeter geplaatst te Erembodegem, net opwaarts van de stuw van Aalst. Het is echter niet deze debietsmeting die gebruikt wordt om te bepalen of de scheepvaart stilgelegd wordt of niet (info van W&Z, Bovenschelde), maar echter het aantal getrokken balken te Aalst dat overeenkomt met $45 \text{ m}^3/\text{s}$. In Figuur 9 worden deze debieten weergegeven voor de periode 2013 tot augustus 2015. Hieruit blijkt dat een debiet van $45 \text{ m}^3/\text{s}$ maar een aantal keren per jaar gehaald wordt. Indien men zou ontwerpen voor $60 \text{ m}^3/\text{s}$ is de frequentie nog veel lager.

Bovendien treden deze debieten niet op als een stabiele toestand maar maken ze deel uit van een grote waspiek. De vraag kan gesteld worden of in deze omstandigheden van sterke variabiliteit van aanstroom het opportuun is om scheepvaart nog verder te overwegen.

Figuur 9 – Weergave van gemeten debieten te Erembodegem voor de periode van 2013-2015



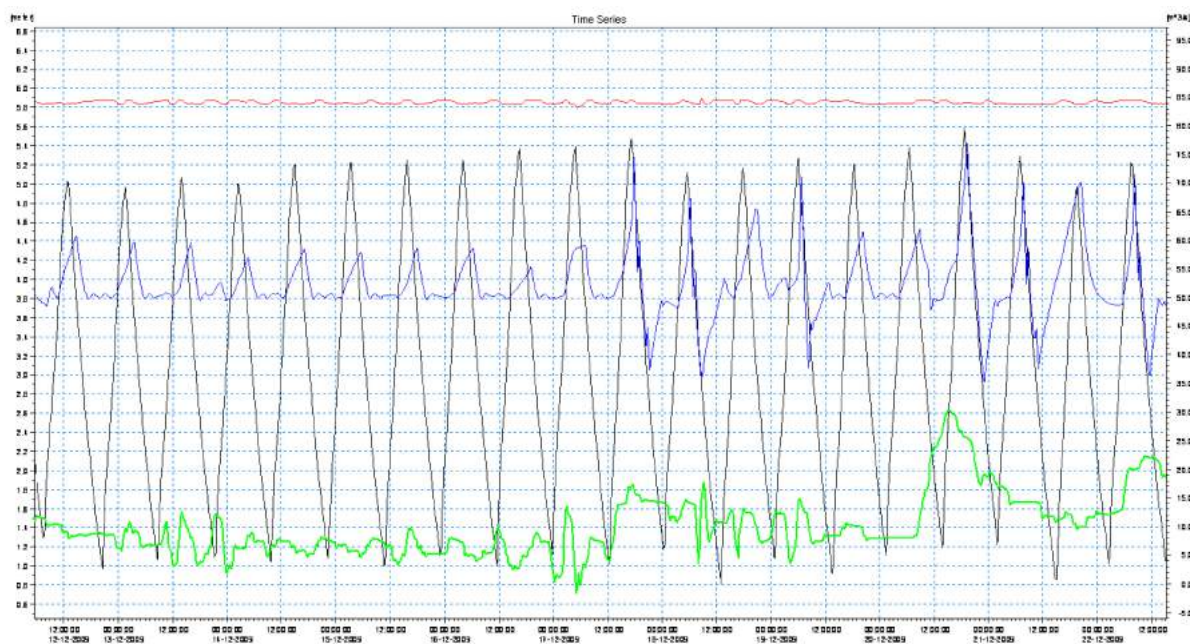
1.5 Berekening van debieten en bijhorende waterpeilen door het M11-model

Bij **lagere debieten** (zie Figuur 10, streefpeil 3.85 mTAW) kan er een vrij goede handhaving van het niveau in het afwaarts pand gebeuren. Bij een lager niveau op de Schelde dan het streefpeil, laag tij) wordt dit probleemloos gehaald. Wanneer de stuw van Dendermonde sluit wegens te hoog Scheldepeil, verkrijgt men een stijging van het peil in het opwaarts pand wegens de accumulatie van volume zonder dat evacuatie door de stuw van Dendermonde mogelijk is. De stijging hiervan is dan beperkt, maar volledig afhankelijk van de grootte van het aanstromend debiet.

Bij **hogere debieten** (zie Figuur 11) is deze stijging dan veel groter omdat het pand bij gesloten stuw sneller gevuld wordt.

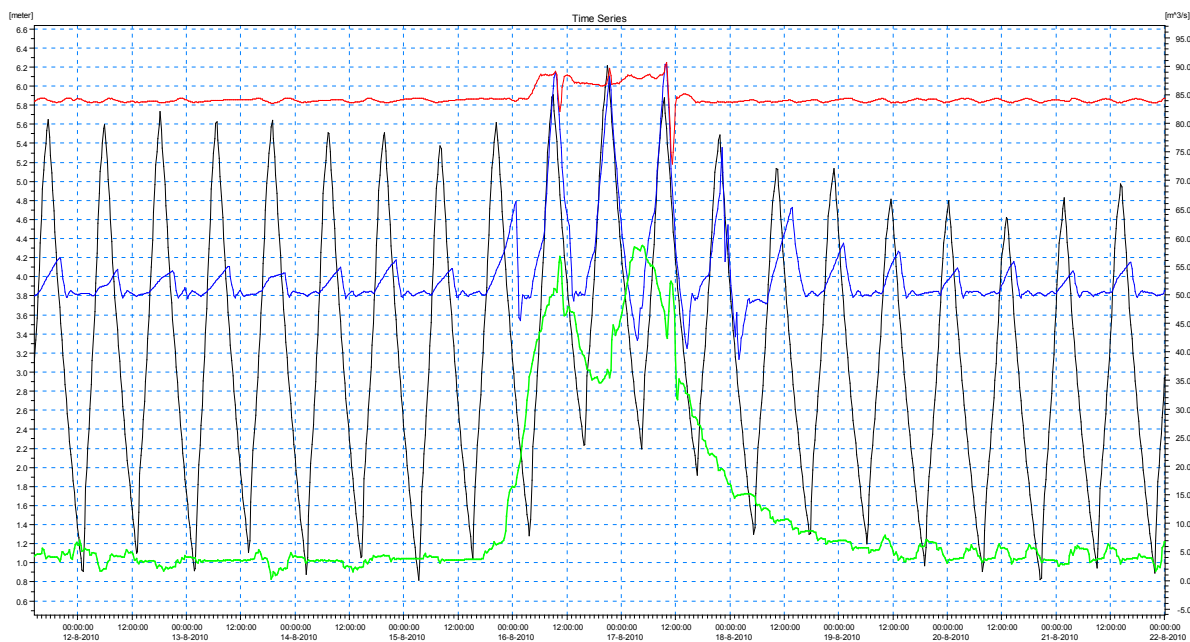
Men kan zich afvragen of het wenselijk is om de sluizen te bedienen in deze omstandigheden (debiet groter dan $45 \text{ m}^3/\text{s}$). Bij laag tij kan het streefpeil wel gehandhaafd blijven (of onderschreden wegens wasregime), maar bij hoog tij stijgt het waterniveau dan ook heel sterk (tot rond de 6 m TAW, zie Figuur 11)

Figuur 10 – Lage debieten, huidige toestand



debiet opwaarts Denderbelle(), waterpeil opwaarts Denderbelle stuw (),
waterpeil afwaarts Denderbelle stuw (), waterpeil Schelde ()

Figuur 11 – Hoge debieten, huidige toestand



debiet opwaarts Denderbelle(), waterpeil opwaarts Denderbelle stuw (),
waterpeil afwaarts Denderbelle stuw (), waterpeil Schelde ()

1.6 Besluit

Het verlagen van het streefpeil heeft een grote invloed op het beschikbaar zijn van de doorvaarthoogte van 5.2 m ter hoogte van de brug van Oudegem.

Bij het overwegen van het verhogen van het maximum debiet waarbij scheepvaart toegelaten is (boven de $45 \text{ m}^3/\text{s}$), kan men in beschouwing nemen dat de frequentie van voorkomen van hoger debieten vrij laag is en dat deze hogere debieten zeer variabel zijn en deel uit maken van een wasgolf met grote schommelingen in waterpeilen.

1.7 Bibliografie

Viaene, P. (2009). *Memo: Analyse vrije doorgang op Dender t.h.v. spoorbrug in Oudegem.* Antwerpen: Waterbouwkundig Laboratorium.

2 DO2: Opmaak 2D-detailstromingsmodel sluisomgeving

MEMO

Titel	Ondersteuning ontwerp stuwsluis Denderbelle: opzet numeriek model
Datum	21/12/2015
Auteur(s)	Schramkowski, G.; Nnafie, A. (revisor)
Ref.:	WL2015M15_062_2

2.1 Inleiding

Voor het finale ontwerp van de nieuwe stuwsluis te Denderbelle is nood aan een twee-dimensionaal numeriek stromingsmodel om inzicht te krijgen in stroomcondities bij maatgevende afvoeren. Deze gegevens zijn van belang als invoer voor real-time vaarsimulaties als ook de dimensionering van erosiebescherming.

Een dergelijk model is reeds in een eerdere studie opgemaakt (SBE 2011) met het softwarepakket Delft3D. Echter, voor de onderhavige vraag dient een groter modeldomein te worden beschouwd. Hierop is besloten om – op basis van de gewenste bathymetrie – een nieuw Delft3D-model op te maken dat qua opzet evenwel eenzelfde filosofie volgt als (SBE, 2011). Dit model wordt hieronder nader beschreven.

Hierna is het horizontale referentievlak Lambert 72 terwijl alle verticale afstanden zijn uitgedrukt in m. TAW. Hierbij zijn bodemdieptes (waterstanden) naar beneden (boven) toe positief gemeten.

2.2 Modelopzet

2.2.1 Modeldomein, rooster en bathymetrie

Het volledige te modelleren gebied is in Figuur 12 weergegeven. De stroming is overwegend van zuid (stroomopwaarts) naar noord (stroomafwaarts) gericht.

Figuur 12 – Overzichtsfoto van het te modelleren gebied.

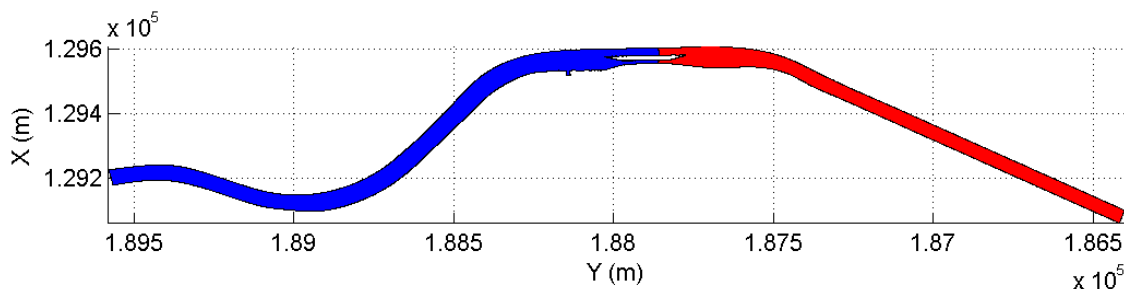


De locatie van stuw en sluis zijn omlijnd.

Modeldomein en rooster

Op basis van de aangeleverde gebiedsgegevens is met het programma RGFRID een curvilineair rooster gemaakt voor een nieuw Delft3D-model dat in goede benadering de oriëntatie van de hoofdstroom volgt. Dit model bevat een uitgebreider gebied dan SBE (2011). Stroomopwaarts (ten zuiden van de stuw) strekt het model zich uit over een afstand van ruim 1500 m. Het domein stroomafwaarts (ten noorden van de stuw) is ruim 1800 meter lang. Dit gehele gebied is weergegeven in Figuur 13.

Figuur 13 – Geroteerde weergave van het gehele modeldomein



Het noorden wijst hier naar links.

De blauwe en rode kleuren verwijzen naar de gebieden van de modellen “Noord” resp. “Zuid” die in de tekst verder besproken worden.

Het rooster voor het gehele gebied bevat 2701 roostercellen in de langsrichting en 55 cellen in de dwarsrichting. Met een typische celgrootte van 1 à 2 meter is dit rooster ongeveer even fijnmazig als dat van SBE (2011).

Bodemligging

Voor de bodemligging is uitgegaan van aangeleverde plannen van het voorontwerp van de stuwsuis te Denderbelle. Deze kaarten zijn vervolgens bij het WL gedigitaliseerd en omgezet in een bestand van het "samples" formaat. Dit formaat bevat een drietal kolommen, zijnde de twee horizontale coördinaten resp. de bodemdiepte. Het grid van deze bodemligging is ongestructureerd en bestaat uit 21550 punten die gemiddeld ca 2,7 m. uit elkaar liggen.

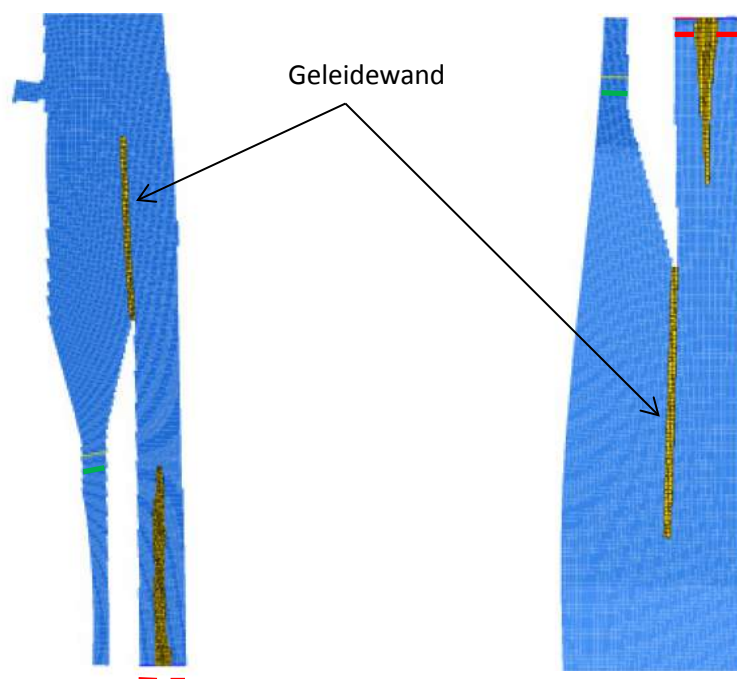
Met behulp van het programma QUICKIN zijn de bodemgegevens geïnterpoleerd op het modelrooster.

Splitsing van het modeldomein

Analoog aan de aanpak door SBE (2011) is ervoor gekozen om de gebieden stroomopwaarts (ten zuiden) resp. stroomafwaarts (ten noorden) van de stuw elk met een separaat model weer te geven, zie Figuur 13. Hierbij zijn de opgelegde debietsrandvoorwaarden in beide modellen compatibel met elkaar.

De sluis is in beide modellen afgesloten door een zgn. *thin dam*, dit is een structuur binnen DELFT3D waardoor geen stroming mogelijk is. Water kan dus alleen via de stuw worden getransporteerd. Merk op dat het stuwcomplex in feite uit twee stuwen bestaat. Deze stuwen en de thin dams zijn voor beide modellen in Figuur 14 aangegeven. Hierbij zijn ook de geleidewanden expliciet weergegeven.

Figuur 14 – Detailweergave van modelschematisatie nabij de stuw voor model "Noord" (links) en model "Zuid" (rechts).



Het betreft hier ongeveer het in Figuur 12 omliggende gebied. Beide weergaven zijn niet op dezelfde schaal. De geleidewanden zijn expliciet aangegeven. De "thin dams" die de stuwgeul afsluiten zijn in groen aangegeven, terwijl de locatie van de stuwen in rood is gemarkeerd.

2.2.2 Randvoorwaarden

Voor het zuidelijke model is aan de stroomopwaartse rand een constante afvoer voorgeschreven terwijl aan de afwaartse rand (net stroomopwaarts van de stuwen) een vaste waterstand van 5,83 m TAW is opgelegd.

Voor het noordelijke model is aan de stroomafwaartse rand een constante afvoer opgelegd die gelijk is aan de stroomopwaartse afvoer van het zuidelijke model. Aan de opwaartse rand (net stroomafwaarts van de stuwen) is een vaste waterstand van +3,82 m TAW voorgeschreven.

Er zijn drie constante afvoeren doorgerekend: 30 m³/s ("laag"), 45 m³/s ("gemiddeld") en 60 m³/s ("hoog"). Op deze wijze wordt voor het gehele domein (noord en zuid) een situatie met constante afvoer doorgerekend, waarbij nabij de stuwen waterstanden via streefpeilen voorgeschreven kunnen worden.

2.2.3 Beginvoorwaarden

In het zuidelijke model is een uniforme initiële waterstand (5,83 m TAW) opgelegd terwijl de stroomsnelheid daar overal nul is. Voor het noordelijke model is de beginwaterstand overal +3,82 m TAW terwijl ook hier de snelheid nul is. Om een geleidelijke overgang van deze beginconditie naar de correcte oplossing mogelijk te maken is een smoothing time van 360 min. gedefinieerd.

2.2.4 Bodemruwheid

De bodemruwheid W is gemodelleerd door de standaard kwadratische formulering in termen van de snelheidsvector $\vec{u}$, te weten

$$W = \frac{g}{C^2} \frac{|\vec{u}|\vec{u}}{H}.$$

Hierbij is H de totale waterdiepte, $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ de gravitationele versnelling en C de Chezycoëfficiënt. In het model is gebruik gemaakt van de zgn. Manningparameterisatie, waarbij de Chezycoëfficiënt C gerelateerd aan de Manningparameter n middels de relatie

$$C = \frac{H^{1/6}}{n}.$$

Aanzien de sterkte van de bodemruwheid schaalt met $1 / (CH^2)$ betekent een hogere Manningcoëfficiënt ook een grotere bodemwrijving.

De ruimtelijke verdeling voor n rondom de stuw is overgenomen van SBE (2011), en varieert van 0,015 s/m^{1/3} (beton in de opwaartse stuwgeul) tot 0,045 s/m^{1/3} (zetstenen in de afwaartse stuwgeul). In het overige deel van het domein is de standaardwaarde $n=0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ gekozen, welke karakteristiek is voor natuurlijke oever en bodem.

2.2.5 Simulatieperiode en gebruikte tijdstap

Er is bij alle berekeningen een periode van 3 dagen doorgerekend. Dit is ruim voldoende om bij de gegeven constante randvoorwaarden tot een stationair stromingsveld te komen doorheen het gehele gebied. De gebruikte tijdstap bedraagt 0,15 s en is gelijk aan de tijdstap in SBE (2011). Deze tijdstap is voldoende klein voor een accurate berekening.

2.2.6 Resultaten

De stationaire stromingsvelden voor de drie simulaties zijn op de projectschijf geplaatst onder de folder P:\15_062-ontwstwsIsDbl\3_Uitvoering\modelberekeningen. De naamgeving van de bestanden is xyvel_QXX_583cmTAWup_382cmTAWdown.dat, waarbij "XX" de afvoer aangeeft (XX=30, 45 of 60 m³/s). Het formaat van deze bestanden staat uit vier kolommen:

- kolommen 1 en 2: X resp Y (m Lambert 72) voor het gehele modeldomein
- kolom 3: grootte van de snelheid (m/s)
- kolom 4: richting van de snelheid (graden tov. noord, kloksgewijs positief).

2.3 Referenties

SBE. (2011). Denderbelle: Hydraulische modellering van de stuwgeul en de voorhavens. Sint-Niklaas : SBE, raadgevend ingenieurs, studiebureau voor bouwkunde, 2011.

Appendix: kwaliteit van het grid

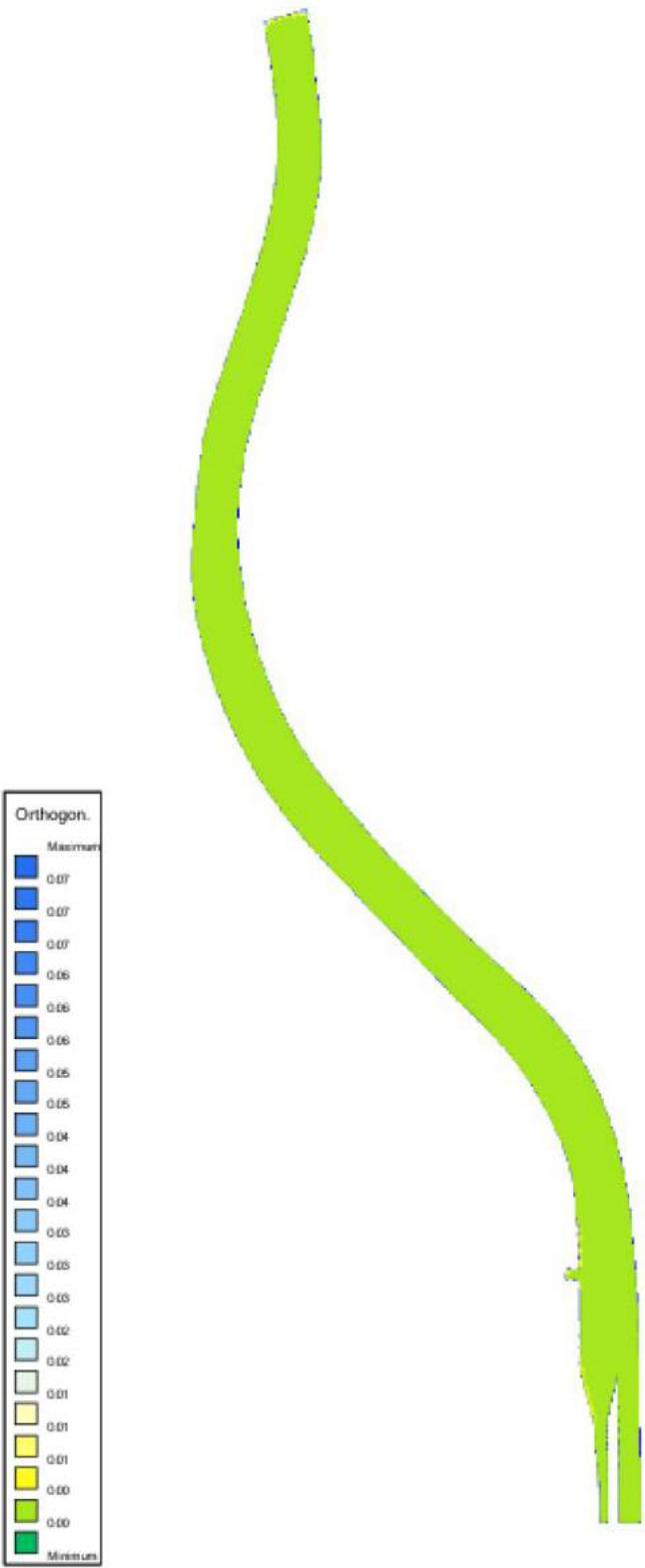
Hierna worden grafisch de belangrijkste kwaliteitsparameters voor het kromlijnige rooster van zowel het “Noord” –als “Zuid”-model weergegeven. Deze parameters zijn:

1. Orthogonaliteit. Het modelrooster is idealiter perfect orthogonaal. Dit betekent dat de coördinaatlijnen in beide richtingen (in dit geval ruwweg langs de rivier resp. in de dwarsrichting) overal loodrecht op elkaar staan. Orthogonaliteit wordt weergegeven door de absolute waarde van de cosinus van de hoek tussen de coördinaatlijnen. In het ideale geval is de orthogonaliteit overal nul. In de praktijk dient de orthogonaliteit in het interieur van het modeldomein niet groter te zijn dan 0,02-0,04.
2. Gladheid. De grootte van de roostercellen varieert langs de coördinaatrichtingen. Nu mag de afmeting van een roostercel niet te abrupt variëren, en dit wordt weergegeven door de gladheidsparameter. Deze parameter is feitelijk de verhouding van de maaswijdte tussen opeenvolgende roostercellen. De gladheid is dusdanig gedefinieerd dat deze minstens 1 (één) bedraagt, de maaswijdte varieert dan niet. De maximale waarde voor de gladheid bedraagt 1,2. Merk op dat de maaswijdte varieert in beide coördinaatrichtingen, en er is dus voor elk van de twee richtingen een gladheidsparameter.
3. Aspectratio. De verhouding tussen de afmetingen van een roostercel in de beide coördinaatrichtingen wordt de aspectratio genoemd. Deze grootte is dusdanig gedefinieerd dat deze minstens 1 (één) bedraagt. De aspectratio dient in beginsel niet groter te zijn dan 2 (twee). Het onderhavige model beschrijft echter een rivierstroming en hiervoor is vanwege het overwegend ééndimensionale karakter van de waterbeweging een hogere waarde van de aspectratio toegestaan. Derhalve zijn de waarden tot ca 2,5 (zie Figuur 21 en Figuur 22) nog steeds acceptabel.

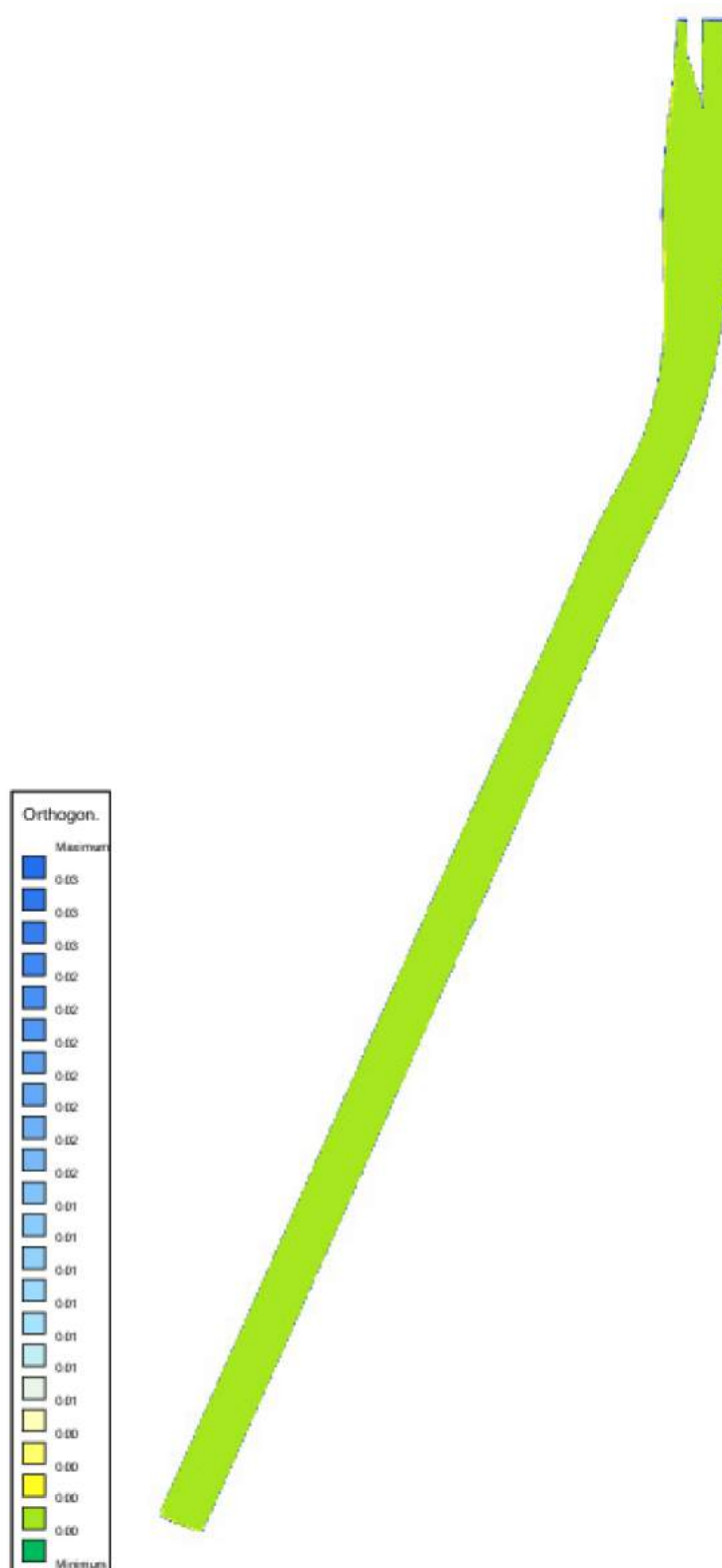
Uit de hierna volgende figuren blijkt dat de roosters voor zowel “Noord” –als “Zuid”-model aan bovengenoemde kwaliteitseisen voldoen.

Orthogonaliteit

Figuur 15 – Orthogonaliteit van het rooster van het "Noord"-model.

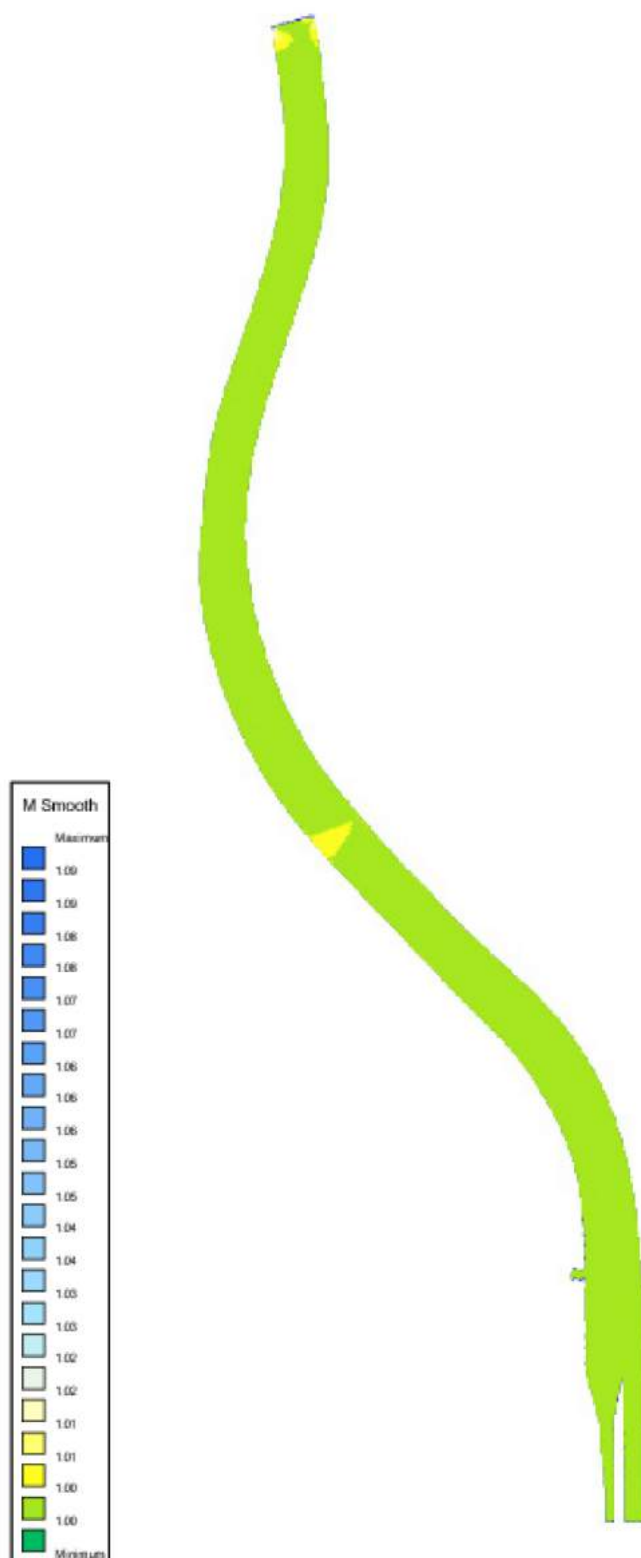


Figuur 16 – Orthogonaliteit van het rooster van het "Zuid"-model.

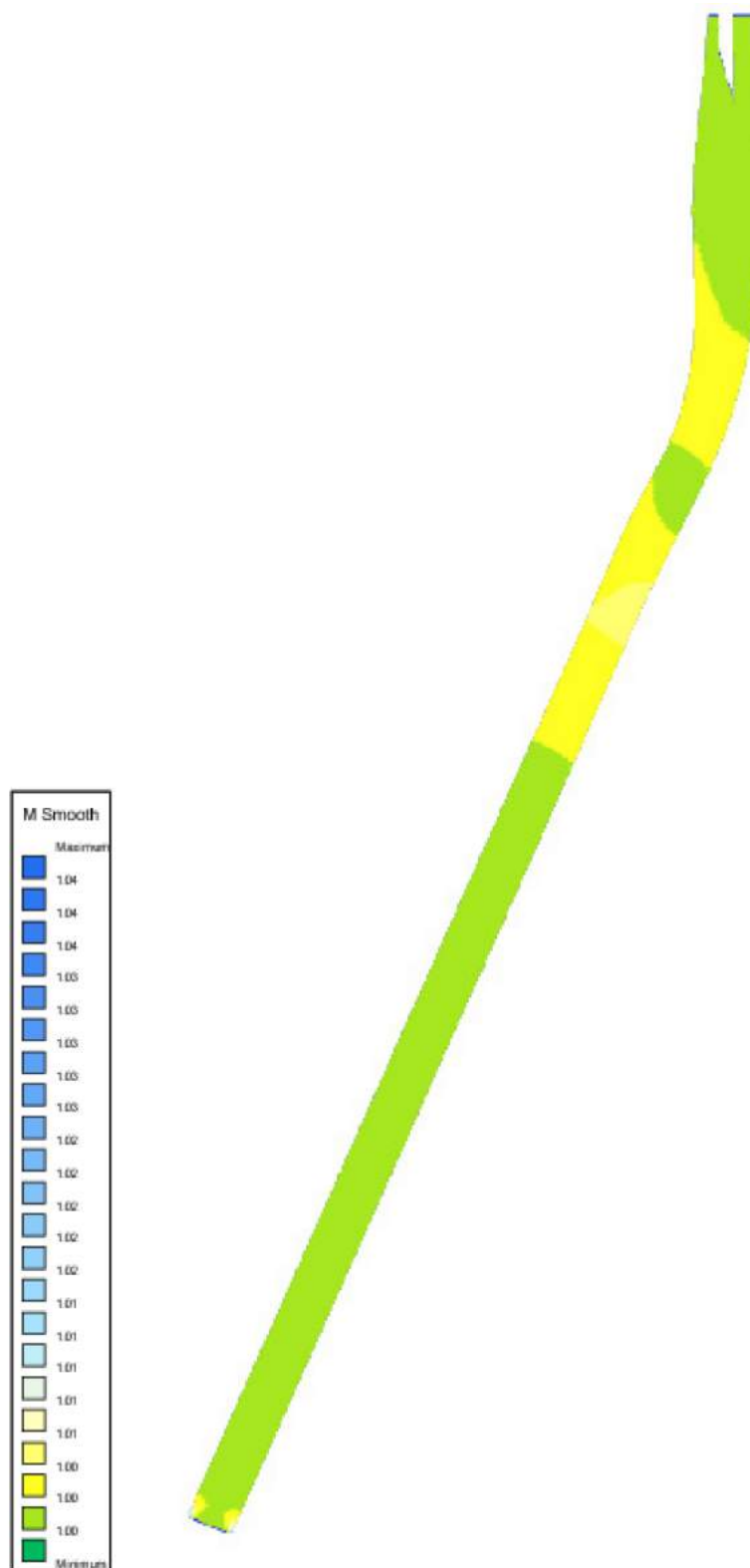


Gladheid van het rooster in de langsrichting

Figuur 17 – Roostergladheid in de langsrichting voor het "Noord"-model.

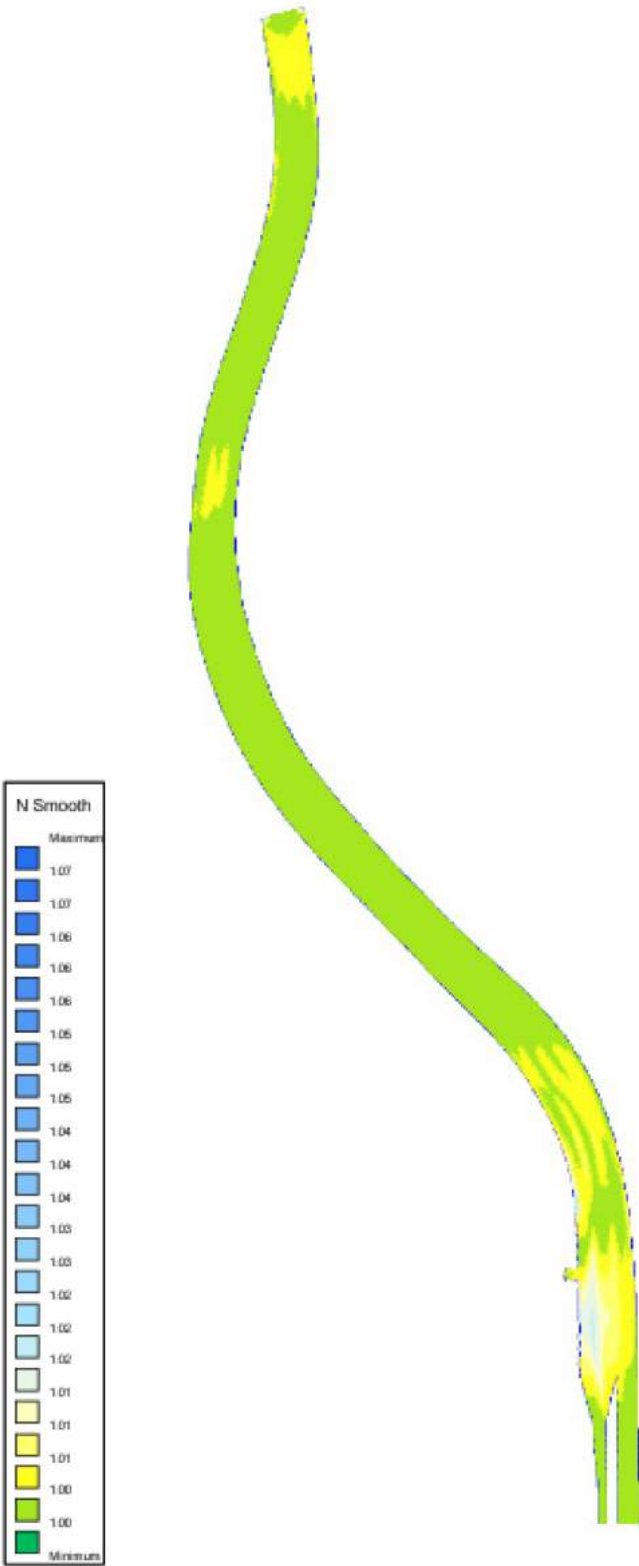


Figuur 18 – Roostergladheid in de langsrichting voor het "Zuid"-model.

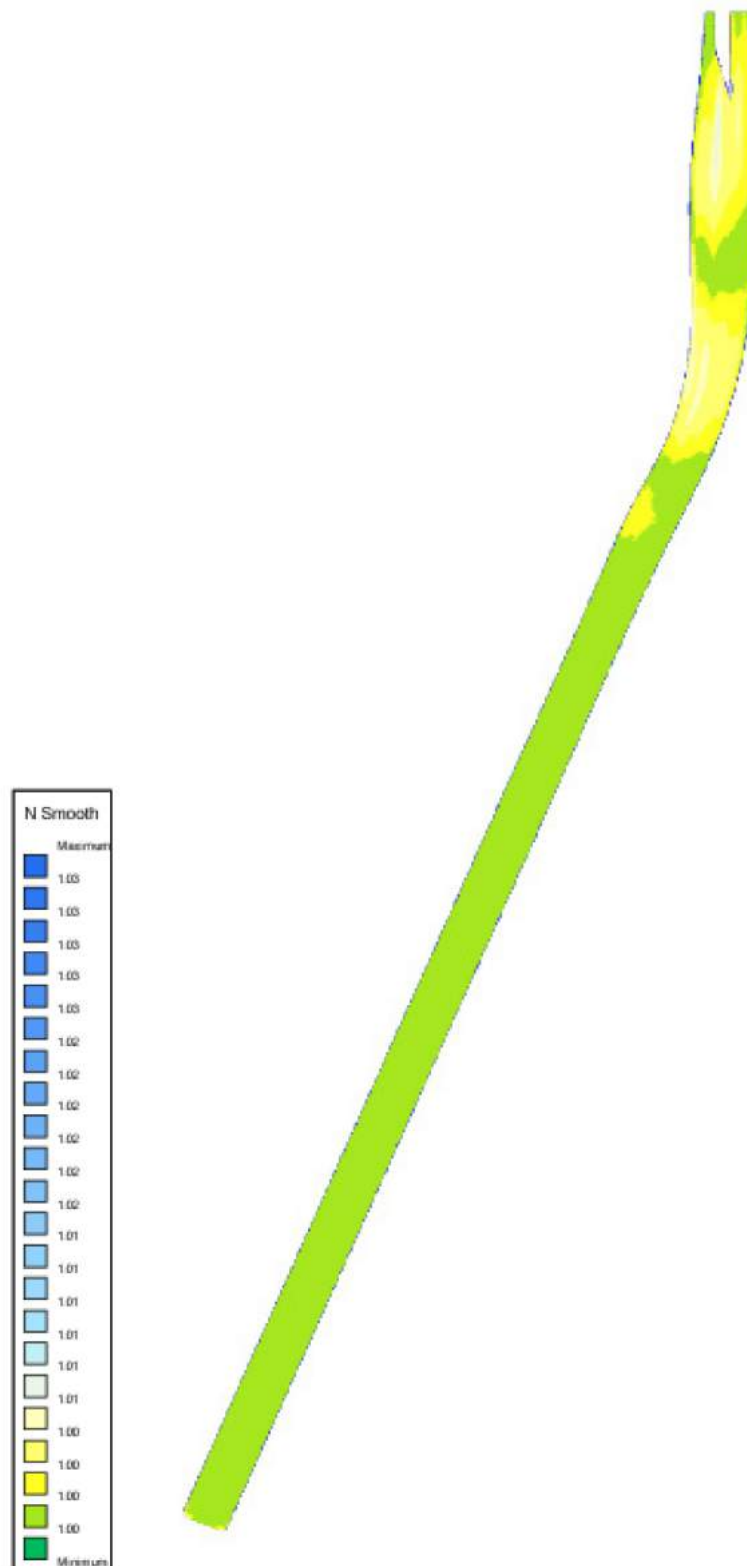


Gladheid van het rooster in de dwarsrichting

Figuur 19 – Roostergladheid in de dwarsrichting voor het "Noord"-model.

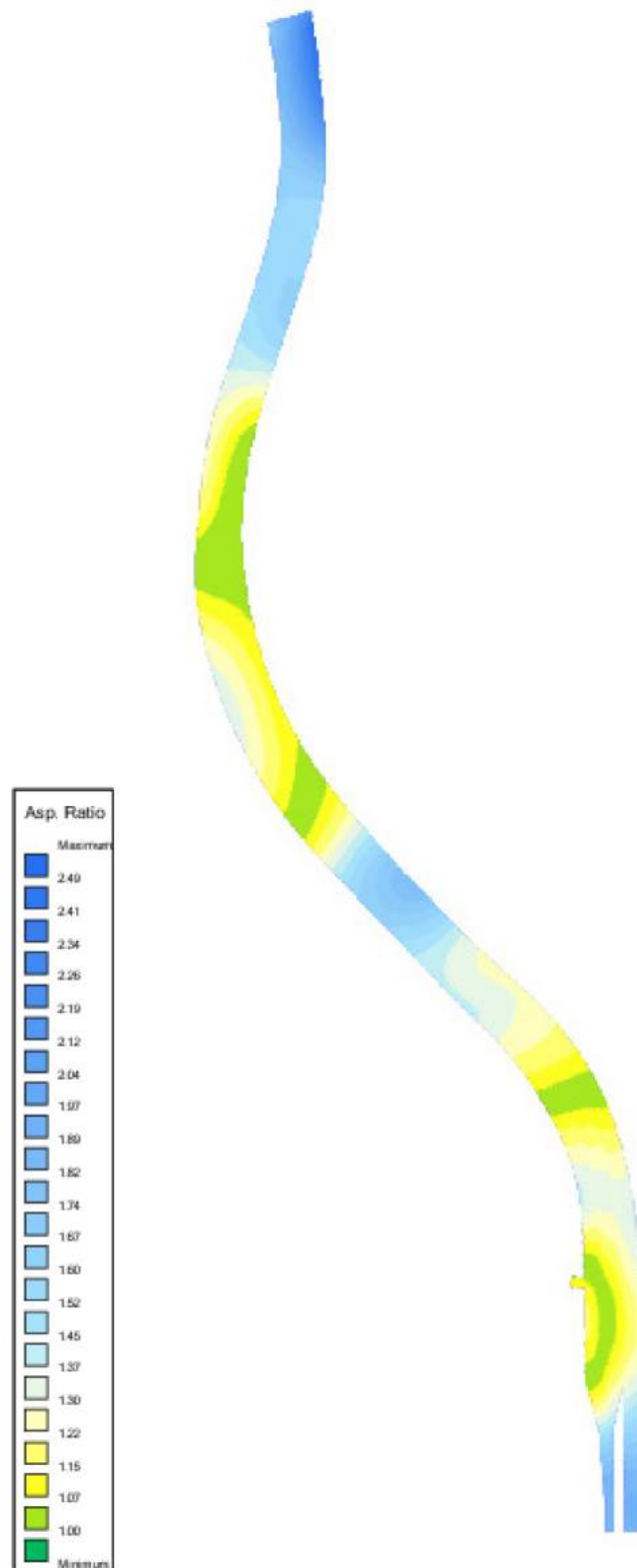


Figuur 20 – Roostergladheid in de dwarsrichting voor het "Zuid"-model.

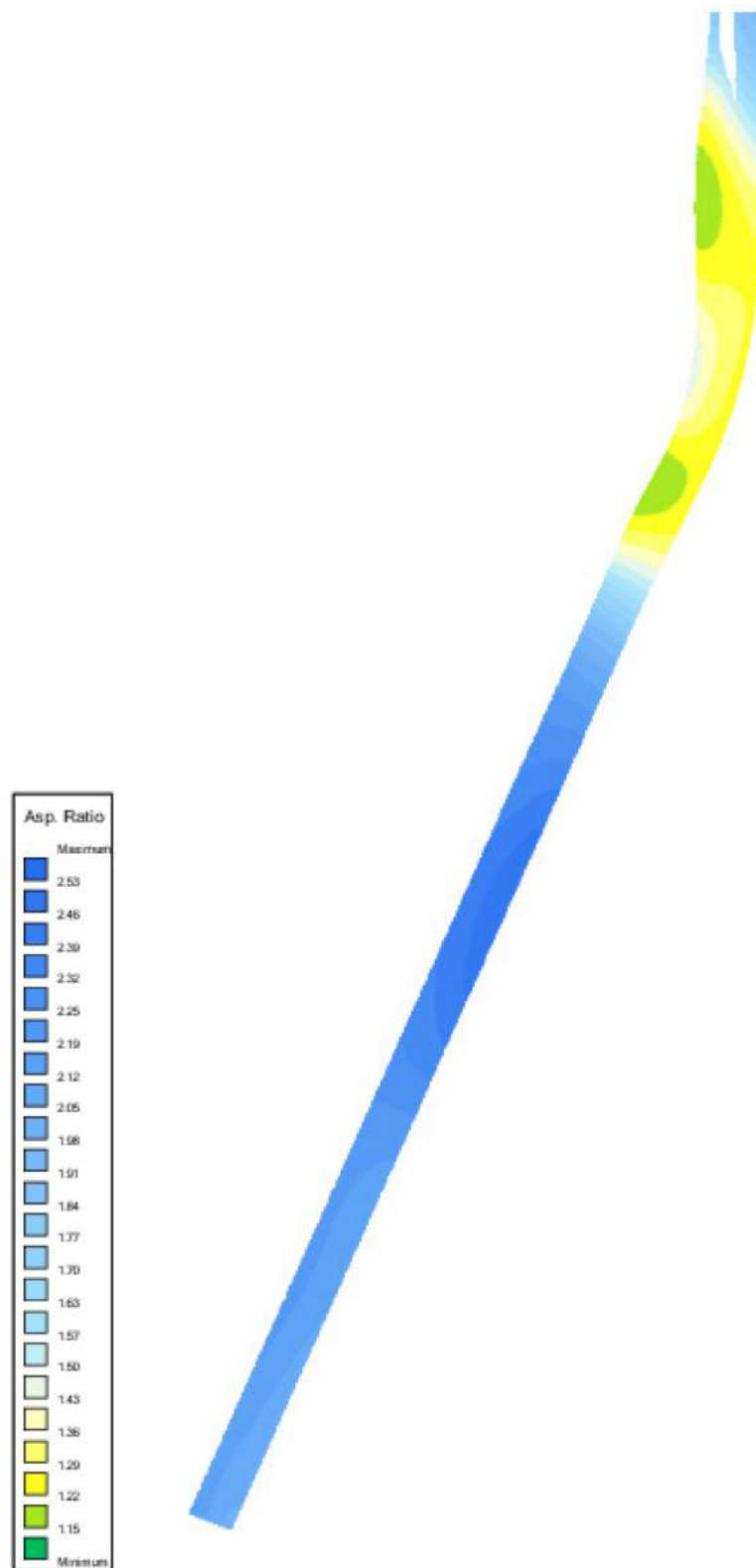


Aspectratio

Figuur 21 – Aspectratio voor het rooster van het "Noord"-model.



Figuur 22 – Aspectratio voor het rooster van het "Zuid"-model.



3 DO6: Noodscenario afvoer was te Denderbelle

MEMO

Titel	Doorrekenen van noodscenario's ter hoogte van de nieuwe stuwsuis te Denderbelle
Datum	18/08/2016
Auteur(s)	De Boeck, K.; Boey, I.
Ref.:	WL2016M15_062_6

3.1 Inleiding

Deze nota beschrijft de impact van twee noodscenario's ter hoogte van de nieuwe stuwsuis te Denderbelle. Deze nieuwe stuwsuis bestaat uit twee stuwen van 7.5 m breed en een nieuwe sluis van 10.5 m breed. In een eerste scenario is slechts één van beide stuwen beschikbaar (1x 7.5 m). In het tweede noodscenario is ook slechts één van beide stuwen beschikbaar, maar wordt de sluis geopend om afvoer mogelijk te maken.

Hieronder wordt beschreven hoe deze scenario's zijn geïmplementeerd in het bestaande hydrodynamisch model van de Dender. Vervolgens worden de resultaten van deze scenario's toegelicht.

3.2 Implementatie scenario's

Het model opgesteld voor het project 12_039 (12_039_S0_2013C) werd gebruikt ter berekening van de terugkeerperiodes T10, T100 en T1000.

De resultaten voor de huidige toestand(S0) en de twee scenario's 'noodscenario SFnood1' en 'noodscenario SFnood2' worden geanalyseerd. Voor de volledigheid wordt ook een basisscenario doorgerekend, waarbij de vernieuwde (functionerende) stuwsuis te Denderbelle in het model is geïmplementeerd (SF1).

3.2.1 Bestaande toestand (S0)

Het model dat als basis dient voor deze berekeningen is het model 12_039_S0_2013C uit project 12_039. De geïmplementeerde automatische regeling van de stuwsuis te Denderbelle (hef-underflow + wip-overflow) is in dit model zowel afhankelijk van het opwaarts debiet als waterpeil. Om vergelijking met de nieuwe scenario's mogelijk te maken, is dit model opnieuw doorgerekend. Er werd namelijk een verschil in modelresultaten vastgesteld, afhankelijk van het type structuur waarmee de stuw wordt gemodelleerd. In het model bestaande toestand is de hef-wip stuw te Denderbelle geïmplementeerd als de combinatie van een overflow *control structure* (wip) en een sluice *control structure* (hef). Tijdens een was fungeren de hef- en wipsegmenten samen als een schuif, die helemaal open is. Hoewel verwacht zou worden dat het zelfde resultaat wordt gesimuleerd bij een overflow *control structure* die helemaal plat ligt, blijkt dit niet het geval. Om de resultaten 1 op 1 met elkaar te kunnen vergelijken, zonder invloed te hebben van de hydraulische vergelijkingen voor de verschillende structuren, worden zowel in bestaande toestand als in de scenario's de stuw te Denderbelle gemodelleerd als een overflow *control structure*. Op die manier is het verschil in gesimuleerde waterpeilen en debieten enkel een gevolg van het verschil in afvoercapaciteit tussen de verschillende scenario's.

3.2.2 SF1

In het model bestaande toestand wordt de nieuwe stuwsluis van Denderbelle geïmplementeerd. De afmetingen van de stuwsluis zijn als volgt:

- 2 stuwen van 7.5m breed, drempelpeil van 0.83 m TAW, streefpeil 5.85 m TAW
- 1 sluis van 10.5 m breed, kruinpeil van 6.91 m TAW, drempel peil van -0.78 m TAW

In het model bestaande toestand en scenario SF1 dient de sluis niet als afvoersectie. Deze fungeert met andere woorden als een overlaat met drempelpeil van 6.91 m TAW (de voorontwerp plannen geven een peil aan van 7.00 m TAW maar vermits in geen enkel scenario een waterhoogte van boven de 6.91 m TAW bereikt werd zal het geplande kruinpeil de berekeningen niet beïnvloeden).

De geïmplementeerde automatische regeling van deze nieuwe stuwsluis te Denderbelle (overflow) stelt het opwaarts waterpeil in op het streefpeil (5.83 m TAW).

3.2.3 SF1nood1

Dit noodscenario vertrekt van SF1. Eén van beide stuwen te Denderbelle wordt uit beheer genomen, waardoor slechts een stuwopening van 7.5 m breed beschikbaar is.

3.2.4 SF1nood2

Dit noodscenario vertrekt van SF1nood1. Bovenop de stuw van 7.5 m breed wordt de sluisopening geopend, om extra afvoer te verzekeren. Het drempelpeil van de overlaat die in het model de sluis vertegenwoordigt, wordt hiertoe verlaagd van 6.91 m TAW tot -0.78 m TAW. Weliswaar bestaat er een deurdrempel die op -0.28 m TAW ligt maar vermits de lengte ervan kort is (in de stroomrichting), kan dit lokaal verlies als te verwaarlozen beschouwd worden.

De dwarsprofielen op- en afwaarts de sluis zijn verbreed tot 10.5 m en het bodempeil is verlaagd tot -0.78 m, zoals voorzien op de plannen van het voorontwerp (de dwarsprofielen van de oude sluis zijn kleiner).

3.3 Resultaten

In onderstaande paragrafen worden de resultaten samengevat van de doorgerekende simulaties. Paragraaf §3.1 geeft een overzicht van de maximaal gesimuleerde peilen op- en afwaarts de stuwsluis te Denderbelle voor terugkeerperioden T10, T100 en T1000. In paragraaf §3.2, §3.3 en §3.4 worden de resultaten voor respectievelijk T10, T100 en T1000 samengevat. Telkens is het verloop van het waterpeil op- en afwaarts de stuwsluis te Denderbelle gevisualiseerd, waarbij de bestaande toestand in zwart is weergegeven, noodscenario 1 (nieuwe stuwsluis Denderbelle, slechts 1 stuw (7.5 m) beschikbaar) in blauw en noodscenario 2 (nieuwe stuwsluis Denderbelle, slechts 1 stuw (7.5 m) beschikbaar, sluis open voor afvoer) in rood.

Telkens wordt ook een lengteprofiel van de Dender vanaf de stuwsluis van Pollare weergegeven. Dit lengteprofiel geeft de Dender weer van opwaarts (links) naar afwaarts. Op de horizontale as is de metrerung vanaf opwaarts (metrerung start in dit geval op 19300m, afwaarts Pollare) weergegeven, terwijl de linker verticale as de hoogte in m TAW voorstelt. De gesimuleerde waterpeilen zijn op dit lengteprofiel in rood weergegeven voor de bestaande toestand en in blauw voor het doorgerekende scenario. In groen is het verschil aangegeven (in cm, t.o.v. rechters) tussen het peil bij het doorgerekende scenario en bestaande toestand.

Tot slot zijn ook de debieten over de stuw (en sluis voor noodscenario 2) voor de verschillende terugkeerperioden gerapporteerd.

3.3.1 Overzicht van de bekomen waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle

Tabel 3 geeft de gemodelleerde maximale waterpeilen op- en afwaarts de stuwsuis te Denderbelle weer voor noodscenario 1 is er voor alle terugkeerperiodes een significante stijging van het opwaarts waterpeil. Het afwaarts waterpeil wordt amper beïnvloed door de gewijzigde afvoercapaciteit bij T10 en T100. Bij T1000 daalt het afwaartse waterpeil lichtjes.

Het noodscenario 2, waarbij de sluis wordt opgezet bij falen van 1 van beide nieuwe klepstuwen te Denderbelle, nivelleert de peilstijging ten gevolge van het wegvallen van 1 van de klepstuwen in noodscenario 1. In de hiernavolgende paragrafen worden de resultaten in meer detail toegelicht.

Tabel 3 – Overzicht van de berekende waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle (m TAW)

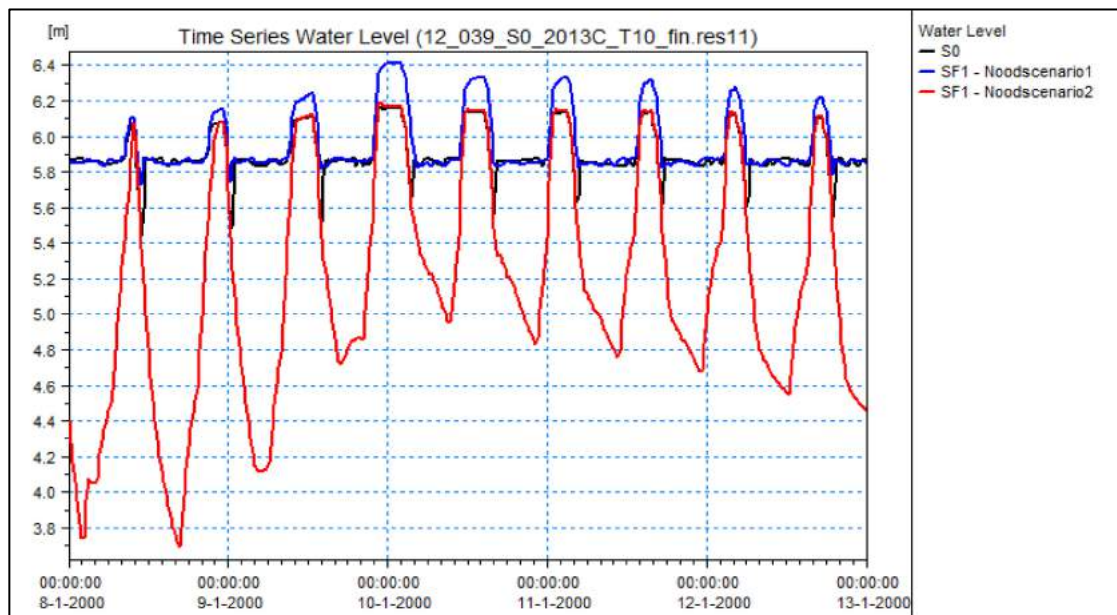
	Opwaarts		Afwaarts	
	Waterstand [m TAW]	Vershil t.o. S0 [cm]	Waterstand [m TAW]	Vershil t.o. S0 [cm]
Huidige T10	6.2		6.2	
Huidige T100	6.2		6.2	
Huidige T1000	6.6		6.6	
Noodscenario 1 T10	6.4	25	6.2	-1
Noodscenario 1 T100	6.5	27	6.2	-1
Noodscenario 1 T1000	6.7	9	6.5	-11
Noodscenario 2 T10	6.2	3	6.2	0
Noodscenario 2 T100	6.2	4	6.2	0
Noodscenario 2 T1000	6.6	0	6.6	0
Streefpeil	5.83		3.82	

3.3.2 T10: S0 tov SF1nood1 en SF1nood2

Figuur 23 en Figuur 24 tonen het verloop van het waterpeil in functie van de tijd respectievelijk op- en afwaarts de stuwsuis te Denderbelle voor het event met terugkeerperiode T10 voor bestaande toestand (huidige stuwsuis te Denderbelle, S0 – zwart), noodscenario 1 (blauw) en noodscenario 2 (rood). Zoals uit bovenstaande tabel reeds was af te leiden, is het effect op het maximaal opwaarts waterpeil significant. Het effect op het afwaarts waterpeil is te verwaarlozen.

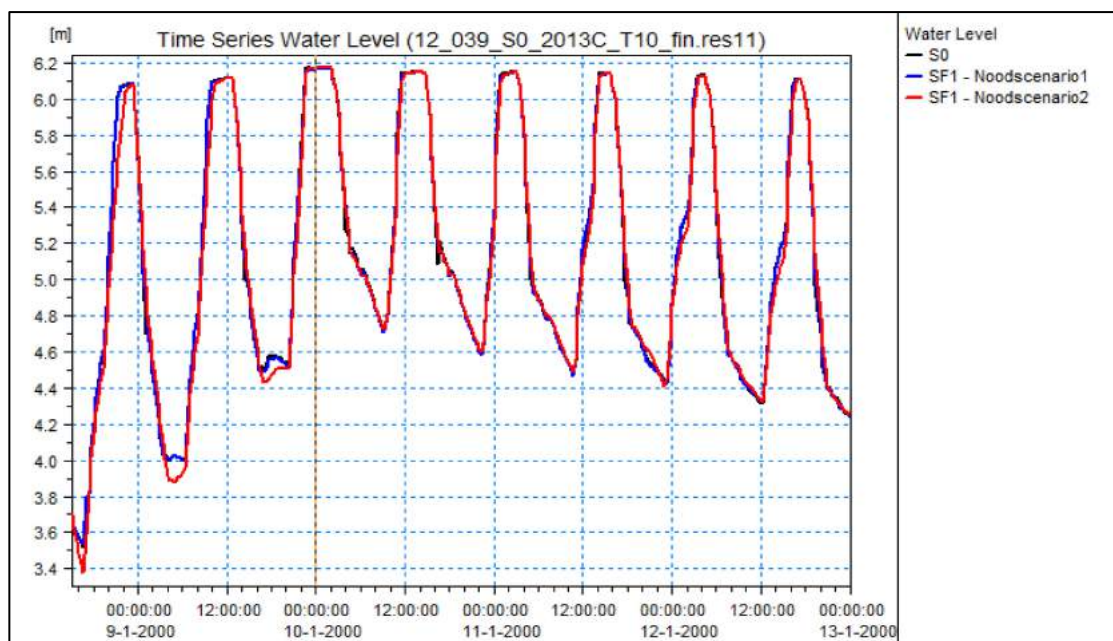
Bij noodscenario 2 is de invloed van het getij op de Schelde voelbaar tot opwaarts de stuwsuis te Denderbelle, gezien de sluis in dit scenario open is en het traject vanaf de stuwsuis te Aalst tot de getijdensluis in Dendermonde dus fungeert als 1 pand.

Figuur 23 – Waterpeil [mTAW] bij T10 opwaarts de stuwsuis in Denderbelle



S0 (zwart), SF1 – noodscenario1 (blauw) – SF2 – noodscenario 2 (rood)

Figuur 24 – Waterpeil [mTAW] bij T10 afwaarts de stuwsuis in Denderbelle

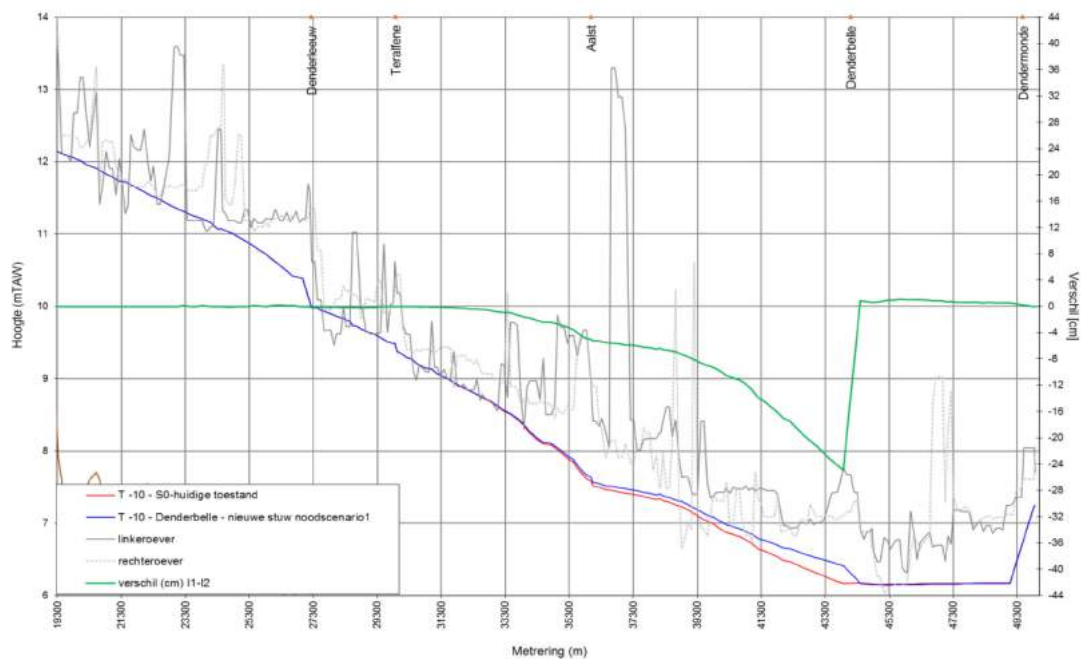


S0 (zwart), SF1 – noodscenario1 (blauw), SF2 – noodscenario 2 (rood)

Figuur 25 en Figuur 26 tonen het lengteprofiel voor respectievelijk noodscenario 1 en noodscenario 2 ten opzichte van de bestaande toestand bij terugkeerperiode T10. Dit lengteprofiel geeft de Dender weer van opwaarts (links) naar afwaarts. Op de horizontale as is de metrerings vanaf opwaarts (metrerings start in dit geval op 19300m, opwaarts Denderleeuw) weergegeven, terwijl de linker verticale as de hoogte in m TAW voorstelt. De gesimuleerde waterpeilen zijn op dit lengteprofiel in rood weergegeven voor de bestaande toestand en in blauw voor het noodscenario 1/2. In groen is het verschil aangegeven (in cm, t.o.v. rechteras) tussen het peil bij het doorgerekende scenario en bestaande toestand. Ook uit dit lengteprofiel is af te leiden dat noodscenario 1 zorgt voor een peilstijging opwaarts de stuwsuis te Denderbelle. Het

openzetten van de sluis zorgt er voor dat de peilen terug deze uit bestaande toestand benaderen. Het berekende verschil van enkele centimeters kan men als niet significant beschouwen en is waarschijnlijk te wijten aan een toevalligheid van het algoritme.

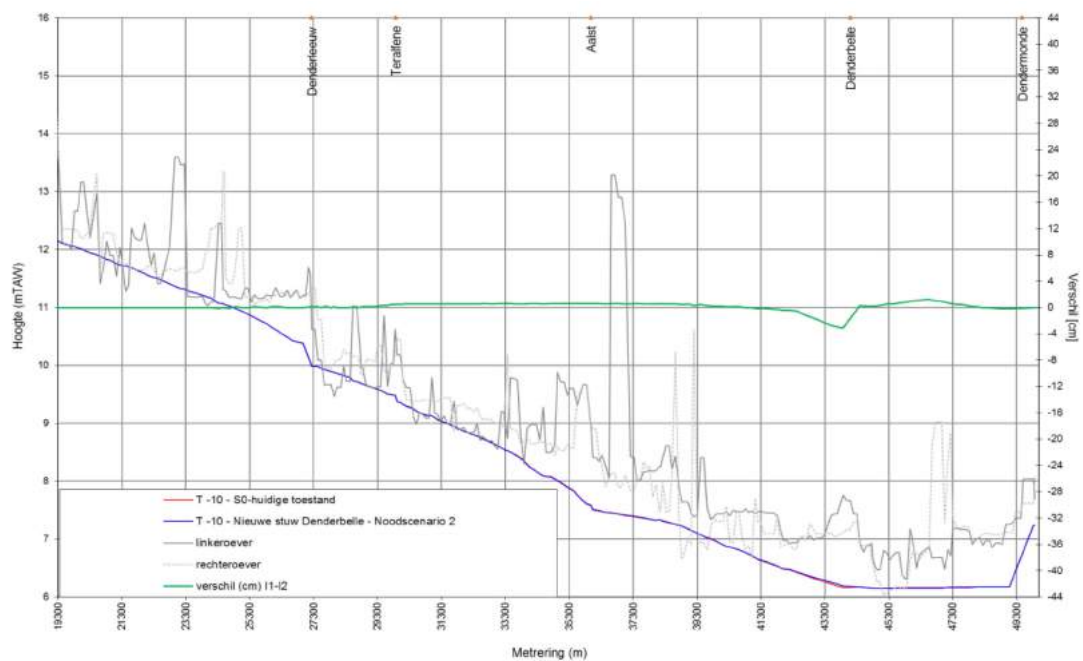
Figuur 25 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T10 langs de Dender



S0 (rood) en SF1 – noodscenario 1 (blauw).

Het verschil tussen beide simulatieresultaten is in groen (t.o. de rechter Y-as) weergegeven

Figuur 26 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T10 langs de Dender

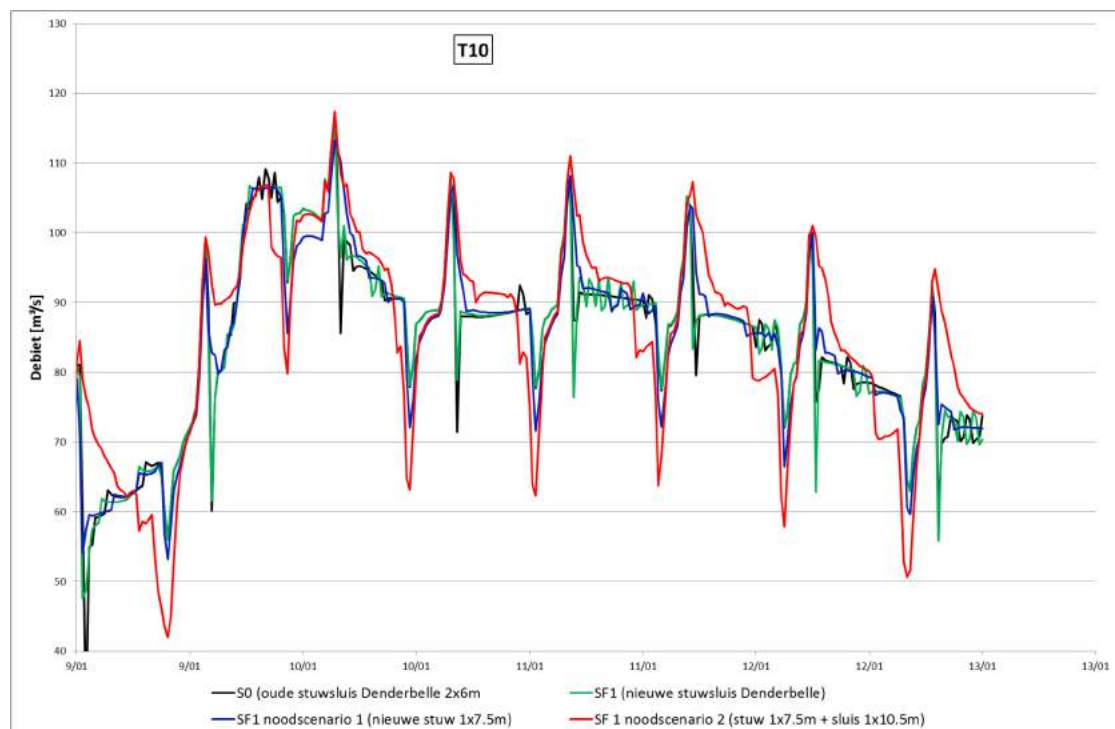


S0 (rood) en SF1 – noodscenario 2 (blauw)

Het verschil tussen beide simulatieresultaten is in groen (t.o. de rechter Y-as) weergegeven

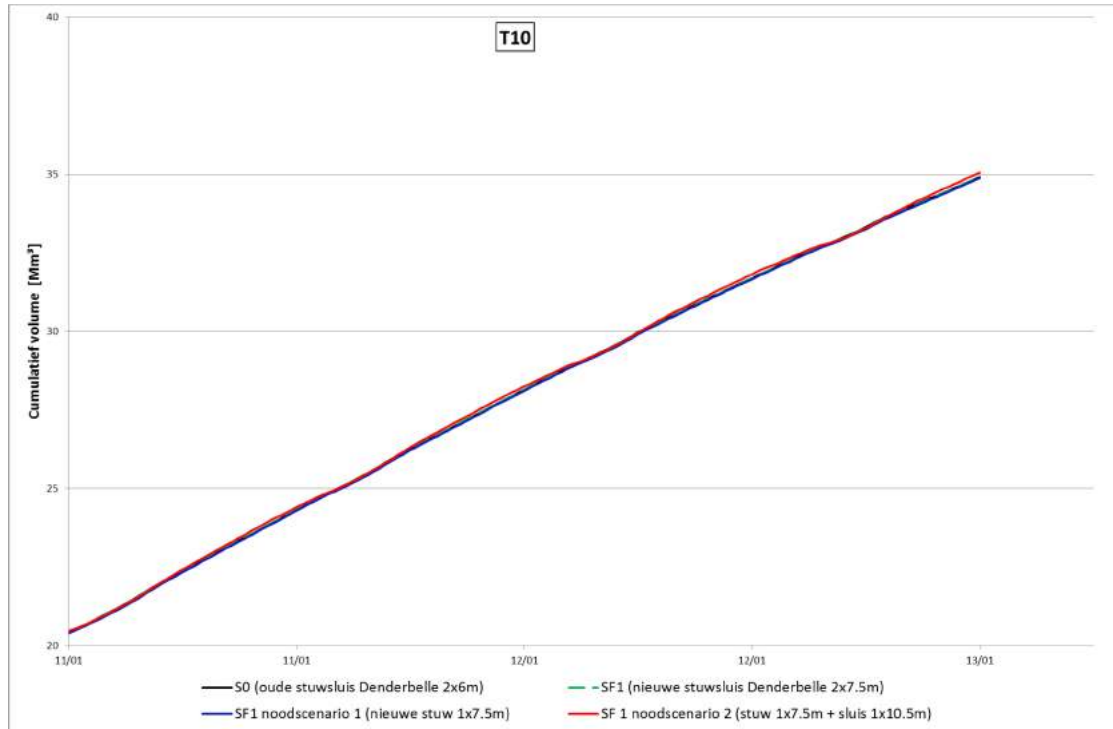
Figuur 27 toont voor de verschillende scenario's het debiet over de stuwsuis. Ter vergelijking is ook het debiet getoond bij een functionerende nieuwe stuwsuis te Denderbelle (groene stippellijn, 2x7.5m). Voor noodscenario 2 is hier het debiet over de stuw samengeteld bij dit over de geopende sluis. Het is duidelijk dat het afgevoerde debiet over de stuwsuis een gelijkaardig verloop heeft voor de verschillende simulaties. De verschillen zijn te wijten aan het verschil in reactie van de stuw. Gezien in noodscenario 1 slechts 1 stuw als controlestructuur overblijft, zal deze vaker plat liggen om het water naar afwaarts af te voeren. In noodscenario 2 fungeert de sluis echter de hele simulatie door als extra afvoersectie, waardoor de stuw bij laag water op de Schelde (en dus ook opwaarts de stuwsuis te Denderbelle) langer terug dicht wordt gehouden

Figuur 27 – Debiet over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T10



Op Figuur 28 is duidelijk te zien dat het gecumuleerde volume tussen de verschillende scenario's bij benadering hetzelfde is.

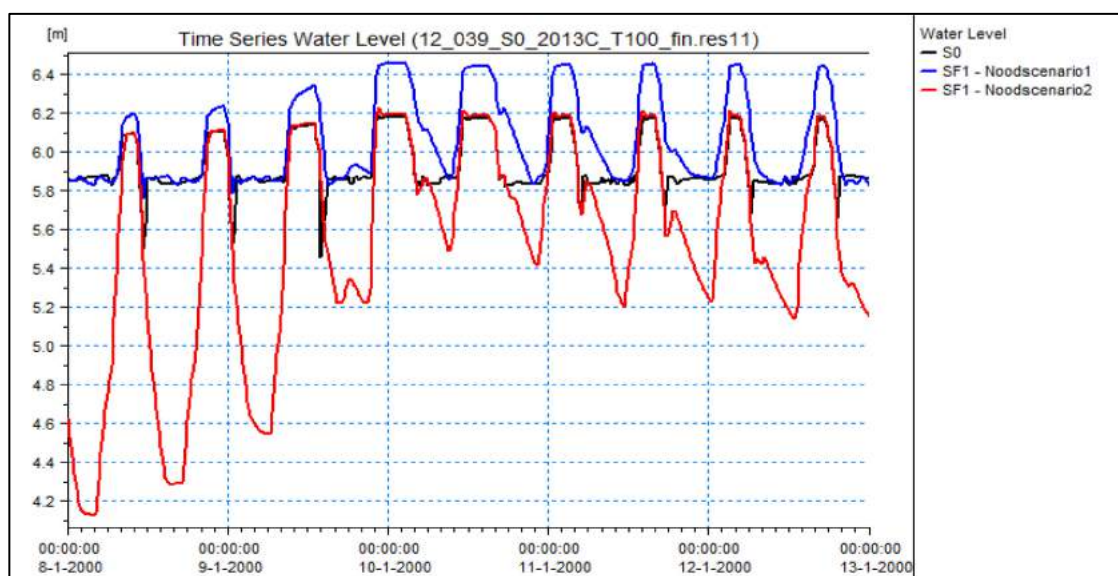
Figuur 28 – Cumulatief volume over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T10



3.3.3 T100: S0 tov SF1nood1 en SF1nood2

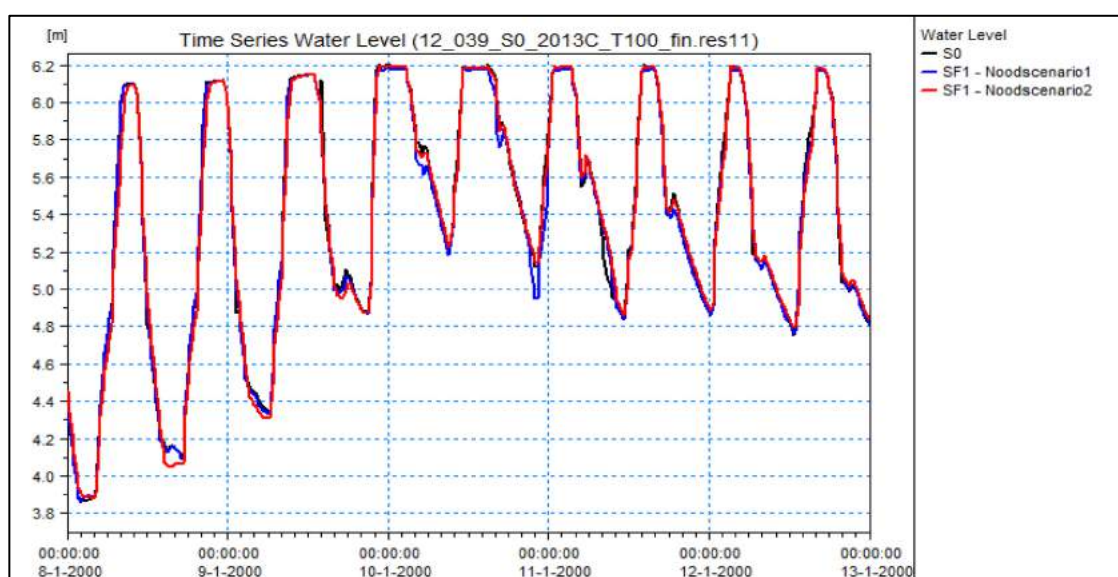
Figuur 29 en Figuur 30 tonen het verloop van het waterpeil in functie van de tijd respectievelijk op- en afwaarts de stuwsluis te Denderbelle voor het event met terugkeerperiode T100 voor bestaande toestand (huidige stuwsluis te Denderbelle, S0 – zwart), noodscenario 1 (blauw) en noodscenario 2 (rood). De impact op op- en afwaarts waterpeil is voor de storm met terugkeerperiode T100 gelijkaardig als deze bij T10: Terwijl noodscenario 1 een stijging van het waterpeil opwaarts de stuwsluis veroorzaakt door de verminderde afvoercapaciteit, zorgt het openen van de sluis bij noodscenario 2 dat het opwaarts peil zakt tot het waterpeil in bestaande toestand. Het effect op het afwaarts waterpeil is te verwaarlozen. Bij noodscenario 2 is de invloed van het getij op de Schelde voelbaar tot opwaarts de stuwsluis te Denderbelle, gezien de sluis in dit scenario open is en het traject vanaf de stuwsluis te Aalst tot de getijdensluis in Dendermonde dus fungeert als 1 pand.

Figuur 29 – Waterpeil [mTAW] bij T100 opwaarts de stuwsluis in Denderbelle



S0 (zwart), SF1 – noodscenario1 (blauw), SF2 – noodscenario 2 (rood)

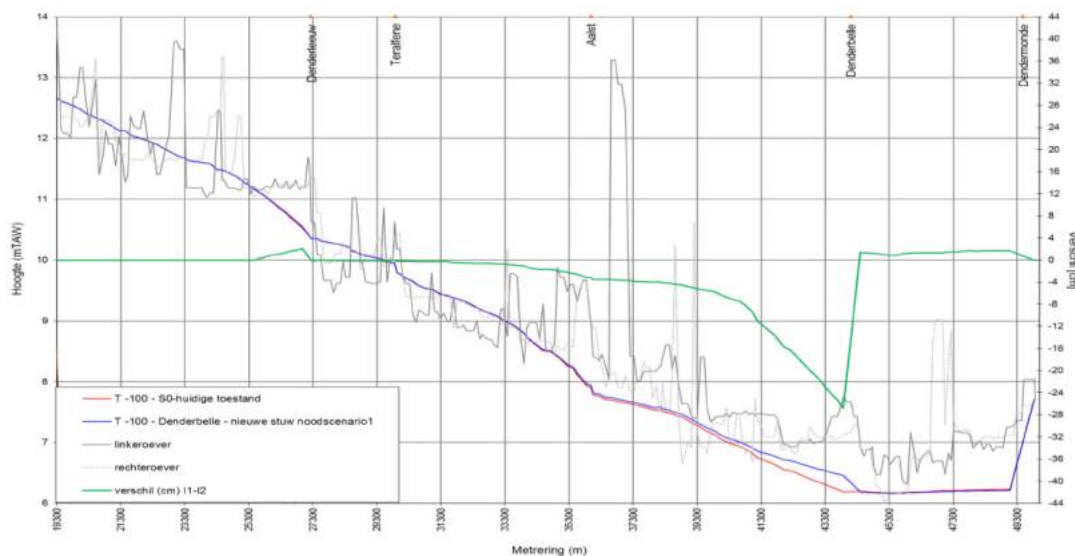
Figuur 30 – Waterpeil [mTAW] bij T100 afwaarts de stuwsluis in Denderbelle



S0 (zwart), SF1 – noodscenario1 (blauw), SF2 – noodscenario 2 (rood)

Figuur 31 en Figuur 32 tonen het lengteprofiel voor respectievelijk noodscenario 1 en noodscenario 2 ten opzichte van de bestaande toestand bij terugkeerperiode T100. Ook uit dit lengteprofiel is af te leiden dat het effect van de doorgerekende scenario's op de gemodelleerde maximale waterpeilen opwaarts de stuw ook bij T100 significant is voor noodscenario 1. Er is eveneens een klein verschil ter hoogte van de stuwsuis te Denderleeuw, ten gevolge van de licht gewijzigde peilen verder afwaarts. Het openzetten van de sluis zorgt er voor dat de peilen terug deze uit bestaande toestand benaderen. Het berekende verschil van enkele centimeters kan men zoals bij T10 als niet significant beschouwen.

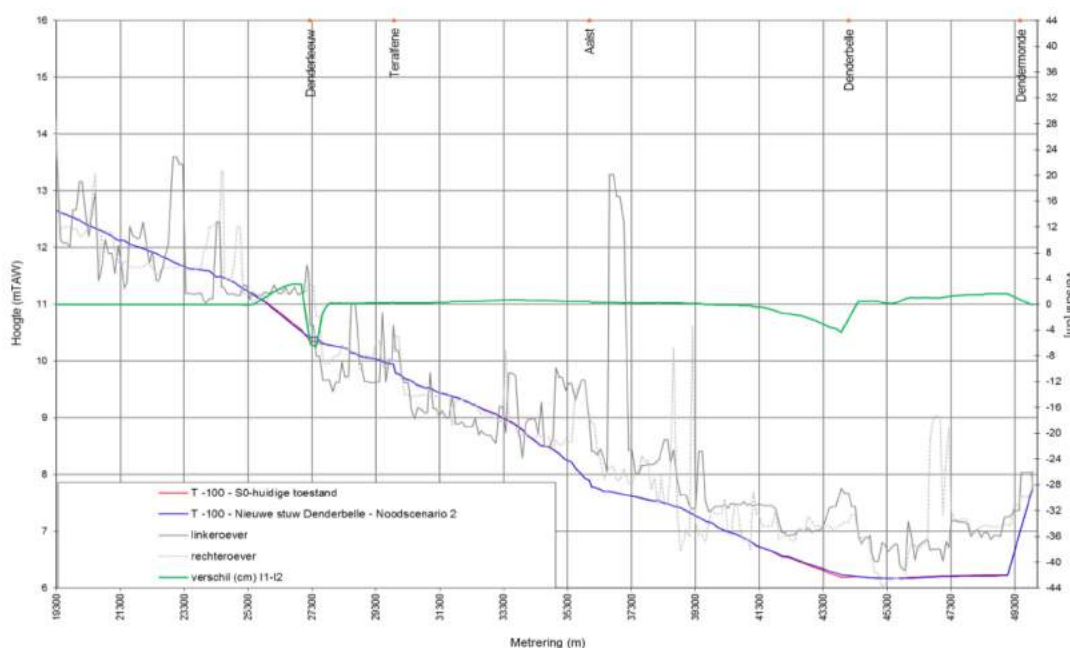
Figuur 31 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T100 langs de Dender



S0 (rood) en SF1 – noodscenario 1 (blauw).

Het verschil tussen beide simulatieresultaten is in groen (t.o. de rechter Y-as) weergegeven

Figuur 32 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T100 langs de Dender

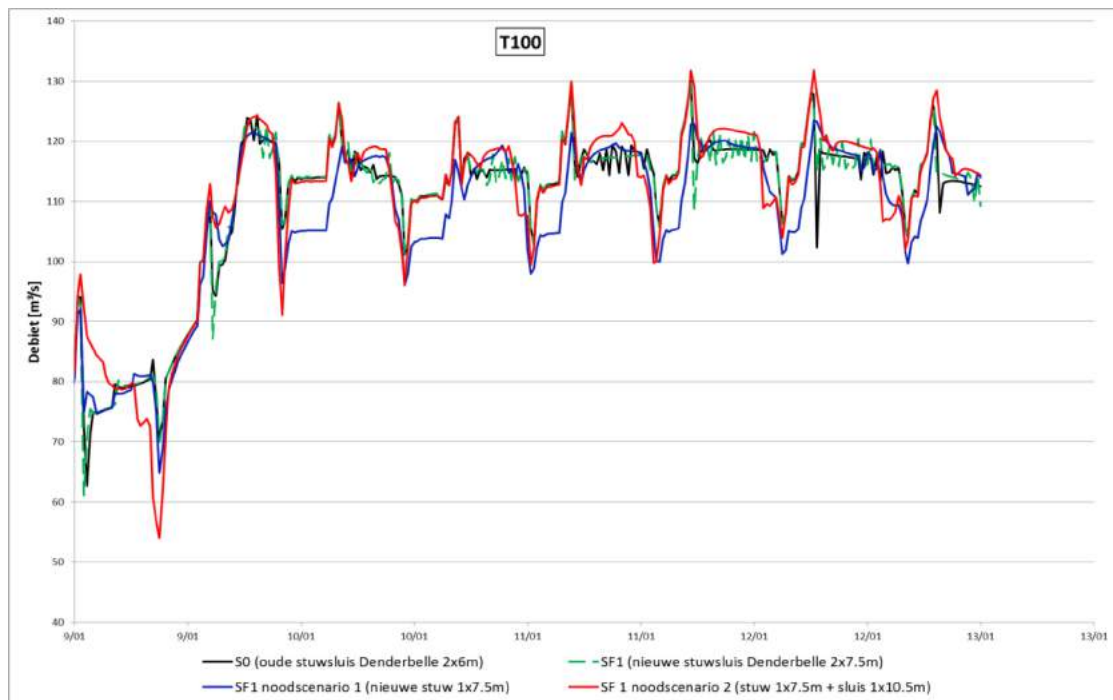


S0 (rood) en SF1 – noodscenario 2 (blauw).

Het verschil tussen beide simulatieresultaten is in groen (t.o. de rechter Y-as) weergegeven

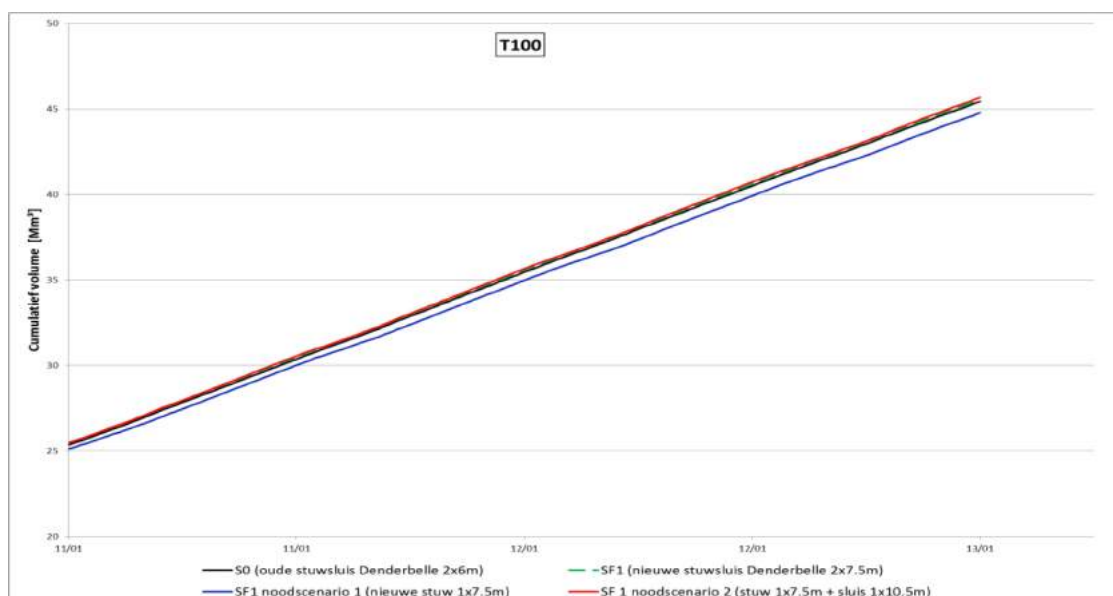
Figuur 33 toont voor de verschillende scenario's het debiet bij T100 over de stuwsuis. Ter vergelijking is ook het debiet getoond bij een functionerende nieuwe stuwsuis te Denderbelle (groene stippellijn, 2x7.5m). Voor noodscenario 2 is hier het debiet over de stuw samengeteld bij dit over de geopende sluis. Het is duidelijk dat het afgevoerde debiet over de stuwsuis nagenoeg hetzelfde is voor de verschillende simulaties. Enkel voor noodscenario 1 wordt duidelijk minder afgevoerd.

Figuur 33 – Debiet over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T100



Figuur 34 toont het gecumuleerde volume voor de verschillende scenario's. In noodscenario 1 is de afvoer kleiner, terwijl het openzetten van de sluis de impact van het falen van 1 van de stuwen compenseert.

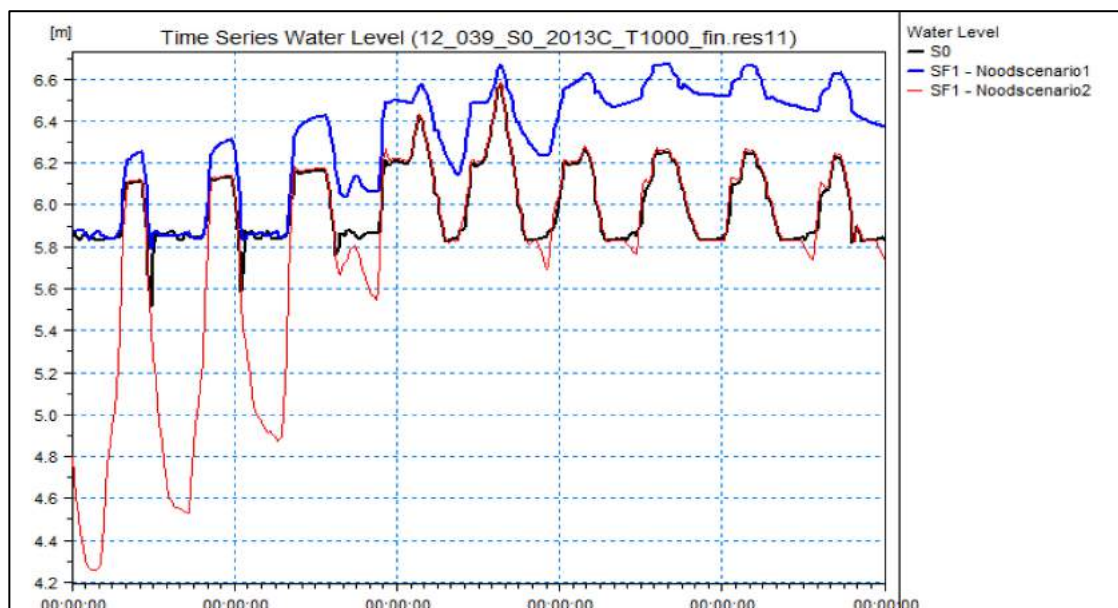
Figuur 34 – Cumulatief volume over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T100



3.3.4 T1000: S0 tov SF1nood1 en SF1nood2

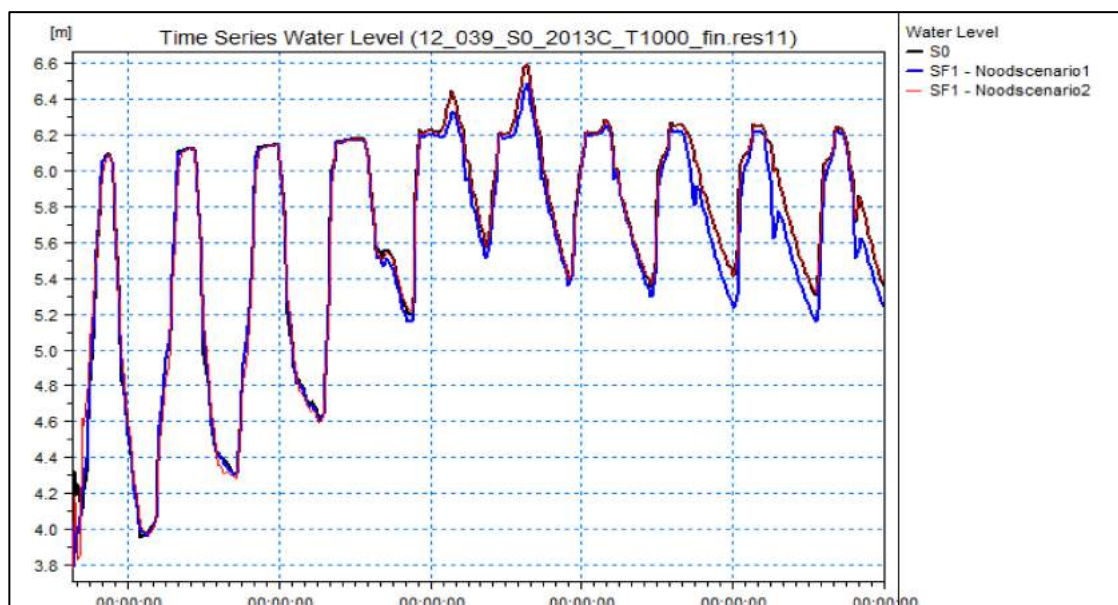
Figuur 35 en Figuur 36 tonen het verloop van het waterpeil in functie van de tijd respectievelijk op- en afwaarts de stuwsuis te Denderbelle voor het event met terugkeerperiode T1000 voor bestaande toestand (huidige stuwsuis te Denderbelle, S0 – zwart), noodscenario 1 (blauw) en noodscenario 2 (rood). Het opwaarts waterpeil stijgt voor noodscenario 1 ten opzichte van de bestaande toestand, maar minder dan bij de events met terugkeerperiode T10 en T100. Het openzetten van de sluis, brengt de situatie bijna helemaal terug naar deze uit bestaande toestand. Bij noodscenario 2 is de invloed van het getij op de Schelde voelbaar tot opwaarts de stuwsuis te Denderbelle, gezien de sluis in dit scenario open is en het traject vanaf de stuwsuis te Aalst tot de getijdensluis in Dendermonde dus fungeert als 1 pand.

Figuur 35 – Waterpeil [mTAW] bij T1000 opwaarts de stuwsuis in Denderbelle



S0 (zwart), SF1 – noodscenario1 (blauw), SF2 – noodscenario 2 (rood)

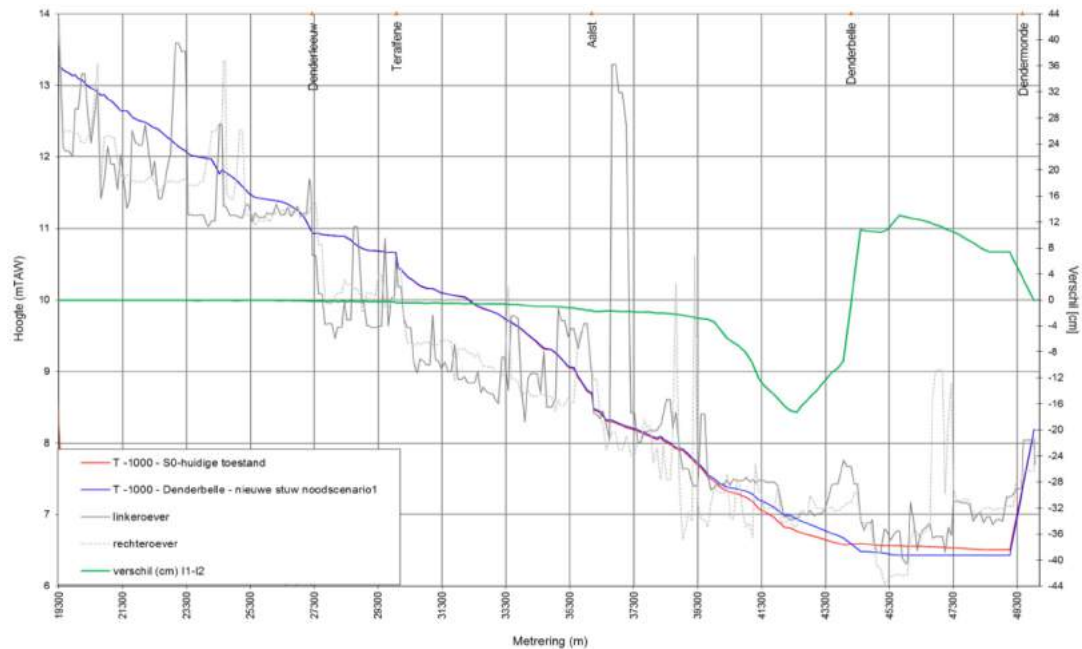
Figuur 36 – Waterpeil [mTAW] bij T1000 afwaarts de stuwsuis in Denderbelle



S0 (zwart), SF1 – noodscenario1 (blauw), SF2 – noodscenario 2 (rood)

Figuur 37 en Figuur 38 tonen het lengteprofiel voor het noodscenario 1 en noodscenario 2 respectievelijk ten opzichte van de bestaande toestand bij terugkeerperiode T1000.

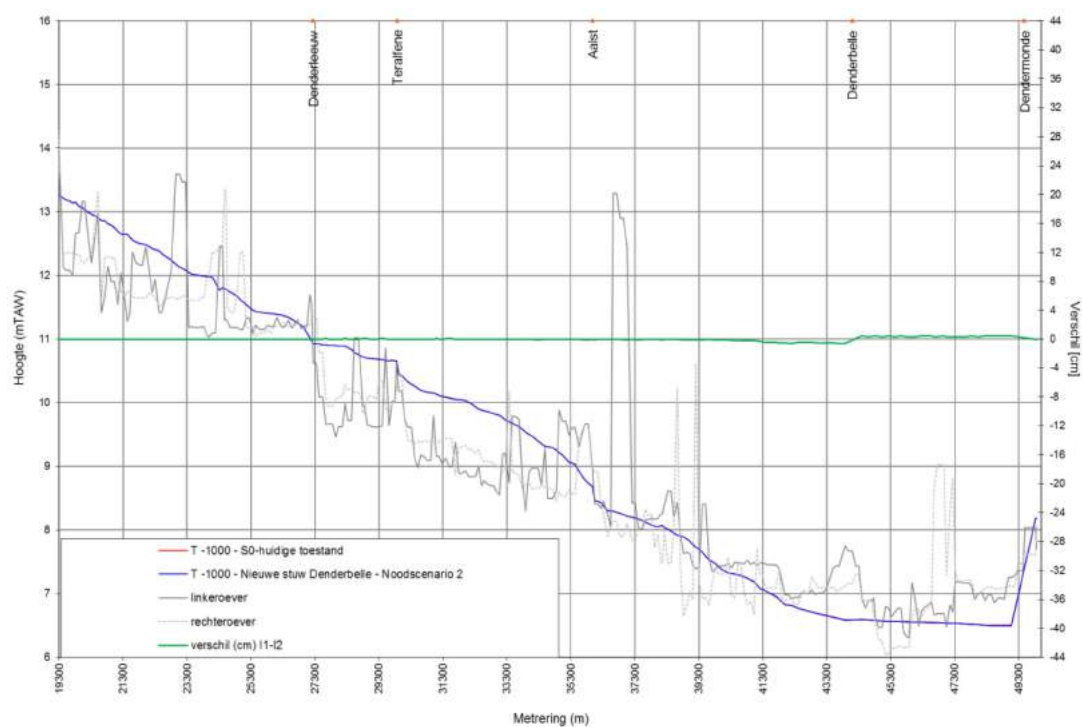
Figuur 37 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T1000 langs de Dender



S0 (rood) en SF1 – noodscenario 1 (blauw).

Het verschil tussen beide simulatieresultaten is in groen (t.o. de rechter Y-as) weergegeven

Figuur 38 – Lengteprofiel met het gesimuleerde waterpeil voor T1000 langs de Dender

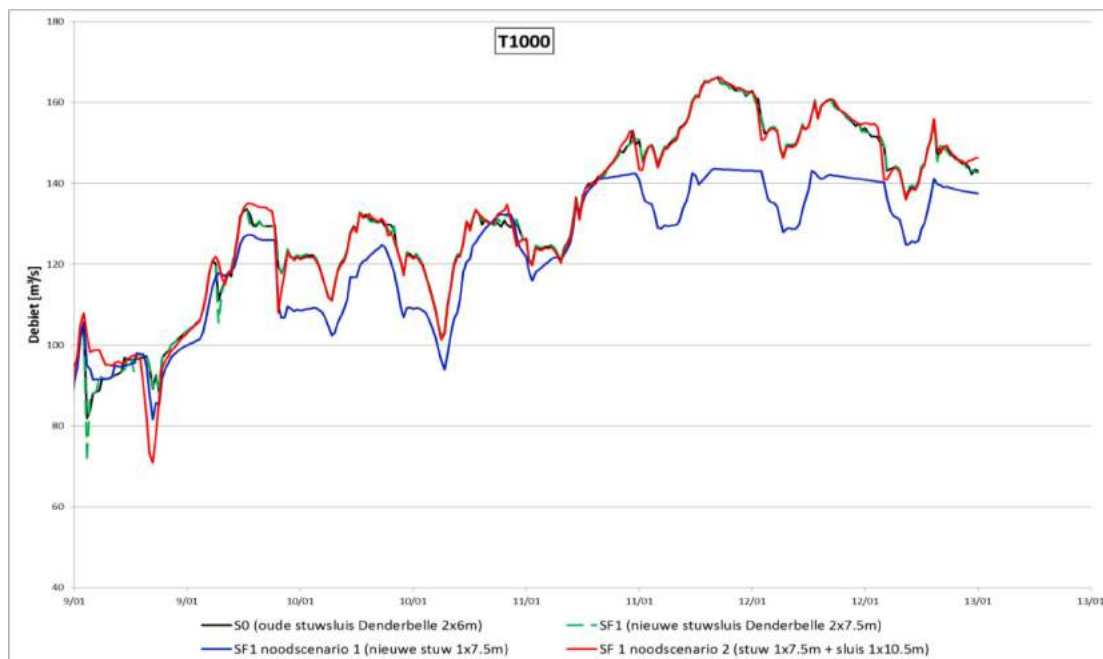


S0 (rood) en SF1 – noodscenario 2 (blauw).

Het verschil tussen beide simulatieresultaten is in groen (t.o. de rechter Y-as) weergegeven

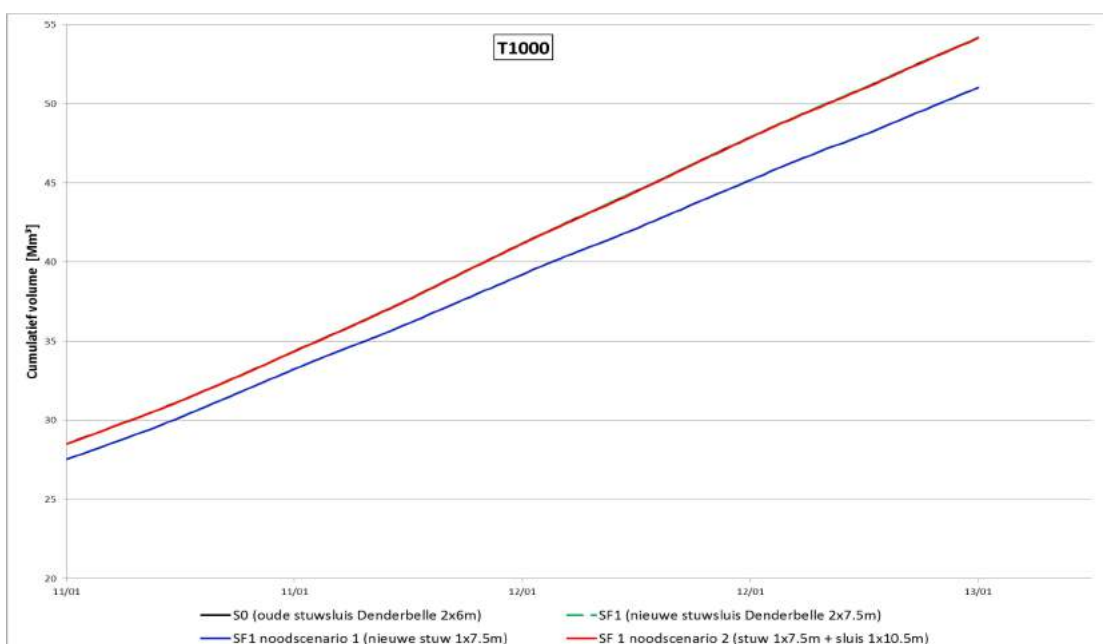
Figuur 39 toont voor de verschillende scenario's het debiet bij T1000 over de stuwsuis. Voor noodscenario 2 is hier het debiet over de stuw samengeteld bij dit over de geopende sluis. Het is duidelijk dat het afgevoerde debiet over de stuwsuis nagenoeg hetzelfde is voor de verschillende simulaties. Voor noodscenario 1 wordt duidelijk minder afgevoerd. Dit wijst dus op het belangrijk effect van het openzetten van de sluis bij falen van de stuw.

Figuur 39 – Debiet over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T1000



Figuur 40 toont het gecumuleerde volume voor de verschillende scenario's. Voor dit extreem event is het verschil in afvoercapaciteit van de stuwsuis wel duidelijk: voor noodscenario 1 is de afvoer duidelijk verkleind, terwijl in noodscenario 2 de bestaande toestand wordt benaderd.

Figuur 40 – Cumulatief volume over de stuwsuis te Denderbelle voor de verschillende scenario's bij T1000



3.4 Conclusie

Deze nota beschrijft de impact van twee noodscenario's ter hoogte van de nieuwe stuwsluis te Denderbelle. Deze nieuwe stuwsluis bestaat uit twee stuwen van 7.5 m breed en een nieuwe sluis van 10.5 m breed. In een eerste scenario is slechts één van beide stuwen beschikbaar (1x 7.5 m). In het tweede noodscenario is ook slechts één van beide stuwen beschikbaar, maar wordt de sluis (10.5m) geopend om afvoer mogelijk te maken. Voor alle events (T10, T100 en T1000) stijgt bij noodscenario 1 het waterpeil opwaarts de stuw te Denderbelle. Het afwaarts waterpeil is nagenoeg niet beïnvloed door de gewijzigde afvoercapaciteit.

Bij noodscenario 2, waarbij de sluis wordt opengezet bij falen van 1 van beide nieuwe klepstuwen te Denderbelle, wordt de peilstijging ten gevolge van het wegvallen van 1 van de klepstuwen in noodscenario 1 teniet gedaan door de vrijgekomen afvoercapaciteit van de sluis.

Bij de interpretatie van de opgegeven verschillen moet men er mee rekening houden dat het hier gaat om modelresultaten. Deze modellen vormen slechts een benadering van de realiteit. Eveneens is er voor de stuwautomatisatie een sturing aangenomen op basis van een beredeneerde logica die in grote lijnen in het verleden zo toegepast is. Deze stuwregeling kan de waterpeilen sterk beïnvloeden. De regeling die in de praktijk gebeurt kan afwijken van deze opgenomen in de modellen. Daarom moet men de resultaten steeds met de nodige omzichtigheid behandelen.

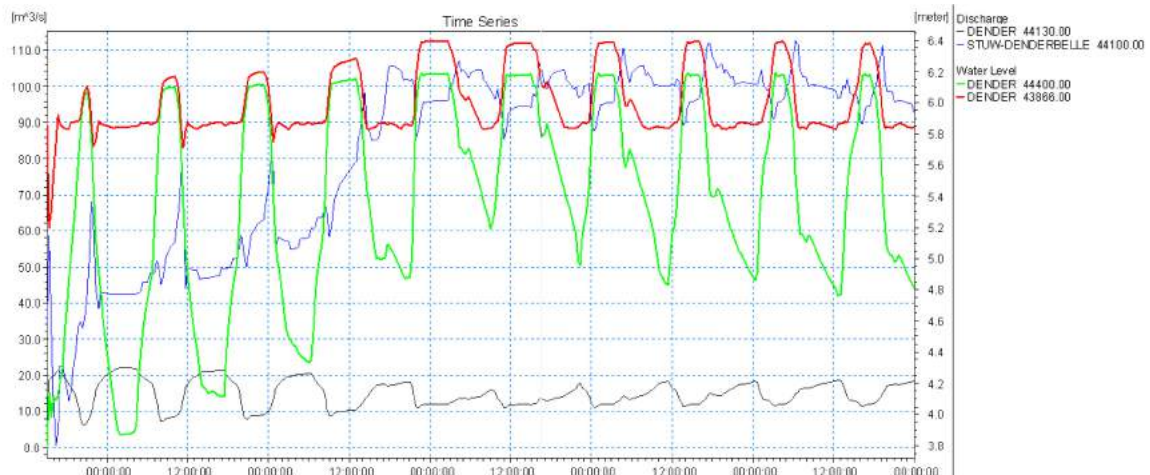
3.5 Additionele berekeningen: Openen deuropeningen van sluis in noodsituatie (1 stuw in werking)

Als alternatief voor het openen van de sluisen om in een noodsituatie voldoende capaciteit te creëren werd door WenZ (mail 28-6-2016) de vraag gesteld of het gebruik van de deuropeningen in de sluisdeuren een voldoende bijdrage zou kunnen leveren om het aangevoerde debiet bij was te verwerken. Dit om te vermijden dat de sluisdeuren moeten worden opengezet wat vrij omslachtig is.

Uit eerste berekeningen blijkt dat dit niet voldoende is en wel om de volgende redenen (meegedeeld in mail aan WenZ dd. 1-8-2016):

De maximale waterstanden stroomopwaarts van de stuw van Denderbelle treden op bij de hoogste waterstanden stroomafwaarts. Dit is voor een T100 (zie figuur 7 uit het verslag) niet meer dan 0.30 m. Bij de aanname van 6 schuiven met een doorsnede van 0.81 m² elks kan men bij een waterstandverschil van 0.30 m een transitdebiet van rond de 7 m³/s verwachten (Toricelli). Op een totaal debiet van meer dan 100 m³/s (voor T100), is dit niet zoveel. Houdt men er dan ook nog rekening mee dat zowel verliezen optreden op de schuiven aan de ingang van de sluis als aan de uitgang (wel minder wegens grotere sectie van deze laatste), zal het reële debiet dat door deze schuiven stroomt in deze omstandigheden nog minder zijn.

Om deze theoretische benadering te staven werd ook een model run gemaakt (T100, met schuiven op de sluis open):



De gebruikte coëfficiënten voor de schuiven zijn niet geoptimaliseerd en gezien de resultaten van de theoretisch benadering hierboven zullen de debieten doorheen de schuiven (in het zwart), eerder naar beneden bijgesteld moeten worden wat de impact op het opwaartse waterpeil nog vermindert. Uit deze “optimistische” run kan er dus geen significante verlaging van het waterpeil opwaarts van de stuw vastgesteld worden.

Uit voorgaande blijkt dat het niet nuttig is deze piste verder te uit te diepen.

4 DO8: Doorrekenen van de impact van de volume reductie van het Denderbellebroek

MEMO

Titel	Effect van de nieuwe dijk ter hoogte van Denderbellebroek op het waterbergend volume
Datum	2/08/2016
Auteur(s)	Boey, I.; De Boeck, K. (revisor)
Ref.:	WL2016M15_062_8

4.1 Inleiding

Ten behoeve van de opwaardering van de Dender in het segment Dendermonde- Denderbelle tot klasse IV wordt een inschatting gevraagd van het effect van deze ingreep op het bergend vermogen van het Denderbellebroek. De Dender wordt immers breder gemaakt en het nieuwe dijklichaam zal landinwaarts tussen Dender en Denderbellebroek meer ruimte innemen dan de vroegere dijk.

Deze nota beschrijft de impact van de heraanleg van deze dijk op de vulling van het Denderbellebroek.

4.2 Gebruikte gegevens

De volgende voorontwerpplannen en gegevens werden gebruikt om de afmetingen te bepalen:

- 7309-V00-D-Overzichtsplan.pdf
- 7309-V20-A-Typedwarsprofielen segment 18.pdf
- DHM 2013-2015-Agiv-1mx1m

4.3 Uitvoering

Bovenvermelde informatie werd gebruikt om een inschatting te maken van het verlies aan volume in het Denderbellebroek na uitvoering van de opwaardering.

In Figuur 41 wordt een planzicht weergegeven van het Denderbellebroek. De gearceerde oppervlakte ter hoogte van de Dender is een aanduiding van de uitgestrektheid van het wateroppervlak bij een streefpeil in de Dender van 3.81 m TAW na opwaardering.

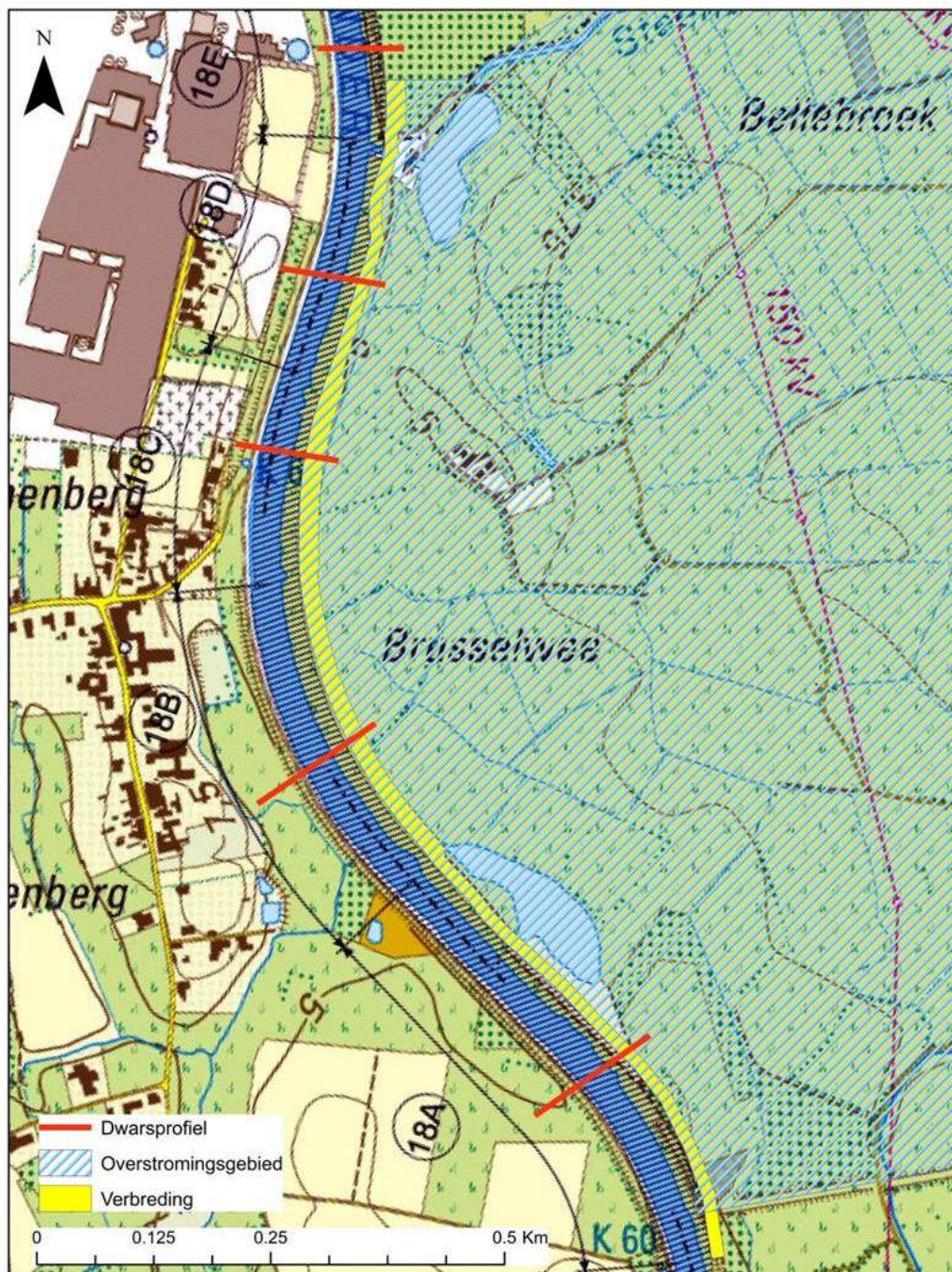
Figuur 41 – Planzicht met aanduiding van de typeprofielen die bij de herwaardering zullen gebruikt worden



(detail uit 7309-V00-D-Overzichtsplan.pdf)

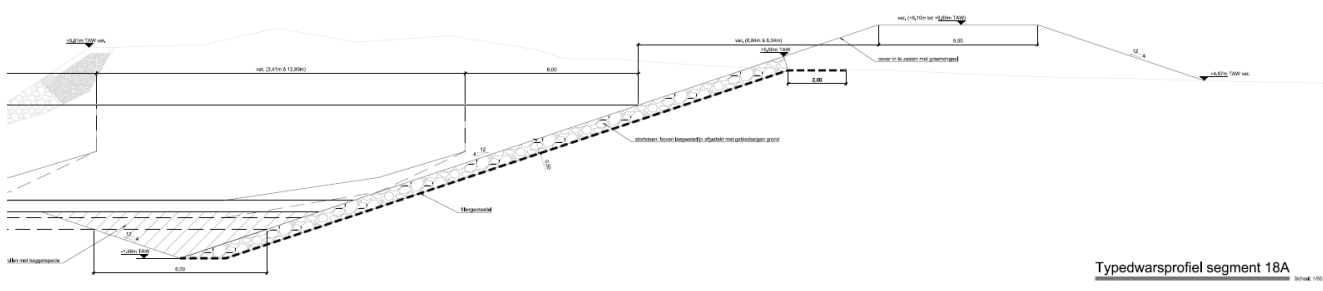
In Figuur 42 wordt dit plan opnieuw weergegeven, waarbij ingezoomd wordt op de Dender. De verschillende zones met verschillende typeprofielen worden hier duidelijk weergegeven. Voor elk van deze zones wordt er een dwarsprofiel opgesteld om een inschatting te maken van de impact van het gewijzigde dijklichaam op het volume van het Denderbellebroek. Dit door gebruik te maken van het DHM en de informatie van de typeprofielen (zie Figuur 43 tot Figuur 46). Het resultaat is weergegeven in Figuur 47 tot Figuur 50. Om de variabiliteit van het terrein en de overgangen tussen de profielen op te vangen, wordt een minimum en een maximum uitvoering afgeleid uit de plannen. Deze minimum en maximum uitvoering worden eveneens weergegeven op de betreffende figuren (rode en groene lijnen).

Figuur 42 – Overzichtsplan met aanduiding van dwarssecties



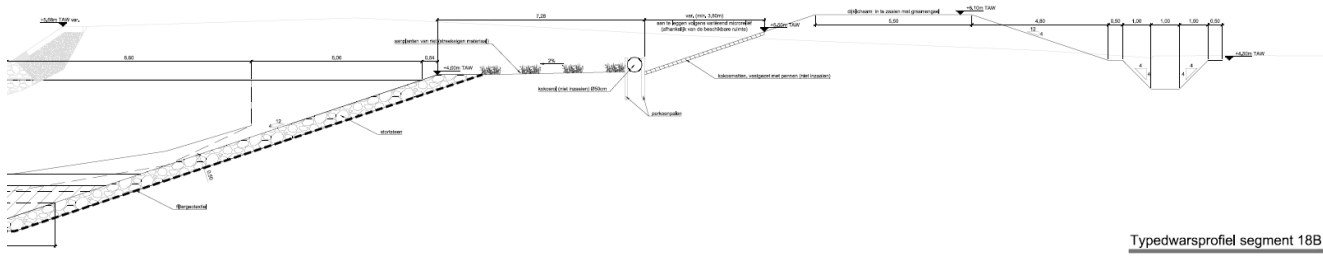
detail van plan 7309-V00-D

Figuur 43 – Typedwarsprofielen segment 18-A



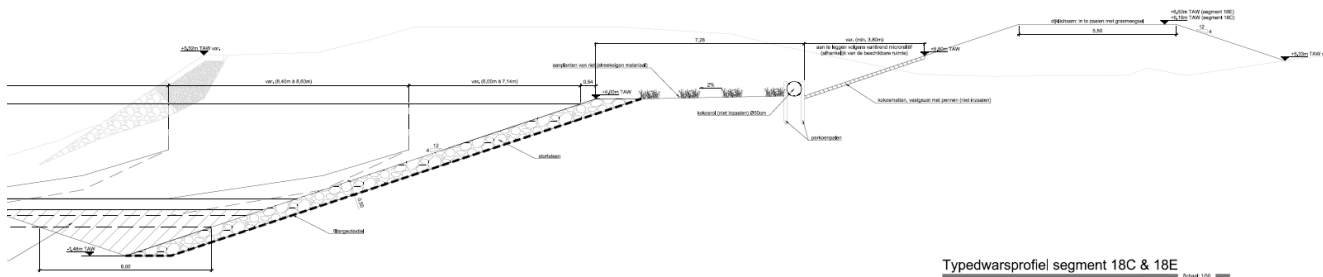
Detail uit 7309-V20-A

Figuur 44 – Typedwarsprofielen segment 18-B



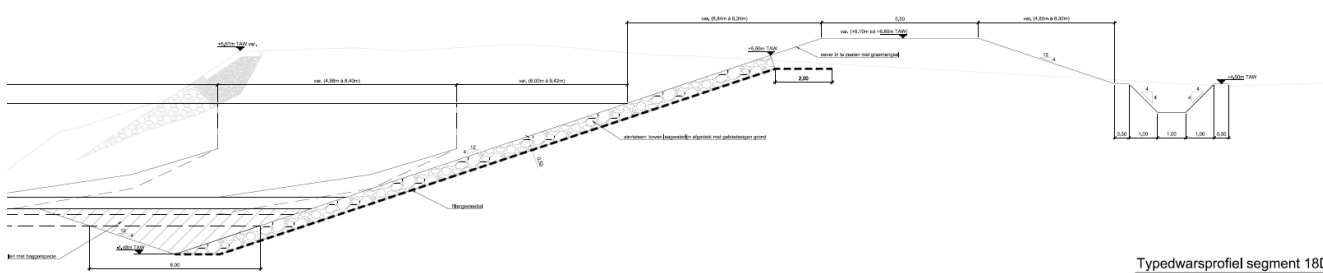
Detail uit 7309-V20-A

Figuur 45 – Typedwarsprofielen segment 18-C-E



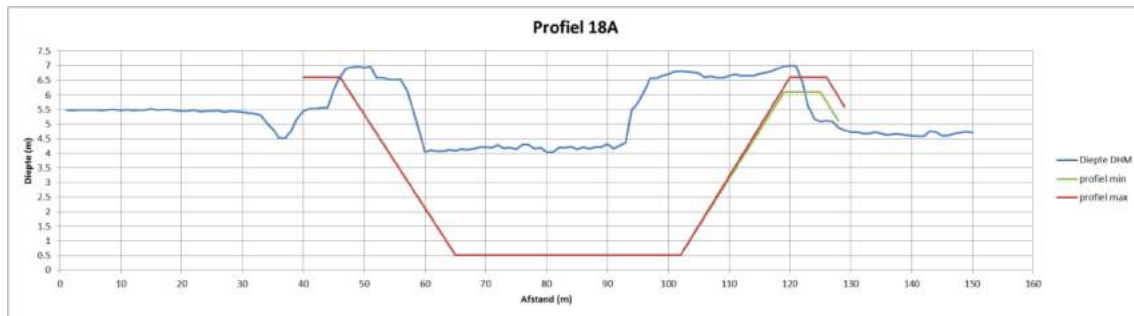
Detail uit 7309-V20-A

Figuur 46 – Typedwarsprofielen segment 18-D

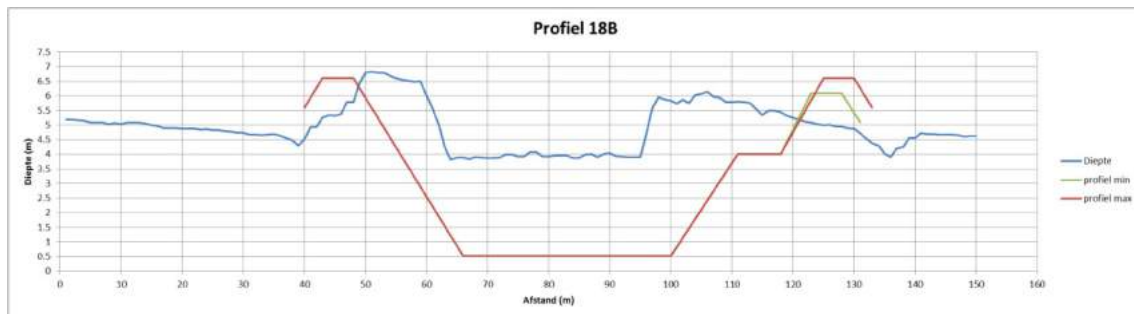


Detail uit 7309-V20-A

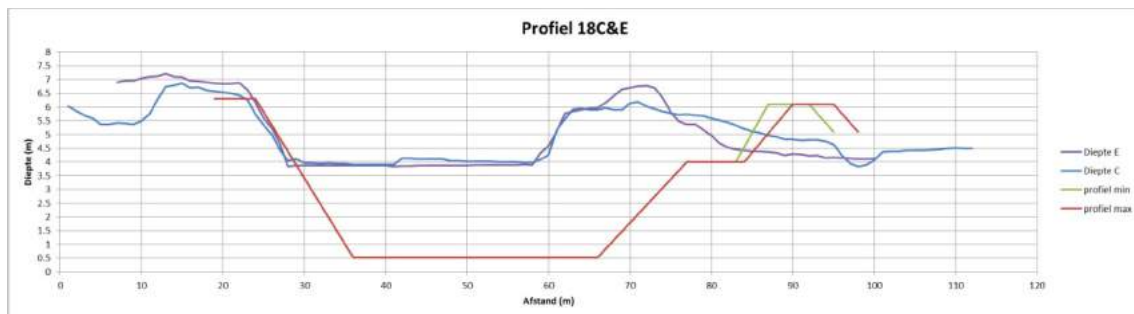
Figuur 47 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 A



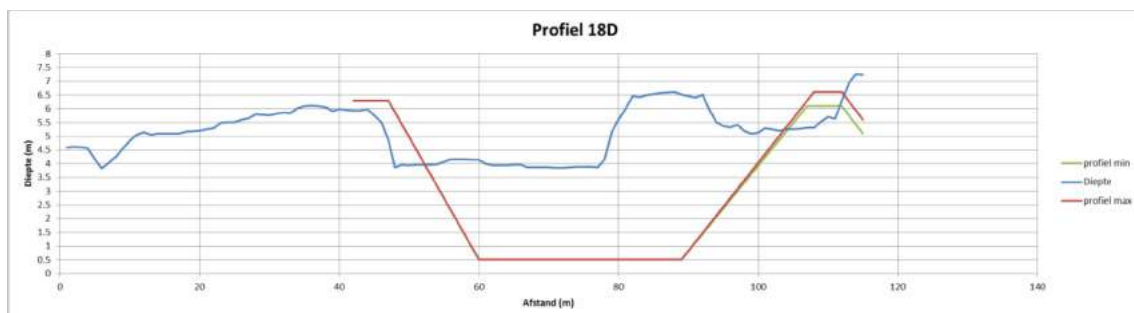
Figuur 48 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 B



Figuur 49 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 C en E



Figuur 50 – Definitie dwarsprofiel op basis van DHM en typeprofielen voor zone 18 D

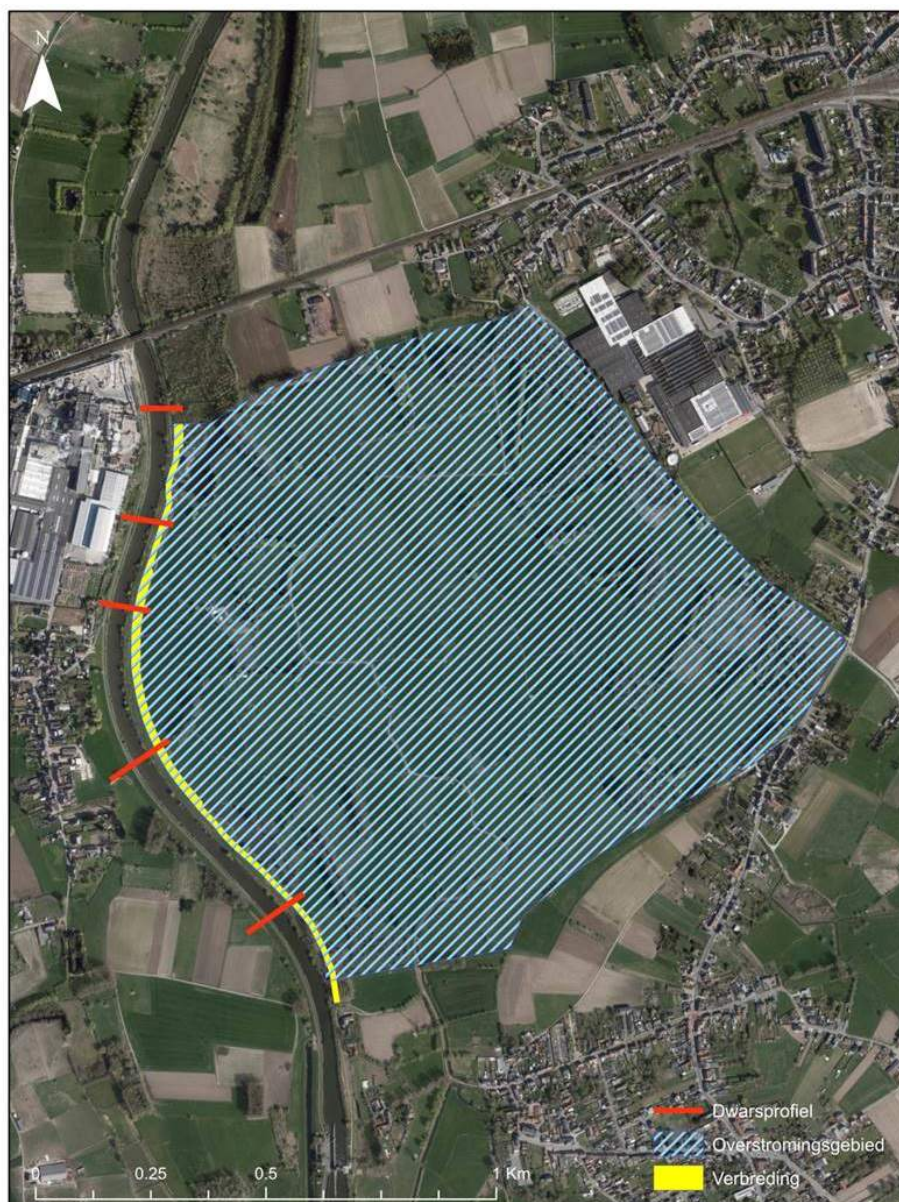


Uit Figuur 47 tot Figuur 50 werd dan voor het maximum profiel berekend hoever het dijklichaam zich uitstrekt van de waterlijn richting overstromingsgebied. Voor de verschillende segmenten werden de volgende gegevens bekomen:

- Segment met dwarsprofiel 18A: + 14 m
- Segment met dwarsprofiel 18B: + 19 m
- Segment met dwarsprofiel 18C+E: + 21 m
- Segment met dwarsprofiel 18D: + 14 m

De gele lijn op Figuur 51 toont de locatie van het nieuwe dijklichaam. De locatie van dit dijklichaam is berekend door het verschuiven van de waterlijn op basis van de hierboven vermelde afstanden. Door middel van het DHM en GIS-toepassingen werd dan het verschil berekend tussen het volume dat beschikbaar is in de huidige toestand en het volume dat beschikbaar is na de opwaardering. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4.

Figuur 51 – Overlay van detail van plan 7309-V00-D-Overzichtsplan op google-earth



Tabel 4 – Berekening van het volume verlies in het Denderbellebroek ten gevolge van de opwaardering van de Dender.

Referentiehoogte (m)	Volume nu (m ³)	Volume verlies (m ³)	Volume toekomst (m ³)	Reductie in percentage
6.5	3.62E+06	2.68E+04	3.59E+06	0.7%
6.1	3.05E+06	1.89E+04	3.03E+06	0.6%
6	2.90E+06	1.70E+04	2.89E+06	0.6%
5.5	2.20E+06	8.30E+03	2.19E+06	0.4%
5	1.50E+06	2.67E+03	1.50E+06	0.2%
4.5	8.27E+05	6.98E+02	8.26E+05	0.1%
4	2.95E+05	4.78E+01	2.95E+05	0%
3.5	2.83E+04	2.02E-01	2.83E+04	0%
3	9.55E-02	0.00E+00	9.55E-02	0%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij een vulling van het Denderbellebroek tot 6.5 m TAW, er na de opwaardering ongeveer 0.7 % beschikbaar volume minder aangesproken kan worden in vergelijking met de huidige toestand. Dit verlies wordt in de Dender echter gecompenseerd door de verbreding van de waterloop zelf. Bovenstaande figuren tonen immers dat in de nieuwe dwarsprofielen een significante toename van het volume van de Dender zelf is inbegrepen. Bij periodes van grote was, zal bij gesloten stuw in Dendermonde, zowel de berging van het Denderbellebroek als de berging van de Dender zelf benut kunnen worden. Op gebied van veiligheid naar overstroming toe zal er dus niet ingeboet worden.

Bij lagere overstromingshoogtes in het Denderbellebroek is de reductie van het volume nog minder. Dit betekent dat de overstromingsoppervlakte en het volume binnen het Denderbellebroek niet significant gewijzigd zal worden door de heraanleg van de dijk.

4.4 Inschatting van de volume verandering in de Dender

De bathymetrie voor een Klasse IV waterloop werd reeds ingebracht in het M11 mathematisch model van de Dender in de studie "Simulaties Overstromingseffecten Dender: MER Aalst" (De Boeck, et al., 2016).

Uit de resultaten van het M11 hydrodynamisch model voor de bestaande toestand (S0) en de nieuwe toestand (SE1, opwaardering Dender en vernieuwing sluizen) kunnen we de toename van het volume in de Dender berekenen. Dit doen we door de vulling te berekenen van het segment van de Dender net na de stuw van Denderbelle tot net voor de stuw van Dendermonde (chainage 44 350 tot 49 135). Dit vanaf een peil 3.7 m TAW tot 6.1 m TAW. Het peil 3.7 m wordt genomen omdat dit peil ongeveer overeenkomt met het minimum waterpeil dat bereikt wordt bij grote was (genomen T100) en een open stuw van Dendermonde. Het peil van 6.1 m TAW correspondeert met de overstorthoogte van het Denderbellebroek. Dit volume geeft de grootte orde weer van het nuttig bufferend vermogen (Tabel 5).

Tabel 5 – Volume vergelijking van de Dender tussen huidige toestand (S0) en opwaardering (SE1)

Scenario	Volume nu (m ³)	opmerking
Basisscenario (S0)	47.01E+04	Tussen 3.7 en 6.1 m TAW
Opwaardering (SE1)	64.26E+04	Tussen 3.7 en 6.1 m TAW
Toename volume (SE1-S0)	17.25E+04	Tussen 3.7 en 6.1 m TAW

Uit Tabel 4 en Tabel 5 blijkt dat de volume reductie ten gevolge van de heraanleg van de dijk voor de opwaardering een grootte orde van 10 kleiner is dan de uitbreiding van het volume in de Dender (17.25×10^4 en $1.89 \times 10^4 \text{ m}^3$).

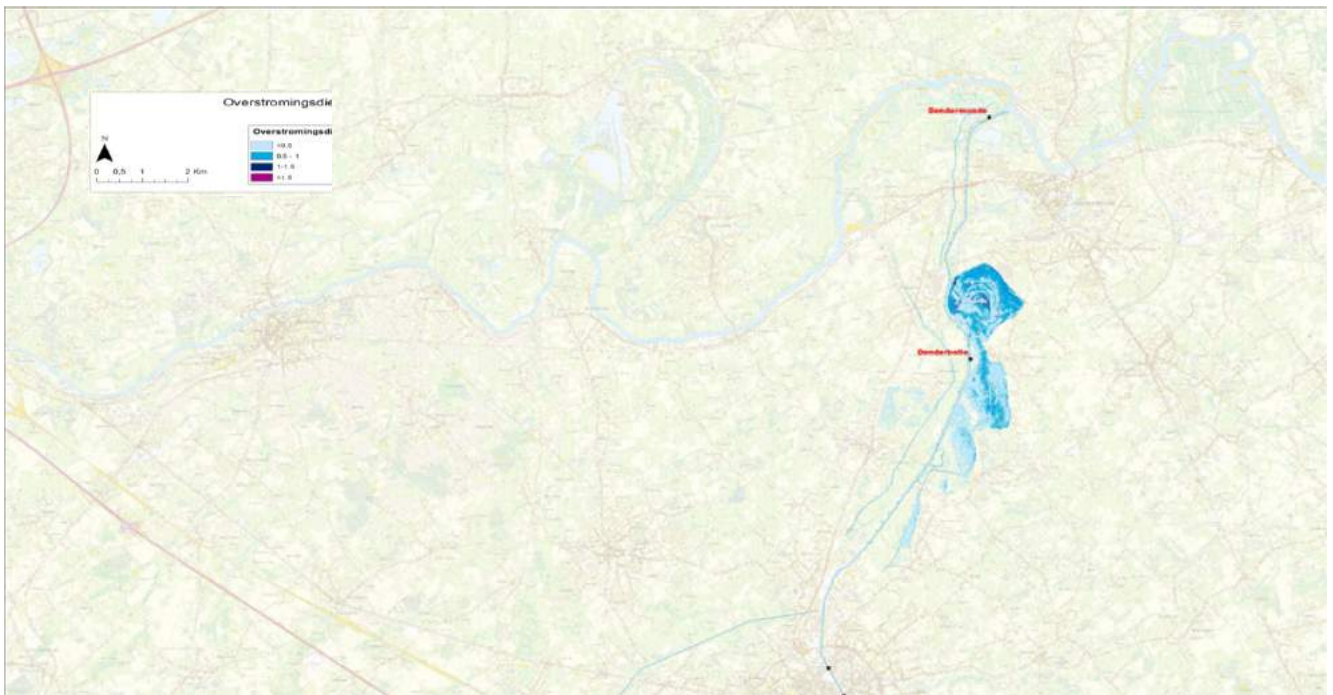
Deze berekeningen betekenen dus dat het globaal volume dat ter beschikking staat om water te bufferen zal toenemen bij een opwaardering van de Dender naar Klasse IV.

4.5 Overstromingskaarten voor verschillende terugkeerperiodes

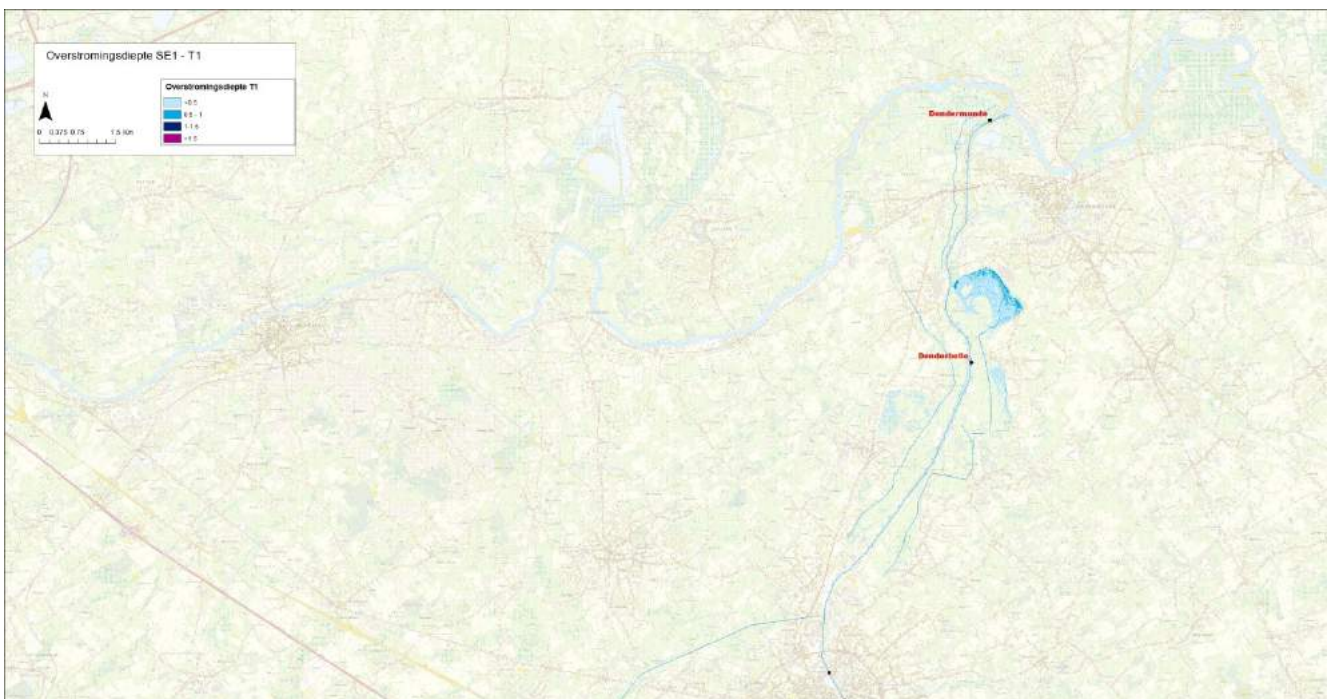
Het gereduceerde volume van het Denderbellebroek dient niet aangepast te worden in het bestaande mathematisch model wegens de zeer beperkte volumereductie (minder dan 0.7 %). De volume uitbreiding van de Dender ten gevolge van de opwaardering is echter wel significant. Het effect van deze uitbreiding (opwaardering naar Klasse IV) werd reeds berekend in (De Boeck, et al., 2016). Hieronder volgt dan een weergave van de overstromingskaarten die gemaakt werden in het kader van dat project en die het effect weergeven in overstromingsdieptes voor de terugkeerperiodes T1, T10 en T100.

Eveneens wordt er in Figuur 58 het verschil weergegeven in overstromingsoppervlak tussen de huidige toestand (S0) en de nieuwe toestand inclusief opwaardering van de Dender naar Klasse IV (SE1).

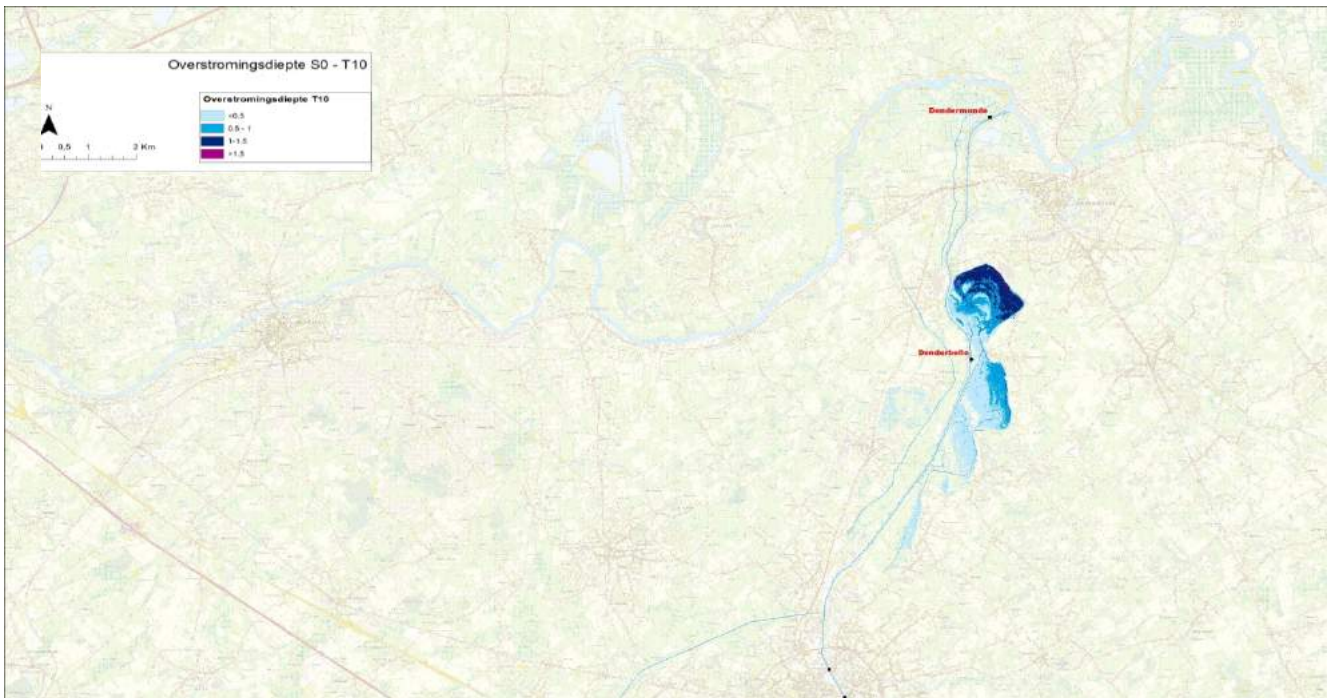
Figuur 52 – Overstromingsdiepte-kaart huidige toestand (S0)- T1



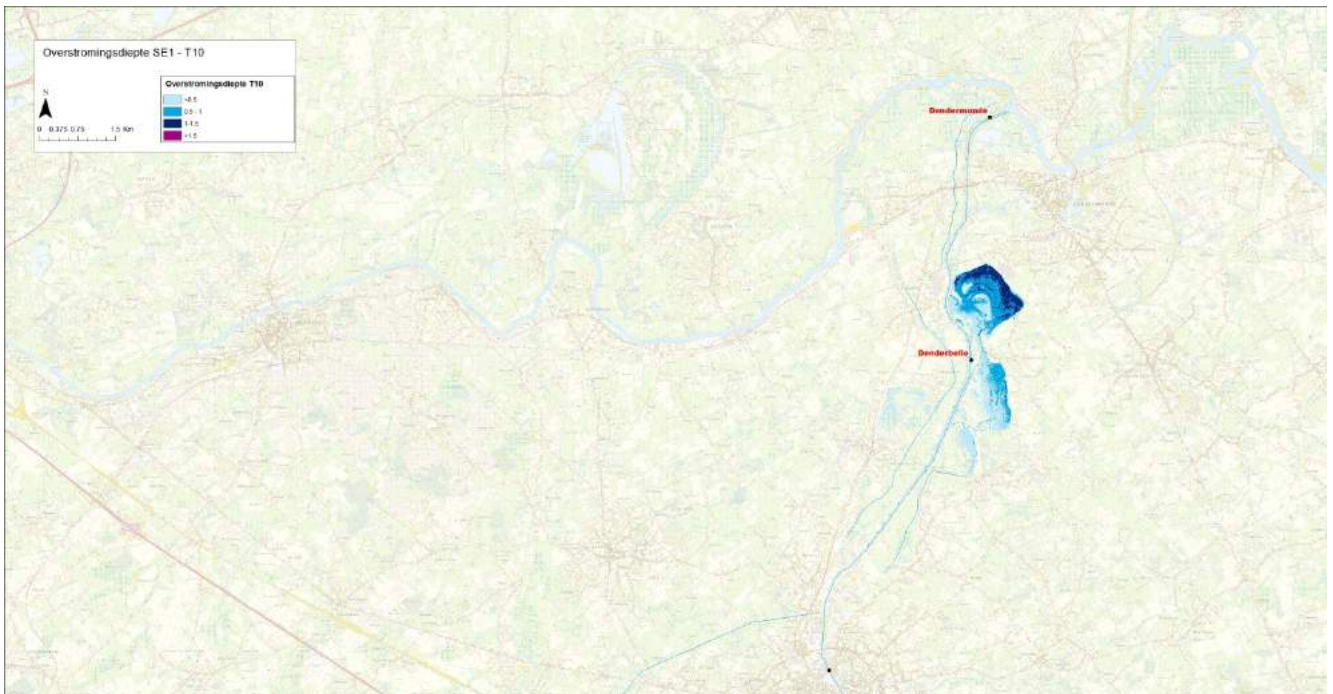
Figuur 53 – Overstromingsdiepte-kaart nieuwe toestand (SE1)- T1



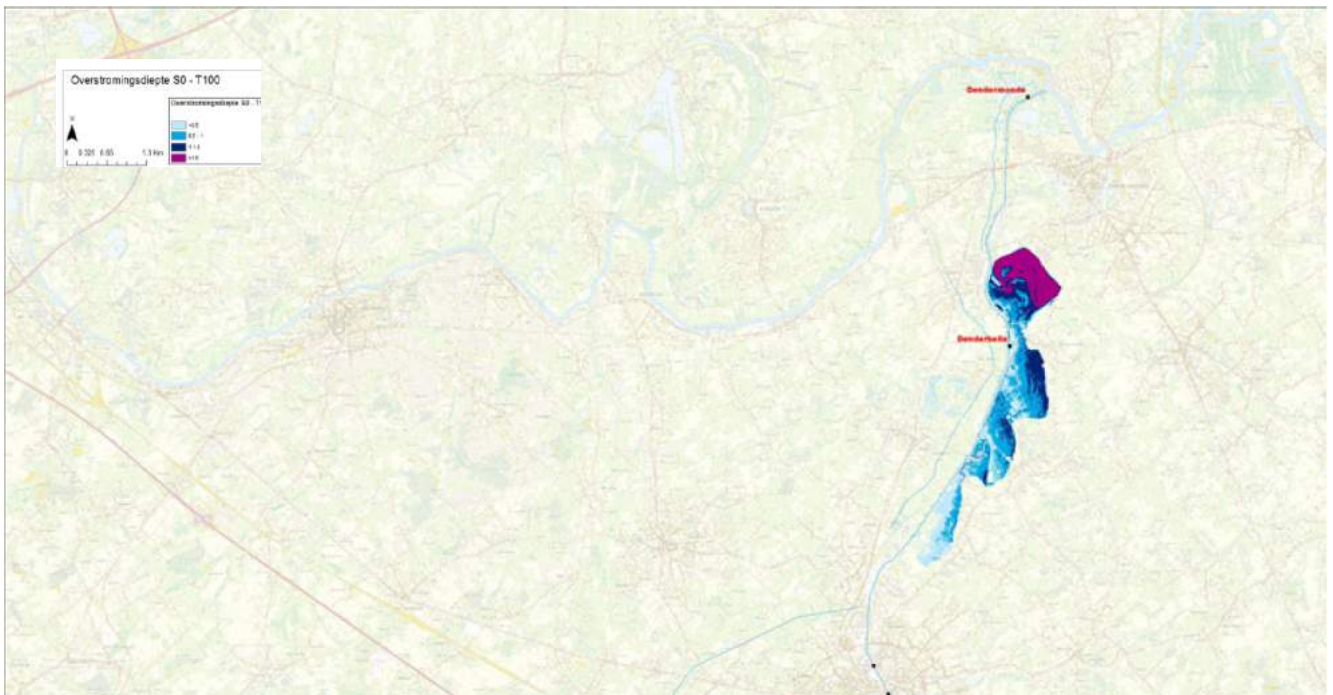
Figuur 54 – Overstromingsdiepte-kaart huidige toestand (S0)- T10



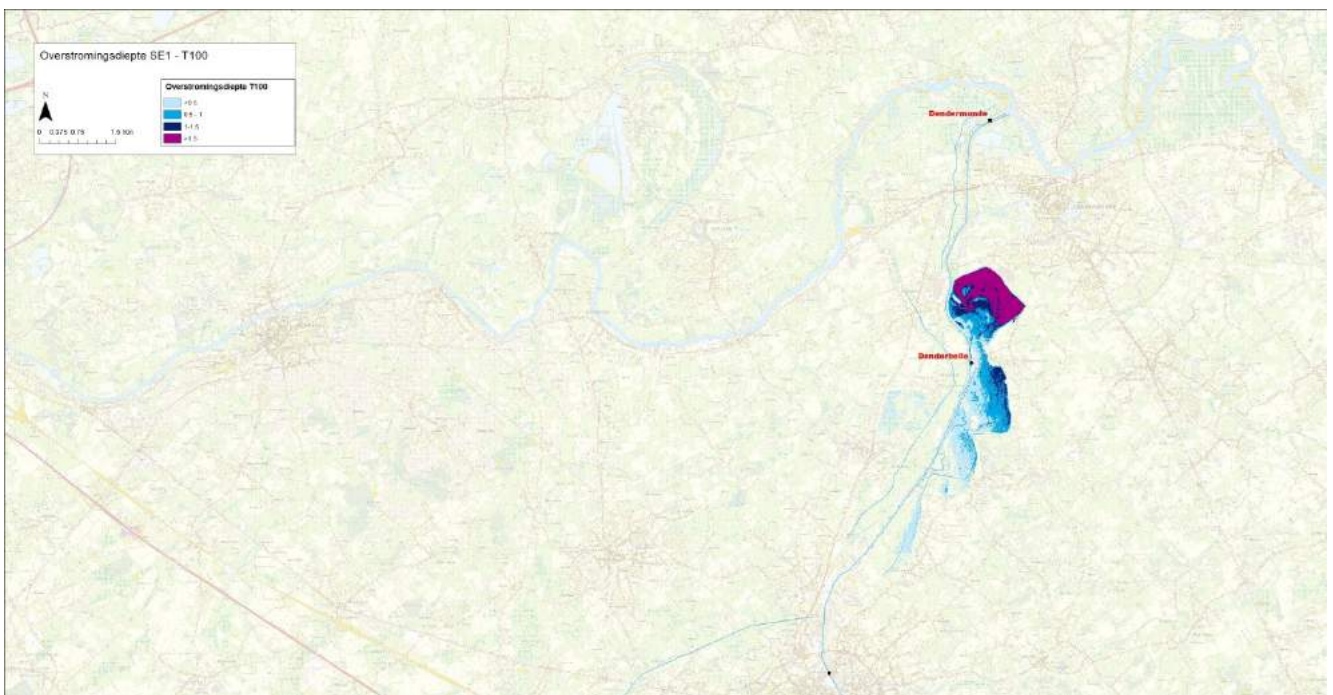
Figuur 55 – Overstromingsdiepte-kaart nieuwe toestand (SE1)- T10



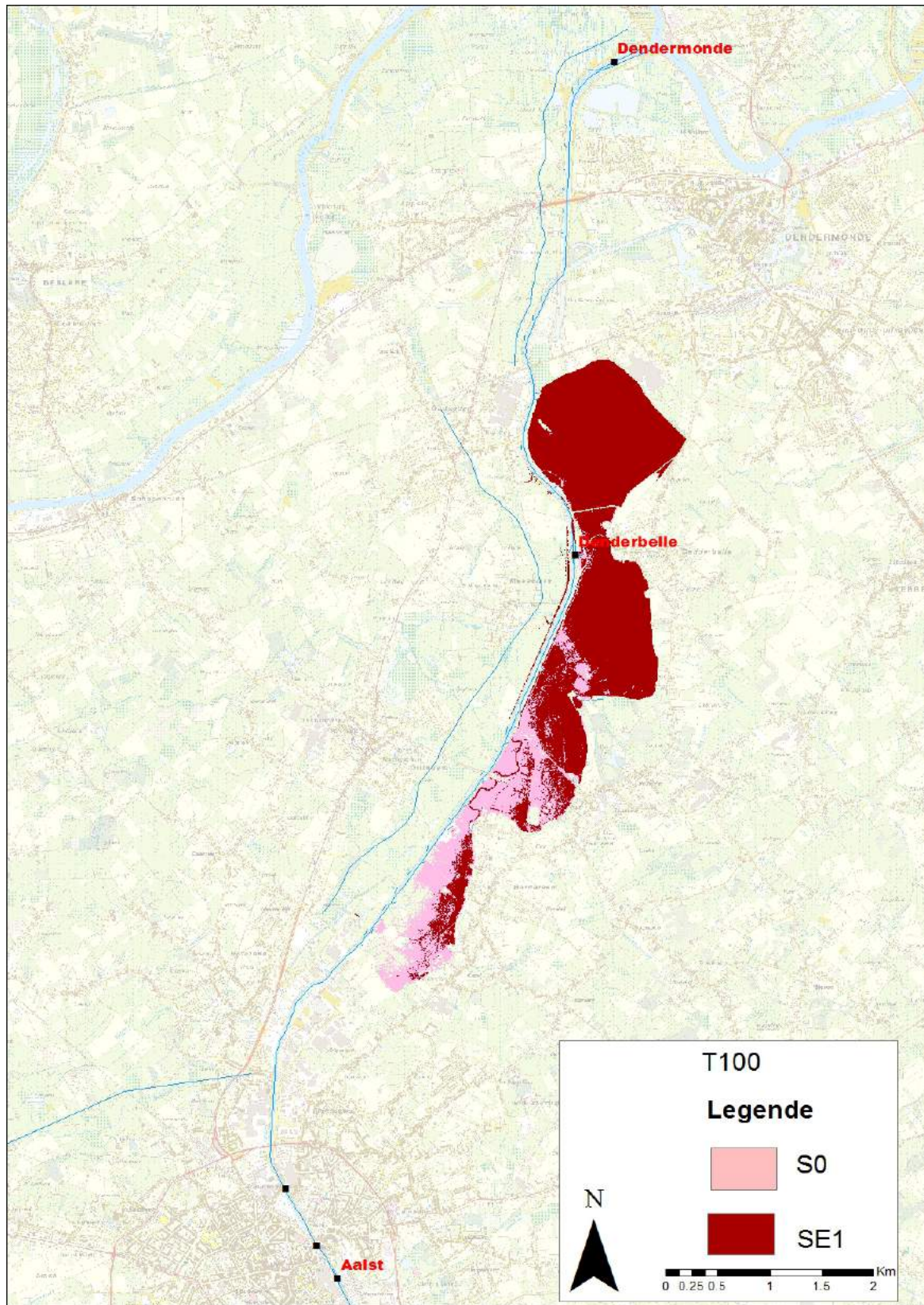
Figuur 56 – Overstromingsdiepte-kaart huidige toestand (S0)- T100



Figuur 57 – Overstromingsdiepte-kaart nieuwe toestand (SE1)- T100



Figuur 58 – Overstromingsverschil diepte-kaart huidige toestand, nieuwe toestand (S0-SE1)- T100



4.6 Conclusie

Op basis van de grootte orde analyse van de beschikbare voorontwerpplannen en berekeningen uitgevoerd met het mathematisch model van de Dender (M11) kan men besluiten dat de opwaardering van de Dender naar klasse IV met een heraanleg van de dijk tussen rivier en Denderbellebroek geen negatieve invloed zal hebben op de veiligheid van de omgeving. Volgens de beschikbare plannen is de volumevermindering van het Denderbellebroek beperkt tot afgerond minder dan 1 % waarbij gelijktijdig ook een meer dan compenserende volumevermeerdering in de Dender zelf bekomen wordt. Het waterbergend vermogen van Dender en Denderbellebroek samen zal bijgevolg niet afnemen maar toenemen.

4.7 Bibliografie

De Boeck, K., et al. 2016. *Simulaties Overstromingseffecten Dender: MER Aalst. Versie 3_0. WL Rapporten, 12_039.* Antwerpen : Waterbouwkundig Laboratorium, 2016.

5 DO12: Berekende en gemeten op- en afwaartse waterpeilen voor de stuw van Denderbelle

MEMO

Titel	Berekende en gemeten op- en afwaartse waterpeilen voor de stuw van Denderbelle
Datum	13/11/2015
Auteur(s)	Boey, I.; Cornet, E.; Pereira, F.
Ref.:	WL2015M15_062_12

5.1 Inleiding

Ten behoeve van de dimensionering van de nieuwe sluisdeuren van Denderbelle is een inschatting nodig van de waterstanden op- en afwaarts van de stuw. De berekende waarden werden gevraagd voor de respectievelijke terugkeerperiodes van T100, T500.

Daarenboven werd ook aan de HIC-afdeling van het WL de meetreeksen opgevraagd op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle. Deze meetreeksen worden eveneens geanalyseerd en de hoogste gemeten historische waarde uit de reeksen wordt bepaald opwaarts van de stuw.

De waterstanden zullen gebruikt worden onder andere om in te schatten wat het verschil kan zijn in waterstand opwaarts en afwaarts van de sluis ter dimensionering van de sluisdeuren.

5.2 Terugkeerperiodes- modelberekeningen

Het model opgesteld voor het project 12_039 (12_039_S0_2013B) werd gebruikt ter berekening van de terugkeerperiodes T100 en T500. De resultaten voor de huidige toestand(S0) en voor de "voorontwerptoestand" (12_039_SE2) worden weergegeven. Met voorontwerptoestand wordt bedoeld de situatie waarbij alle geplande moderniseringswerken zoals beschreven in 12_039 uitgevoerd zijn waaronder ook de vernieuwing van de stuw van Denderbelle.

5.3 Resultaten

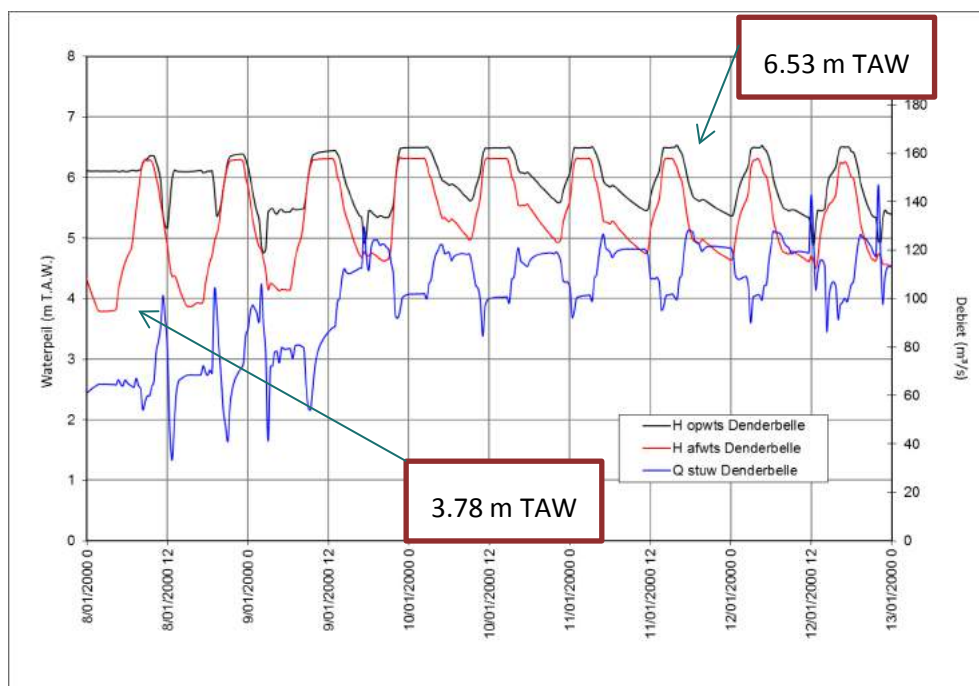
5.3.1 Overzicht van de bekomen waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle

Tabel 6 – Overzicht van de berekende waterpeilen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle (m TAW)

Waterstand (m T.A.W.)	Opwaarts	Afwaarts
huidige T100	6.53	6.33
huidige T500	6.64	6.33
voorontwerp T100	6.38	6.33
voorontwerp T500	6.40	6.34
Streefpeil	5.83	3.82

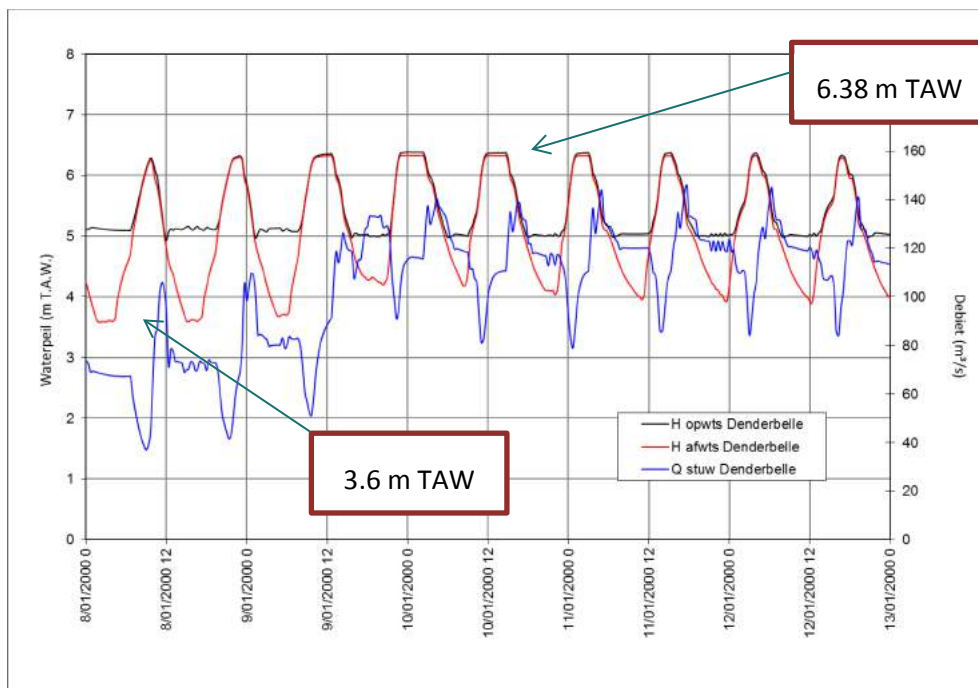
5.3.2 T100, S0 (huidige toestand)

Figuur 59 – Verloop van waterstanden voor T100, huidige toestand



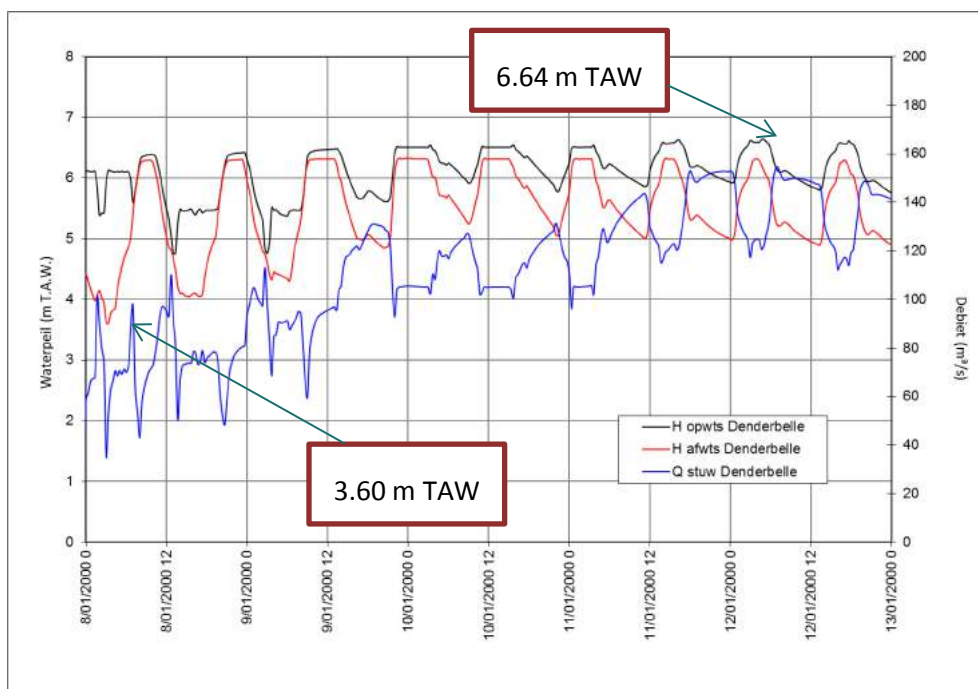
5.3.3 T100, voorontwerptoestand

Figuur 60 – Verloop van waterstanden voor T100, voorontwerp toestand



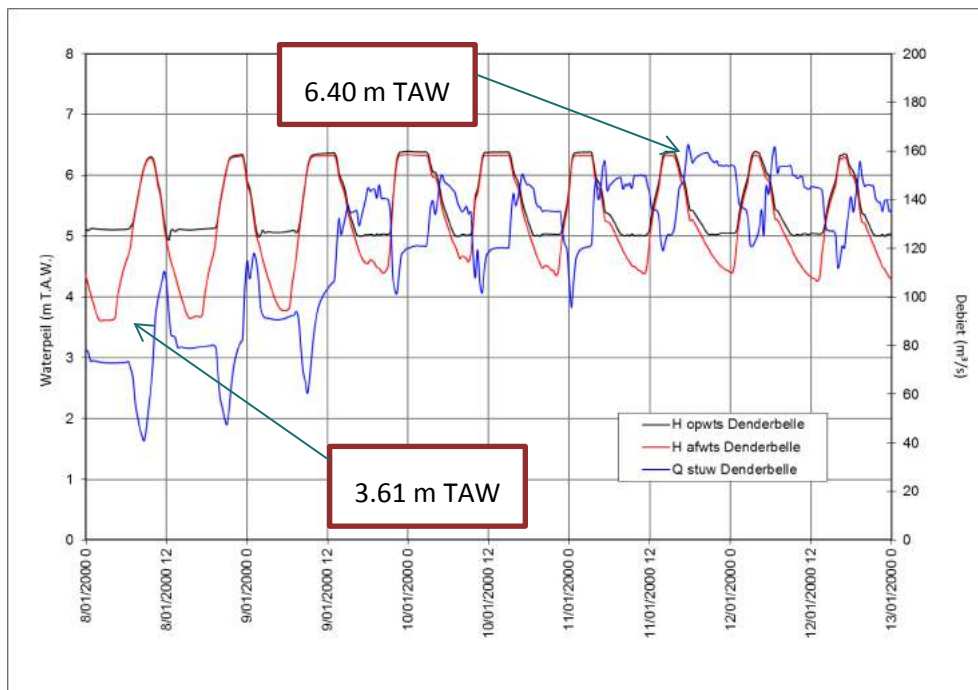
5.3.4 T500, S0 (huidige toestand)

Figuur 61 – Verloop van waterstanden voor T500, huidige toestand



5.3.5 T500, voorontwerptoestand

Figuur 62 – Verloop van waterstanden voor T500, voorontwerptoestand



5.4 Historische reeksen

Door het HIC werden de volgende meetreeksen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle (periode 1996-2005) aan WenZ aangeleverd (19/10/2015):

- 2618DMONDE.h.60mean.txt (peilen opwaarts stuw Dender te Appels/Dendermonde (2005-2015)) (HIC-meetpost)
- 2623DBELLE.h.60mean.txt (peilen opwaarts stuw Dender te Denderbelle (1988-2015)) (HIC-meetpost)
- 2627DBELLE.h.60mean.txt (peilen afwaarts stuw Dender te Denderbelle (1988-2015)) (HIC-meetpost)

Wat opvalt in deze reeksen is het voorkomen van talrijke zeer hoge waterstanden opwaarts van de stuw van Denderbelle (hoger dan 6.80 m TAW). Niet al deze reeksen zijn echter voor de volledige periode gevalideerd. Deze hoge frequentie moet daarom nader bekeken en onderzocht worden. De analyse bestaat uit twee onderdelen en wordt hieronder beschreven. Eerst gebeurt er een validatie van de meetgegevens, daarna een onderzoek van het verloop van de meest recente gemeten hoogste waterstanden (grafisch).

5.4.1 Validatie van de meetreeksen

Met de volgende bijzonderheden moet rekening gehouden worden:

1. De EMT-stations (gebruikt voor de analyse) zijn niet gevalideerd.
2. Denderbelle opwaarts (HIC) werd vanaf 2007 gevalideerd (t.e.m. 2014).
3. Aalst (HIC) is gevalideerd t.e.m. 2011 (einde waarnemingen) en is betrouwbaar voor de hoge peilen.

4. Voor Denderbelle opwaarts (HIC) zijn er kwartiergemiddelde peilen vanaf 11/2004.

Vervolgens werden de reeksen aan de volgende tests onderworpen:

1. De registraties van Denderbelle opwaarts (HIC en EMT) worden vergeleken tegenover Aalst opwaarts (HIC en EMT).
2. De peilen van Aalst moeten steeds hoger liggen dan die van Denderbelle opw. (zie kolom M)
3. De kwartiergemiddelden zijn altijd wat hoger dan de uurgemiddelden (kol. J,K,L)

In bijlage wordt de excel-file “denderbelle opw 1996-2015.xls” meegeleverd met weergave van de meetreeksen en de uitvoering van de hoger vermelde tests.

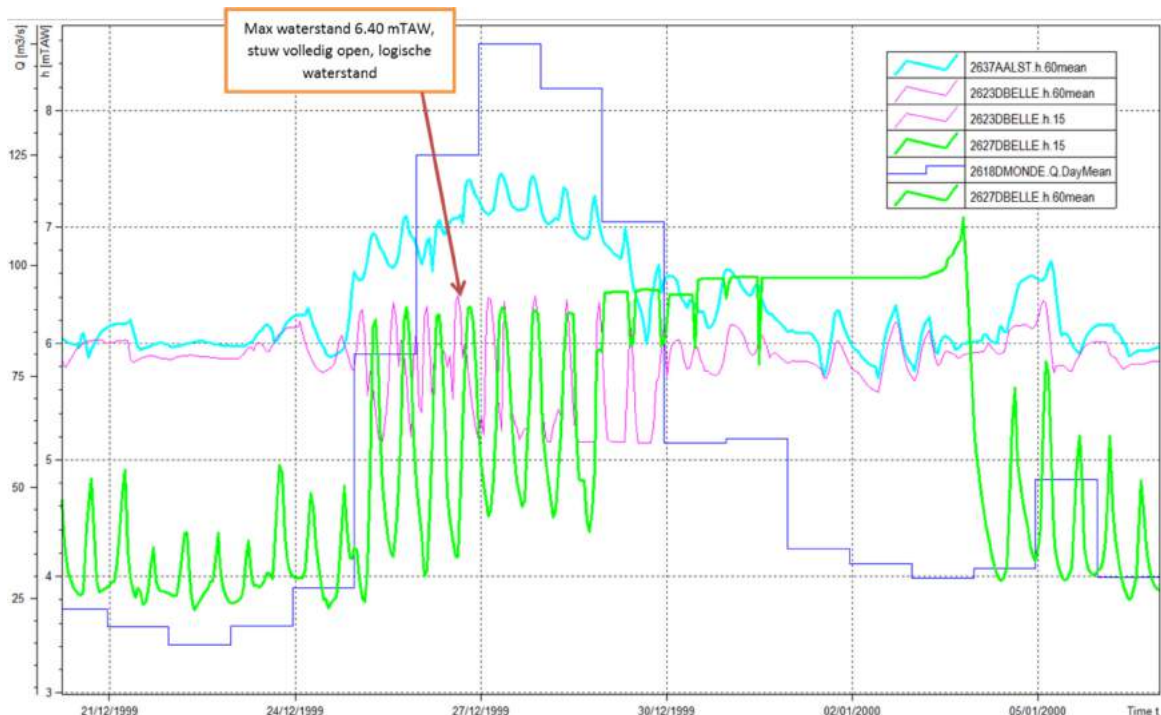
Uit de analyse kan besloten worden:

Het hoogste betrouwbare beschikbare peil te Denderbelle opwaarts is 6.835m TAW (op 30/1/2013)- Sommige hogere geregistreeerde peilen zijn wegens telemetrieproblemen niet betrouwbaar (rij 15 tot 21).

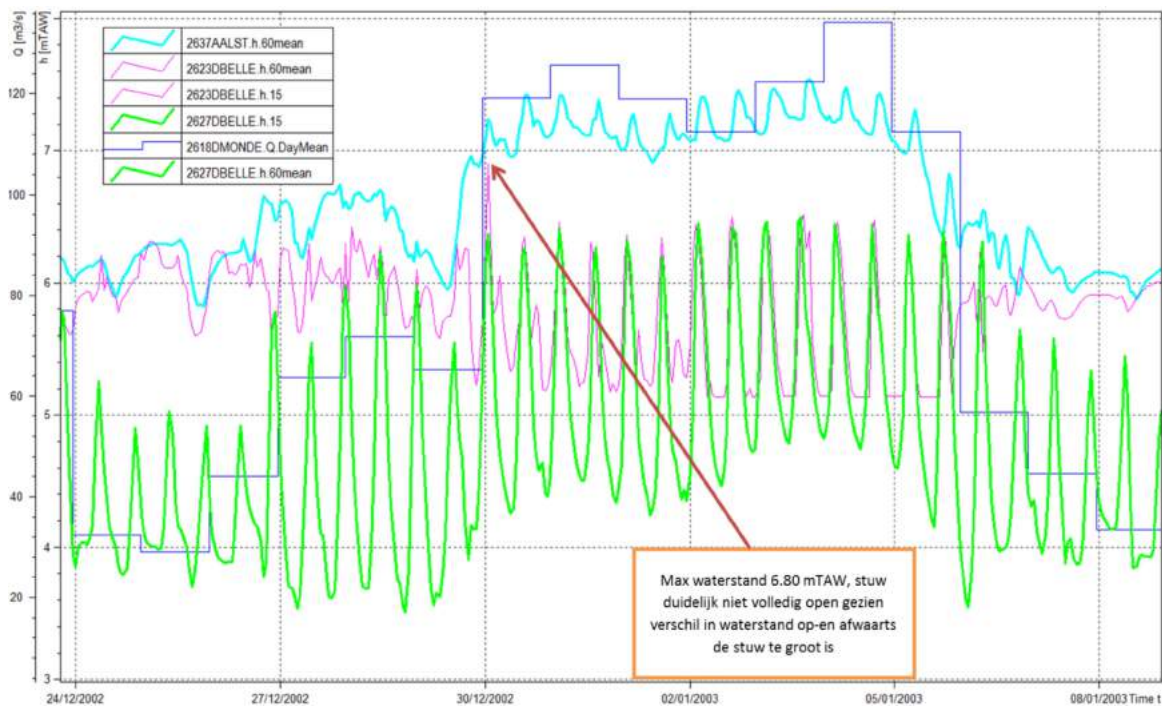
5.4.2 Grafische analyse van de recentste hoogwaterpeilen (december 1999 tot januari 2015), op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle

Hierna worden de wassen weergegeven waar de hoogste waterstanden geregistreerd werden (vanaf 1999). Door het vergelijken van verschillende elementen kan men komen tot een verklaring waarom sommige waterstanden hoger zijn dan verwacht in vergelijking met het model en ook in verhouding tot het debiet. Immers sommige wassen vertonen een hoge waterstand maar het debiet van de was is niet uitzonderlijk hoog. Uitleg wordt gegeven per grafiek in de oranje kaders.

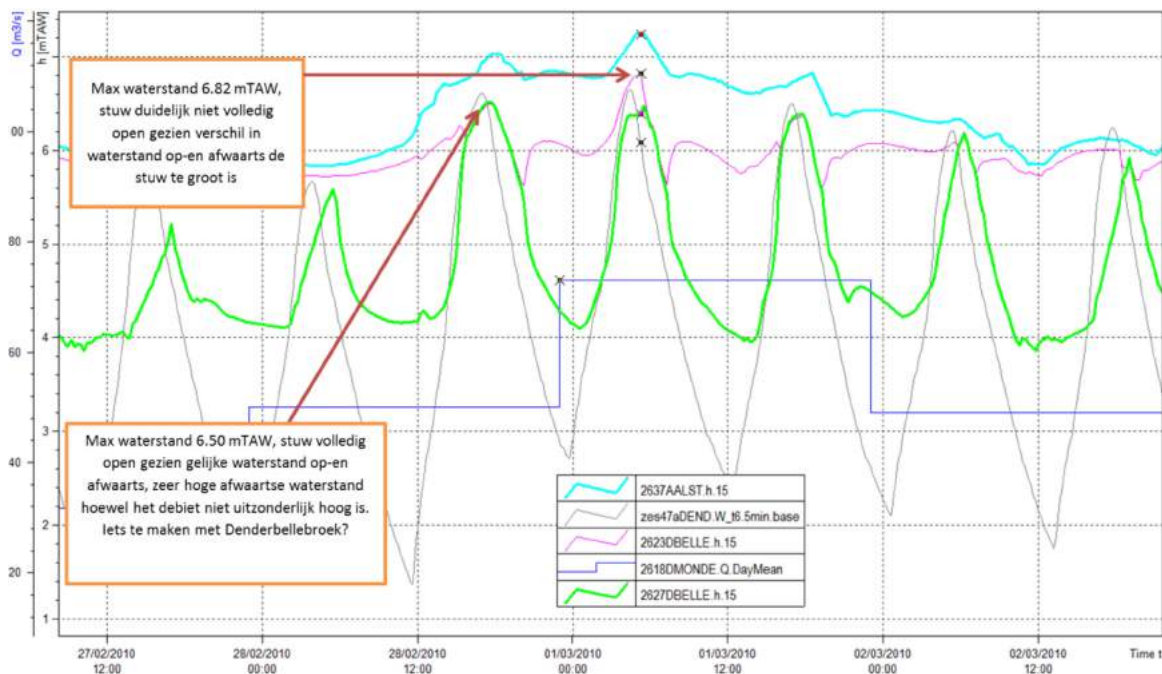
Figuur 63 – Gemeten waterstanden januari 2000



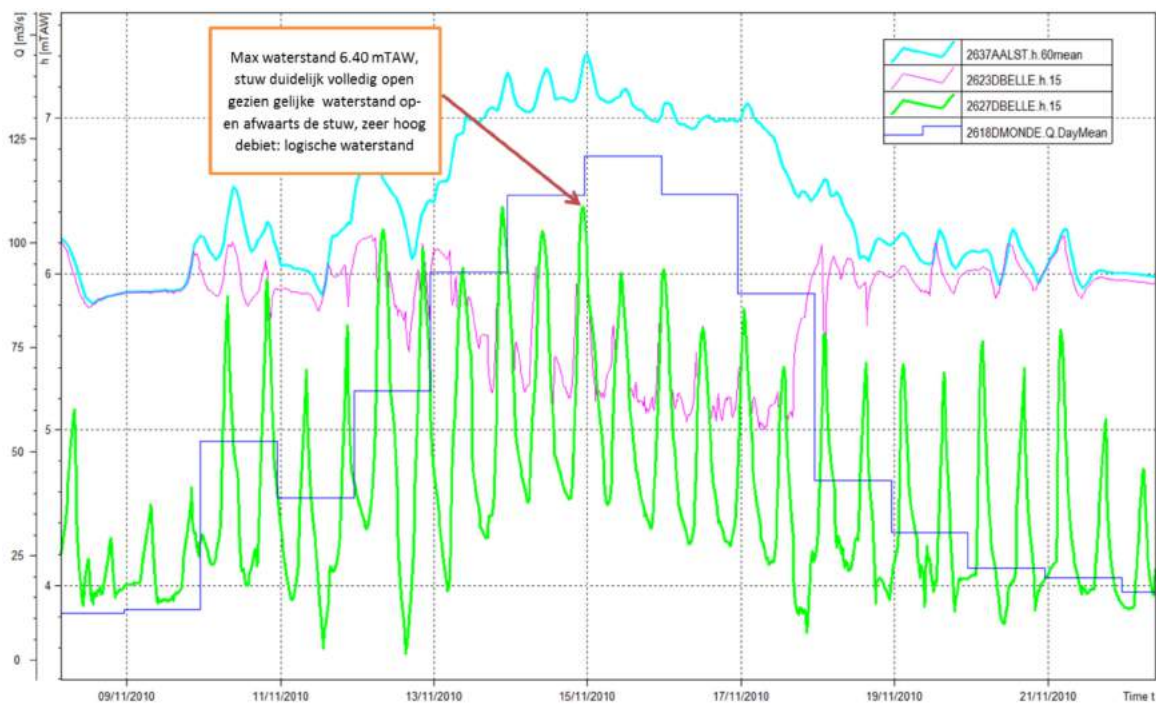
Figuur 64 – Gemeten waterstanden januari 2003



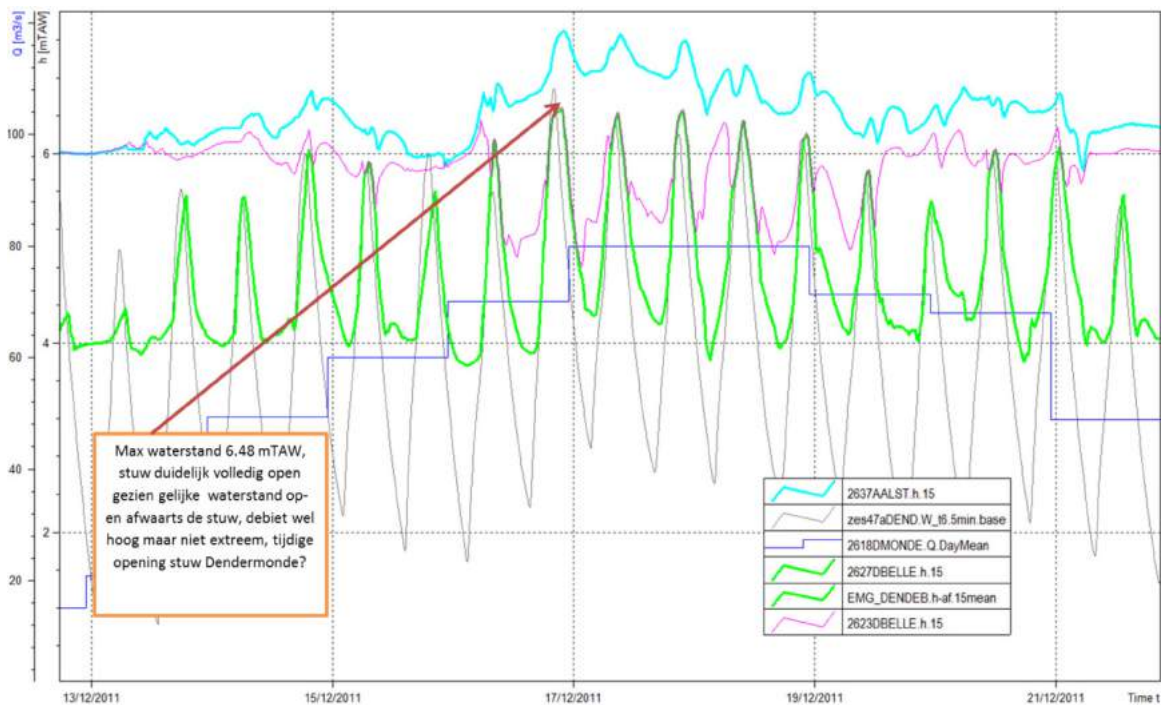
Figuur 65 – Gemeten waterstanden maart 2010



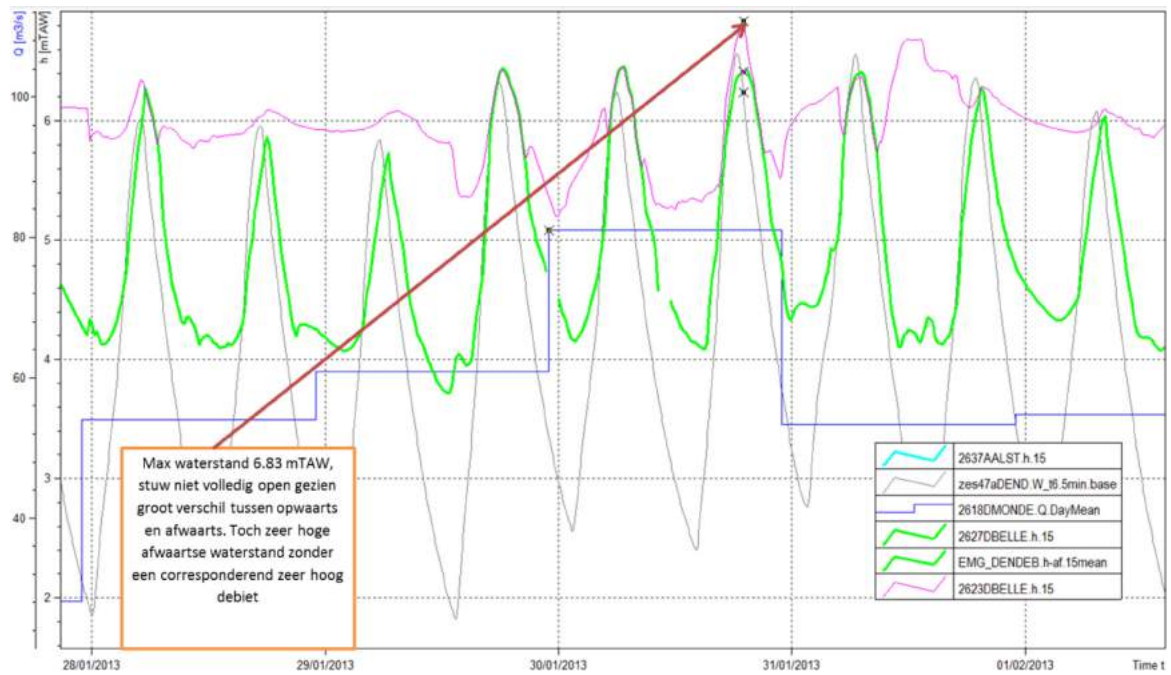
Figuur 66 – Gemeten waterstanden november 2011



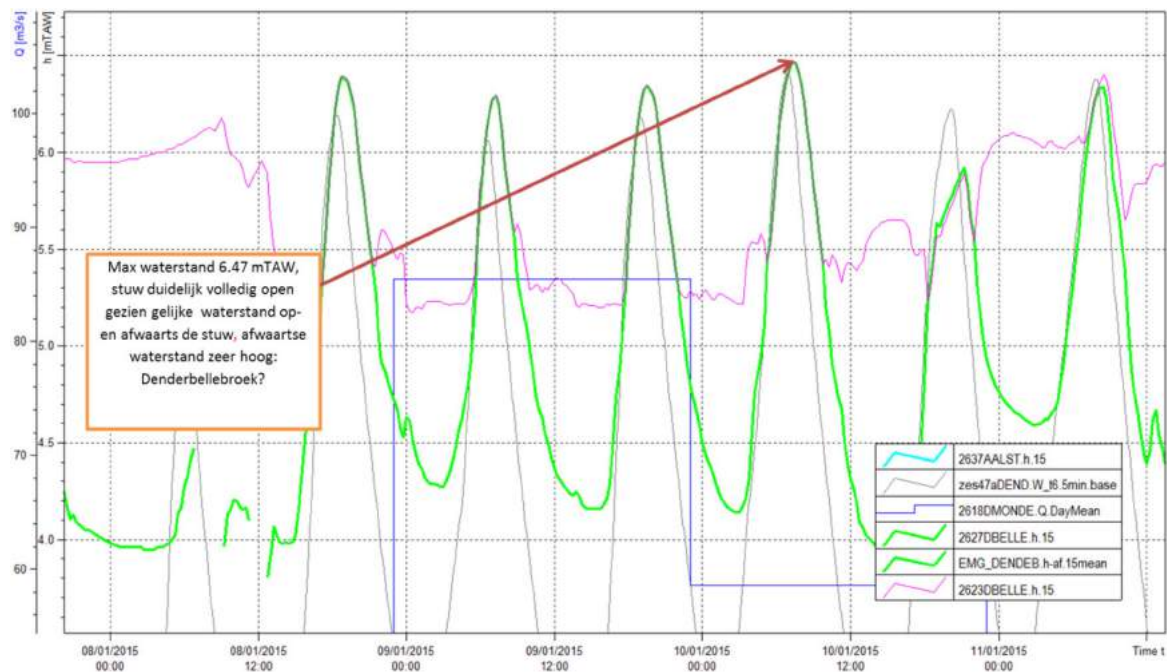
Figuur 67 – Gemeten waterstanden december 2012



Figuur 68 – Gemeten waterstanden januari 2013



Figuur 69 – Gemeten waterstanden januari 2015



5.5 Besluit

Berekende waarden:

De weergegeven waarden zijn berekende waarden en bij het gebruik van deze waarden moet men rekening houden met allerlei factoren zoals modelonzekerheden, onzekerheid betreffende de sturing van de structuren, onzekerheden betreffende de randvoorwaarden, onzekerheden betreffende de combinatie van factoren.

Het grootste waterstandverschil treedt niet op bij de piek van de was maar ervoor of erna. Een hoge waterstand opwaarts van de stuw kan immers gecombineerd worden met een relatieve lage waterstand afwaarts indien de evacuatiemogelijkheden via de Schelde gunstig zijn en de stuw in Dendermonde maximaal opengezet wordt. Een groot waterstandverschil kan ook optreden bij onvolledige opening en maximale evacuatie naar de Schelde. Niet alle combinaties zijn weergegeven, slechts de “ideale”, bij volledig functioneren van de automatisatie van de schuiven en het zich niet voordoen van onvoorziene omstandigheden.

Gemeten waarden:

Bij het vergelijken van de gemeten waarden met de berekende waarden, en bij het toepassen van een statistische analyse is het van belang de kwaliteit van de meetreeks te bekijken. In het geval van de beschikbare meetreeksen op- en afwaarts van de stuw van Denderbelle zijn een deel van de oudere gegevens niet betrouwbaar.

Eveneens is het van belang de werking van de stuw in rekening te brengen en de hoogte van de overlooppijk van het Denderbellebroek. Deze kent in een historisch perspectief een zekere variatie.

De hoogst gemeten waterstand van de meetreeksen is na validatie en analyse bepaald op 6.83 m TAW. Allicht was op dat ogenblik de stuw van Denderbelle niet volledig geopend.

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